



HOCHSCHULE
MITTWEIDA



Wissenschaftliche Berichte

SCIENTIFIC REPORTS

18. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz (NWK)

31. Mai 2017 an der Hochschule Mittweida

Nr. 1, 2017

18. NACHWUCHSWISSENSCHAFTLERKONFERENZ (NWK18) MAY 31, 2017

Tagungsband zur 18. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz (NWK18) an der Hochschule Mittweida

Impressum

Herausgeber:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences

Der Rektor

Prof. Dr. phil. Ludwig Hilmer

Der Prorektor für Forschung und Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Thiem

Redaktion dieser Ausgabe:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences

Tagungsleiter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Thiem

Postanschrift:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Referat Forschung
Postfach 1457
D-09644 Mittweida

Erscheinungsweise:

unregelmäßig

Schutzgebühr:

40 Euro

Die Scientific Reports/Wissenschaftliche Berichte als Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida - University of Applied Sciences lösen die bisherigen Scientific Reports mit allen Volume I-III ab und erscheinen mit Nr.1, 1998 ab November 1998 in neuem Layout und in neuer Zählung.

Bisher 2017 erschienen:

18. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz (NWK)
Nr. 1, 2017

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Selbst ein Weg von 1000 Meilen beginnt mit einem Schritt.

Japanische Weisheit

Liebe NachwuchswissenschaftlerInnen,

diesen einen - vielleicht ersten - Schritt auf Ihrem wissenschaftlichen Weg haben Sie schon getan, indem Sie sich mit einem Beitrag für die Teilnahme an der 18. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz hier in Mittweida beworben haben.

Insgesamt 86 Beiträge wurden von den Gutachtern bewertet, die besten wurden als Vortrag oder Poster zur heutigen Konferenz eingeladen.

Der Tagungsband bildet alle Vorträge und Postervorträge dieser Konferenz ab und ist ein Spiegelbild für die Leistungsfähigkeit der Hochschulen der neuen Bundesländer im Bereich der angewandten Forschung und ihrer Position als Partner sowohl in der regionalen als auch überregionalen und internationalen Forschungslandschaft.

Viele von Ihnen haben den Weg einer kooperativen Promotion gewählt. Sehen Sie nicht nur die Schwierigkeiten, die dieser Weg beinhaltet, sondern nutzen Sie auch die Chancen, die dieses Verfahren bietet. Im begleitenden Doktorandenseminar zur NWK werden diese Risiken und Chancen thematisiert. Nutzen Sie dieses Forum neben der Konferenz zum Austausch und als Impuls für weitere Schritte.

Das Gelingen einer solchen Konferenz wie der NWK hängt wesentlich von der Mitwirkung und dem Zusammenspiel aller Beteiligten ab. Daher möchte ich mich auf diesem Weg herzlich bei allen Mitwirkenden bedanken, bei Ihnen als Teilnehmende und Autoren, bei Ihren betreuenden ProfessorInnen, bei meinen AmtskollegInnen, bei allen Gutachtern, den ModeratorInnen und allen beteiligten Angehörigen der Hochschule Mittweida.

Mein besonderer Dank gilt dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst für die großzügige Unterstützung der Konferenz sowie besonders der Staatsministerin, Frau Dr. Eva-Maria Stange, für die Übernahme der Schirmherrschaft der Veranstaltung.

Auch wenn Ihr Beitrag im „Finale“ nicht als best paper oder best poster ausgezeichnet wird; preiswürdig sind alle, die sich dafür einsetzen, die Ergebnisse ihrer Forschungsarbeiten wertungsfrei und in einem konstruktiven Dialog der Öffentlichkeit zu präsentieren.

Ich wünsche Ihnen eine erfolgreiche Konferenz und alles Gute auf Ihrem weiteren wissenschaftlichen Weg.

Prof. Gerhard Thiem
Prorektor für Forschung und Entwicklung
an der Hochschule Mittweida

„Wichtig sind nicht die Ziele, die man erreicht hat, sondern die, die man noch erreichen will.“

Helmut Glaß

Sehr geehrte Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler,

Ihr gestecktes Ziel, an der diesjährigen Nachwuchswissenschaftlerkonferenz teilzunehmen, haben Sie erreicht und dazu gratuliere ich Ihnen herzlich. Diese findet nunmehr zum zweiten Mal in Sachsen statt und dass die Hochschulstadt Mittweida der auserwählte Tagungsort ist, können wir mit Stolz als einen Erfolg für uns und unsere höchste Bildungseinrichtung verbuchen. Gerade im Jahr des 150. Jubiläums der Hochschule Mittweida wird die Wichtigkeit der Vernetzung von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft wieder verdeutlicht.

Die langjährig bestehende enge Kooperation zwischen der Stadt und der Hochschule Mittweida soll auch in den nächsten Jahren durch weitere gemeinsame Projekte, wie zum Beispiel die Zusammenführung der beiden Bibliotheken unter ein Dach, gestärkt und gepflegt werden.

Junge engagierte Menschen wie Sie braucht das Land, braucht der Freistaat Sachsen und braucht aber auch unsere Stadt Mittweida. Junge Nachwuchsforscher, die nach vorn schauen und mit Ihren Ideen und Projekten die Zukunft mitgestalten können. Unsere Kleinstadt genießt durch die Hochschule und deren Ausbildung einen hohen wissenschaftlichen Ruf, welcher nicht nur national, sondern international ein Qualitätsbegriff ist.

Daher wünsche ich allen teilnehmenden Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern bestes Gelingen und alles Gute auf Ihren weiteren Weg in und für die Wissenschaft.

Ralf Schreiber

Oberbürgermeister der Großen
Kreis- und Hochschulstadt Mittweida

Organisation NWK 18

Schirmherrschaft der 18. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz an der Hochschule Mittweida

Dr. Eva-Maria Stange
Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst

Konferenzleitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Thiem
Prorektor für Forschung und Entwicklung an der Hochschule Mittweida

Programmkomitee an der Hochschule Mittweida

- Prof. Dr.-Ing. habil. Thiem, Gerhard; Prorektor für Forschung und Entwicklung
- Prof. Dr.- Ing. Mahn, Uwe; Dekan der Fakultät Ingenieurwissenschaften
- Prof. Dr.-Ing. Schneider, Uwe; Dekan der Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften
- Prof. Dr. rer. pol. Schmalfuß, Andreas; Dekan der Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
- Prof. Dr. phil. Ehlert, Gudrun; Dekanin der Fakultät Soziale Arbeit
- Prof. Dr.-Ing. Hösel, Michael; Dekan der Fakultät Medien
- Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Baumgart, Matthias; Referatsleiter Forschung

Tagungsgruppenleiter

- Prof. Dr. habil. Helga Franke - Hochschule Magdeburg-Stendal
- Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. Frank Köster - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. Steffen Weißmantel - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr.-Ing. Volker Delport - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. Petra Radehaus - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. Marc Ritter - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. Peter Tittmann - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Röbbke Wünschiers - Hochschule Mittweida
- Prof. Dr. rer. pol. Ulla Meister - Hochschule Mittweida
- Dr. rer. nat. Dipl.-Psych. Frank Schumann - Hochschule Mittweida
- Prof. Susanne Günther M.A. - Hochschule Mittweida

Organisationskomitee an der Hochschule Mittweida

- Prof. Dr.-Ing. habil. Thiem, Gerhard; Prorektor für Forschung und Entwicklung
- Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Baumgart, Matthias; Referatsleiter Forschung
- Dipl.-Ing. Kober, Annett; Referat Forschung
- Lange, Ines; Referat Forschung

Gutachter

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Prof. Dr. Liliane Jodkowski

Prof. Dr. Thomas Rachfall

Prof. Dr. Bert Stegemann

Hochschule Harz

Diplom-Ökonom, Licence Sc Eco Heike Fischbach

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Prof. Dr. Jochen Merker

Dr. Friedemann Sandig

Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Hochschule Magdeburg-Stendal

Prof. Dr. Gabriele Helga Franke

Hochschule Merseburg

Prof. Dr. Mathias Seitz

Prof. Dr. Heinz-Jürgen Voss

Hochschule Mittweida

Dipl.-Wirt.-jur. (FH) Sabrina Amarell

Dipl. Wirtschaftsing. (FH) Matthias Baumgart

Prof. Dr. Volker Delport

Prof. Dr. Olaf Hagenbruch

Prof. Dr. Alexander Horn

Prof. Dr. Dirk Labudde

Prof. Dr. Marc Ritter

Prof. Dr. Jan Schaaf

Prof. Dr. Kristan Schneider

Dr. Frank Schumann

Prof. Dr. Thomas Villmann

Prof. Dr. Alexander Winkler

Prof. Dr. Röbbbe Wünschiers

Hochschule Schmalkalden

Prof. Dr. Martin Golz

Dipl. Inform. (FH) Christian Heinze

Dr. David Sommer

Prof. Dr. Sebastian Ullrich

Sebastian Wollner

Technische Hochschule Wildau

M. Eng. Sven Angermann

Dipl.-Phys. Harald Beyer

Prof. Dr. Thomas Biermann

Prof. Dr. Andreas H. Foitzik

Prof. Dr. Bertil Haack

Dr. Frank Hartmann

Prof. Dr. Sandra Haas

Prof. Dr. Michael Herzog

M. Sc. Thilo Liebscher

Dr. Anke Renger

M. Sc. Felix Schütze

M. Eng. Patrick Steglich

Technische Universität Chemnitz

Dr. Matthias Vodel

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ Leipzig

Dr. Björn Höhlig

Thüringer Aufbaubank Erfurt

Dr. Sabine Sändig

Dr. Volker Tüngler Consultant Elektronik-Tec Havelsee

Dr. Volker Tüngler

INHALTSVERZEICHNIS

Angewandte Naturwissenschaften

Enzyme-free glucose sensor based on MEMS.....	14
CdZnTe als Strahlungsdetektor in der therapeutischen Medizin	19
Untersuchungen zur Beziehung zwischen dem genetischen und dem phänotypischen Trend für die Nutzungsdauer bei DH- Kühen	25
Broadcast in Netzwerken und Regenbogenfärbung von Graphen	30
Netzwerkzuverlässigkeit unter Berücksichtigung von Kapazitätsforderungen	35
Optimization of the phototrophic hydrogen evolution with Rhodobacter sphaeroides strain 2.4.1 by fermentation of apple juice	39
Berechnung und Herstellung von zylindrischen DOEs	45
Kinetische Modellierung der Galactooligosaccharid-Synthese.....	50
Utilizing the novel CRISPR/Cas technology to genetically engineer human cell lines with gene knockouts and insertion of protein tags	54
Development of a pipeline for exploration of protein-ligand interactions involving 17 β -estradiol	60
CFD-based optimization of a micro injection molding process.....	65
Bestimmung algenbiotechnologisch relevanter Parameter im kontinuierlichen Bioprozessregime: Biomasseabnahme in der Dunkelfase	71
Einfluss mechanischer Aufschlusstechnologien auf Bioverfügbarkeit und Extraktion von Mikroalgeninhaltsstoffen	77
Laserscanning Messsystem zur Charakterisierung mikrostrukturierter Oberflächen	83
Einfluss mikrobieller Stoffwechselprozesse auf den Betrieb geothermischer Anlagen	89
Konzeption und Aufbau eines orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers zur Laser-Prozessanalyse.....	94
Bias-corrected maximum-likelihood estimates of multiplicity of infection	100
Neuroinformatische EKG-Analysen für die Schläfrigkeitsbewertung	107

Simulation des Morris-Lecar-Neuronenmodells mit stochastischen Störungen	113
Blockausbreitungsgeschwindigkeiten in Bitcoin	119
Deeper insights into classification problems in machine learning	125
Towards introducing nanopore sequencing to undergraduate education in biotechnology and computational biology	128
Bildererkennung von Teststreifen basierend auf einer Smartphone-Applikation	133

Gestaltung , Kultur- und Medienwissenschaften

Immersion und Stadtmarketing mittels 360° Videografie.....	138
Crossmediale Dialogkommunikation in Kommunen - Ansprache der Bürger über das soziale Netzwerk Facebook.....	143
Stressprävention und -analyse anhand eines virtuellen Szenarios.....	148
Vom Gedanken zum Trieb - Die Motivation zu Spielen.....	154
Crossmediale Bürgeransprache in Kommunen – Ein visuelles Erscheinungsbild für eine crossmediale Kommunikationskampagne auf kommunaler Ebene	161
Innovative Technologien für progressive Kommunikation in Kommunen	167
Einsatz von Instagram in der kommunalen Bürgerkommunikation	172
Überzeugung fremder Passanten zur Umzugshilfe mithilfe der „Foot-in-the-Door“-Technik	177

Ingenieurwissenschaften

Effiziente Oberschwingungskompensation mithilfe von intelligenten Ladesäulen für die Verbesserung der Spannungsqualität im Verteilnetz	185
Laser-Strukturierung von Perowskit-Solarzellen	191
Automatische Ermittlung der Rückzugzeit bei der Koloskopie mit Methoden des maschinellen Lernens.....	197
Verschleißfeste Iridiumschichten für elektrische Kontakte.....	203

Kamera-basierte Messung von Laufzeitunterschieden zwischen rPPG-Signalen in unterschiedlichen Gesichtsbereichen	209
Acceleration accumulation during cyclic loading of dry sand in small Scaled Experiments	216
Fertigungskonzeption 4.0 – Adaptive Automation für die Fertigung mit Mensch und Anlage	222
Bestimmung von Schichtdicke und Brechungsindex dünner Filme mittels Fitanalyse	228
Entwicklung eines Versuchsstandes zur Untersuchung von instationären Strömungsvorgänge in Regelarmaturen von Kraftwerken	234
Implementierung des hypoplastischen Stoffgesetzes in ABAQUS zur Anwendung bei dynamischer Bodenverdichtung	240
Ultrakurzpuls-laserbearbeitung von Stahl im Burst-Modus	245
Substitution von Hartchromschichten auf Basis von Nickel-Bor-Dispersionsschichten	251
Modellierungsansätze zur Vorhersage von Produktausbeuten für unterschiedliche Reaktortypen bei der katalytischen Pyrolyse von festen Kohlenwasserstoffen.....	257
Auswirkung von Festwalzeigenspannungen im ADI-Gusseisen.....	262
Strategie und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für manuelle Montageprozesse.....	268
Mikromechanische Modellierung und Vorhersage des effektiven E-Moduls von Partikel- verstärkten Metall-Matrix-Kompositen am Beispiel von WC-NiBSi PTA-Schichten	274
Entwicklung von nicht planaren strukturierten Masken für die Verwendung in lithographischen Prozessen.....	280
Analyzation of induced stress on cellular systems by ESPI	286
Untersuchung der Spannungsqualität unter Berücksichtigung von Oberschwingungen und deren Rückwirkungen auf Energiezähler.....	290
Grundlagen und Potentiale an eine ganzheitliche ressourceneffiziente Fertigung von rotationssymmetrischen beschichteten Bauteilen.....	296
Auslegung eines höhentauglichen Antriebes für das unbemannte Luftfahrtssystem ATISS NG.....	302
Nahfeld Strahlformung beliebiger Strahlprofile mit Hilfe der logarithmisch parabolischen Monge-Ampère-Gleichung	308

Quick UDP Internet Connections für Feldbussysteme	319
Lackoptimierung: Vom Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Lack und Umgebungsmedien zu einem besseren Lacksystem	324

Informations- und Kommunikationstechnik

Clusterbasierte Online-Analyse von 3D-Laserscans	330
Detektion von Fremd-DNA mit der Inter-Nukleotid-Distanz.....	336
Prognose des freien Willens – Machbarkeit und erste Ergebnisse	341
Datenkommunikation mittels wireless M-Bus im Local Metrological Network am Smart Meter Gateway.....	346
Tiefe Lernarchitekturen für die Mikroschlaferkennung im EEG	351
Prototypische App zur Bedienung eines Gerätes zur Raumklimasteuerung	357
Entwicklung eines dezentralen, pseudonymen Zeitstempelsystems auf Basis der Ethereum-Blockchain	363
Image based wafer defect analysis	369
Ungenauigkeiten und deren Ursachen beim Dead Reckoning.....	374

Lebenswissenschaften

One step further towards molecular evolution: Structural analysis of class II aminoacyl tRNA synthetases.....	381
Parameter estimation as a stepping stone for simulations in systems biology.....	386

Sozialwissenschaften

„Alltagskompetenz-Training – Entspannt und sicher durch den Alltag“ Ein Trainingskonzept für Menschen mit geistiger Behinderung.....	392
Modifikation der Mini-Symptom-Checkliste (Mini-SCL) für Menschen mit geistiger Behinderung	398

Sind Geschwister von Kindern mit Autismus-Spektrum-Störungen belastet und in ihrer Lebensqualität eingeschränkt? Eine mixed-methods Pilotstudie.....	404
Das Erscheinungsbild von Personen beeinflusst die soziale Akzeptanz von Alkoholkonsum	410
Kontrafaktische Schätzung des Einflusses der Wahlbeteiligung von Nicht-Wählern auf die Bundestagswahl 2009 und 2013	414
Alkoholabhängigkeit und Depression – Erklärungsansätze zu Entstehung und Komorbidität	421
Experiment zum Sozialverhalten und Gruppenzwang	426

Wirtschaftswissenschaften

Erarbeitung eines modellhaften Lösungsansatzes für eine Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle	432
Geben oder nehmen? Framing-Effekte bei Lernanreizen	438
Projektbasierter Einsatz von wirkungsorientierten Evaluierungsmethoden - Eine Befragung von kleinen und mittleren gemeinnützigen Organisationen im Nahen Osten	444
Influencer marketing to counter advertising skepticism.....	448
Die regionalökonomischen Auswirkungen von Tagungen und Kongressen in Deutschland.....	452

Angewandte Naturwissenschaften

Enzyme-free glucose sensor based on MEMS

Thilo Liebscher^{1,3*}, Franziska Glös¹, A. Böhme^{1,3}, M. Birkholz², M. Di Vona³, F. De Mattheis³ and Andreas Foitzik¹

¹TH Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, liebscher@th-wildau.de

²IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder)

³Universita degli Studi di Roma, Faculta Ingegneria Industriale, Via Orazio Raimondo,18 - 00173 Roma

Abstract: A new approach towards measuring and sensing of bio-analytes needs to be made due to the problem of small volumes containing small amounts of analytes. Most of the available glucose sensors monitor the glucose concentration with the help of enzymes, which become very inaccurate in terms of long time measurement and consume glucose during the measurement. Therefore, the presented approach is focused on applying an enzyme-free glucose sensor based on a microelectromechanical system (MEMS).

1. Introduction

Glucose is one of the main molecules, which cells need to survive and grow. It is essential to provide energy for aerobic respiration, anaerobic respiration or fermentation for chemical reactions. Therefore, it is as a key factor monitored and controlled for any kind of cell growth or cell regulation reactions. Over the last decade, these reaction chambers have been miniaturised to a degree, that new miniaturised sensors need to be developed. A major advantage of these miniaturised reaction chambers are the ability to perform many different experiments at the same time with a reduced amount of cultivation space [1]. One focus lies on the required size of the sensing apparatus to detect glucose molecules. The other is the detection of such a small amount of glucose without interfering with the cells consuming glucose to produce energy. Most commonly used glucose sensors relay on an enzymatic reaction to detect glucose, which ultimately converts glucose into another product [2]. The glucose is not anymore available and therefore influences the cell growth due to the forced lack of glucose molecules in the media.

2. Enzyme-free detection

Different approaches have been investigated to overcome the challenge of enzymes converting glucose into other products. One promising approach represents the use of bio micro-electromechanical systems (MEMS) to detect glucose concentrations. First of all a sensoric fluid is required consisting of dextran and Concanavalin A (Con A). Con A consists of a saccharide-binding site, which at physiological pH-values cross-links between macromolecules of the dextran to form a highly viscous gel phase. If free glucose molecules are present, they are in competition with dextran molecules leading to a change in viscosity (η) of the sensoric fluid, which is shown schematically in Fig. 1 [3].

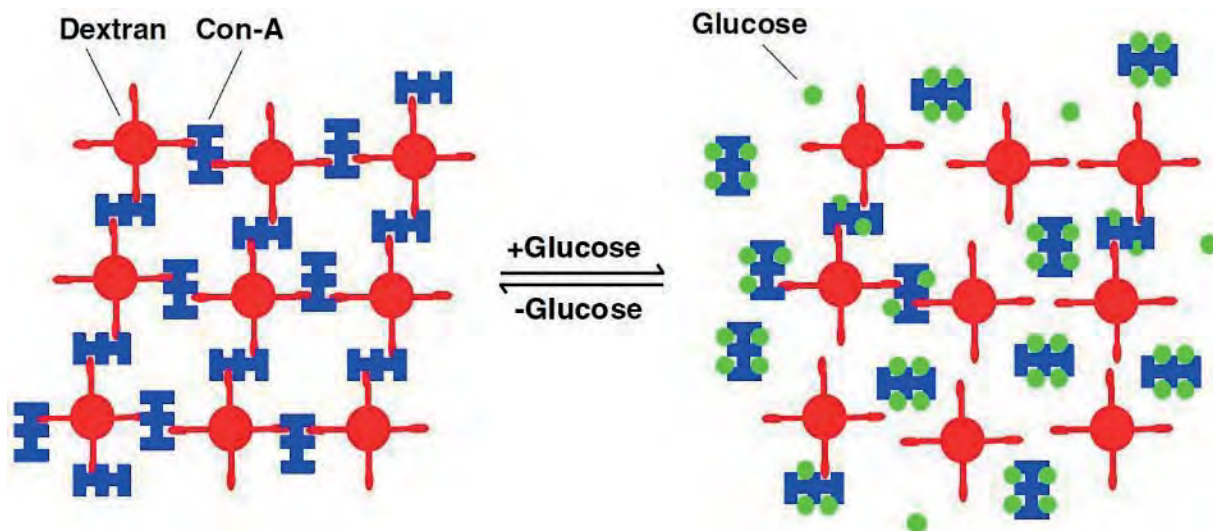


Figure 1: Concanavalin A and dextran mixture without glucose on the left and with free glucose on the right; free glucose molecules are in competition to glucose end-groups of dextran at the Con A binding site leading to a breakup of former Con A / dextran bonds resulting in a decrease of viscosity[4].

The change in viscosity is detected with a beam, a so-called cantilever, which can be charged electrically. Based on its electric charge the beam is attracted to the ground plate and moves through the sensoric fluid. Depending on the viscosity of the sensoric fluid the beam requires different time intervals to travel from start to end position, which directly correlates to the concentration of free glucose molecules. The basic concept for this approach is shown in Fig 2.

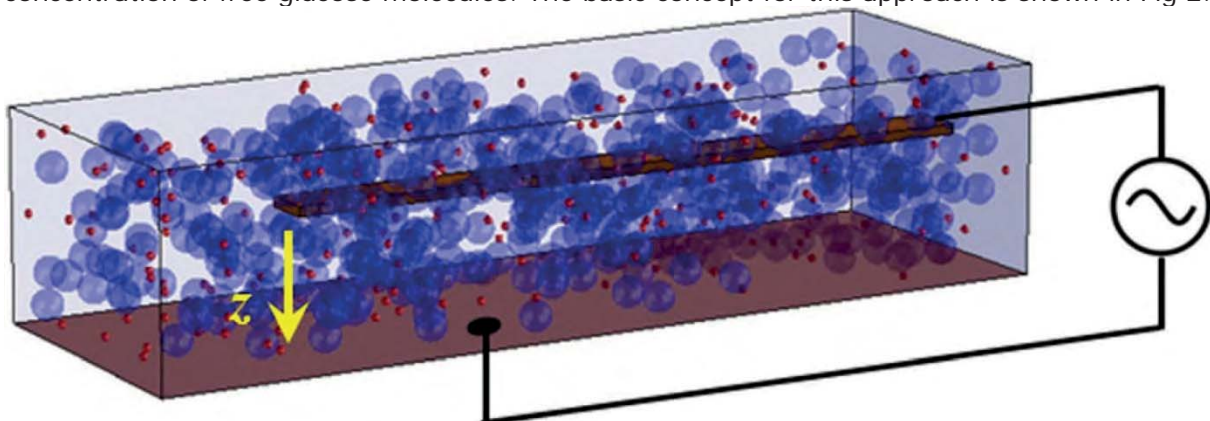


Figure 2: sensoric fluid is represented by circles (red and blue); a beam is placed inside the sensoric fluid and can be electrically charged; travel time of the beam through the fluid can be detected [5]

Since this sensing method will be applied in a microbiological environment materials are required, which are stable against bio-corrosion and able to be charged electrically when needed. Titanium-nitride represents one of the possible materials, which can also be prepared with CMOS applications [6]. The designed chip layout is shown in Fig. 3 representing an X-shaped beam for viscosity detection. The chip is embedded inside a silicon body, which possesses a cavity for the sensoric fluid. A membrane separates the sensoric fluid from the media letting only molecules pass with up to 6kDa in weight.

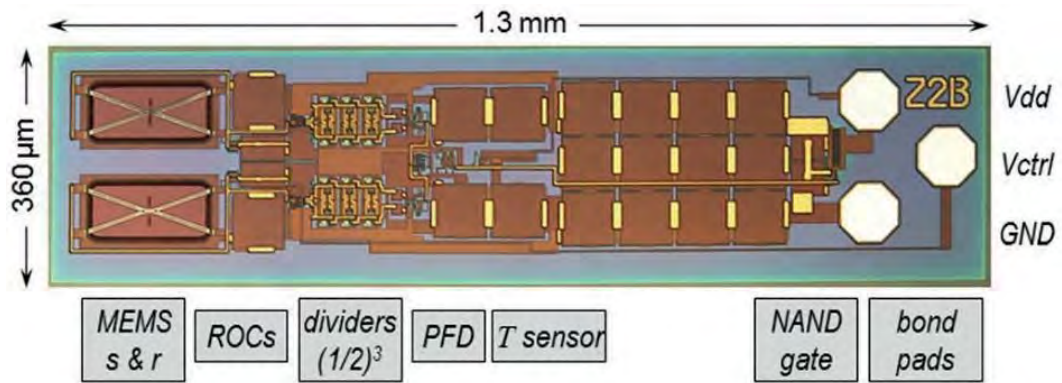


Figure 3: design of the chip used for the detection of changes in viscosity; design shows an example of an X-shaped beam for the sensor[5]

The transformation cascade of the signal reflects in the change of glucose concentration resulting in a shift of viscosity. This is followed by the change of the beam deflection time leading to an increase or decrease in capacitance and frequency tuning. A defined voltage, a so-called V-control, is set and the beam switch time t_{sw} is detected and correlated to the glucose concentration.

3. Detection of V-control values

For the detection of different glucose concentrations, a voltage is required, which induces a beam switch with a low Noise-to-Signal ratio during the measurement. A setup was used to detect the best voltage DMEM media with a glucose concentration of 2.25 mg/ml at 37°C stirred over 12 hours. The sensor chip was placed in a micro dialyser tube with a 6kDa membrane cut off. Furthermore, a workstation was required to record data as well as a software, in this case MibsView, to set different voltage levels. The basic steps for analysing a given V-control are a) set V-control b) start analysis c) record switch time for every 10 seconds over 20 minutes. These steps are repeated for every pre-defined V-control setting until the maximum V-control value has been reached.

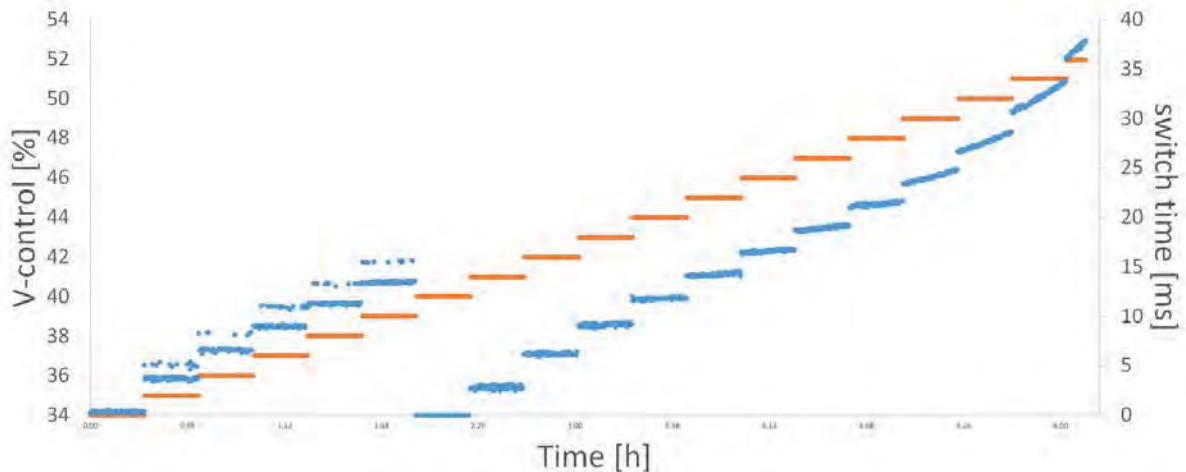


Figure 4: set V-control (orange), detected switch time for set V-control (blue), switch time below V control 40% are uneven whereas V-control above 40% are smooth till V-control of 47%, low spread of measured switch times indicate a low Noise-to-Signal ratio

4. V-control values

The V-control range is defined by the manufacture's processing of the chip. For this measurement, the V-control range was set to be between 34% and 52%. Every 20 minutes the V-control was increased by one and the occurring switch time detected. It is important to increase the V-control only in small steps to detect the lowest Noise-to-Signal ratio to reduce

any errors during the glucose concentration analysis later on. First, the raw detection data has to be enhanced and modified to calculate the Noise-to-Signal ratio. Afterwards the Noise-to-Signal ratio is calculated with the following equation:

$$NSR = \frac{P_{noise}}{P_{signal}} = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

Hereby is σ the standard deviation of the noise and μ the mean of the signal.

V-control set below 40% or above 48% corresponds to high Noise-to-Signal ratios, which are not usable for any glucose concentration analysis. The best Noise-to-Signal ratio was detected at a V-control of 46% with 0,008. The corresponding switch time averages at around 16,6ms, which is optimal for the beam, which could result in breakage of the beam. The N-population for given results is sufficient to show a statically significant Noise-to-Signal ratio. Fig 5 shows the different V-controls of the lowest Noise-to-Signal ratios demonstrating a V-control of 46% as optimal value. Taking a closer look at the values of other V-controls shows that V-control of 44% or 48% are in close range to the best Noise-to-Signal ratio, but their switch time is too quick respectively too slow. It is necessary to obtain a sufficient signal value for reproducible experiments with known and unknown glucose concentration. A V-control lower than 46% with its corresponding switch time of 14,24 ms or lower represents a signal strength, which is not satisfactory for further tests with the sensor.

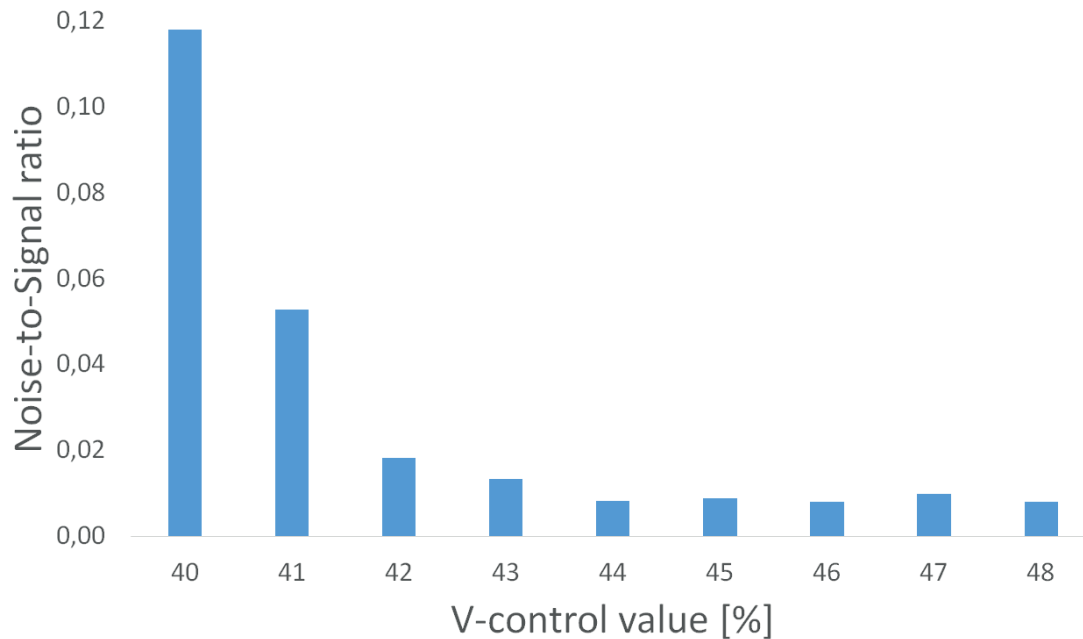


Figure 5: Noise-to-Signal ratio for corresponding V-control values; V-control of 46% presents the optimal Noise-to-Signal ratio with 0,008

Lower V-control values show even faster switch times and therefore cannot be considered for further testing. In addition, the corresponding Noise-to-Signal ratios are above the optimal ratio, which leads to the exclusion of these values. Opposite to low V-control values, high V-control values of 47% or above show a satisfactory switch time. On the downside, these switch time signals are paired with a high standard deviation marking a high variation in those values. This corresponds to the Noise-to-Signal ratio indicating that during measurement of known or unknown glucose concentrations errors will influence the analysis. Thus, if an unknown glucose concentration is to be analysed its respective switch time t_{sw} could result in an error during the measurement since the V-control switch time was too fast. In addition, very rapid switch times can also induce extremely high stress on the beam followed by irreversible bending or even breakage. Therefore, the switch time must be viewed in context

with the used glucose concentration for the measurement. This glucose sensor will be used mostly in biological environments, which are in the range of 0 mg/ml to 2.5 mg/ml of glucose in a solution. As mentioned earlier, in this experiment a glucose concentration of 2.25 mg/ml was used representing a concentration close to the maximum of the glucose concentration range. Thus, the switch time of 16,6 ms represents a close to the maximum achievable switch time and can be considered an optimal switch time without the risk of a mechanical malfunction.

5. Outlook

Finding the optimal V-control was one key aspect to take the next step in calibrating the sensor with known glucose concentrations. It is necessary to analyse these glucose concentrations with a close to zero Noise-to-Signal ratio to reduce any errors in generating the calibration graph. A possible error are pH drifts during the measurement, which shall be kept constant for further analysis. After achieving a close to error free calibration curve the detection of unknown glucose concentrations can be achieved. This shall be carried out in a micro-bioreaction chamber due to the small size of the sensor.

6. References

- [1] A. Böhme, G. Gatomski, C. Giese, C.-H. Edel und A.-H. Foitzik, „A disposable and miniaturized bioreactor system for applications in cell and tissue based experimental in vitro environments," *Journal of Engineering and Technology*, Bd. 1, 2010.
- [2] J. Raba und H. A. Mottola, „Glucose oxidase as an analytical reagent," *Critical reviews in Analytical chemistry*, Bd. 25, Nr. 1, pp. 1-42, 1995.
- [3] K. D. Hardman und C. F. Ainsworth, „Structure of concanavalin A at 2.4-Ång resolution," *Biochemistry*, Bd. 11, Nr. 26, pp. 4910-4919, 1972.
- [4] Y. Zhao, S. Li, A. Davidson, B. Yang, Q. Wang und Q. Lin, „A MEMS viscometric sensor for continuous glucose monitoring," *Journal of micromechanics and microengineering*, Bd. 17, Nr. 12, p. 2528, 2007.
- [5] M. Birkholz, K.-E. Ehwald, T. Basmer, P. Kulse, C. Reich, J. Drews, D. Genschow, U. Haak, S. Marschmeyer, E. Matthus und others, „Sensing glucose concentrations at GHz frequencies with a fully embedded Biomicro-electromechanical system (BioMEMS)," *Journal of Applied Physics*, Bd. 113, Nr. 24, pp. 244904-244904, 2013.
- [6] M. Birkholz, K.-E. Ehwald, D. Wolansky, I. Costina, C. Baristiran-Kaynak, M. Frohlich, H. Beyer, A. Kapp, and F. Lisdat, *Surf. Coat. Technol.* 204, 2055 (2010).

CdZnTe als Strahlungsdetektor in der therapeutischen Medizin

David Weinberger^{1,3,4}, Katja Römer³, Benjamin Lutz³, Fine Fiedler³ und Thomas Kormoll²

¹Hochschule Mittweida, Fachbereich Ingenieurwissenschaften

²Technische Universität Dresden, Institut für Kern- und Teilchenphysik

³Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Institut für Strahlenphysik

⁴Technisch Universität Chemnitz, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

d.weinberger@hzdr.de

Abstract: Alternativ zu Operation und Chemotherapie bei der Behandlung von Tumoren hat die Strahlentherapie einen festen Platz in der medizinischen Behandlung eingenommen. Neben der Therapie mit Röntgenstrahlung werden auch geladene Atome als Teilchenstrahl verwendet. Diese haben eine endliche Reichweite in Materie und deponieren keine schädliche Dosis dahinter. Um diesen Vorteil nutzen zu können muss die Eindringtiefe des Strahls erfasst werden. CdZnTe als Strahlungsdetektor besitzt dieses Potential. ^A

1. Einleitung

1.1 Behandlung von Tumorerkrankungen mittels Protonenbeschleuniger

Als besonders effektiv bei der Behandlung von Tumorerkrankungen, neben der Chemotherapie oder der Operation, gilt die Strahlentherapie mit einem geladenen Teilchen. Hierbei werden Atome beschleunigt bis sie eine definierte Geschwindigkeit besitzen. Dabei entspricht die kinetische Energie der Teilchen einer bestimmten Reichweite in Materie. Am Ende der Eindringtiefe im Gewebe wird dann nahezu die gesamte Teilchenenergie präzise deponiert. Dies ermöglicht eine gezielte Zerstörung von erkranktem und eine Schonung des umliegenden gesunden Gewebes. Der Verlauf dieser Wechselwirkung zwischen Teilchenstrahl und Materie wird durch die Bragg-Kurve und das Maximum am Ende als Bragg-Peak beschrieben. ^A

Die abgebremsten Teilchen geben Ihre Energie an Elektronen ab, welche dann das Erbgut der Tumorzelle zerstören. Die Zelle verliert die Fähigkeit sich zu teilen und stirbt ab. Bei einer präzisen und kontrollierten Bestrahlung mit dieser Methode sinkt das Risiko von Nebenwirkungen, im Vergleich zu herkömmlichen Therapieformen, erheblich. Um diesen Vorteil der Protonen- oder Teilchenstrahlung voll nutzen zu können, muss die Eindringtiefe der beschleunigten Teilchen noch während der Behandlung erfasst werden, um geringfügige Abweichungen vom Bestrahlungsplan sofort korrigieren zu können. ^A

Die deponierte Energie im erkranktem Gewebe erzeugt für einen kurzen Zeitraum Gammastrahlung mit Energien von einigen hundert Kiloelektronenvolt (keV), welche das

Gewebe nahezu ungedämpft durchlaufen können. Mit Detektoren nahe am Patienten kann diese Strahlung erfasst und zur Reichweitenkontrolle sowie Dosimetrie genutzt werden. Diese Methode wird derzeit als eine der aussichtsreichsten Therapieformen betrachtet.

1.2 CdZnTe zur Reichweitenkontrolle in der therapeutischen Medizin

Zur Erfassung von Gammastrahlung gibt es eine Vielzahl an Methoden und Detektoren mit den unterschiedlichsten Eigenschaften. Dennoch sind nicht alle für den Einsatz in einem klinischen Umfeld geeignet, aufgrund zu hoher Betriebsspannung (mehrere tausend Volt) oder einer notwendigen Detektorkühlung. Cadmium-Zink-Tellurid (CdZnTe) als Detektor zur direkten Erfassung von Gammastrahlung ist eine vielversprechende Möglichkeit für die Reichweitenkontrolle in der Strahlentherapie. Dieser hochohmige Volumendetektor besitzt eine relativ große Bandlücke, so dass dieser ohne zusätzliche Kühlung bei Raumtemperatur betrieben werden kann. Des Weiteren besitzt CdZnTe eine hohe Dichte und Kernladungszahl, was zu einer hohen Absorptionseffizienz des Detektors für Gammastrahlung bis in den Bereich weniger Megaelektronenvolt (MeV) führt. Zwei weitere sehr wichtige Kriterien für den Einsatz zur Reichweitenkontrolle in der therapeutischen Medizin als Strahlungsdetektor sind die Zeitauflösung (Fluktuation bei der Erfassungsdauer eines Ereignisses) und die Energieauflösung (Genauigkeitsschwankung der erfassten Photonenenergie pro Ereignis). Bei einem Volumendetektor stellt die Energieauflösung eine besondere Herausforderung dar.

2. CdZnTe - Ein Volumenhalbleiter und seine Anwendungseigenschaften

2.1 Von der Strahlung zum Detektorsignal

CdZnTe ist ein Volumenhalbleiter, der mit einer einfallenden Gammastrahlung direkt wechselwirkt und diese in eine energieäquivalente Menge an Elektronen-Loch-Paare wandelt. Wird nun am Detektor ein elektrisches Feld angelegt, so können die Ladungsträgerpaare nicht rekombinieren und die generierten Ladungsträger beginnen zu den Rändern des Detektors zu driften, wo sie dann gesammelt werden können. Folgende Abbildung soll dies verdeutlichen:

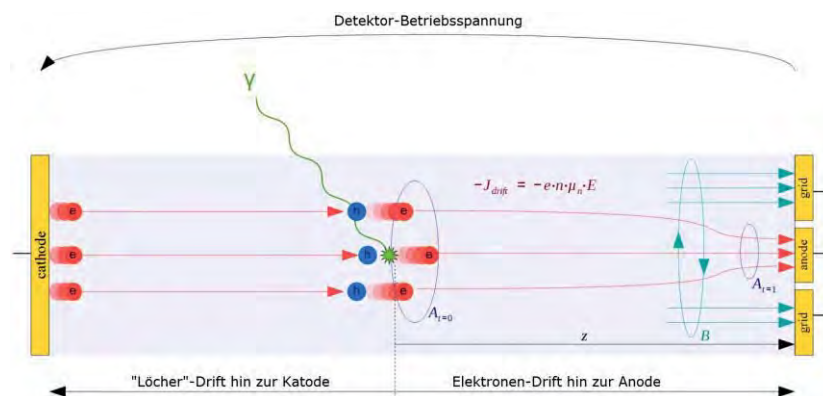


Abbildung 1: Generation von Ladungsträgern und Drift zu den Elektroden

In Abbildung 1 wird die Herausforderung am Volumendetektor erkennbar: Die Ereignisse können in verschiedenen Tiefen des Detektors stattfinden. Somit haben die generierten Ladungswolken unterschiedlich lange Wege zur Elektrode. Auf die Zeitauflösung des CdZnTe-Detektors hat das jedoch kaum Auswirkung, da die Beweglichkeit der Löcher sehr viel geringer ist, als die der Elektronen. Das bedeutet, sobald die Ladungsträgerwolke im Detektormaterial erzeugt wurde, bewegen sich Elektronen von der Katode zum Generationsort, unabhängig von der Generationstiefe. Problematisch ist hierbei die driftende Ladungsträgerwolke zur Anode. Üblicherweise wird an der Anode die Generationsladung mit einem ladungsempfindlichen Verstärker (Integrator) gesammelt und dessen Amplitude als Wert der deponierten Energie interpretiert. Jedoch wird so nur eine relativ schlechte Energieauflösung erreicht, beispielsweise bei anodennahen Ereignissen durch den Charge-Sharing-Effekt oder bei Katodennähe durch Rekombination auf der Driftstrecke zur Anode. Ein weiterer, bislang unbeachteter Effekt, ist der tiefenabhängige Driftstrom, der durch die Ladungsträgerbewegung in die Anodenelektrode induziert wird und so zu einem zusätzlichen Energiebeitrag am ladungsempfindlichen Verstärker führt, was wiederum zu einer Verschlechterung der Energieauflösung des Detektors führt.

2.2 Energieauflösung: Driftstrom und Pulsform an der CdZnTe-Anode

Um eine Pulsformenanalyse an den Anodensignalen durchführen zu können, und damit verbunden eine Energiekorrektur, wurde ein Detektormodell in OrCAD Capture CIS erstellt. Dieses soll den Einfluss des Driftstromes verdeutlichen und eine Möglichkeit zur Tiefenkorrektur aufzeigen. Das Ergebnis der Simulation ist in nachfolgender Abbildung dargestellt:

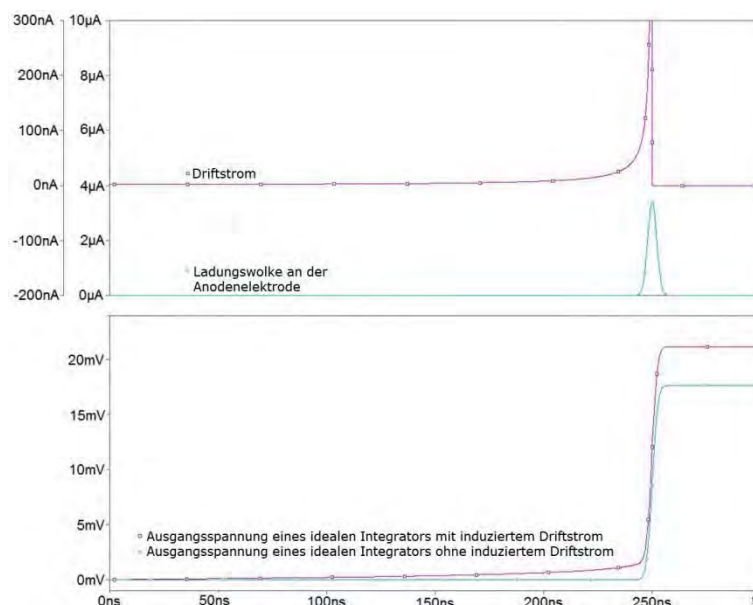


Abbildung 2: Simulation der Anodensignale mit und ohne Driftstromeinfluss

Der obere Simulationsteil zeigt den Strom der während der Ladungsbewegung in die Anode induziert wird, sowie die normalverteilte Ladungswolke, die am Ende des Driftvorganges an der Anode anliegt. Die untere Simulation zeigt das Ausgangssignal eines idealen ladungsempfindlichen Verstärkers mit und ohne Driftstromeinfluss. Erkennbar ist, dass der tiefenabhängige Driftstrom einen wesentlichen Beitrag zur Energieauflösung des Volumendetektors beiträgt und korrigiert werden muss. Für die Messungen und Bestätigung diesen Effektes wurde ein CdZnTe-Streifendetektor von Baltic Scientific Instruments (BSI) gewählt, der aus 16 Anoden- und Katodenstreifen, sowie einem Steuergitter besteht. Den Einfluss des Driftstromes und seine Tiefeninformation zeigt folgende Messung mit einer radioaktiven Prüfquelle (^{137}Cs):

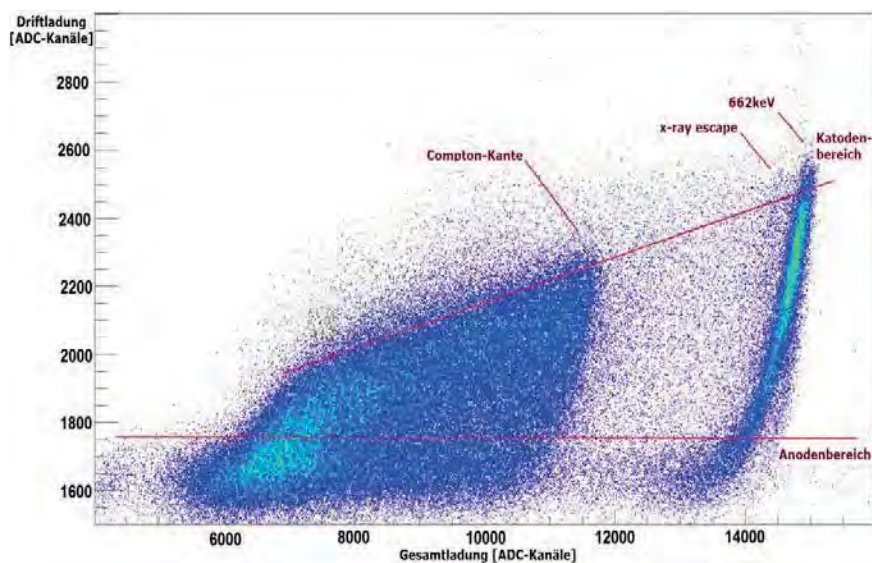


Abbildung 3: Tiefeninformation des induzierten Driftstromes

Auf der Y-Achse wurde das Integral des Driftstromes (Driftladung) und auf der X-Achse des gesamten Detektorsignals (Gesamtladung) aufgetragen. Mit diesen Informationen ist es nun möglich die Energieauflösung des Detektors deutlich zu verbessern, indem man zum einen die Signale nahe der Anode entfernt (unvollständige Ladungssammlung) und die „Bananen“-Form korrigiert. Das Ergebnis einer solchen Tiefenkorrektur zeigt die folgende Abbildung:

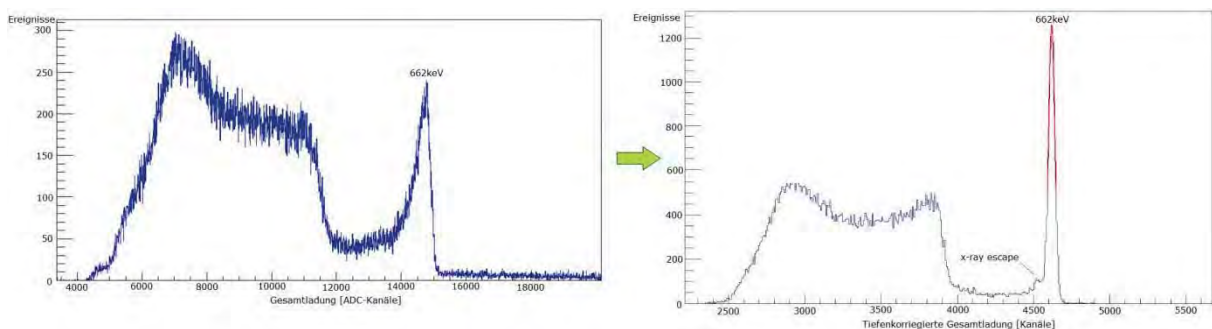


Abbildung 4: Energiespektren einer ^{137}Cs -Prüfquelle vor und nach der Driftstromkorrektur

Diese Methode der Tiefenkorrektur ermöglicht eine Verbesserung der Energieauflösung des CdZnTe, bei einer Energie von 662keV, von FWHM = 2.64% (vor der Driftstromkorrektur) zu FWHM = 1.05%.

2.3 Zeitauflösung: Bremsstrahlung an ELBE

Das zweite Kriterium eines Strahlungsdetektors in der therapeutischen Medizin ist die Zeitauflösung, um beispielsweise Signale im Detektor einem Ereignis des Beschleunigers zuordnen zu können. Hierzu wurde der CdZnTe am Zentrum für Hochleistungs-Strahlungsquellen ELBE des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf getestet. ELBE (Elektronen Linearbeschleuniger für Strahlen hoher Brillanz und niedriger Emittanz) bietet einen gepulsten Elektronenstrahl an, mit einer Pulsbreite von 5ps und Energien bis zu 13MeV, welcher auf einen Niobium-Radiator^c gelenkt werden kann, wobei ein breites Spektrum an Gammastrahlung entsteht (Bremsstrahlung). Für die Messung der Zeitauflösung des CdZnTe wurde die Zeitdifferenz zwischen dem Referenzsignal des Beschleunigers und den erfassten Ereignissen an einer Detektorkatode gebildet. Hierbei wurde ein Detektorereignis als Startsignal der Zeitmessung und das verzögerte Referenzsignal des Beschleunigers als Stoppsignal gewählt. Gemessen wurde mit einem CAEN Digitizer DT5730B (14-Bit Auflösung bei 500MSPS). Das Ergebnis zeigt folgende Abbildung:

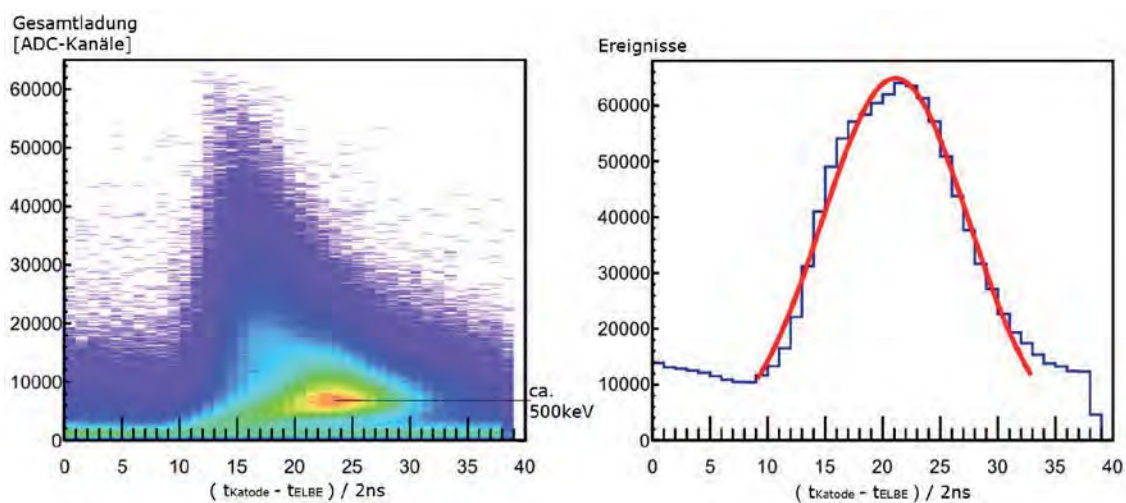


Abbildung 5: Zeitauflösung mit Bremsstrahlung an ELBE

Das hier verwendete CdZnTe-Detektorsystem erreichte eine Zeitauflösung (inklusive ladungsempfindlichen Verstärker und Digitizer) von ca. 2ns bei einer Strahlungsenergie von 500keV.

3. Fazit

Der verwendete CdZnTe, zur Erfassung von Gammastrahlung in der therapeutischen Medizin, erreicht eine Energieauflösung von $\text{FWHM} = 1.05\%$ bei Photonen mit einer Energie von 662keV und ist somit besser als die meisten Szintillationsdetektoren. Er wird dabei mit Raumtemperatur und ohne zusätzliche Kühlung betrieben und benötigt nur wenige hundert Volt Betriebsspannung. Die Zeitauflösung des verwendeten CdZnTe ist ebenfalls ausreichend für die Zuordnung von zyklischen Ereignissen eines medizinischen Beschleunigers zu einem Detektorsignal. Der Protonenbeschleuniger am OncoRay arbeitet beispielsweise mit einer Wiederholfrequenz von ca. 106MHz, was einem Ereignisabstand von ca. 9.4ns entspricht.

CdZnTe ist somit eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Detektoren für Gammastrahlungen im Energiebereich bis wenigen MeV.

4. Ausblick

Die nächsten Schritte sollen die Ermittlung der Ortsauflösung, über die Rekonstruktion des Emissionsortes einer Strahlungsquelle und eine Reduktion (Halbierung) der Detektor-Auslesekanäle über die Doppelnutzung der Katodensignale (Energie und Zeit) sein.

4. Quellen und Referenzen

- ^A OncoRay – National Center for Radiation Research in Oncology
<http://www.oncoray.de/de/forschung/sektionen-und-forschungsgruppen/medical-radiation-physics/>
- ^B A Compton imager for in-vivo dosimetry of proton beams - A design study
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research
A 678 (2012) 13, T. Kormoll, 2011
- ^C The photon-scattering facility at the superconducting electron accelerator ELBE
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research
A 555 (2005) 211–219, R. Schwengner, 2005

Untersuchungen zur Beziehung zwischen dem genetischen und dem phänotypischen Trend für die Nutzungsdauer bei DH-Kühen

Thomas Kunze, Martin Wähner
Hochschule Anhalt, Fachbereich LOEL
thomas.kunze@hs-anhalt.de

1 Einleitung

Ein Grundanliegen eines verantwortungsvoll arbeitenden Milchproduzenten ist eine lange Nutzungsdauer seiner Kühe. Die Milchleistung der Kühe bei der Rasse Deutsche Holsteins (DH) stieg in den letzten 25 Jahren rasant an. Von den Betrieben wird jedoch vermehrt von einer Stagnation bzw. sogar von einer Verkürzung der Nutzungsdauer der Kühe berichtet. Hohe Remontierungsraten sind der Beleg dafür. Dabei ist die Nutzungsdauer jedoch eine entscheidende Größe im Zuchtziel der DH- Rinder. Die Folgen reichen weit und sind vielseitig. Eine nicht vollständige Ausschöpfung des Leistungspotentials der Tiere sowie ökonomische Nachteile für die Betriebe seien an dieser Stelle beispielhaft genannt.

Die Nutzungsdauer beschreibt nach dem DHV (2016) als funktionales Merkmal die Gesundheit und die Konstitution einer Kuh. Mit der Wertigkeit von 20% leistet sie einen großen Beitrag zum RZG, dem Gesamtzuchtwert. Sie bildet neben dem Relativzuchtwert Milchleistung (RZM, 45%) den zweitgrößten Komplex des RZG.¹

Aufgrund der hohen Leistung der Tiere und der damit einhergehenden hohen Stoffwechsellistung des Organismus sind die Anforderungen der Kühe an ihre Umwelt besonders hoch. Genetik und Umwelt müssen generell im Gleichgewicht stehen, um eine optimale Ausprägung des Phänotyps zu gewährleisten. Nur so ist das Erzielen hoher Leistungen unter tiergerechten Gesichtspunkten vorstellbar. Das ist vor allem dann wichtig, wenn die Heritabilität eines Merkmals so niedrig ist, wie bei dem funktionalen Merkmal der Nutzungsdauer. Der h^2 - Wert beträgt 0,16.² In dieser Untersuchung soll das funktionale Merkmal bei Deutschen Holstein- Kühen für mehrere Betriebe aus Sachsen- Anhalt und einem Betrieb aus Brandenburg untersucht werden.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung erfolgte in 15 milcherzeugenden Betrieben. Der Großteil, 14 Betriebe, ist im Bundesland Sachsen- Anhalt ansässig. Lediglich ein Betrieb wirtschaftet auf brandenburgischem Boden. Die Erhebung der Daten erfolgte in einem Zeitraum von November 2015 bis Januar 2016. Die Auswahl der Betriebe erfolgte nach der Größe der Milchkuhherde. Zwischen den Herdengrößen bestehen Unterschiede von 60 bis zu 2.640 gehaltenen Kühen (Tab. 1).

Tabelle 1: Anzahl der melkenden Kühe und Größenkategorie der einzelnen Betriebe

Betrieb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Melk. Kühe n	696	75	520	320	100	60	1.000	201	620	580	730	86	220	415	2.640
Größenklasse	4	1	3	3	2	1	5	2	4	4	4	1	2	3	5

Aus den Bestandsgrößen lassen sich die Betriebe in fünf Kategorien einteilen. Ziel war es, dass in jeder der fünf Gruppen nahezu gleich viele Betriebe vertreten sind (Tab. 2).

Tabelle 2: Einteilung und Häufigkeit des Auftretens der fünf Größenklassen

Kategorie	Tierzahl	Häufigkeit n
1	< 100	3
2	< 250	3
3	< 550	3
4	< 1.000	4
5	≥ 1.000	2

Von den 15 Betrieben wurden mit einem Fragebogen die Produktionsbedingungen erfragt und miteinander verglichen. Neben Parametern der Milchproduktion, wie die Art der Haltung und Aufzucht, das Erstbesamungs- und Erstkalbealter oder auch der durchschnittlichen Zwischenkalbezeit wurden auch ackerbauliche Aspekte erfragt.

Zur Verarbeitung und statistischen Analyse der Daten wurde Standardmethodik angewandt, d.h. es wurden einfache Vergleiche durchgeführt. Das Datenmaterial wurde mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2010 verarbeitet und mit den statistischen Analyseprogramm SPSS (Version 22.0) ausgewertet. Ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ wurde für die gesamte statistische Auswertung angenommen. Korrelationen nach PEARSON wurden ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Das Abgangsalter der Kühe betrug durchschnittlich $4,83 \pm 2,01$ Jahre. Die Tiere wurden dabei $2,63 \pm 1,97$ Jahre lang genutzt. Sie wurden damit leicht länger genutzt, als es mit 2,5 Jahren nach MARTENS und BREVES (2010)³ bzw. nach NAUMANN (2011)⁴ festgestellt wurde (Abb. 1).

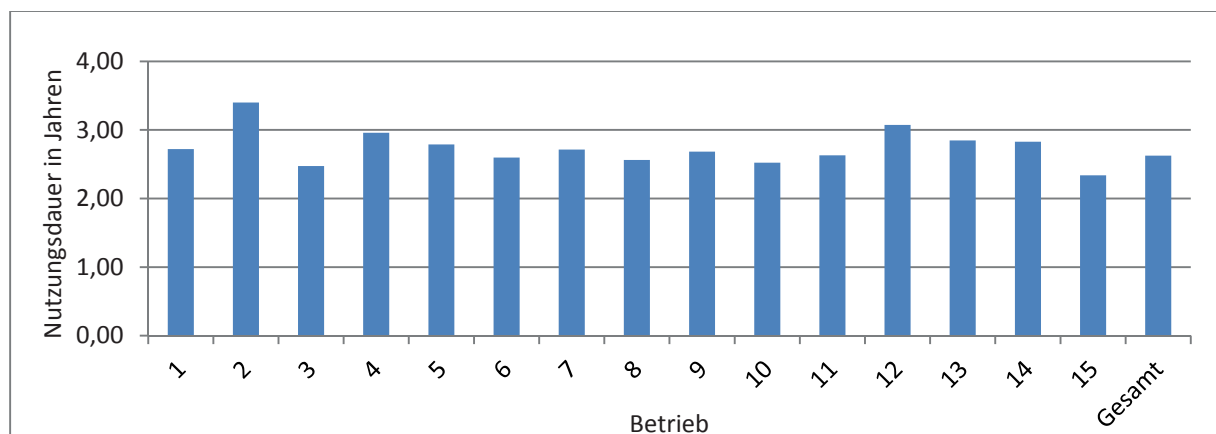


Abbildung 1: Nutzungsdauer der Kühe in Jahre, geordnet nach Betrieb (n=31.715)

Die Lebensleistung betrug mittlere $22.707,63 \pm 18.307,83$ kg Milch. Damit wird eine anvisierte und potentiell mögliche Leistung von über 40.000 kg weit verfehlt.⁶ Der RZN, Ausdruck des Teilzuchtwertes funktionale Nutzungsdauer, der eingesetzten Bullen lag im Mittel bei $101,39 \pm 9,49$ Punkte (Abb. 2).

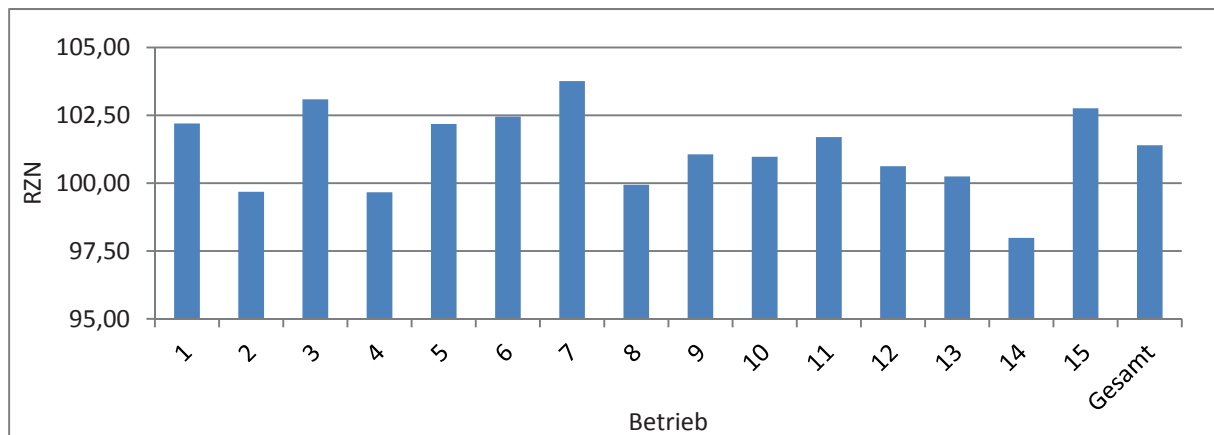


Abbildung 2: RZN der Bullen, geordnet nach Betrieb (n=26.894)

Die genetische Veranlagung der Nutzungsdauer und ihre phänotypische Ausprägung verhielten sich in den Betrieben gegenläufig. In der Konsequenz daraus ist der RZN der Bullen nur sehr begrenzt als Voraussage der späteren Nutzungsdauer der Kühe zu verstehen. Es besteht demzufolge eine erhebliche Wirkung anderer (Umwelt-) Faktoren auf die Ausprägung der Nutzungsdauer der Kühe.

Zwischen fünf Betriebsgrößenklassen unterschied sich sowohl die Nutzungsdauer der Kühe, als auch der RZG und der RZN signifikant voneinander. Das genetische Vermögen des Vaters stieg dabei mit zunehmender Herdengröße an. Der RZG ($106,21 \pm 12,31$ Punkte) und der RZN ($102,99 \pm 9,91$ Punkte) der Väter waren am größten in Betrieben mit über 1.000 gehaltenen Kühen. Die Nutzungsdauer der Töchter sank dagegen signifikant mit einer steigenden Herdengröße. Dieser Verlauf entspricht den Erkenntnissen von KOPKA (2012).⁵ Ein Unterschied von 0,6 Jahren Nutzungsdauer wurde zwischen Herden mit unter 100 und solchen mit über 1.000 Kühen festgestellt. Die mittlere Nutzungsdauer der Tiere betrug in den kleinen Herden $3,05 \pm 2,16$ Jahre. In großen Herden betrug sie $2,45 \pm 2,01$ Jahre. Die Spannweite war dabei je nahezu identisch. Das physiologische Leistungsmaximum wird allerdings erst in der dritten bis vierten Laktation erreicht.⁴ Ein Abgang während der dritten Laktation entspricht demzufolge einer unvollständigen Ausnutzung dieses Potentials. Die durchschnittlichen Lebensmilchleistungen waren in Herden mit mindestens 1.000 Kühen, trotz der geringeren Nutzungsdauer der Kühe, deutlich größer, als in kleineren Herden. Mit $24.447,01 \pm 19.836,74$ kg wurden ca. 5.600 kg Milch mehr gemolken, als in Herden mit 100- 249 Kühen.

Es wurden Korrelationen zwischen der Nutzungsdauer und anderen Merkmalen ermittelt. Diese waren überwiegend hochsignifikant. Die Nutzungsdauer als phänotypische Leistung korrelierte mit dem genetischen RZN der Bullen bei $r = 0,031$. Diese Korrelation ist damit sehr gering. Das Ergebnis war hochsignifikant. Der Zusammenhang der Nutzungsdauer mit den

Parametern RZG und RZM der Bullen betrug $r = -0,152$ bzw. $r = -0,154$ und war hochsignifikant. Diese Werte sagen aus, dass mit einem hohen RZG bzw. RZM der Bullen die tatsächliche Nutzungsdauer der Kühe geringer wird. Über den Einsatz eines Bullen mit hohen Werten im RZG lässt sich die Nutzungsdauer der Bullen also offensichtlich nicht erhöhen. Die Milchleistung ist dafür ein besser geeigneter Faktor. Die Nutzungsdauer unterscheidet sich je nach der Milchleistung innerhalb einer Laktation hochsignifikant bei $r = 0,466$ (Abb. 3).

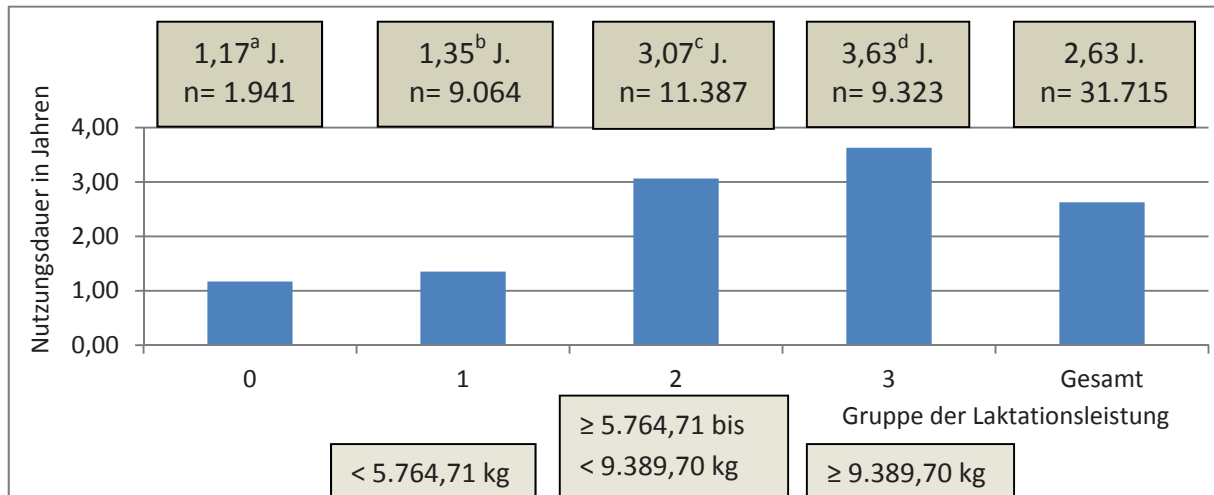


Abbildung 3: Mittlere Nutzungsdauer der Kühe in Jahren in Abhängigkeit von der Gruppe der Leistung je Laktation (n= 31.715)

Es entscheidet sich also offenbar nach der Laktationsleistung, wie lange eine Kuh im Bestand bleibt und genutzt wird. Um diese Laktationsleistung und damit folglich auch indirekt die Dauer der Nutzung zu erhöhen, werden offensichtlich Bullen mit hohem RZG und damit hohem RZM – der RZG setzt sich zu 45% aus dem RZM zusammen – zur Anpaarung an die Kühe ausgewählt. Die geringen Korrelationen des Phänotyps Nutzungsdauer zu den genetischen Teilzuchtwerten der Bullen deuten jedoch auf einen Trugschluss hin. Die Werte sind dabei statistisch abgesichert (Tab. 3).

Tabelle 3: Korrelationen ausgewählter Kennzahlen (n=31.728)

Kennzahl	V_RZG	V_RZZ	V_RZN	Mkg/ Lakt.
ND (a)	-,152 ^{**}	,074 ^{**}	,031 ^{**}	,466 ^{**}
V_RZG	1	,005	,579 ^{**}	-,004
V_RZN			1	,001

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

4 Fazit

Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Holstein-Kühen ist kurz. In der vorliegenden Studie betrug sie im Durchschnitt $2,63 \pm 1,97$ Jahre. In größeren Herden ist gegenüber kleineren Herden mit einer geringeren Nutzungsdauer der Kühe zu rechnen. Verwunderlich dabei ist, dass mit zunehmender Herdengröße genetisch bessere Bullen eingesetzt werden (konnten). Mit zunehmender Herdengröße ist im Trend eine steigende Lebensmilchleistung der Kühe zu

erwarten. Das ausgewiesene Potential der DH- Kühe von über 40.000 kg Milch wird dennoch im Gesamtdurchschnitt mit 22.707,63 kg weit verfehlt. Es beträgt nur knapp mehr als die Hälfte des Wertes. Die Nutzungsdauer wird offensichtlich zu einem nicht unerheblichen Teil von der Milchleistung der Kühe je Laktation vorgegeben. Der Einfluss von Umweltfaktoren auf die Nutzungsdauer der Kühe ist im hohen Maße gegeben.

5 Literatur

- ¹ DHV, 2016-a: DEUTSCHER HOLSTEIN VERBAND E.V.: Zuchtwertschätzung; <http://www.holstein-dhv.de/zuchtwertschaetzung.html>; gesehen am: 03.03.2016.
- ² VIT, 2015: Beschreibung der Zuchtwertschätzung für Milchleistungsmerkmale, Zellzahl, Exterieurmerkmale, Nutzungsdauer und Zuchtleistungsmerkmale. Stand Dezember 2015.
- ³ MARTENS, H. und BREVES, G., 2010: Physiologische Grenzen der Hochleistungskuh. Aus: VON ENGELHARDT, Wolfgang und BREVES, Gerhard, 2010: Physiologie der Haustiere. S. 648- 649; Enke Verlag; ISBN: 978-3-8304-1078-2.
- ⁴ NAUMANN, A., 2011: Nutzungsdauer und Lebenseffektivität der Milchkühe in Sachsen-Anhalt. 32. Tag des Milchviehhalters in Sachsen-Anhalt.
- ⁵ KOPKA, M.-M., 2012: Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren, im Besonderen des Kalbeverlaufs, auf die späteren Leistungen der Kühe. Masterarbeit.
- ⁶ DHV, 2016-b: DEUTSCHER HOLSTEIN VERBAND E.V.: Zuchtziel Deutsche Holsteins: <http://www.holstein-dhv.de/zuchtziel.html>; gesehen am: 03.03.2016.



unterstützt durch die Landwirtschaftliche Rentenbank
www.rentenbank.de

DBB

Deutscher Bauernbund e.V.
Adelheidstr. 1; 06484 Quedlinburg

Broadcast in Netzwerken und Regenbogenfärbung von Graphen

Sara Kischnick, Peter Tittmann
Hochschule Mittweida, Fachbereich Mathematik
kischnic@hs-mittweida.de

Abstract: Moderne Kommunikationsnetzwerke bilden heute die entscheidende Basis für alle Arten von Datenübertragung. Speziell in mobilen Ad-hoc-Netzwerken spielt Broadcasting, das heißt die Übertragung von einer Quelle im Netzwerk zu allen anderen Knoten, eine wesentliche Rolle. In diesem Beitrag zeigen wir, wie Regenbogenfärbungen von Graphen für die mathematische Modellierung dieses Kommunikationsverfahrens genutzt werden können.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat die drahtlose Kommunikationstechnik eine immer entscheidendere Rolle eingenommen. Bedeutende Themen sind die Kommunikation in und zwischen Fahrzeugen, in der Robotertechnik und in Mobilfunknetzen. Ein wichtiges Kriterium in diesen Kommunikationsnetzen ist die Art der Datenübertragung. Es ist beispielsweise möglich, Nachrichten an einen bestimmten Teilnehmer zu senden oder alle Teilnehmer in einem Netz gleichzeitig zu informieren (Broadcast). Ein Gebiet, in dem Broadcast eine besondere Rolle spielt, ist die Kommunikation zwischen Fahrzeugen. Wenn Fahrzeuge untereinander kommunizieren können, ist es möglich, dass sie sich gegenseitig vor Gefahren, beispielsweise vor überfrorenen Stellen, oder vor Behinderungen an schlecht einsehbaren Stellen, zum Beispiel hinter Kurven, warnen können. Um derartige Kommunikationsnetze modellieren zu können, werden die Fahrzeuge als Knoten betrachtet und die Kommunikationsverbindungen als Kanten dargestellt. Die entstehenden Graphen werden als geometrische Zufallsgraphen bezeichnet.

Es wird angenommen, dass eine Nachricht jede Kante in einem Zeitschritt überwinden kann. Wenn der Startknoten die Nachricht nur einmal abschickt, muss zu jedem Knoten, der erreicht werden soll, ein Weg existieren. Jede Kante auf diesem Weg muss unter Berücksichtigung von zufälligen Kantenausfällen zu mindestens einem Zeitpunkt intakt sein, dabei müssen auf diesem Weg alle Kanten zu verschiedenen Zeitpunkten funktionsfähig sein, damit die Nachricht von Knoten zu Knoten übertragen werden kann. Dabei sollten die Zeiten theoretisch ansteigen, je weiter sich die Nachricht von ihrem Startknoten entfernt – mathematisch kann jedoch gezeigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte (aufsteigende) Reihenfolge der Zeiten genauso groß ist wie jede andere beliebige (nicht aufsteigende) Reihenfolge. Daher soll die Reihenfolge der Zeitpunkte nicht weiter betrachtet werden. Jeder Zeitpunkt wird nun durch eine Farbe dargestellt, wobei verschiedene Zeitpunkte auch verschiedene Farben bekommen. Da die Kanten auf den Wegen zu den Empfängerknoten jeweils zu anderen Zeitpunkten aktiv waren, erhalten alle Kanten nun auch verschiedene

Farben. Damit entsteht ein Regenbogenweg. Wenn alle Knotenpaare solch einen Regenbogenweg aufweisen, ist der Graph regenbogengefärbt.

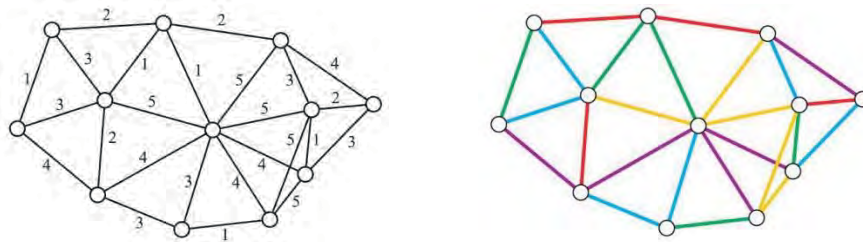


Abbildung 1: Die Kanten in einem geometrischen Zufallsgraph sind zu bestimmten Zeiten aktiv, die unterschiedlich sein müssen, damit die Nachrichten übertragen werden können (links). Die Zeiten werden als Farben dargestellt, damit ergibt sich ein regenbogengefärbter Graph (rechts).

2. Regenbogenfärbung von Graphen

2.1 Grundlagen

Sei $G = (V, E)$ ein Graph mit der Knotenmenge $V(G)$ und der Kantenmenge $E(G)$. Ein Weg zwischen zwei Knoten u und v in G ist eine Folge von Knoten und Kanten, bei der jeder Knoten höchstens einmal verwendet wird. Ein Graph G ist zusammenhängend, wenn je zwei Knoten in G durch einen Weg verbunden sind. Bei einer Kantenfärbung wird jeder Kante in G eine Farbe aus der Menge $\{1, \dots, k\}$ zugeordnet. Ein Weg zwischen zwei Knoten u und v wird als Regenbogenweg bezeichnet, wenn alle Kanten auf diesem Weg paarweise unterschiedlich gefärbt sind. Wenn ein Regenbogenweg zwischen je zwei beliebigen Knoten in G besteht, ist G regenbogenzusammenhängend. In diesem Fall wird die definierte Kantenfärbung als Regenbogenfärbung bezeichnet. Die Regenbogenfärbung wird Regenbogen- k -Färbung genannt, wenn maximal k Farben verwendet werden. Die kleinste positive Zahl k , für die eine Regenbogenfärbung für G existiert, ist die Regenbogenzusammenhangszahl $rc(G)$.¹

2.1 Regenbogen-Partitionen

Eine Kantenpartition ist eine Aufteilung der Kantenmenge von G in disjunkte Teilmengen. Eine Teilmenge einer Partition wird Block genannt. Sei $\pi(G)$ die Kantenpartition von $E(G)$. Allen Kanten, die sich im gleichen Block befinden, wird bei der Kantenfärbung die gleiche Farbe zugeordnet, Kanten verschiedener Blöcke bekommen hingegen auch verschiedene Farben. Wenn sich aus dieser Kantenfärbung eine Regenbogenfärbung ergibt, ist $\pi(G)$ eine Regenbogenpartition. Die Menge aller Regenbogenpartitionen wird $\Pi_r(G)$ genannt.

Ein Kreis(graph) C_n ist ein Weg mit n Knoten (es sind mindestens 3 Knoten), wobei der erste und der letzte Knoten durch eine zusätzliche Kante verbunden sind. Für den Kreis gibt es nur zwei Möglichkeiten, eine Regenbogenpartition zu bilden²:

1. Ein Block der Partition beinhaltet drei Kanten, die übrigen Blöcke jeweils nur eine Kante.
2. Es existieren k , $0 \leq k \leq \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, Blöcke mit jeweils zwei Kanten, die übrigen Blöcke enthalten jeweils nur eine Kante.

Die Regenbogenpartitionen für den Kreis mit vier Knoten sind in Abbildung 2 dargestellt.

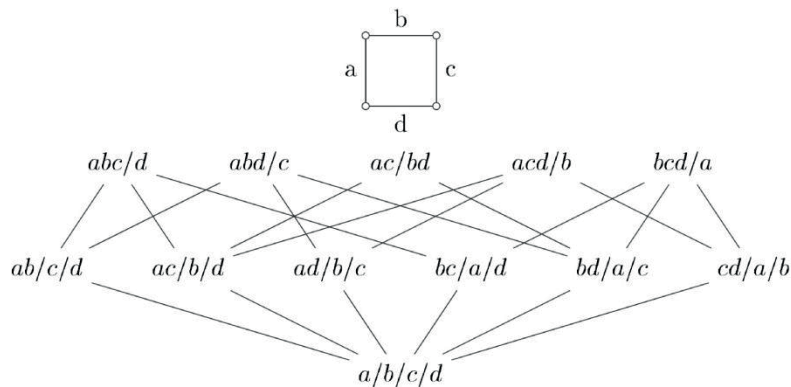


Abbildung 2: Regenbogenpartitionen des Kreises mit vier Knoten

Eine Partition σ ist eine Verfeinerung einer Partition π , wenn jeder Block aus σ in einem Block aus π enthalten ist. Dementsprechend ist eine Verfeinerung σ eine Regenbogenpartition, wenn π auch schon eine Regenbogenpartition ist. Die Regenbogenpartitionen können so geordnet werden, dass $\sigma \leq \pi$, genau dann, wenn σ eine Verfeinerung von π ist. Die daraus resultierende partiell geordnete Menge bildet einen unteren Halbverband mit dem kleinsten Element $\hat{0}$, welches die Partition ist, bei der jeder einzelne Block nur aus einer einzelnen Kante besteht. Die Regenbogenpartitionen für den Kreis mit vier Knoten (Abbildung 2) stellen solch einen unteren Halbverband dar.

Aus der Beschreibung für die möglichen Regenbogenpartitionen für den Kreis C_n folgt, dass es $\binom{n}{3}$ Regenbogenpartitionen mit jeweils einem Block mit drei Kanten gibt, bei denen die restlichen Blöcke jeweils nur eine Kante beinhalten. Außerdem existieren in jedem Kreis $\binom{n}{2n-2k}$ Regenbogenpartitionen mit genau k Blöcken, die nur aus Blöcken mit je ein oder zwei Kanten bestehen.

2.2 Regenbogenpolynom

Sei $r_i(G)$ die Anzahl der Regenbogenpartitionen mit genau i Blöcken. Die erzeugende Funktion, die die Anzahl der Regenbogenpartitionen mit i Blöcken zählt, ergibt sich zu

$$r(G, x) = \sum_{i=0}^m r_i(G) x^i.$$

wobei m die Anzahl der Kanten des Graphen G ist. Das Regenbogenpolynom $\rho(G, x)$ zählt die Anzahl der Regenbogenfärbungen mit x Farben und kann direkt aus der erzeugenden Funktion hergeleitet werden, wobei $\begin{bmatrix} k \\ j \end{bmatrix}$ die Stirling-Zahlen erster Art beschreibt³ und x^i die i -te fallende Faktorielle von x ist.

$$\rho(G, x) = \sum_{i=0}^m r_i(G) x^i = \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^k \begin{bmatrix} k \\ j \end{bmatrix} (-1)^{k-j} r_k(G) x^j$$

Das Polynom für einen beliebigen Graphen exakt zu berechnen ist NP-schwer, es ist also nicht in Polynomialzeit zu lösen. Für einige Graphenklassen, die bestimmte Eigenschaften erfüllen, ist die exakte Bestimmung des Regenbogenpolynoms jedoch möglich. Ein Baum T_n ist ein Graph, der keine Kreise besitzt, es existiert zwischen je zwei Knoten in T_n also jeweils nur genau ein Weg. Daher muss jede Kante unterschiedlich gefärbt sein, um eine Regenbogenfärbung zu erhalten. Das Regenbogenpolynom von T_n mit n Knoten ergibt sich dann zu

$$\rho(T_n, x) = x^{\underline{n-1}},$$

wobei $x^{\underline{n-1}}$ die $(n-1)$ -te fallende Faktorielle von x ist.

Beim vollständigen Graph K_n mit n Knoten existiert zwischen je zwei Knoten eine Kante. Daraus folgt, dass jede Kante beliebig gefärbt werden kann, um eine Regenbogenfärbung zu erhalten, da jedes Knotenpaar durch genau eine Kante verbunden ist. Das Regenbogenpolynom ergibt sich damit als

$$\rho(K_n, x) = x^{\binom{n}{2}}.$$

Neben den Regenbogenpolynomen für den Baum und den vollständigen Graphen ist auch das Regenbogenpolynom für den Kreis noch exakt bestimmbar. Mit Hilfe der möglichen Regenbogenpartitionen für den Kreis und die Anzahl der einzelnen Blockkombinationen kann das Regenbogenpolynom für den Kreis C_n mit n Knoten bestimmt werden als²

$$\rho(G, x) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=0}^k \begin{bmatrix} k \\ j \end{bmatrix} (-1)^{k-j} \left[\binom{n}{2n-2k} + \binom{n}{3} \delta_{n-2,k} \right] x^j,$$

wobei $\delta_{n-2,k}$ das Kronecker-Delta ist, das genau dann 1 wird, wenn $n-2 = k$, anderenfalls ist es 0.

3. Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass eine exakte Bestimmung des Regenbogenpolynoms sehr schwer ist. Es ist jedoch möglich, die Berechnung für einige spezielle Graphen in Polynomialzeit durchzuführen. Daher werden in Zukunft weitere spezielle Graphen untersucht. Des Weiteren ist es möglich, die Definition des Regenbogenpolynoms abzuwandeln, zum Beispiel durch die Betrachtung von mehreren Kanten, die bei der Kantenfärbung gleichgefärbt werden, alle anderen Kanten hingegen bekommen jeweils unterschiedliche Farben. Daraus lässt sich die Frage ableiten, wie die Kanten kombiniert sein müssen, damit der Graph noch regenbogengefärbt sein kann (regenbogenabhängige Mengen).

Es wird bei der Regenbogenfärbung davon ausgegangen, dass zwischen jedem Knotenpaar ein Regenbogenweg existiert. Für das Broadcasting ist es jedoch ausreichend, wenn von dem Startknoten s aus zu jedem anderen Knoten in G ein Regenbogenweg existiert, damit die Nachricht von s aus alle anderen Knoten erreichen kann. Für diese s -Regenbogenfärbung ist es möglicherweise einfacher, für einige Graphenklassen exakte Ergebnisse zu erhalten.

¹ G. Chartrand, G. L. Johns, K. A. McKeon, and P. Zhang. "Rainbow connection in graphs". In: *Mathematica Bohemica* 133.1 (2008), pp. 85-98.

² M. Dod, S. Kischnick, and P. Tittmann. "Rainbow Partitions and Rainbow Polynomial". In: *Congressus Numerantium*, Vol. 227 (2016), pp. 241-255

³ P. Tittmann. „Einführung in die Kombinatorik“. 2. Auflage. Springer Spektrum, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2014), S. 184ff.

Netzwerkzuverlässigkeit unter Berücksichtigung von Kapazitätsforderungen

Thomas Lange

Hochschule Mittweida, Fachbereich Mathematik

tlange10@hs-mittweida.de

Abstract: Die Netzwerkzuverlässigkeit beschäftigt sich mit dem Ausfallverhalten eines Netzwerkes in Abhängigkeit der Ausfälle der Einzelkomponenten. Dazu wird das Netzwerk als Graph modelliert und den Kanten eine Ausfallwahrscheinlichkeit zugeordnet. Die Operabilität des Netzwerkes geht dabei in Struktureigenschaften des Graphen über. Ziel des Projektes ist es, Methoden zur Bestimmung dieser Wahrscheinlichkeit zu ermitteln.

1. Einführung

Elektrische Netzwerke spielen in vielen Bereichen der Technik und des alltäglichen Lebens eine zentrale Rolle. Dies reicht von der elektrischen Schaltung auf der Platine eines Mikroprozessors – vorhanden in jedem Handy, Radio und Computer, aber sogar jedem Kaffeeautomaten oder Wäschetrockner – bis hin zur Struktur des Internets. Jedoch können elektrische Bauteile fehlerbehaftet sein oder weisen generell eine beschränkte Lebensdauer auf, nach der diese gewartet oder ausgetauscht werden müssen. Damit nicht bei dem Ausfall einer einzelnen Komponente gleich das gesamte Netzwerk ausfällt, sind diese Netzwerke auf Redundanz ausgelegt, sodass für den Ausfall des Gesamtnetzes mehrere zentrale Komponenten gleichzeitig ausfallen müssen. Ziel der Netzwerkzuverlässigkeit ist es - bei bekannter Netzwerkstruktur und unter Zuhilfenahme von Erfahrungswerten für die Ausfallraten der einzelnen Bauteile - Vorhersagen abzuleiten, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Netzwerk seine Funktion durch die vorhandene Redundanz weiterhin erfüllen kann und welche Ausfallereignisse für das Netzwerk kritisch sind. Anschließend können diese Vorhersagen zur Optimierung des Netzwerkes herangezogen werden. Gängige Modelle der Netzwerkzuverlässigkeit sehen dabei ein Netzwerk als funktionsfähig an, wenn alle Terminalkomponenten noch auf irgendeinem Weg miteinander kommunizieren können¹. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Modelle um den Aspekt von Übertragungsraten zu erweitern, wobei das Netzwerk nur dann als intakt angesehen wird, wenn zwischen gegebenen Terminals ein geforderter Datendurchsatz erreicht wird.

2. Graphentheoretisches Modell

Im Sinne einer einheitlichen Beschreibung unabhängig von der genauen Art des Netzwerkes (Stromnetz, Computernetzwerk, Funkverbindungen, etc.) beschreiben wir das Netzwerk als Graph. Die elektrischen Bauteile/Computerterminals werden dabei als Knoten des Netzwerkes modelliert und über Kanten verbunden, wenn die zugehörigen Komponenten direkt über Verbindungsleiter verbunden sind. Während im physikalischen Netzwerk sowohl Komponenten

als auch Verbindungsleiter ausfallen können, weisen wir im verwendeten mathematischen Modell nur Kanten eine Ausfallwahrscheinlichkeit zu. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Komponenten kann durch einfache Modifikationen des betrachteten Graphen in Kantenausfälle übertragen werdenⁱⁱ. Den resultierenden Graphen bezeichnen wir als $G = (V, E)$ wobei V die Knotenmenge des Graphen bezeichnet und E die Kantenmenge. Ein Graph heißt k -fach (knoten-)zusammenhängend, wenn zwischen je zwei Knoten k Verbindungspfade existieren, die paarweise keinen Knoten gemeinsam haben. Ein Graph heißt k -fach kantenzusammenhängend, wenn zwischen je zwei Knoten k Verbindungspfade existieren, die paarweise keine Kante gemeinsam haben. Ein physischer Verbindungsleiter, der eine höhere Übertragungsrate hat, kann über mehrere parallele Kanten, die gemeinsam ausfallen, modelliert werden. Dementsprechend modellieren wir unsere Übertragungsrate als Zusammenhangseigenschaft des Graphen. Im Falle eines Defektes ist nur noch eine Teilmenge der Kanten $F \subseteq E$ funktionstüchtig. Die Zuverlässigkeit des Graphen ergibt sich dann als Wahrscheinlichkeit, dass die Menge der intakten Kanten einen Residualgraph $G' = (V, F)$ erzeugt, der die geforderte Zusammenhangseigenschaft besitzt. Formal definieren wir somit die k -fache Knotenzusammenhangswahrscheinlichkeit $R_{k-vc}(G)$ und k -fache Kantenzusammenhangswahrscheinlichkeit $R_{k-ec}(G)$ des Graphen G als folgende Summen

$$R_{k-vc}(G) = \sum_{\substack{F \subseteq E \\ (V, F) \text{ ist } k\text{-fach zusammenhängend}}} P(F)$$

$$R_{k-ec}(G) = \sum_{\substack{F \subseteq E \\ (V, F) \text{ ist } k\text{-fach kantenzusammenhängend}}} P(F)$$

wobei $P(F)$ die Wahrscheinlichkeit beschreibt, dass genau die Kanten in F intakt sind und alle anderen Kanten ausfallen. Wenn Konzepte sowohl für $R_{k-vc}(G)$ als auch $R_{k-ec}(G)$ analog anwendbar sind, schreiben wir $R_{k-xc}(G)$ und sprechen einfach von k -facher Zusammenhangswahrscheinlichkeit. Eine technische Voraussetzung, die zumindest in räumlich verteilten Kommunikationsnetzen oft erfüllt ist, ist die stochastische Unabhängigkeit der Ausfälle.

3. Berechnungsmöglichkeiten

Prinzipiell kann von jedem Graphen die k -fache Zusammenhangswahrscheinlichkeit mittels der Definition bestimmt werden, indem über alle Teilmengen $F \subseteq E$ die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten summiert werden. Jedoch wächst die Anzahl der zu betrachteten Teilmengen exponentiell mit der Größe der Kantenmenge, sodass dies nur für kleine Netzwerke in annehmbarer Zeit bestimmbar ist. Generell ist das Bestimmen der Zuverlässigkeit eines beliebigen Graphen NP-hartⁱⁱⁱ, sodass kein effektiver Algorithmus bekannt ist. Ziel ist deshalb meist, allgemeine Verfahren zu entwickeln, die zwar auch ein exponentielles Laufzeitwachstum haben, aber zumindest für „mittel-große“ Graphen noch

geeignet sind. Ein solcher Ansatz basiert auf der Analyse von Schnittmengen^{iv} – Kantenteilmengen deren Ausfall das Netzwerk lahmlegt, selbst wenn alle anderen Kanten intakt sind – sowie von Pfadmengen^v– Kantenteilmengen, deren Intaktheit die Operabilität des Netzwerkes garantiert, selbst wenn alle anderen Kanten ausfallen. Doch selbst die Anzahl solcher Schnitt- und Kantenmengen wächst im Allgemeinen exponentiell. Ein anderer Ansatz ist die Transformation des Graphen. Dabei wird der Graph G durch einen anderen Graphen G' ersetzt, der die gleiche Zuverlässigkeit besitzt – oder dessen Zuverlässigkeit sich in die Zuverlässigkeit von G umrechnen lässt – welcher jedoch weniger Kanten aufweist und dadurch einfacher zu berechnen ist. So können zum Beispiel bei der Berechnung von $R_{k-vc}(G)$ parallele Kanten zu einer einzigen Kante mit modifizierter Wahrscheinlichkeit zusammengefasst werden. Alternativ kommen Divide-and-Conquer Strategien zur Anwendung, bei denen das Problem auf mehrere einfachere Graphen übertragen wird. Eine derartige Unterteilung wird zum Beispiel durch trennende Knotenmengen erreicht: Sei $v \in V$ ein Knoten mit der Eigenschaft, dass sich der Graph G zerlegen lässt in $G_1 = (V_1, E_1)$ und $G_2 = (V_2, E_2)$ mit $V_1 \cap V_2 = \{v\}$. Dann gilt

$$R_{k-xc}(G) = R_{k-xc}(G_1) * R_{k-xc}(G_2).$$

Somit können die kleineren Graphen G_1 und G_2 genutzt werden, um die Zuverlässigkeit von G zu bestimmen. Eine andere Divide-and-Conquer Strategie stellt die sogenannte Dekompositionsformel dar. Sie beschreibt die Fallunterscheidung bezüglich einer Kante, ob diese ausfällt oder intakt ist:

$$R_{k-xc}(G) = p_e * R_{k-xc}(G|p_e = 1) + (1 - p_e) * R_{k-xc}(G - e)$$

wobei p_e die Wahrscheinlichkeit beschreibt, dass die Kante e intakt ist.

4. Spezielle Graphenstrukturen

Neben den zuvor genannten allgemeinen Strategien kann sich die Betrachtung spezieller Graphenklassen mit besonderen Struktureigenschaften als nützlich erweisen. Eine Vielzahl elektrischer Netzwerke lässt sich zum Beispiel als Kombination von Reihen- und Parallelschaltungen beschreiben. In der Graphentheorie entspricht dies der Klasse der serienparallelen Graphen. Das schrittweise abarbeiten der eingebetteten Schaltungen ermöglicht eine effiziente Berechnung für den zweifach Knotenzusammenhang sowie den k -fach Knotenzusammenhang wenn nur zwei Knoten Terminalknoten sind^{vi}. Für den k -fach Kantenzusammenhang ist keine Transformation bekannt, die Mehrfachkanten in eine einzelne Kante überführt^{vii}. Jedoch ermöglicht die Betrachtung trennender Knotenmengen auch für den k -fach Kantenzusammenhang eine effiziente Berechnung für serienparallele Graphen^{viii}.

5. Ausblick

Da die zu Grunde liegenden Probleme NP-hart sind, ist nicht zu erwarten, dass eine Theorie gefunden wird, die das Problem für alle Graphen effizient lösbar macht. Selbst einige Spezialfälle – wie zum Beispiel dass alle Kanten des Graphen mit gleicher Wahrscheinlichkeit ausfallen – sind nachweislich schwer. Ziel der Forschung sollte es also sein, Spezialfälle und Graphenklassen zu identifizieren, für die eine effiziente Berechnung möglich ist. Die Verbesserung bestehender Berechnungsverfahren kann zudem dazu beitragen, die Maximalgröße von in annehmbarer Zeit berechenbaren Graphen zu erhöhen. Da die zu betrachtenden physikalischen Netzwerke jedoch ebenfalls immer komplexer und größer werden, spielt zudem die Approximation der Zuverlässigkeit sowie die Bestimmung geeigneter Schranken eine entscheidende Rolle.

ⁱ z.B. COLBOURN, Charles J.; COLBOURN, C. J. The combinatorics of network reliability. New York: Oxford University Press, 1987.

ⁱⁱ VAN SLYKE, R.; FRANK, Howard. Network reliability analysis: Part I. Networks, 1971, 1. Jg., Nr. 3, S. 279-290.

ⁱⁱⁱ BALL, Michael O. Computational complexity of network reliability analysis: An overview. IEEE Transactions on Reliability, 1986, 35. Jg., Nr. 3, S. 230-239.

^{iv} z.B. SOH, Sieteng; RAI, Suresh. An efficient cutset approach for evaluating communication-network reliability with heterogeneous link-capacities. IEEE Transactions on Reliability, 2005, 54. Jg., Nr. 1, S. 133-144.

^v z.B. LIN, Jsen-Shung; JANE, Chin-Chia; YUAN, John. On reliability evaluation of a capacitated-flow network in terms of minimal pathsets. Networks, 1995, 25. Jg., Nr. 3, S. 131-138.

^{vi} LANGE, Thomas. Biconnected Reliability, HS Mittweida, Masterarbeit, 2015.

^{vii} REINWARDT, Manja. Combinatorial and graph theoretical aspects of two-edge connected reliability, TU Bergakademie Freiberg, Promotionsschrift, 2015.

^{viii} für $k = 2$ siehe LUCET, Corinne; MANOUVRIER, J.-F.; CARLIER, Jacques. Evaluating network reliability and 2-edge-connected reliability in linear time for bounded pathwidth graphs. Algorithmica, 2000, 27. Jg., Nr. 3-4, S. 316-336.

Optimization of the phototrophic hydrogen evolution with *Rhodobacter sphaeroides* strain 2.4.1 by fermentation of apple juice

Nadine Wappler and Röbbbe Wünschiers
University of Applied Science Mittweida, Faculty MNI,
Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

E-Mail: nwappler@hs-mittweida.de

Abstract

About 80% of the worldwide energy demand is covered by non-renewable fossil fuels. This results in the emission of pollutants and causes global warming. Hydrogen gas (H₂) is an ideal future energy carrier¹ which is produced by *Rhodobacter sphaeroides*. We investigate fermentation conditions for highest hydrogen evolution. All cultures were fermented 72 hours by measuring optical density and hydrogen evolution. Medium components were gradually omitted by apple juice and river water.

1. Introduction

Burning of fossil fuels for energy recovery results in emission of pollutants and causes global warming. Hydrogen gas (H₂) has a high energy density¹. Converted to either electricity by fuel cells² or mechanical work by combustion engines in presence of pure oxygen it is an ideal energy carrier with only water as byproduct. This makes hydrogen gas a clean replacement for fossil fuels. Besides electrolytic hydrogen generation from renewable energy sources, biologically produced hydrogen gas may contribute to a green economy. The purple non-sulfur bacterium *Rhodobacter sphaeroides* is metabolically versatile^{3,4}. It is able to fix nitrogen and grow (photo-) heterotrophically via fermentation or aerobic and anaerobic respiration on a number of organic substrates. Hydrogen production can be coupled to the utilization of organic acids from different biowastes⁵ composed of, e.g., fruits and vegetables^{1,6}. The required energy is derived from sunlight. If not immobilized, *Rhodobacter* usually produces around 80 - 100 ml molecular hydrogen gas per hour and liter of culture². The organism produces hydrogen as a by-product during nitrogen fixation (see figure 1). Our research is focusing on optimization of cultivation conditions for an environmental friendly way of hydrogen production as renewable energy carrier. By using biowastes, e.g. from fruits, the process contributes to waste reduction. Here we present first results from apple juice photo-fermentation.

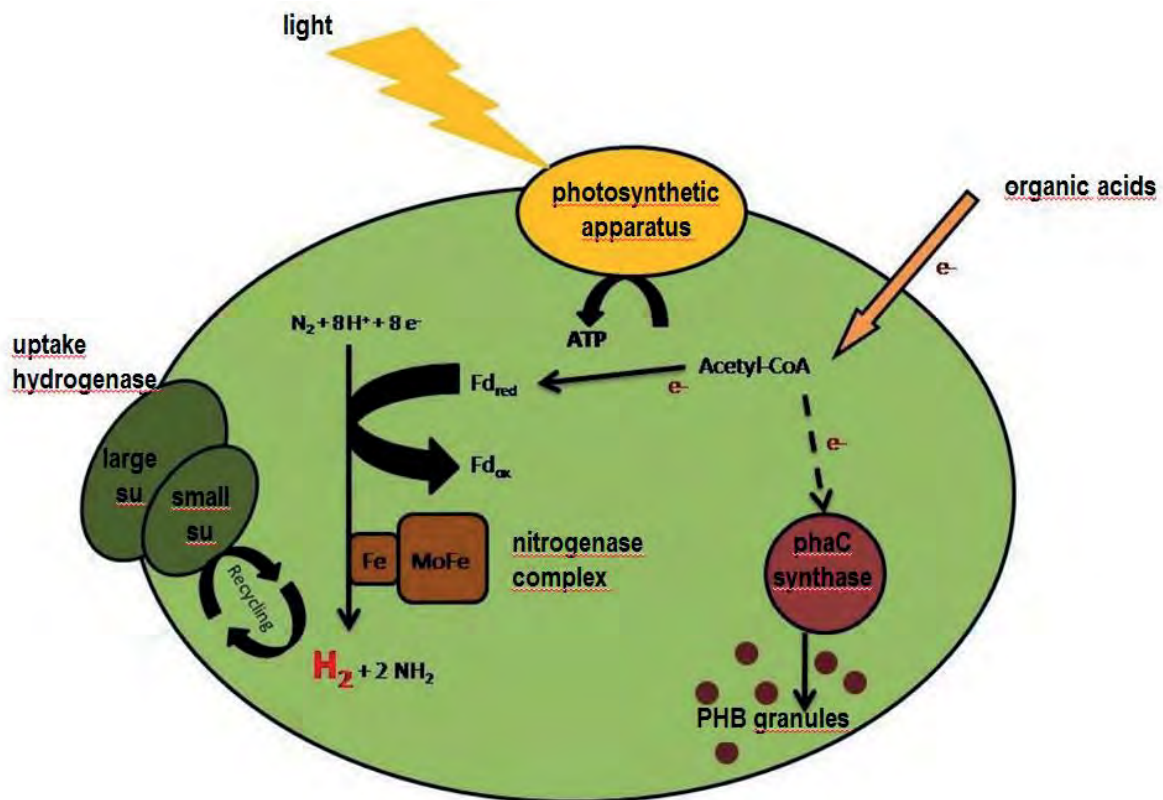


Figure 1: Nitrogen fixation of *Rhodospirillum rubrum* with hydrogen as a by-product. Hydrogen gas may be recycled by an uptake hydrogenase (graphic modified from Franchi et al.¹).

2. Material and Methods

2.1 Bacterial growth, harvest

Rhodospirillum rubrum (DSMZ-No 158) was grown as batch culture anaerobically in standard medium⁷ at 25°C, pH 6,8 in a 250 ml bioreactor for hydrogen evolution. Vitamins and carbon sources were added to the media. Trace element solution, vitamins and a nitrogen source (glutamic acid and lactic acid) were stepwise replaced by apple juice and river water. Cells were also cultivated as liquid culture under the same conditions in Van Niel's Yeast Medium (ATCC Medium: 112 Van Niel's Yeast) without gas evolution as liquid culture without agar. This medium lacks important components for hydrogen production.

Cultures were illuminated by halogen lamps. Carbon dioxide was removed by 50 % [v/v] potassium hydroxide. Optical density and hydrogen evolution was measured (see figure 2) at different time points. All cultures were fermented 72 hours. At high hydrogen evolution rates, cells were harvested by centrifugation and frozen at -80°C until the next processing step.

2.2 Preparation of instruments and reagents

For sterilization of instruments autoclaved DEPC-treated (0.05% (v/v)) water and RNase AWAY (Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe/Germany) were used.

2.3 Isolation of total RNA with *MasterPure*[™] Complete DNA and RNA Purification Kit

Samples were thawed and placed on ice. 1 µl Proteinase K and 300 µl Lysis Solution Tissue & Cell were added. The tubes were mixed and homogenized by 65°C for 2 minutes and incubated for 1 minute at -20°C. All other processing steps were performed according to the standard protocol.

2.4 Digestion of DNA

DNA was degraded by TURBO DNA-free[™] Kit (Life Technologies, Darmstadt/Germany) following standard protocol.

2.5 Synthesis of cDNA and purification

Reverse Transcription was performed by High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Applied Biosystems, Schwerte/Germany) followed by a precipitation step with ice-cold isopropanol and 3 M sodium acetate.

2.6 Quantitative Real-Time PCR

Quantitative Real-Time PCR was performed by iTaq[™] Universal SYBR[®] Green Supermix (BIO-RAD, Hercules CA) following standard protocol in a MiniOpticon[™] thermocycler (BIO-RAD). Data were evaluated by double delta Ct method.

3. Results and discussion

Basically, a medium of Krujatz et al. was used. Components were stepwise replaced by apple juice and river water and hydrogen evolution compared to the original medium.

Best gas evolution rates were reached by exchange of substrates glutamic and lactic acid with 20 % [v/v] apple juice (100 % fruit content) and water of river Zschopau as trace element solution (Figure 2). The juice could replace the addition of vitamins. Further components added were K₂HPO₄, KH₂PO₄, MgSO₄ x 7 H₂O, CaCl₂ and disodium EDTA. The organism grows as well in pure apple juice with adjusted pH value (6,8) but produces only a little hydrogen gas. Volvic water was tested for exchange of trace element solution but there are obviously missing components that are contained in river water.

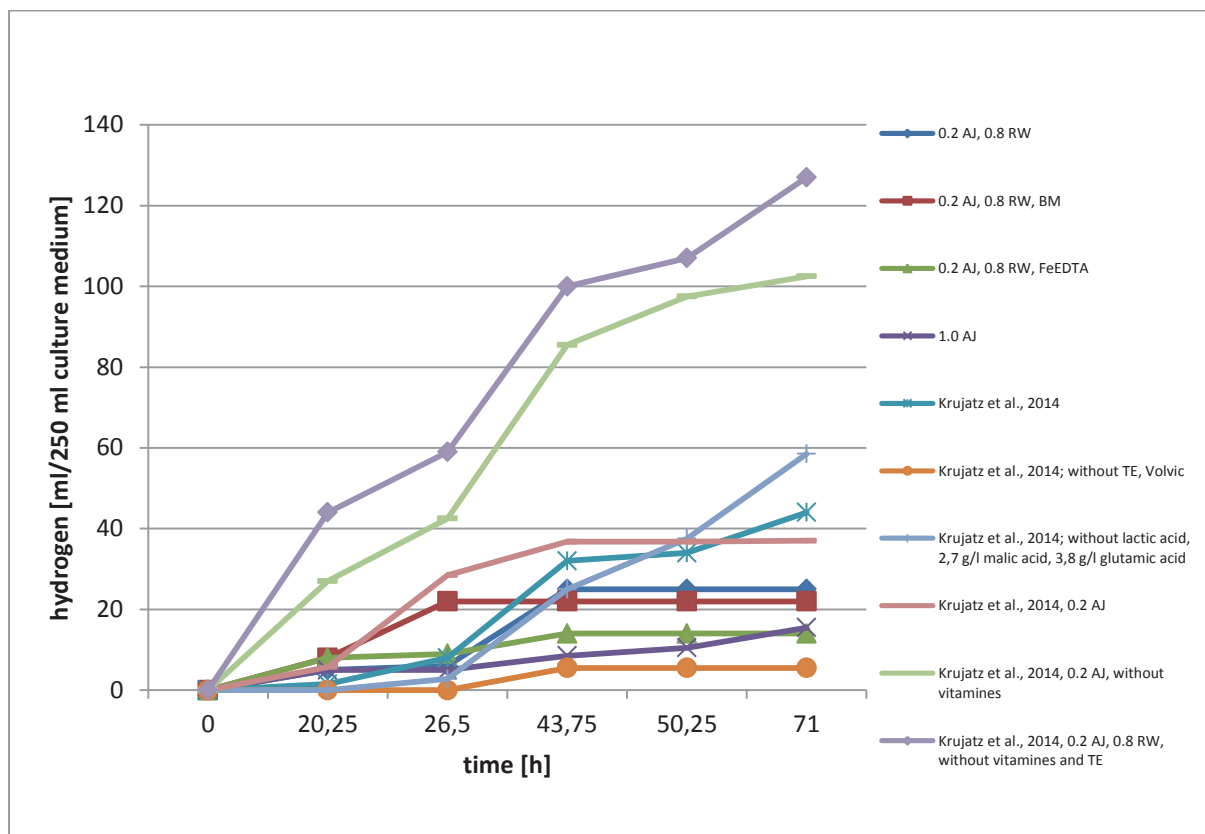


Figure 2: Hydrogen evolution by anaerobic fermentation of *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1 in a 250 ml bioreactor under illumination on 72 hours. AJ = apple juice; RW = river water; TE = trace elements. Best gas evolution rates were reached by exchange of substrates glutamic and lactic acid with 20 % [v/v] apple juice (100 % fruit content) and water of river Zschopau as trace element solution.

For insights on metabolism, samples from standard medium⁷ and Van Niels Yeast Medium were taken for RNA extraction (Figure 3).

Taken samples were prepared for quantitative PCR by extracting RNA, cDNA synthesis and precipitation. Expression of enzymes involved in hydrogen evolution process, were investigated to draw conclusions on metabolism of hydrogen evolution process (nitrogenase and hydrogenase).

As expected, iso-enzymes of nitrogenase are higher expressed during hydrogen evolution. The nitrogenase complex within the photosynthetic apparatus is responsible for nitrogen fixation with hydrogen as solely by-product. Surprisingly, no expression of big subunit of the uptake-hydrogenase (hupL) could be detected either with or without gas production. The small subunit of the uptake-hydrogenase (hupS) is up regulated during hydrogen producing conditions. Expression patterns should be validated by additional investigations. The hydrogenase complex is recovering excess gas and converts it into energy.

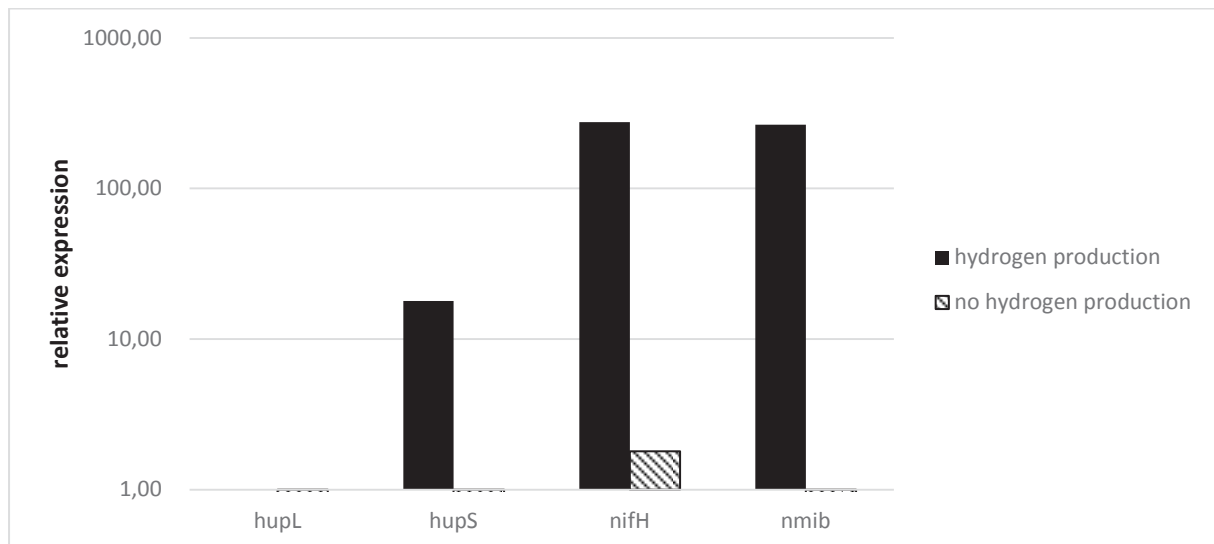


Figure 3: Quantitative expression of selected uptake- hydrogenase (hupL, hupS) and nitrogenase (nifH, nmib) subunits, involved in hydrogen evolution and recycling during nitrogen fixation.

4. Perspective view

The long term goal of our research is the optimization of *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1 fermentation with biological fruit waste as substrate for hydrogen production in an industrial scale. Next steps will be the quantitative PCR for all fermentation conditions, RNASeq analyses, testing other substrates (like other juices and fermented fruit wastes) and finally the scale-up of fermentation.

References

- ¹E. Franchi, C. Tosi, G. Scolla, G.D. Penna, F. Rodriguez, P.M. Pedroni, *MAR BIOTECHNOL Metabolically Engineered Rhodobacter sphaeroides RV strains for Improved Biohydrogen Photoproduction Combined with Disposal of Food Wastes* 2004, 6, 552–565. DOI:10.1007/s10126-004-1007-y.
- ²D.B. Levin, L. Pitt, M. Love, *INT J HYDROGEN ENERG Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application* 2004, 29, 173–185. DOI:10.1016/S0360-3199(03)00094-6.
- ³D.-H. Kim, J.-H. Lee, S. Kang, P.C. Hallenbeck, E.-J. Kim, J.K. Lee, *BIOTECHNOL BIOFUELS Enhanced photo-fermentative H₂ production using Rhodobacter sphaeroides by ethanol addition and analysis of soluble microbial products*, 2014, 7(79), DOI:10.1186/1754-6834-7-79.
- ⁴W.S. Kontur, W.S. Schackwitz, N. Ivanova, J. Martin, K. LaButti, S. Deshpande, *J BACTERIOL, Revised Sequence and Annotation of the Rhodobacter sphaeroides 2.4.1 Genome*, 2012, 194, 7016–7017. DOI:10.1128/JB.01214-12.

⁵N.H.M. Yasin, T. Mumtaz, M.A. Hassan, N.A. Rahman, J ENVIRON MANAGE Food waste and food processing waste for biohydrogen production: A review, 2013, 130, 375–385. DOI:10.1016/j.jenvman.2013.09.009.

⁶Y. Akutsu, D.-Y. Lee, Y.-Z. Chi, Y.-Y. Li, H. Harada, H.-Q. Yu, INT J HYDROGEN ENERG Thermophilic fermentative hydrogen production from starch-wastewater with bio-granules, 2009, 34, 5061–5071. DOI:10.1016/j.ijhydene.2009.04.024.

⁷F. Krujatz, P. Härtel, K. Helbig, N. Haufe, S. Thierfelder, T. Bley, BIORESOURCE TECHNOL Hydrogen production by Rhodobacter sphaeroides DSM 158 under intense irradiation, 2015, 175, 82–90. DOI:10.1016/j.biortech.2014.10.061.

Berechnung und Herstellung von zylindrischen DOEs

A. Kluck, M. Hofmann, T. Döhler, J. Andrees, S. Schrader
TH Wildau, Ingenieur und Naturwissenschaften

Arbeitsgruppe: Photonik, Laser- und Plasmatechnologien
kluck@th-wildau.de

Abstract: Ziel ist neben der Erarbeitung der Grundlagen iterativer Algorithmen für die Propagation von Licht zwischen zwei konzentrischen Zylinderflächen, die Berechnung von zylindrischen diffraktiven optischen Elementen (DOE) für die Verwendung in lithographischen Prozessen. Die Arbeit beinhaltet die Berechnung von Fallbeispielen und die Herstellung von Mustern, sowie die Evaluierung der Berechnungsmethode anhand realisierter Systeme. Es werden erste Beispiele präsentiert und Probleme diskutiert.

1. Einleitung

Die Stärken von DOEs liegen u.a. in ihrer Flexibilität, ihrer kompakten Bauform und kostengünstigen Herstellung (im Vergleich zu refraktiven Lösungen). So können beispielsweise Interferometer mit computergenerierten Hologrammen (CGHs) für nahezu jede Prüflingsgeometrie angepasst werden, so dass aufwendig herzustellende refraktive Nulllinsen überflüssig werden. Zwar werden CGHs heutzutage ohne Weiteres in 9"-Größe und größer gefertigt, in den meisten Fällen sind DOEs jedoch kompakt, im Bereich weniger Millimeter dimensioniert. Als Teil der Mikro-Optik können sie mit Hilfe etablierter Verfahren aus der Mikro-Elektronik, meist mittels lithographischer Verfahren, hergestellt werden. Zudem besteht prinzipiell die Möglichkeit, Kopien eines Masterelements in hohen Stückzahlen auf Folien zu replizieren.

Üblicherweise werden DOEs für planare Systeme gerechnet, d.h. sowohl das beugende Element als auch der Beobachtungsschirm sind eben. Im Rahmen des Projektes¹ sollen zylindrische Systeme betrachtet werden, in denen sowohl der Träger der diffraktiven Struktur, wie auch der Beobachtungsschirm Zylinderflächen bilden. Der zu entwickelnde Algorithmus soll von einer Intensitätsverteilung auf dem äußeren Zylinder auf die dazu passende Phasenstruktur auf dem inneren Zylinder schließen. Hierbei handelt es sich also um ein inverses Problem. Die berechneten Strukturen sollen mit etablierten Verfahren der Halbleiterindustrie planar hergestellt werden und anschließend in Polydimethylsiloxane (PDMS) angegossen werden. Hierbei besteht die Hoffnung, flexible Phasengitter herstellen zu können, um sie anschließend auf zylindrische Träger zu spannen.

Motiviert wird dieses Vorhaben durch die im Fall der erfolgreichen Realisierung entstehende Möglichkeit, Zylinderinnenseiten lithographisch strukturieren zu können. Bislang sind zur

Bearbeitung nicht-planarer Flächen mittels Laser-Lithographie spezielle 3-Achssysteme notwendig, die entweder den Laserspot oder das Substrat selbst bewegen². Mit dem neuen DOE-Ansatz stünde somit eine Alternative zu den genannten Verfahren zur Verfügung.

2. Vorhaben/Beschreibung

Der 1. Teil der Arbeit umfasst die Berechnung der diffraktiven Strukturen, der 2. Teil die Herstellung einer solchen. Zunächst wurden grundlegende Betrachtung zur Berechnung angestellt: Wie funktionieren iterative Verfahren? Was sind die Schwächen bzw. Stärken iterativer Verfahren? Wie werden sie für die jeweilige technische Anforderung adaptiert? Es wurden ein Matlab-Programm zur Berechnung dieser Strukturen realisiert und einige Fallbeispiele gerechnet. Eine der Strukturen wurde mittels Laserschreiber als binäres Phasen-DOE geschrieben und in PDMS abgegossen.

3. Iterativer Algorithmus (IHTA)

Iterative Algorithmen sind prinzipiell in ihrem Aufbau frei, so dass das Grundgerüst vom s.g. IFTA (Iterativ Fourier-Transform-Algorithm) übernommen und adaptiert wurde.

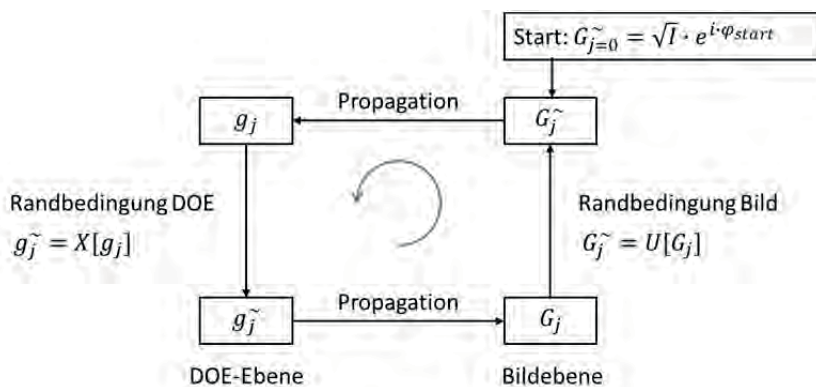
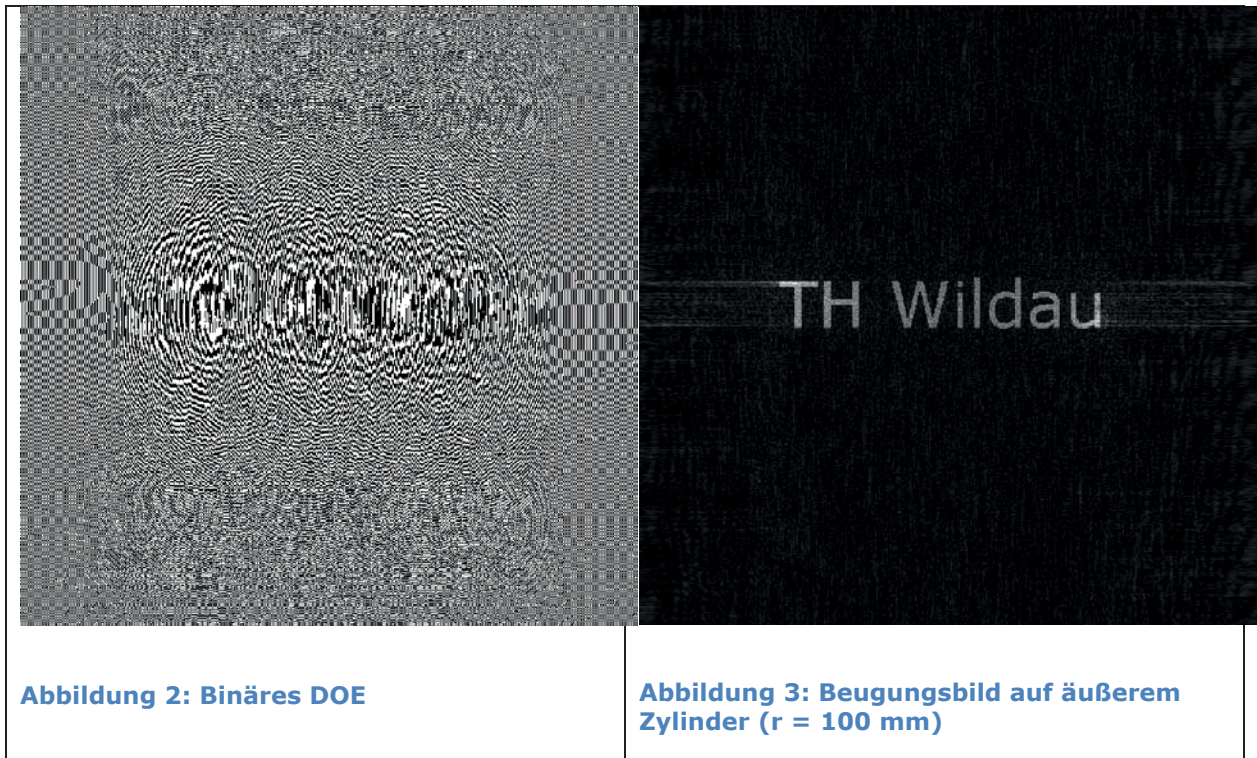


Abbildung 1: Ablaufschema eines iterativen Algorithmus

Die Propagation zwischen den Zylinderflächen erfolgt durch Multiplikation einer Übertragungsfunktion mit dem Spektrum des zylindrischen DOEs. Die Übertragungsfunktion T selbst berechnet sich als Quotient 2er Hankelfunktionen 1ster Art $T(\mathbf{a}, \mathbf{r}, \mathbf{k}_r) = \frac{H_n^{(1)}(k_r r)}{H_n^{(1)}(k_r a)}$ mit r als äußerem und a als innerem Radius³. Diese Methode stellt gewissermaßen das zylindrische Gegenstück zum Planwellenspektrum (angular spectrum of plane waves, ASPW) dar. Das DOE wird bei der Berechnung als dünnes Phasenobjekt behandelt (Kirchhoff-Approximation). Um aus dem kontinuierlichen Ergebnis der iterativen Berechnung eine binäre Struktur abzuleiten, wurden verschiedene Binarisierungsansätze implementiert. Die s.g. „softe“ Quantisierung soll (gegenüber der „harten“ Quantisierung) Vorteile hinsichtlich Stagnation und Restfehler aufweisen⁴.

4. Simulationsergebnisse

An dieser Stelle soll ein Beispiel für eine iterative Berechnung eines Phasen-DOEs gezeigt werden. Um den numerischen Aufwand an dieser Stelle in Grenzen zu halten, wurde die Struktur für eine Wellenlänge von $\lambda = 180 \mu\text{m}$ berechnet. Links in Abbildung 2 ist die binäre Struktur zu sehen, rechts in Abbildung 3 das resultierende Beugungsbild auf dem äußeren Zylinder ($r = 100 \text{ mm}$).



5. Herstellung einer Struktur und erste Ergebnisse

Die in Abbildung 4 gezeigte Struktur wurde mit einem iterativen Algorithmus für planare Strukturen berechnet, da zu diesem Zeitpunkt die zylindrische Variante noch nicht funktionsfähig war. Um dem zylindrischen Fall möglichst nahe zu kommen, wurde eine zylindrische Wellenfront als Beleuchtung gewählt. Ziel war es, den eigentlichen Herstellungsprozess zu beleuchten und die passenden Parametersätze zu finden. Das DOE soll ein einfaches Punktmuster (4 Punkte) erzeugen, siehe Abbildung 5.

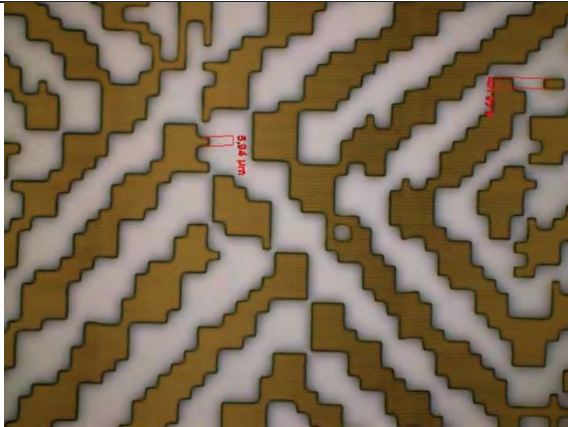


Abbildung 4: Ausschnitt einer Mikroskopaufnahme der Struktur (Resist auf Chrom)

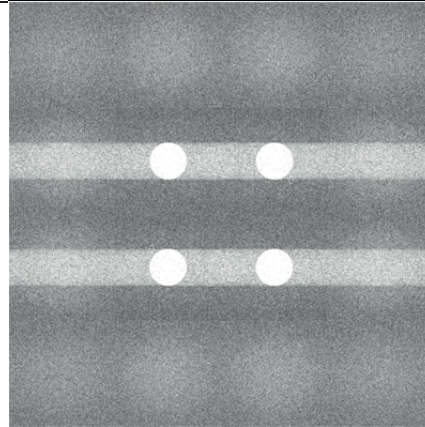


Abbildung Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.5: Resultierendes Beugungsbild im Fernfeld

Als Träger wurde ein polierter Zerodurblock (Ebenheit ca. 20nm) gewählt. Wie in einem Standard-Lithographie-Prozess üblich, wurde er mit Chrom und Photoresist beschichtet. Anschließend erfolgte die Strukturierung mittels Laserschreiber (LW405). Eine mikroskopische Aufnahme des strukturierten Lackes ist in Abbildung 4 gezeigt. Damit der Stempel für einen späteren Abformungsprozess stabil genug ist, wurde die Struktur mittels IBS in das Material eingeprägt. Das Gitter wurde in PDMS (Sylgard 184) abgegossen. Dabei musste auf das geeignete Mischungsverhältnis der beiden Komponenten und Blasenfreiheit geachtet werden. Um letzteres zu erreichen, wurde die frisch angesetzte Mischung für 20 Minuten in einer im Vorvakuumbereich evakuierte Kammer entgast. Über einen langsamen Fließprozess kann man anschließend erneute Blasenbildung verringern.

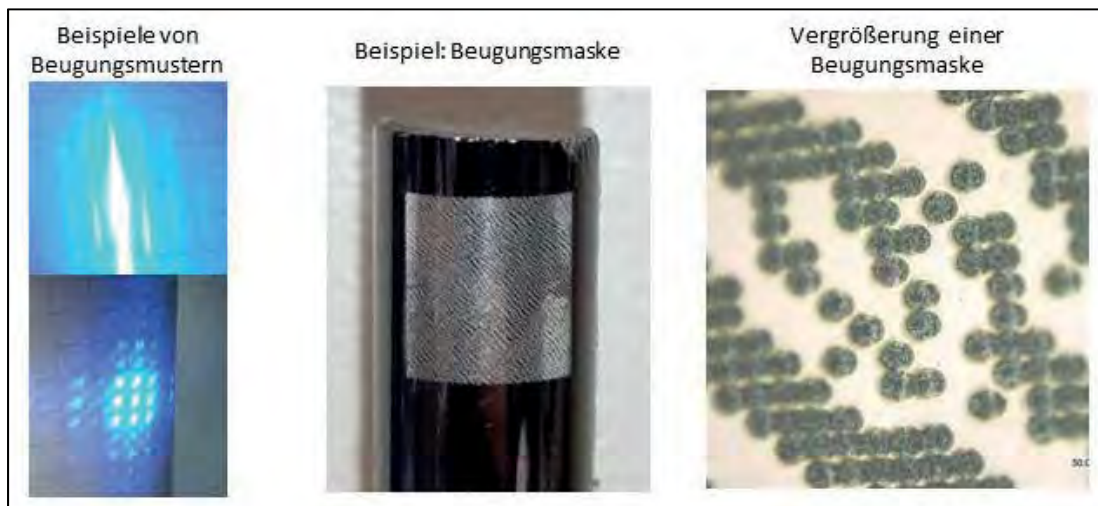


Abbildung Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.6: Beispielaufnahmen von Beugungsmasken und Beugungsmustern während der Versuchsphase

In einem zweiten Versuch (Abbildung 6, links unten) wurde mit einem UV-Laser der Wellenlänge 405 nm ein per Lasermarkierung hergestelltes zylindrisches DOE beleuchtet. Der Lichtstrahl wird am DOE gebeugt und trifft auf die circa 40cm entfernte Probe. Das Hauptmaximum (0.Beugungsordnung) besteht aus 9 im Rechteck angeordneten Kreisen. Darüber hinaus sind die erste und zweite Beugungsordnung nahe des Hauptmaximums zu erkennen.

Die Versuche zeigen, dass eine Dauer von 20 Sekunden für eine Belichtung von solchen Strukturen ausreicht. Bei vier Minuten, wie im ersten Versuch, hat das Streulicht ausgereicht um die Probe vollständig zu belichten. Auf der entwickelten Probe ist das Beugungsmuster gut zu erkennen, jedoch sorgten die Streulichteinwirkungen für unerwünschte Nebenerscheinungen. Im dritten Versuch wurde deshalb eine zusätzliche Blende in den Strahlengang, hinter das Beugungsgitter gestellt, um das Streulicht zu minimieren.

6. Zusammenfassung und Ausblick

In einem ersten Schritt wurden für einen Teilzylinder mittels eines speziellen Algorithmus Beugungsbilder für diverse zylindrische Strukturen gerechnet. Es ist vorgesehen, diese auf einem Silizium-Wafer zu schreiben und anschließend erneut in PDMS abzugießen. Die flexiblen Phasengitter sollen auf einen Quarzzylinder geklebt werden. Auf Grundlage der sich ergebenden realen Beugungsbilder soll eine Fehleranalyse erfolgen. Beispielsweise wurde in die Berechnung der Strukturen noch nicht der PDMS-Schrumpf einbezogen. Dieser verfälscht natürlich die gewonnenen Gitter und das spätere Beugungsbild. Die Strukturierung des Si-Wafers mittels Laser und IBS selbst birgt ebenfalls Fehler, all diese Parameter gehören zu einer vernünftigen Fehleranalyse.

In weiteren Versuchen konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Methode für die Strukturierung von Beugungsmustern geeignet ist und dass die sonst in der Photolithographie unerwünschte Nebenerscheinung „Beugung“ sinnvoll eingesetzt werden kann.

Literatur

[1] Projekt Pro-ZyLiMa; „Entwicklung von nicht-planen strukturierten Masken für die Verwendung in lithographischen Prozessen und der Technologie zur Herstellung von Mikro-/Makrostrukturen auf nicht-planen, gebogenen Oberflächen“; Signo: FKZ 03SHWB078; BMWi

[2] D. Radtke und U. D. Zeitner, „Laser-lithography on non-planar surfaces,“ *Optics Express*, p. 1167 ff., 5 February 2007.

[3] B. J. Jackin, „Studies on non-planar CGHs for 3D display,“ Utsunomiya University, 2013

[4] F. Wyrowski, „Diffractive optical elements: iterative calculation of quantized, blazed phase structures,“ *Optical Society of America*, p. 961 ff., 18 Januar 1990.

Kinetische Modellierung der Galactooligosaccharid-Synthese

I. Müller^{a*}, G. Kiedorf^b, E. Runne^a, A. Seidel-Morgenstern^{b,c}, C. Hamel^{a,c}

^a Hochschule Anhalt, FB Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik, Bernburger Str. 55, D-06366 Köthen

^b Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Sandtorstr. 1, D-39106 Magdeburg

^c Otto-von-Guericke-Universität, Institut für Verfahrenstechnik, Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg

* E-Mail: ines.mueller@hs-anhalt.de

Abstract

Die Kinetik der Synthese von Galactooligosacchariden aus Lactose mit β -Galactosidase wurde untersucht und der Einfluss allgemeiner Reaktionsparameter (pH, T, c etc.) bestimmt. Statische und dynamische Perturbationsexperimente erlauben zudem eine detaillierte kinetische Netzwerkanalyse, welche in Kombination mit einem postulierten Katalysezyklus die Entwicklung mechanistischer kinetischer Modelle ermöglichte. Diese bieten eine gute modellbasierte Beschreibung zur Simulation und Optimierung der Synthese in einem breiten Betriebsfenster.

1 Einleitung und Zielstellung

Positive physiologische Nahrungsmitelegenschaften sind z.B. durch die Galacto-Oligosaccharide (GOS) induziert. GOS zeichnen sich durch ihre prebiotische Wirkung aus und sind Teil der menschlichen Muttermilch¹. In boviner Milch hingegen liegt GOS lediglich in Spuren vor. Mit Hilfe des Enzyms β -Galactosidase kann GOS enzymatisch aus boviner Lactose gewonnen werden² und aufgrund dessen, dass Lactose bei der Käseproduktion in hohen Mengen als Nebenprodukt anfällt³, stellt die GOS-Gewinnung ein vielversprechendes Segment der Lebensmittelindustrie zur Wertschöpfung dar.

Der allgemeine Reaktionsmechanismus der GOS-Synthese (Abbildung 1) wird als gleichgewichtslimitiert beschrieben, da die β -Galactosidase stets eine Hydrolyse- (Monomerbildung) als auch eine Transgalactosylierungs- (Oligomerbildung/Polymerisation) Aktivität aufweist⁴. Post factum liegt im Reaktionsendprodukt GOS, unfermentierte Lactose, sowie die Reaktionsnebenprodukte Glucose und Galactose vor.

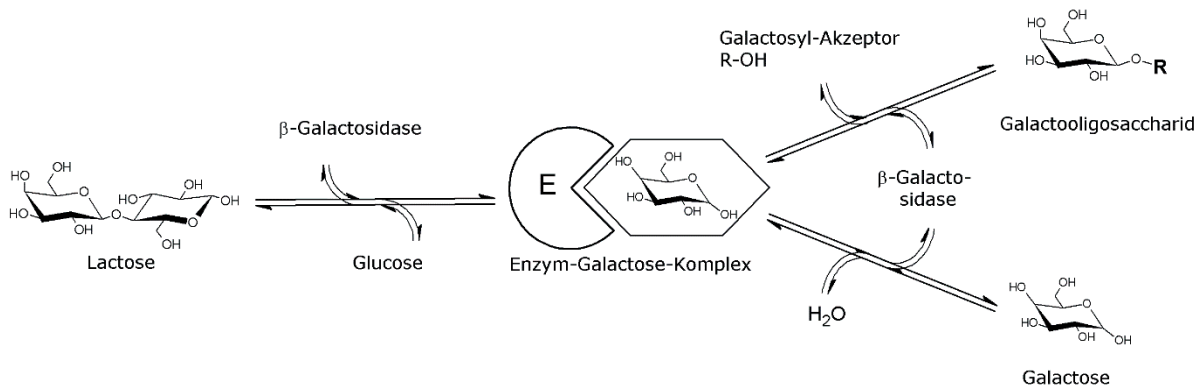


Abb.1: Gleichgewichtslimitierter Reaktionsmechanismus der GOS-Synthese⁴

Für eine probate Prozessentwicklung als auch –optimierung ist daher ein detailliertes Verständnis zum Reaktionsmechanismus und dessen mathematische Beschreibung unabdingbar. Eine kinetische Modellierung, basierend auf einem Katalysezyklus, wie er in der chemischen Reaktionstechnik etabliert wurde, um den Herstellungsprozess auszulegen und zu optimieren, ist nicht publiziert und wird in diesem Beitrag bereitgestellt.

2 Screening der Reaktionsparameter

Zunächst galt es, die der Enzymspezies entsprechenden optimalen Prozessführungsparameter zu ermitteln. Kinetische Faktoren wie der Einfluss der Ausgangskonzentration von Lactose (25-150 g L⁻¹), der Enzymkonzentration (4,5-14 U mL⁻¹), der Temperatur (10-60 ° C, Abb.2 - links) und dem pH-Wert (5,5-8,0, Abb.2 - rechts) wurden in einem Phosphatpuffer-Systemen untersucht.

Eine maximale Ausbeute mit 49 % GOS konnte nach sechs Stunden Fermentation bei pH=7,4, T=40 ° C, 14 U mL⁻¹ Enzym- und einer Substratkonzentration von 150 g L⁻¹ erreicht werden.

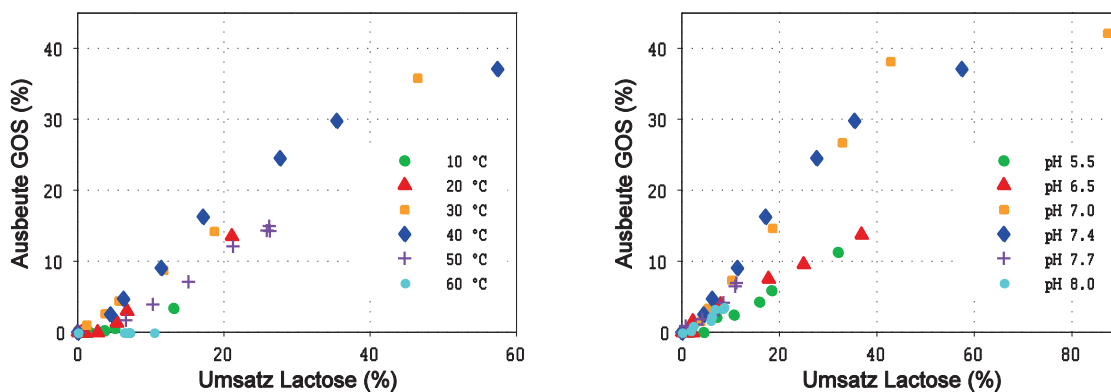


Abb.2: Einfluss von Temperatur (links; pH=7,4) und pH-Wert (rechts; T=40 °C) auf die Ausbeute von GOS in Abhängigkeit vom Lactoseumsatz; Reaktions-Rahmenbedingungen: 100 g L⁻¹ Substratkonzentration, 4,5 U mL⁻¹ Enzymkonzentration, ges. Reaktionsdauer 24 h

Diese Studien ermöglichen die Auswahl eines geeigneten Betriebspunktes und bildet die Grundlage für die nachfolgenden kinetischen Analysen, auch zu den Inhibierungsmechanismen.

3 Katalysezyklus und Mechanistische Kinetik-Modelle

Basierend auf den Vorversuchen wurde ein Katalysezyklus für die Polymerisation von GOS entwickelt (Abbildung 3). Auf diese Weise wird Lactose (L) zunächst zu Glucose (Glu) und Galactose (Gal) umgewandelt. Anschließend können Galactose und Lactose zu GOS polymerisieren. Parallel dazu tritt die Hydrolyse des Enzym-Galactose-Komplexes (E [Gal]) auf.

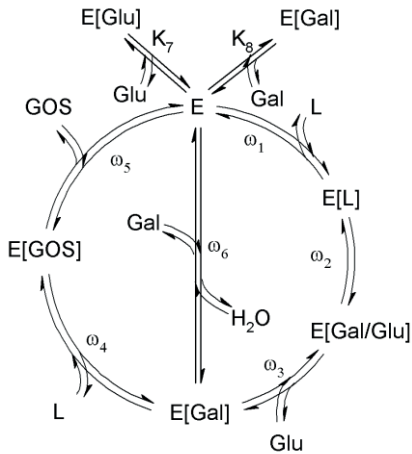


Abb. 3: Postulierter Katalysezyklus der Lactose-Aufspaltung, GOS-Bildung und Hemmung durch Glucose und Galactose

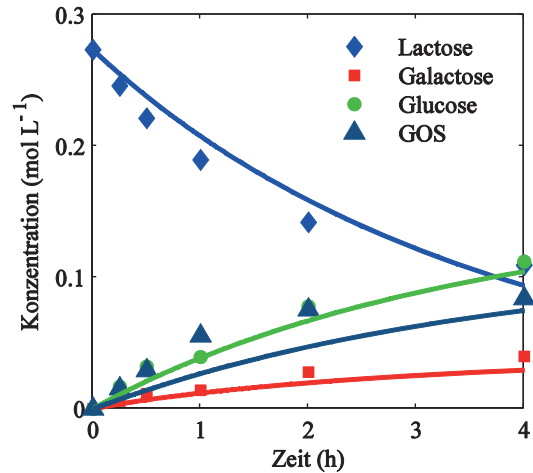


Abb. 4: Experimentelle (Symbole) und modellbasierte (Linien) Konzentrationsverläufe von Lactose, Glucose, Galactose und GOS, $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7,4$, $c_{\text{Kat}}=14\text{ U mL}^{-1}$ und $0,28\text{ mol L}^{-1}$ Lactosekonzentration

Experimente mit Feedmischungen (Substrat + Produkte) und gezielte dynamische Störungen mit den Produkten Glucose oder Galactose zeigten eine hemmende Wirkung auf den aktiven Katalysator / Enzym (E) und reduzierten die Reaktionsgeschwindigkeit signifikant.

Unter Verwendung des reversiblen Katalysezykluses wurden mechanistische kinetische Modelle ohne geschwindigkeitsbestimmende Reaktionsschritte abgeleitet^{5,6}.

4 Experimentelle Daten und Modellierung

Aufgrund der Anzahl an Zwischenreaktionen (siehe Abb. 3) resultieren komplexe mechanistische Kinetik-Modelle, womit sich die Parametrisierung als schwierig gestaltet. Daher werden mathematische Modellreduktionstechniken angewandt⁵. Die anschließende Validierung der Modellierung weist eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten für eine große Breite an variablen Reaktionsbedingungen auf (Beispiel Abbildung 4).

Die modellierten und experimentellen Ergebnisse sollen im Beitrag bzgl. des Einflusses von Inhibierungsmechanismen, Enzym- als auch Substratkonzentration vorgestellt, diskutiert und bewertet werden.

5 Ausblick

Die reduzierten und parametrisierten mechanistischen Modelle erlaubten eine gute mathematische Beschreibung der GOS-Synthese für ein breites Spektrum an Betriebszuständen. Sie bilden die Grundlage für die Prozessauslegung und -optimierung hinsichtlich einer kontinuierlichen Produktion in Kombination mit der Erzielung einer maximalen GOS-Ausbeute. Die Modellierung des Syntheseprozesses stellt zudem den Ausgangspunkt für mögliche Aufreinigungsverfahren für GOS als auch für Recyclingstrategien bzgl. der unfermentierten Lactose dar.

Referenzen

- 1 R. Tanaka, *Effects of Administration of TOS and Bifidobacterium breve 4006 on the Human Faecal Flora. Bifidobacteria and Microflora*, 17-24, 1983
- 2 Intanon, M., et al., *Nature and biosynthesis of galacto-oligosaccharides related to oligosaccharides in human breast milk*. FEMS microbiology letters, 2014. 353(2): p. 89-97.
- 3 Gänzle, M.G., G. Haase, and P. Jelen, *Lactose: Crystallization, hydrolysis and value-added derivatives*. International Dairy Journal, 2008. 18(7): p. 685-694.
- 4 Torres, D.P., et al., *Galacto-oligosaccharides: production, properties, applications, and significance as prebiotics*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010. 9(5): p. 438-454.
- 5 Helfferich, F.G., 2001. *Kinetics of homogeneous multistep reactions*, 1st ed. Elsevier, Amsterdam, New York.
- 6 G. Kiedorf, D.H. Minh, J. Markert, A. Müller, A. Jörke, H. Arellano-Garcia, A. Seidel-Morgenstern, C. Hamel, *Kinetic description of the hydroformylation of 1- dodecene in a thermomorphic solvent system by using rhodium-biphephos-catalyst*, Chemical Engineering Science, 115, 31–48, 2014

Utilizing the novel CRISPR/Cas technology to genetically engineer human cell lines with gene knockouts and insertion of protein tags

Nadin D. Exner^{1,2}, exner1@hs-mittweida.de | Katharina Sarnow² | Matthias Lehmann² | Evelin Schröck² | Petra Radehaus¹ | Barbara Klink²

¹University of Applied Sciences Mittweida, Faculty of Applied Computer Sciences & Biosciences

²Institute for Clinical Genetics, Faculty of Medicine Carl Gustav Carus, TU Dresden

1 Introduction

The CRISPR/Cas-System (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) is a powerful novel method for genome editing, which has many advantages compared to other gene editing technologies including zinc-finger nucleases (ZFNs) and transcription activator-like effector nucleases (TALENs). Advantages are the easy design and the efficient creation of double strand breaks (DSB) at specific positions. Within only a short period of time it turned from a niche technology to a mainstream method and there are many different applications and different ways to utilize the system. However, there are numerous open questions about optimal conditions and protocols and the wide range of publications in this rapidly developing field makes it challenging to users to find their optimal way to establish and implement this tool.

The principle system that is known today as CRISPR was first described in the late 1980iesⁱ. In 2012 the group of E. Charpentier and J. Doudna published the use of the system for specific genome editingⁱⁱ. Figure 1 shows a scheme of the system. Key player is the Cas9 protein, which can bind and cleave DNA and is guided by a specific RNA (gRNA) that is complementary to the target sequence. Important is the presence of a specific recognition site in the target DNA, called Protospacer Adjacent Motive (PAM). The PAM-sequence is specific for the particular Cas9 derivation. The most widely used one is the Cas9 from *Streptococcus pyogenes* with the PAM "NGG". Here, the guiding gRNA binds directly upstream of the PAM and DSB occurs 3 bases upstream of the PAM.

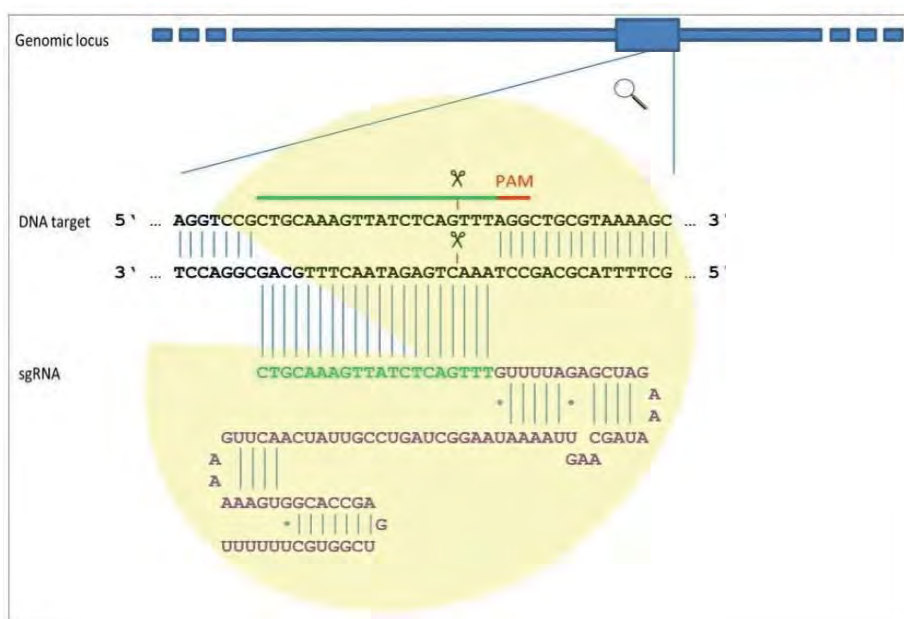


Figure 1: Scheme of Cas9 nuclease. Shown is the Cas9 nuclease from *S. pyogenes* (yellow) which is targeted to a specific genomic locus by the so called sgRNA consisting of a 20-nucleotide sequence - complementary to the specific gene locus (green) and a scaffold (violet). Due to its complementarity, the guide sequence pairs with the DNA target (green bar). This sequence is followed by a required 5'-NGG - the PAM (red). Cas9 generates a DSB 3bp upstream of the PAM (red line with scissors) [modified after ⁱⁱⁱ].

DSB are repaired by endogenous mechanisms in two different ways: by Non-Homologous End Joining (NHEJ) or by Homology Directed Repair (HDR). NHEJ is an error-prone pathway, which is suitable to generate small insertions or deletions leading to frameshifts and therefore to a functional knockout (KO) of the respective gene. In the case of HDR, repair is based on a template which can be used to introduce a desired sequence modification, e.g. a specific base exchange or introduction of a new sequence. We tested different conditions to utilize the CRISPR/Cas-System for efficient gene knockouts (KO) in human tumor cells. In this article we report our experiences and discuss some issues to consider when working with this method.

2 Material and Methods

All experiments were carried out on human primary glioblastoma cell lines based on the protocol published by Ran et al. 2013ⁱ.

2.1 CRISPR/Cas-Components

2.1.1 Cas9

We used Cas9 in form of the plasmid pSpCas9(BB)-2A-GFP (deposited by Feng Zhangs Lab, Addgene plasmid ID: 48138 - PX458), which includes the coding sequences for the GFP-coupled *S. pyogenes* Cas9. The desired gRNAs (Metabion, Planegg/Steinkirchen) were cloned into the plasmid by using the BbsI restriction enzyme (Thermo Scientific, Darmstadt). Additionally we used RFP-tagged Cas9 protein (Eupheria Biotech, Dresden) that has an additional nuclear localization signal, which guides the protein directly to the nucleus.

2.1.2 sgRNAs

We used different free available online tools to design the gRNAs: 1.) CRISPR design, Zhang Lab, MIT^{iv} 2.) CHOPCHOP^v 3.) sgRNA Designer, Broad Institute^{vi}.

Table 1: gRNAs

Name	Sequence	Breakpoint
RoboA	TGTAGGATCGCGTCTTCGCC	Exon 2 <i>ROBO2</i>
RoboB	AGGATGCTCCACAATCCGCG	Exon 2 <i>ROBO2</i>

2.1.3 Repair templates for HDR

To generate knockouts of *ROBO2*, we used a repair template with a 30 bp Stop-Codon-Cassette (SCC) published by Gagnon et al. 2014^{vii} flanked by 70 bases homology arms homologous to the region of the *ROBO2* gene that flank the breakpoint. The SCC has stop codons in every frame and additional PacI and PmeI restriction sites (Fig. 2). We used these repair templates in form of single-stranded Oligonucleotides (ssODNs) (IDT, Leuven).

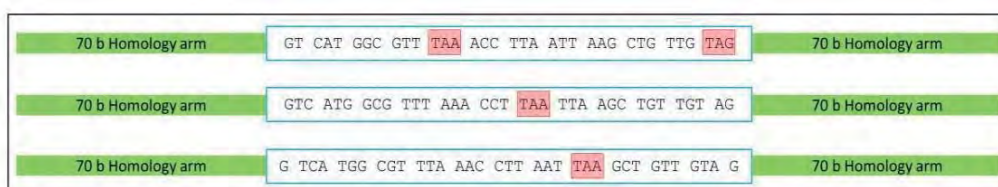


Figure 2: Scheme of *ROBO2* KO template.

2.2 Transfection

To deliver the compounds, different amounts of Lipofectamine 3000 reagent (0.16% and 0.33%) and different incubation times (2d, 3d, 4d) were tested according to supplier's

instructions (Thermo Scientific, Darmstadt). Included in the transfection mixture was P3000 reagent (2µl/µg DNA) and the reactions were filled up with Opti-MEM medium (Life Technologies AG, Carlsbad, California) to a final of 125µl (6-well), 50µl (12-well) or 25µl (24-well). Same amounts of Lipofectamine 3000 reagent dissolved in Opti-MEM were used. Both solutions were mixed by pipetting up and down, incubated for 15min and then given to the cells. For plasmid transfection we used the 6-well format and seeded 200,000-250,000 cells per well in 2,000 µl of their standard cell culture medium (total volume of 2,252µl) so that they were 70-90% confluent at the day of transfection. We took 0,22ng/µl PX458-plasmid and 0,22ng/µl ssODN. In case of introducing the Cas9 protein we used 12- and 24-well format with total volumes of 1,100µl and 550µl respectively where we seeded 30,000-100,000 cells. The Cas9 protein had to be incubated with the gRNAs for 15min at 23°C to build a complex before incubation with the transfection mixture. We introduced 1,7ng/µl Cas9-Protein and 0,47ng/µl gRNA. Varying amounts of templates in form of ssODN were used: 0,5ng/µl for 12-well format and for 24-well format: 1,7ng/µl; 0,5ng/µl; 0,36ng/µl and 0,09ng/µl. After transfection cells were washed with PBS (Biochrom GmbH, Berlin) and harvested using 0,05% Trypsin (Biochrom GmbH, Berlin)/0,02% EDTA (Biochrom GmbH, Berlin) solution. Cells were centrifuged by 1200 rpm for 5 min and resuspended in DMEM medium (Biochrom GmbH, Berlin). GFP- (Cas9 plasmid) or RFP- positive (Cas9 protein) cells were enriched using fluorescence-activated cell sorting (FACS). Positive cells were sorted as single cells in 96-well-plates using FACS Cell sorter ARIA II (BD Biosciences, New Jersey).

2.3 Screening

Screening for correct gene editing was done using PCR with HotStarTaq Polymerase (QIAGEN N.V., Venlo) - carried out according to supplier's instructions and gel electrophoresis (2% agarose gel - Serva Electrophoresis GmbH, Heidelberg), 1h, 110V). Primers around the breakpoint were designed to get a product length of 190bp for wildtype variants (forward: GAGTTTAATTTCCCATCAGG; reverse: CCTTGCAGTTCAGAGTCGTG). In the case of SCC template introduction (positive edited clones) a 30bp longer product is expected.

3 Results and Discussion

We applied the CRISPR/Cas-System by introduction of the Cas9 enzyme, as plasmid or as protein, in combination with a repair template to introduce a Stop-Codon-Cassette in human cancer cell lines in order to obtain a functional knockout of the *ROBO2* gene. We decided to use introduction of a SCC via HDR instead of only relying on NHEJ to ensure a functional KO, since NHEJ not necessarily lead to a loss of function but also might result in in-frame changes, which might even lead to potential altered (neomorphic) functions. To select successfully transfected clones we used GFP-or RFP-tagged Cas9 and FACS sorted cells as single cells per well. Positive edited clones were identified using PCR and Sanger Sequencing.

3.1 Optimization of transfection

Initially, we tested different transfection conditions for our cells to reach highest transfection efficiencies: different amounts of transfection reagent (0.16% or 0.33% Lipofectamine) and

template DNA as well as different incubation times. Since the Cas9 plasmid used is GFP-tagged, the transfection efficiency could be measured based on the amount of vital GFP-positive cells by FACS. Use of 0.33% Lipofectamine reagent resulted in higher transfection efficiencies compared to 0.16% Lipofectamine. The ratio of Lipofectamine to total DNA is important for an effective transfection. Total loads should be positive so that the cell can absorb the DNA bound to the lipid. Too much DNA, brought into the cells, can be toxic (e.g. due to cell stress). However, providing not enough Cas9 and template DNA will result in lower editing efficiency. Different amounts (0.09ng/μl – 1,7ng/μl) of template DNA were introduced, but no significant effects on cell viability were seen for our used concentrations. When introducing Cas9 as a plasmid, the protein itself has to be transcribed so that the optimal point of time for sorting of positive cells had to be determined. Highest amount of GFP-positive cells were obtained after 2d incubation time (ø19.1%), longer times led to a decrease of GFP-positive cells (3d: ø 14.4%, 4d: 9.0%).

3.2 Gene Knockout by introduction of a Stop-Codon-Codon-Cassette

To engineer a cell line with functional knockout of the *ROBO2* gene we aimed to introduce a stop codon cassette in exon 2 by using a repair template and utilizing HDR (Fig.2, 3A). After transfection of $1,2 \times 10^6$ cells, 2,880 positive cells were sorted as one single cell per well. After 7 weeks of incubation, 63 of these cells formed clones with a sufficient cell number for screening. Based on PCR-screening we saw a correct introduction of the SCC in 2 cases: one clone showed a correct biallelic insertion and another one a monoallelic insertion (Fig.3C). This could be confirmed by Sanger-Sequencing (Fig 3D). When additionally analyzing all clones using Sanger-Sequencing, we found that 23 clones (36.5%) had small insertions or deletions (1-27 bases), suggesting that the NHEJ pathway took place (Fig.3A, C). Moreover, twelve clones (19.0%) showed a monoallelic insertion of the SCC that however was incorrect (regions of the template were duplicated/deleted). The total editing efficiency for HDR was therefore about 22.2%, which is much higher compared to the reported 5% HDR efficiency for insert introductions with similar lengths by other groups^{viii,ix}. However, only 3.2% of the clones showed correct introduction of the SCC, while most had a modified sequence introduced, which has not been described so far. This could either mean that HDR based on the repair template took place but was incorrectly carried out, or that modifications of the repair template had occurred. It is known, that editing efficiency depends on cell type and its state, template type and genomic lociⁱ. Therefore results cannot be compared directly. However, we achieved a high rate for HDR (22.2%) and an expected rate of NHEJ (36.5%) – which is known to be typically more efficient than HDR. We therefore conclude that our guide and template design as well as the genomic loci for the Cas9 editing was well chosen and the aim of the experiments was achieved.

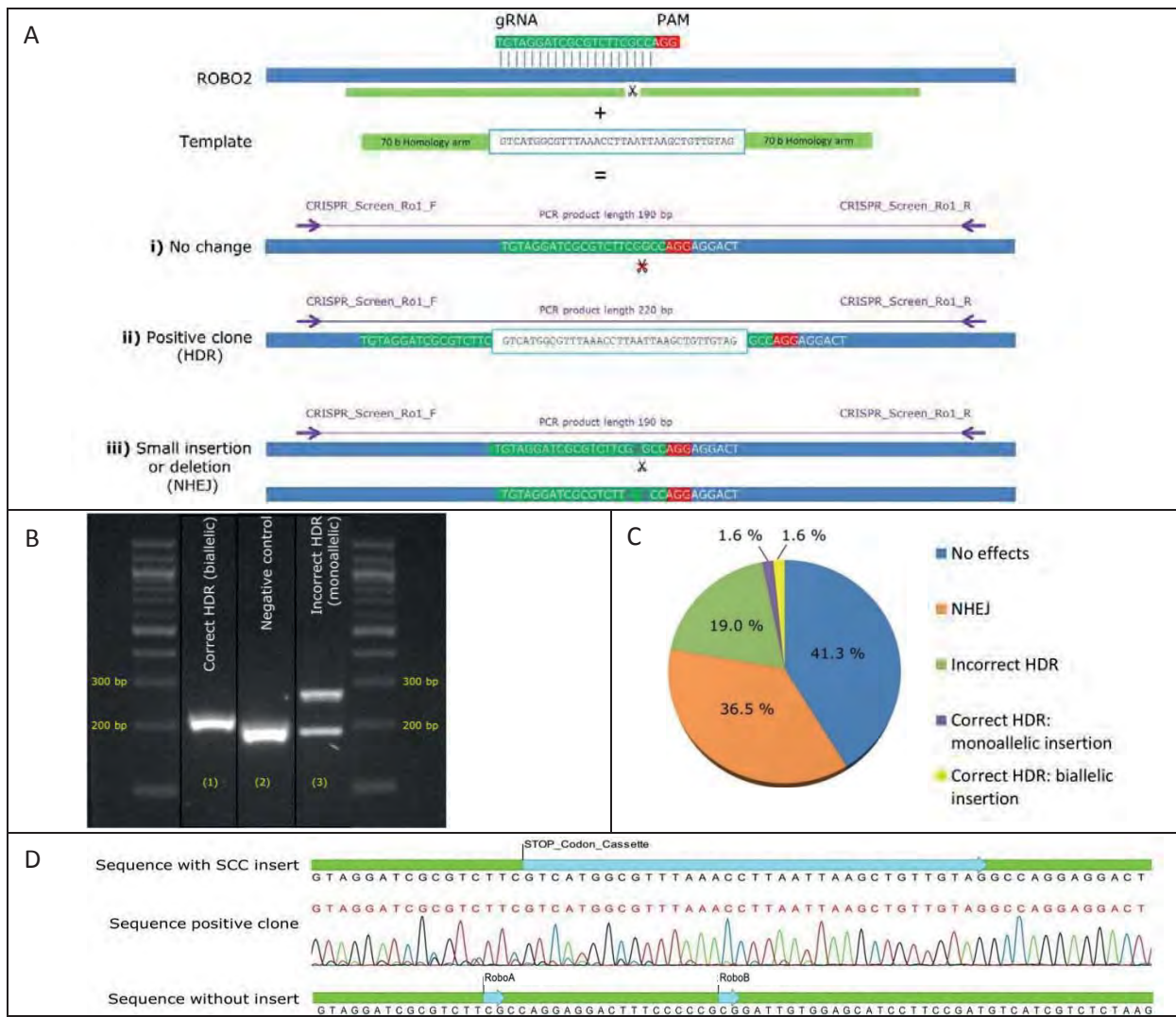


Figure 3: Results of CRISPR-KO of ROBO2. **A:** Scheme of CRISPR experiment. Shown are the target with gRNA and required PAM. SsODN template (includes the 30 bp SCC flanked by 70 bp homology arms) were added. Three outcomes are possible: i) no cleavage of Cas9/correct repair → no change in the genomic sequence ii) generated DSB is repaired by HDR resulting in introduction of the SCC iii) generated DSB is repaired by the error-prone NHEJ resulting in small insertions or deletions. Screening primers for PCR are shown as arrows. **B:** Examples for PCR screening results (with 100 bp Ladder). Correct introduction of the SCC in both alleles lead to a 220 bp PCR product (1), while wild-type sequence will give a 190 bp PCR product (2). (3) Two PCR-Products, one 190 bp and one with 290 bp implying insertion of an incorrect sequence in one allele while the other one is unchanged. **C:** Overview of editing efficiency. **D:** Sanger sequencing of a positive clone with a correct insertion of the SCC.

3.3 Off-target effects and other side effects

Problems of the CRISPR/Cas-System can be a cleavage by the Cas9 in a genomic region that is similar to the target. Furthermore, if the Cas9 is introduced as a plasmid, the plasmid itself could integrate somewhere in the genome. Both can lead to interruption of genes and non-specific effects. Therefore we further analyzed seven clones with successful knockouts to exclude such off-target effects. All four in silico predicted potential off-target sites were sequenced in all clones and none of them showed any sequence changes, indicating a high specificity of our designed gRNA. The seven clones of interest were also checked for the integration of the plasmid by PCR. In two of seven clones we found plasmid DNA, suggesting that the plasmid was introduced in the genome. It is not possible to estimate the consequences because of the unknown integration position. If coding regions are affected, protein functions could be destroyed. Therefore these clones were excluded for further

studies. Moreover, to account for other potential unknown effects, in general for following functional studies three or more edited clones should be used. If the seen functional changes are the same for all edited clones, it can be expected that the gene modification is responsible for the observed effect.

3.4 Comparison Cas9 protein and plasmid

Because the Cas9 plasmid can integrate in the genome with unexpected effects, we additionally tested the possibility to transfect with the Cas9 protein instead of plasmid. FACS analysis revealed higher average transfection efficiency for the plasmid approach based on amount of positive cells (5.5% for Cas9 plasmid - 0.9% for Cas9 protein). When the Cas9 plasmid was used, strong GFP-signaling was seen in the whole cell. However, the RFP-tagged Cas9 protein resulted only in a single RFP-spot. Therefore, cell sorting of protein transfected cells took longer time in comparison to plasmid transfected cells and more cells died during/after sorting. Therefore we did not get enough surviving clones for screening. We currently adapt the transfection protocol for Cas9 protein in order to improve transfection efficiency. Altogether, when aiming for a KO and a high editing efficiency can be expected, we would at the moment prefer using the Cas9 plasmid and exclude clones positive for plasmid DNA after screening, since it is cheaper, more flexible and worked good in our hands.

4 Outlook and Conclusion

The CRISPR/Cas-System is a powerful method for targeted genome editing with a wide range of applications. However, the method is not that easy and fast to implement than often propagandized. There are many open questions about optimal working conditions, design and delivery of the Cas9, gRNA and repair templates to achieve optimal efficiency and specificity. It is necessary to optimize and validate experiment designs to achieve the best results according to the aimed outcome and the context of the different biological models used.

5 Literature and used online tools

- ⁱ Ran, F. A. et al. 2013: Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nature Protocols*. 8 (11). pp. 2281-2308
- ⁱⁱ Ishino, Y. et al. 1987: Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isoenzyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of Bacteriology*. 169. Pp. 542-5433
- ⁱⁱⁱ Jinek, M. et al. 2012: A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*. 337(6096). pp. 816-821
- ^{iv} CRISPR design <http://crispr.mit.edu/>; Zhang Lab, MIT Version 2015 - Juni 2016
- ^v Montague, T. G. et al. 2014: CHOPCHOP: a CRISPR/Cas9 and TALEN web tool for genome editing. *Nucleic Acids Research*. 42. W401-W407
- ^{vi} Doench, J. G. et al. 2014: Rational design of highly active sgRNAs for CRISPR-Cas9-mediated gene inactivation. *Nature Biotechnology*. 32(12). pp. 1262-1267
- ^{vii} Gagnon, J.A. et al. 2014: Efficient Mutagenesis by Cas9 Protein-Mediated Oligonucleotide Insertion and Large-Scale Assessment of Single-Guide RNAs. *PLOS ONE*. 9(5).
- ^{viii} Komor, A. C. et al 2016: CRISPR-based technologies für the manipulation of eukaryotic genomes. *Cell*. 168 (1-2). pp. 20-36
- ^{ix} Mali, P. et al. 2013: RNA-guides human genome engineering via Cas9. *Science*. 339/6121. pp. 823-826

Development of a Pipeline for Exploration of Protein-Ligand Interactions Involving 17 β -Estradiol

Tomás Cabrera-Lancheros¹, Alexander Eisold^{1,2} and Dirk Labudde^{1,*}

¹University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

²Institute for Organic Chemistry, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, Germany

*corresponding author: dirk.labudde@hs-mittweida.de

Abstract

17 β -estradiol (E2), an endogen steroid hormone, plays a key role in several physiologic processes and diseases in vertebrates, which makes it a prime target for drug discovery and molecular design in environmental sciences and medicine. For this purpose detailed knowledge of protein-ligand binding processes is necessary. We present a bioinformatics pipeline based on sequence and structural analysis of proteins that allows the identification of distinct E2 binding patterns.

1. Introduction

17 β -estradiol is one of the steroid hormones responsible for sexual dimorphism and brain differentiation in vertebrates, as well as for control of sexual cycle and reproduction in females¹. Additionally, E2 plays a role in energy homeostasis and regulation of immune signaling pathways¹. As consequence of this wide activity spectrum, E2 is relevant in several diseases, e.g. obesity, cancer and osteoporosis¹.

Given E2's expansive biological role, it is necessary to understand and characterize its molecular interactions at a physicochemical and geometric level in order to identify novel drug targets and to design E2-binding molecules suitable for environmental sensors, medical diagnostics and therapeutics².

E2's biological activity depends on its ability to bind to a protein. This requires a precisely arranged set of non-covalent contacts between ligand and binding protein, collectively referred to as protein-ligand interactions³. The binding site, i.e. the three-dimensional (3D) conformation of a particular set of amino acids that forms non-covalent ligand interactions, can thus be viewed as the functional component of E2-binding proteins⁴.

Characterizing 3D protein-ligand interactions requires an integrative approach. Initially, considering that copies of a single sequence skew multiple sequence alignments (MSA) ⁵, it is necessary to remove them from the dataset. Consequently, since evolutionarily related proteins generally have similar sequences from which their 3D structures arise, it is essential to identify similarities and evolutionary relationships in sequences and global 3D structures of known protein-ligand complexes ⁶. Furthermore, since 3D structures with similar functions do not always arise from highly similar sequences ⁶, it is also necessary to characterize 3D similarities at binding site level in order to describe a ligand's generalized binding mechanism ⁴.

2. Objective

This paper proposes a bioinformatics pipeline for the identification of distinct E2 binding sites combining sequence- and 3D structure-based analysis of protein-ligand interactions between E2 and specific binding proteins. It is expected that both approaches will yield complementary results.

3. Methods

The initial dataset was established by retrieval of 3D structures and amino acid sequences of protein-E2 complexes from the Protein Data Bank (PDB) ⁷ and by extraction of E2-binding chains from each 3D structure (Fig. 1A). Protein families to which these chains belong were retrieved from the protein family database (Pfam) ⁸, as depicted in Figure 1B.

Identical E2-binding proteins were identified within each 3D structure through a MSA performed with T-Coffee ⁹, a representative was chosen, so that only distinct E2-binding chains remained in the dataset (Fig. 1C). These were grouped according to their corresponding protein family and a MSA was carried out within each group in order to identify dissimilar chains, subsequently called family representative chains (FRCs), as represented in Figure 1C.

3.1 Global structure-based approach

The final dataset, comprising dissimilar 3D global structures, was established through pairwise structure alignments (PStA) of all FRCs within each family using DeepAlign ¹⁰, which relies on sequence and evolutionary information. A template modeling score (TMscore) cutoff of 0.8 was applied, below which FRCs were considered different ¹¹; for similar chains a representative was selected (Fig. 1E). Validation of this dataset refinement process was performed through a multiple structure alignment (MStA) of the final dataset performed with 3DCOMB ¹², which is based on local and global structure alignments.

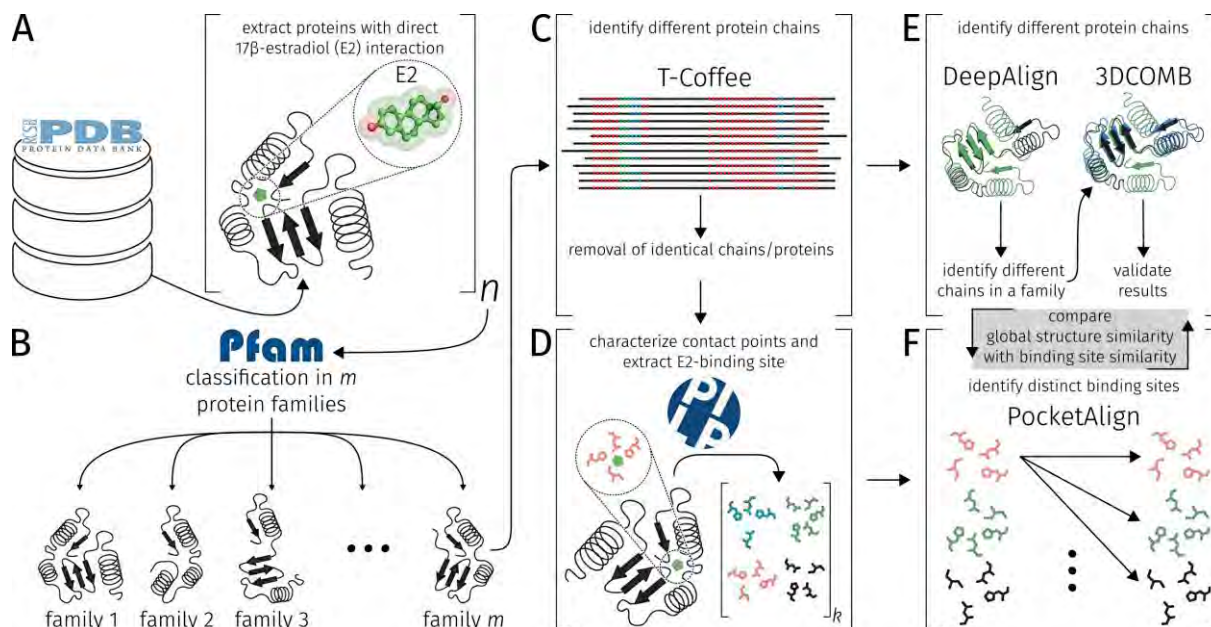


Figure 1. Overview of pipeline for exploration of protein-E2 interactions, composed of steps A to F.

3.2 Binding site-based approach

E2-binding sites in the FRCs were characterized and extracted using PLIP³, which relies on structural and chemical analysis of 3D protein-ligand structures (Fig. 1D). Binding site structures were compared (without E2) through pairwise structure alignment of binding sites (PStABS) using PocketAlign's first alignment scheme⁴. This algorithm is based on analyses of binding site chemistry and geometry underpinned by comparison of root mean square deviations (RMSD) of atomic positions (Fig. 1F). A RMSD cutoff of 0.5 Å was used⁴, above which binding sites were considered distinct (DBS).

4. Results and Discussion

34 protein-E2 structures were retrieved from PDB. Removal of non-E2-binding chains yielded an initial dataset of 70 chains with 68 binding sites, belonging to 6 protein families (Table 1).

4.1 Global structure-based approach

Redundant E2-binding chain removal through MSA identified 30 FRCs with 28 binding sites (Table 1). Further refinement through PStA detected 7 dissimilar FRCs and 6 binding sites, which constituted the final dataset (Table 1). The MStA performed on this dataset shows that these FRCs are dissimilar, according to evaluation parameters (TMscore average and RMSD)¹².

Table 1. Distinct FRCs and binding sites identified. Parenthesis denote number of binding sites.

Pfam ID	# of E2-binding chains - initial dataset	# of FRCs after MSAs †	# of distinct FRCs after PStA - final dataset	# of DBS after PStABS †
PF00054	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1
PF00104	46 (46)	16 (16)	1 (1)	16
PF00106	13 (13)	6 (6)	2 (2)	6
PF00685	6 (6)	3 (3)	1 (1)	3
PF07686, PF07654	4* (2)	4* (2)	2* (1)	2

* These chains are assigned by Pfam to two protein families simultaneously. Their E2 binding site involves two chains (intermolecular).

† Corresponding binding sites.

4.2 Binding site-based approach

Protein-E2 contact points in the initial dataset were characterized as hydrogen bonds, hydrophobic interactions or π -stacking. PStABS yielded a total of 28 DBS, corresponding to those binding sites previously obtained through MSAs (Table 1). This result contrasts with the low number of distinct FRCs identified by the global structure-based approach mentioned above.

Although dissimilar FRC sequences could cause the high binding site variability detected by the binding site-based approach ⁶, this result could have also been influenced by PocketAlign's reliance on RMSD values ⁴, which are known to be very sensitive to local structure deviations and sequence length ¹¹. Therefore, it is necessary to validate PocketAlign's results with additional binding site analysis tools.

5. Conclusions

Analysis of amino acid sequences, global structures and binding sites of protein-E2 complexes were integrated into a pipeline that identified distinct E2-binding chains, extracted the binding site and annotated each residue-E2 interaction.

Global structure-based analysis of 3D protein-ligand complexes allowed a better discrimination of dissimilar E2-binding chains than a binding site-based approach, which has to be developed further.

6. Outlook

The results yielded by this pipeline will be used to identify interesting binding sites in additional protein structures using the bioinformatics tool Fit3D¹³ and to develop a generalized binding mechanism for the protein-E2 complex. Once completely validated, this pipeline can be applied to protein-ligand interaction characterization of further steroid ligands.

7. Bibliography

- [1] Strauss, J. F., III & Barbieri, R. L. *Yen & Jaffe's Reproductive Endocrinology: Physiology, Pathophysiology, and Clinical Management*. (Elsevier Health Sciences, 2013).
- [2] Piro, B. *et al.* Comparison of Electrochemical Immunosensors and Aptasensors for Detection of Small Organic Molecules in Environment, Food Safety, Clinical and Public Security. *Biosensors* **6**, (2016).
- [3] Salentin, S. *et al.* PLIP: fully automated protein-ligand interaction profiler. *Nucleic Acids Res.* **43**, W443–7 (2015).
- [4] Yeturu, K. & Chandra, N. PocketAlign a novel algorithm for aligning binding sites in protein structures. *J. Chem. Inf. Model.* **51**, 1725–1736 (2011).
- [5] Do, C. B. & Katoh, K. Protein multiple sequence alignment. *Methods Mol. Biol.* **484**, 379–413 (2008).
- [6] Kaczanowski, S. & Zielenkiewicz, P. Why similar protein sequences encode similar three-dimensional structures? *Theor. Chem. Acc.* **125**, 643–650 (2010).
- [7] Rose, P. W. *et al.* The RCSB protein data bank: integrative view of protein, gene and 3D structural information. *Nucleic Acids Res.* **45**, D271–D281 (2017).
- [8] Finn, R. D. *et al.* The Pfam protein families database: towards a more sustainable future. *Nucleic Acids Res.* **44**, D279–85 (2016).
- [9] Notredame, C. *et al.* T-Coffee: A novel method for fast and accurate multiple sequence alignment. *J. Mol. Biol.* **302**, 205–217 (2000).
- [10] Wang, S. *et al.* Protein structure alignment beyond spatial proximity. *Sci. Rep.* **3**, 1448 (2013).
- [11] Xu, J. & Zhang, Y. How significant is a protein structure similarity with TM-score = 0.5? *Bioinformatics* **26**, 889–895 (2010).
- [12] Wang, S. *et al.* Alignment of distantly related protein structures: algorithm, bound and implications to homology modeling. *Bioinformatics* **27**, 2537–2545 (2011).
- [13] Kaiser, F. *et al.* Fit3D: a web application for highly accurate screening of spatial residue patterns in protein structure data. *Bioinformatics* **32**, 792–794 (2016).

CFD-based optimization of a micro injection molding process

Felix Schütze¹, Nelson Matuschek¹, Steffen Zinn¹, Loredana Santo², Andreas H.Foitzik¹

¹Institute for Materials, Development and Production University of Applied Sciences Wildau,

²Department of Industrial Engineering University of Rome "Tor Vergata"

fshuetze@th-wildau.de

Abstract: In this report, the injection molding process for a miniaturized bioreactor is optimized by means of experimental flow visualization. A test matrix is used to search through different variations of the process parameters. Subsequently, the miniaturized bioreactor is injection molded with the previously determined parameters. The results of the injection molding process and the simulation are compared with each other as well as evaluated.

1. Motivation

Miniaturized flow through devices offer the possibility to mimic the in vivo microenvironment for cultivated cells¹. To guaranty sterility and to eliminate the dangers of cross contaminations these bioreactors are commonly designed as disposable systems. In order to produce them in large numbers and at low cost, an injection molding process is necessary. The Technical University of Applied Sciences Wildau developed a disposable miniaturized flow-through bioreactor². At the moment, the bioreactor is produced via micro milling, which consumes a lot of time as well as effort and makes the manufacturing of the bioreactor expensive. Using Computational Fluid Dynamics, the optimal parameter settings for an injection molding process were determined and evaluated.

2.1 Optimization of the computational mesh

The accuracy of each flow simulation depends greatly on the quality of the computational mesh. A very fine mesh with many nodes ensures a detailed coverage of the flow area. This increases the accuracy of the calculation. However, a very fine mesh leads to a strong increase of the computation time. An optimal compromise between accuracy and time of the calculation is sought. There are two different types of computational meshes. The surface mesh is basically a two-dimensional representation of the surface. The advantage of this kind of mesh lies in the time of creation and the calculation time. The surface meshes are only used for thin, uniformly components. A solid mesh can be generated on the basis of a surface mesh. This mesh is a three-dimensional image of the volume body. Such meshes are used for more complex components with different wall thicknesses. In this work, we used a solid mesh to simulate mesh the micro bioreactors geometry due to higher accuracy. The micro bioreactor was meshed with different mesh sizes to determine the best compromise between computation time and accuracy. Figure 1 left shows the uniformly mesh size versus the computation time. It can be recognized that with a decrease of the mesh size between 1.0 and 0.4 the computational time increases slightly. Between 0.4 and 0.2 there is a huge increase in the computation time up to

15.000 sec. Compared to the maximum injection pressure (fig. 1 right) it can be seen there is an increase in the pressure from about 50 Mpa up to 250 Mpa in a range between 0.6 and 0.2 of the mesh size. After that a uniformly mesh size of 0.4 is an optimum for the calculation of the micro bioreactor. The horizontal lines in fig. 1 shows the values of a local remeshed computational mesh. That kind of mesh is a good alternative to the uniformly mesh with a size of 0.4.

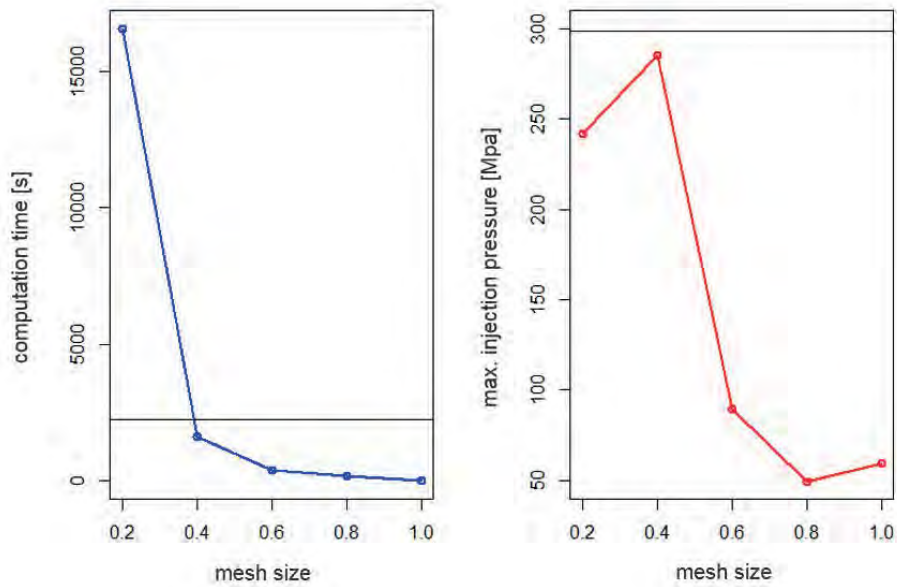


Figure 1 left: Exponential relationship between constant element size and computing time. horizontal line: value of the local remesh, right: Relationship between constant element size and theoretical maximum injection pressure

2.2 Optimization of the processing parameters

The injection molding process is influenced by many factors. The factors can have a great influence on the quality of the parts. The most important factors are the melting temperature, the mold temperature, the injection speed, the injection pressure and the injection time, the holding pressure and the cooling time. In this work, the influence of the injection time, the mold temperature, the melting temperature and the cooling time are investigated. In all experiments, the micro bioreactor was meshed in the same manner. Subsequently, filling simulations with different process parameters were carried out. Table 1 show the variation of the different process parameters, while table 2 illustrates the Design of Experiment matrix to determine the most promising processing parameters combination.

Table 1 processing parameters used for the simulation of the molding process

process parameters	Hight value 1	Low value 0
melt temperature °C	300	260
mold temperature °C	80	30
injection time sec	3	0.6
cooling time sec	10	1

Depending on the combination of the parameter the maximum injection pressure has changed (fig. 2). The parameter set number 1 to 8 the melt temperature has a value of 300 °C. At the set number 9 to 16 the melt temperature is decreased to a value of 260 °C. The exact combination of the parameter sets is shown table 2.

Table 2 experimental matrix used for the CFD simulation. 1=high value, 0=low value

set number	melt temp. °C	mold temp °C	Inject. time sec	Cool. time sec
1	1	1	1	1
2	1	1	1	0
3	1	1	0	1
4	1	1	0	0
5	1	0	1	1
6	1	0	1	0
7	1	0	0	1
8	1	0	0	0
9	0	1	1	1
10	0	1	1	0
11	0	1	0	1
12	0	1	0	0
13	0	0	1	1
14	0	0	1	0
15	0	0	0	1
16	0	0	0	0

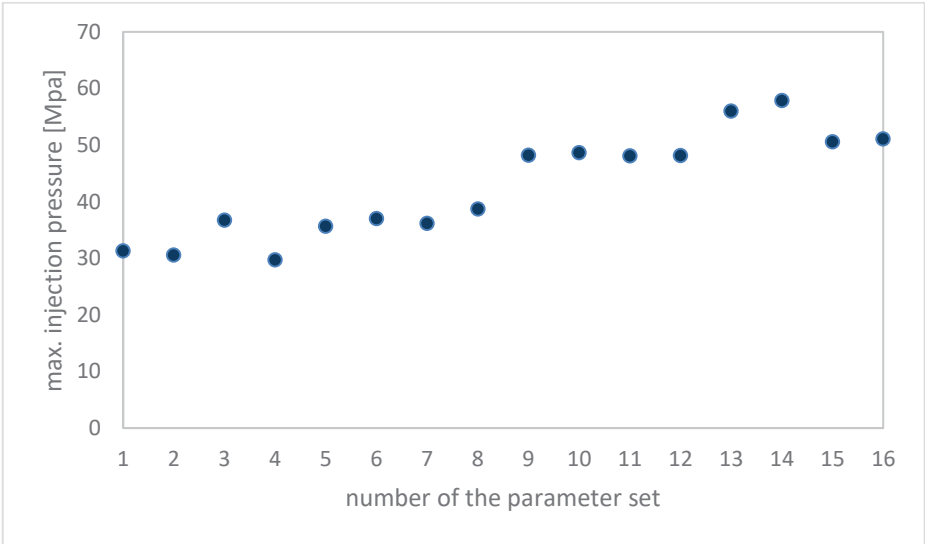


Fig. 1 Changing of the melt temperature according to the sets shown in table 2

The maximum injection pressure shows the combination of the parameter set number 14. A melt temperature and a mold temperature with the low value leads to the higher injection

pressure, because more pressure is needed to fill the cavity. Basically, a low pressure is preferring because of less mechanical stress. Therefore, and because of the analysis of other simulation results the parameter combination of set number 1 to 4 is preferable.

2.3 Micro Injection Molding of the miniaturized bioreactor

To perform a micro injection process a two-sided tool was manufactured via micro milling. The tool was manufactured from CAD-designs using CAD/CAM processing chains. After the determination of the right machine settings and processing parameters, the bioreactor was produced via injection molding. As material polycarbonate (Makrolon, Bayer Material Science AG) was used since it is well suited for biomedical applications. Prior to the injection molding, the polycarbonate was dried at 110°C for 2 hours by utilizing an additional drying unit.

In order to compare the results from the CFD simulation with the real injection molding process, different combinations of processing parameters were tested for the micron injection molding process. The filling time was altered between 0,1s and 3s, the mold temperature between 260 and 300°C, the tool temperature between 30 to 80°C. The cooling time was varied from 1 to 10 seconds. The following pictures shows the comparison between simulation and real data, by varying the degree of filling.

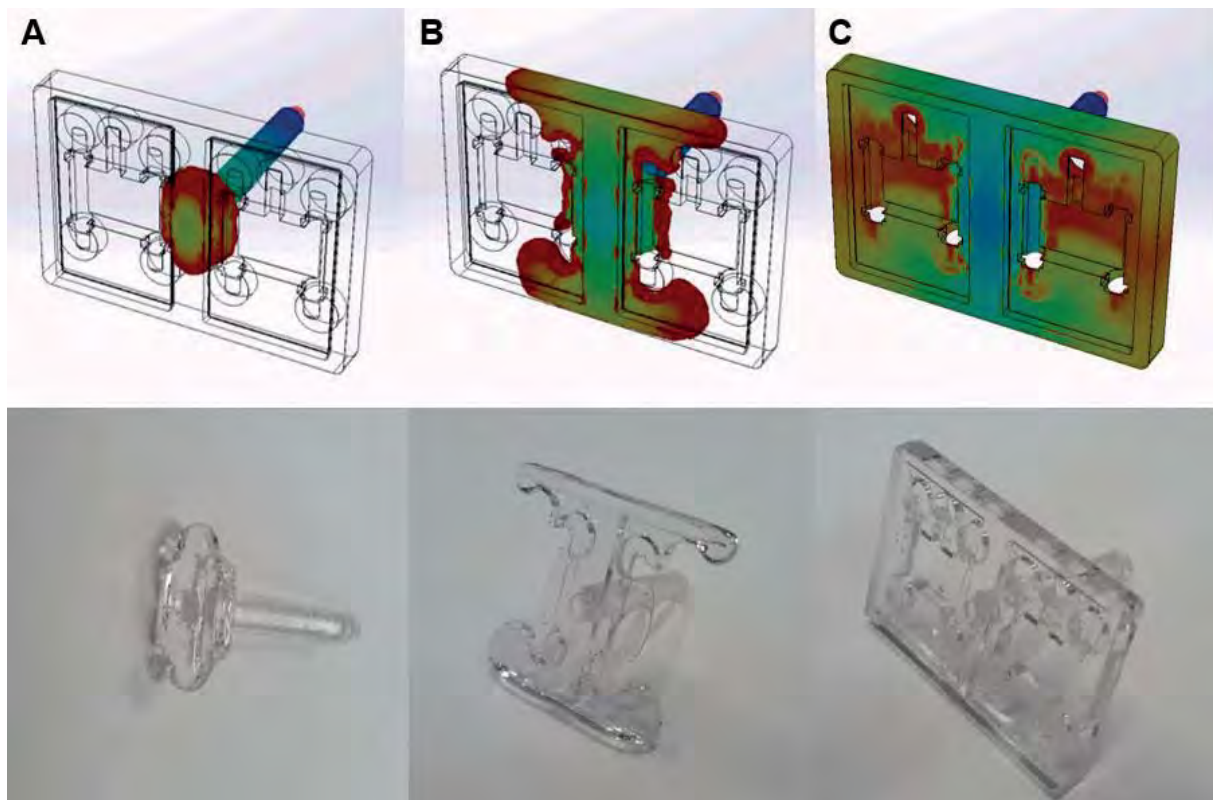


Figure 2 Filling process during simulation (top) and in reality, from left to right: different degree of filling (0.1s, 0.3s, 0.6s)

A simulation is not a guarantee that certain results also occur in reality, since a simulation is not a representation of reality, but rather a calculated probability. This is especially important in the micro domain, since other laws are valid here than in the macro domain. Comparing the formation of the weld lines between simulation and reality reveals the difference. Figure 3.b shows the weld line as it was also shown in the simulation. Figures 3.a and 3.c are not completely filled, no weld lines are visible.

Figure b shows the weld line as it was also shown in the simulation. In figures a and c, the molds are not completely filled. . Instead of a weld line there is a defect here, since the structure to be injected lies in the micro-range.

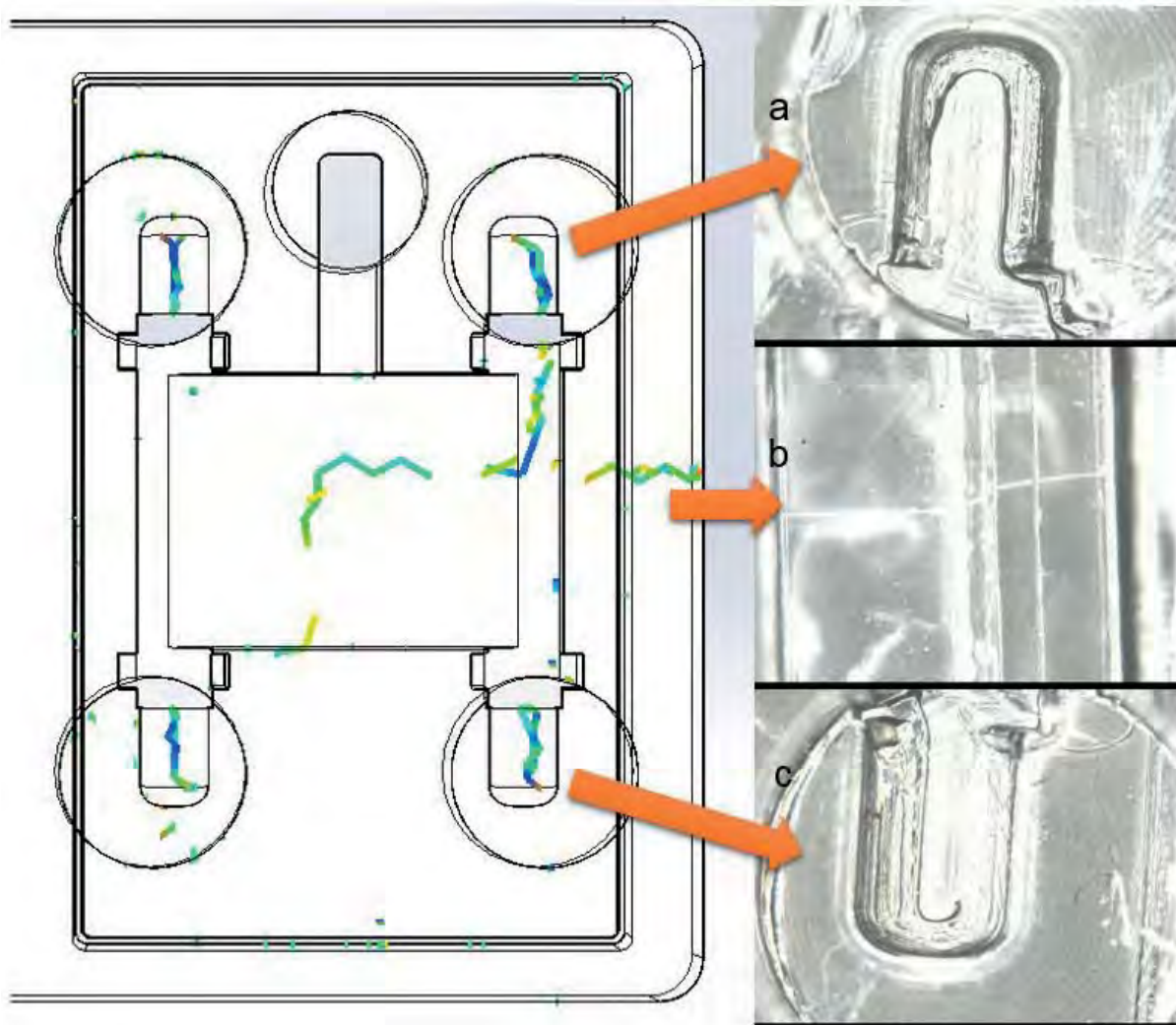


Figure 3 left: weld lines computed by the simulation, right: microscopical recordings of the weld lines from the molding process

3. Summary

In the course of this work, a filling simulation of a microreactor was carried out in order to determine the optimum operating parameters for the injection molding process. With the calculated processing parameters, the bioreactor was manufactured. The comparison between simulation and real component shows that a simulation is a reliable prediction for a real injection molding process. For components and structures in the submillimeter or μm range, the accuracy

of the prediction decreases. The reason for this are the changed laws against the macro range, which are not taken into account in the simulation.

The manufactured bioreactor still has to be tested for waterproof and solidity. Given these additional optimisations, a successful cultivation of cells can be performed. The bioreactor is to be integrated in a cultivational system, enabling to simulate the optimal growth conditions for the cultivated cells.

4. Literature

1 Fallert-Müller, Dr. Angelika, Dr. Udo Maid, Dr. Patricia Falkenburg, and Prof. Dr. H.-D. Jakubke Dresden. 2005. "Bioreaktor - Lexikon Der Biochemie." *Lexikon Der Biochemie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

2 Chmiel H.: "*Bioprozesstechnik*". Heidelberg: Spektrum, Akademischer Verlag (2011), 3 , ISBN: ISBN: 978-3-8274-2476-1

Bestimmung algenbiotechnologisch relevanter Parameter im kontinuierlichen Bioprozessregime: Biomasseabnahme in der Dunkelphase

Tobias Weise¹, Matthias Reinecke¹, Stefan Schuster², Michael Pfaff¹

¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Fachbereich Medizintechnik und Biotechnologie,
Fachgebiet Bioprozess-MSR-Technik

²Friedrich-Schiller-Universität Jena, Biologisch-Pharmazeutische Fakultät,
Lehrstuhl für Bioinformatik
tobias.weise@eah-jena.de

Abstract: Die ökonomische Kultivierung von Mikroalgen erfordert u. a. eine Bioprocessauslegung hinsichtlich maximaler Biomasseproduktivität. Dafür ist im kontinuierlichen Bioprozess die Einhaltung des optimalen Betriebspunktes essenziell. In Experimenten wurde die nächtliche Biomasse-Abnahme untersucht, welche zu einer deutlichen Verschiebung des Betriebspunktes führen kann. Der Beitrag präsentiert eine formal-mathematische Beschreibung der Daten und stellt ein initiales kausales Modell vor.

1 Einleitung

Die ökonomische Produktion von Mikroalgenbiomasse in Photobioreaktoren gehört zu den wachsenden Feldern der modernen Biotechnologie. Die Forschung der vergangenen Jahre prägte vor allem der Bezug zu Biokraftstoffen. Aktuell besteht ein zunehmendes Interesse an der Produktion algenbasierter gesunder Lebensmittel, Nahrungsergänzungsmittel und Pigmente (z. B. β -Carotin und Astaxanthin). Fast jede industrielle Mikroalgenproduktion nutzt natürliches Sonnenlicht und wird deshalb stark von den Tag-/Nacht- bzw. Hell-/Dunkel-Zyklen beeinflusst. Mikroalgen ändern ihren Stoffwechsel von der anabolen Photosynthese während der Lichtphasen zur katabolen Atmung während der Dunkelphasen. Die Biomasseproduktivität von kontinuierlichen Langzeitalkgenkulturen ist stark abhängig vom optimalen Arbeitspunkt. Neben der bestmöglichen Ausnutzung des natürlichen Sonnenlichtes ist die Biomasseabnahme während der beschriebenen Dunkel- bzw. Nachtphasen, obwohl oft nicht berücksichtigt, ein wichtiger Faktor, um die optimale Biomasseproduktivität aufrechtzuerhalten.

In Fortsetzung vorangegangener Arbeiten¹⁻⁵ zur Analyse und Optimierung von Bioprozessregimen in der Mikroalgenbiotechnologie stellt dieser Beitrag Ergebnisse einer Langzeitkultivierung von über 80 Tagen dar. Die maritime Mikroalge *Nannochloropsis salina* wurde in einem modifizierten f/2-Medium unter kontinuierlichen Bioprozessbedingungen in einem tubulären 5-L-Photobioreaktor kultiviert. Einheitliche Tag-/Nacht-Zyklen wurden in einem Hell-/Dunkel-Rhythmus von 16 h/8 h mittels einer Rechteckfunktion realisiert. Während der Nachtphasen wurde die Verdünnung der Kultur deaktiviert.

2 Experimentelle Ergebnisse

Im Rahmen des durchgeführten Experimentes wurde neben weiteren Parametern die optische Dichte (OD) im Nah-Infrarot-Bereich (NIR) online aufgezeichnet. Die Berechnung der Algenbiomassekonzentration (c_X) erfolgte aus der optischen Dichte unter Verwendung der aus den experimentellen Daten ermittelten Korrelation (Gl. 1).

$$c_X [g L^{-1}] = a \cdot (OD_{NIR} [AU])^2 - b \cdot OD_{NIR} [AU] + c \quad (1)$$

mit $a = 0,7894 g L^{-1} AU^{-2}$, $b = 0,4447 g L^{-1} AU^{-1}$ und $c = 0,1667 g L^{-1}$

Zur Veranschaulichung ist ein kleiner Ausschnitt des Datensatzes dargestellt. Trotz der nächtlich deaktivierten Verdünnungsrate ist in den Nachtphasen ein deutlicher Abfall der Biomassekonzentration zu erkennen (Abb. 1-A). Um den Biomasseverlauf in der Nachtphase zu beschreiben, wurden sämtliche 82 Nachtphasen des Datensatzes analysiert.

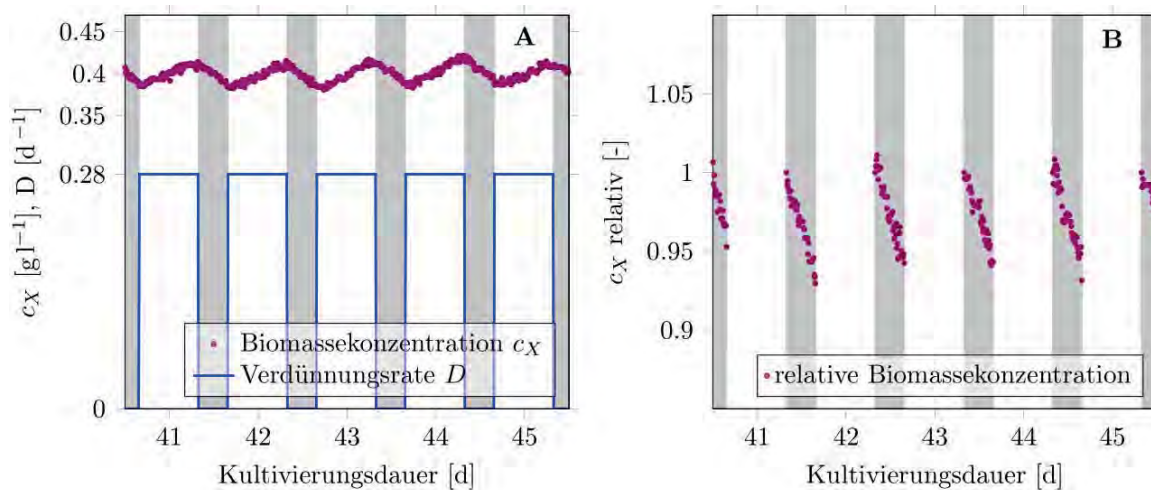


Abbildung 1: Experimentelle Ergebnisse (Ausschnitt), c_X - Biomassekonzentration, D - Verdünnungsrate, grau - Nacht-Phasen; **A:** Verlauf Biomassekonzentration in Tag-/Nacht-Phasen bei nächtlich deaktivierter Verdünnungsrate; **B:** Normierte Daten der Nachtphasen, Biomassekonzentration auf jeweiligen Nachtbeginn normiert.

Abb. 1-B zeigt den gleichen Ausschnitt mit den normierten Nachtphasendaten ohne die Tagphasendaten. Dabei erfolgte die Normierung der Biomassekonzentration auf die Werte des jeweiligen Nachtbeginns. Zur Beurteilung der Konsistenz der einzelnen Dunkelphasenverlaufe wurde der Datensatz in einem dreidimensionalen Streudiagramm dargestellt (Abb. 2-A). Aufgetragen wurde hierzu die relative Biomasseabnahme [%], die Nachtdauer [h] sowie die Anzahl der Nächte als Index (in aufsteigender Reihenfolge). Zur Auswertung der Ergebnisse erfolgte die Mittelung der individuellen Werte der einzelnen Verläufe über die Anzahl der betrachteten Nächte (Abb. 2-B).

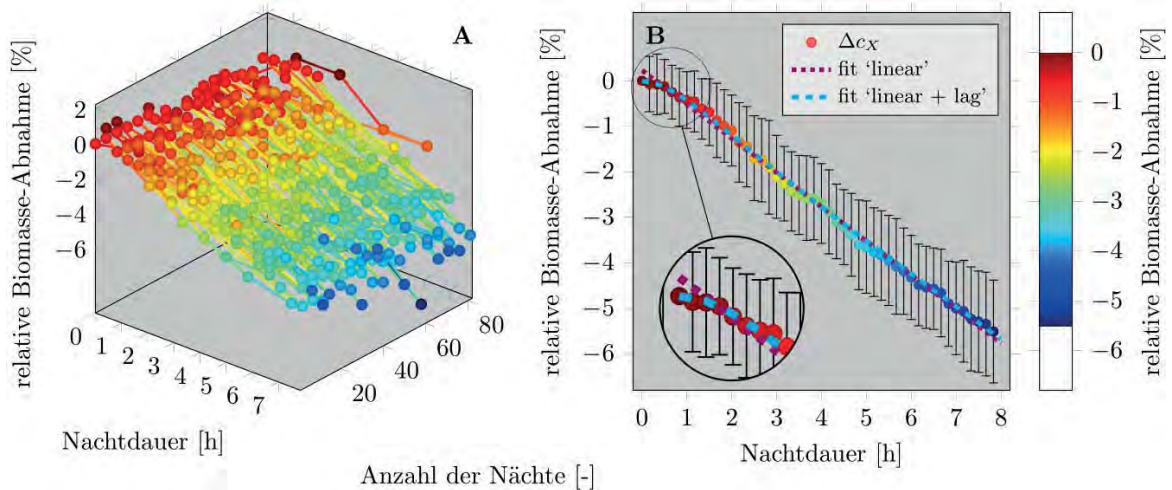


Abbildung 2: Auswertung des gesamten Nachtphasendatensatzes; **A:** Relative Biomasseabnahme über die Nachtdauer für alle beobachteten Nächte ($n = 82$); **B:** Mittelwerte der relativen Biomasseabnahme, Fehlerbalken: $\pm 1\sigma$, $n = 82$, fit „linear“ – Anpassung mittels konstanter Abnahmerate, fit „linear + lag“ – lineare Anpassung mit initialer Lag-Phase.

3 Formale mathematische Beschreibung

Der Verlauf der Mittelwerte der relativen Biomasseabnahme (Abb. 2-B) beschreibt grundsätzlich einen linearen Rückgang der Biomassekonzentration während der Dunkelphasen. Im Mittel nimmt die Biomasse um ca. 5,5 % innerhalb von 8 h ab. Zu Beginn der Nachtphase ist zusätzlich eine geringfügige Verzögerung von ca. 1 h zu erkennen. Zur formalen mathematischen Beschreibung dieser Beobachtung wurden zwei Gleichungen formuliert (Gl. 2 und 3). In beiden wurde eine konstante Biomasseabnahmerate (k_d) zur Nachbildung des linearen Abfallens eingesetzt. Zusätzlich wurde in Gl. 3 eine Verzögerungszeit (t_{lag}) benutzt, welche die initiale Lag-Phase nachbildet.

$$c_X(t)|_{\text{Nacht}} = (-k_d \cdot (t - t_{0,i}) + 1) \cdot c_X(t_{0,i}) \quad (2)$$

$$c_X(t)|_{\text{Nacht}} = \left(-k_d \cdot \left(1 - e^{-(t-t_{0,i})/t_{lag}}\right) \cdot (t - t_{0,i}) + 1\right) \cdot c_X(t_{0,i}) \quad (3)$$

mit c_X – Biomassekonzentration [g L^{-1}], $t - i$ -te Nachtdauer [d], $t_{0,i}$ – Startzeitpunkt der i -ten Nacht [d], k_d – Biomasseabnahmerate [d^{-1}], t_{lag} – Verzögerungszeit [d]

Tab. 1 listet die ermittelten Parameter auf. Die Verwendung der Verzögerungszeit verbesserte das Bestimmtheitsmaß der Anpassung geringfügig. Abb. 2-B zeigt die Verläufe der Gln. 2 und 3 mit den ermittelten Parametern als fit „linear“ und fit „linear + lag“ zusammen mit den Mittelwerten der verbleibenden relativen Biomasse.

Tabelle 1: Übersicht der ermittelten Parameter;
 k_d – Biomasseabnahmerate, t_{lag} – Verzögerungszeit

Gl. Nr.	k_d [d^{-1}]	t_{lag} [d]	R^2
2	0,1798	-	0,9961
3	0,1716	0,0448	0,9981

Mit Hilfe der ermittelten Parameter kann der durchschnittliche Verlauf der Biomasseabnahme in den Nachtphasen formal mathematisch sehr gut abgebildet werden. Die hier aus 82 Nachtphasen ermittelte Biomasseabnahmerate ist vergleichbar mit Werten in der Literatur⁸ u.a. für *Nannochloropsis* ($k_d = 0,17 d^{-1}$; auf Grundlage weniger Replikate). Die formulierten Gleichungen beschreiben die Biomasseabnahme jedoch nur rein phänomenologisch. Im folgenden Abschnitt wird ein Minimal-Modell vorgeschlagen, das aggregierte kausale Zusammenhänge der nächtlichen Biomasseabnahme berücksichtigt.

4 Kausale Modellierung

Der Modellvorstellung liegt die Annahme eines konstanten Maintenance-Koeffizienten bezüglich des ATP-Verbrauchs zur Aufrechterhaltung des Erhaltungsstoffwechsels zugrunde. Dieser wird während der Tagphasen direkt durch die Photosynthese in den Chloroplasten bedient. Ebenso liefert die Photosynthese organische Kohlenstoff-Spezies in den funktionellen Pool (FP) des Cytosols, welche zum Aufbau von Biomasse eingesetzt werden (Abb. 3-A).

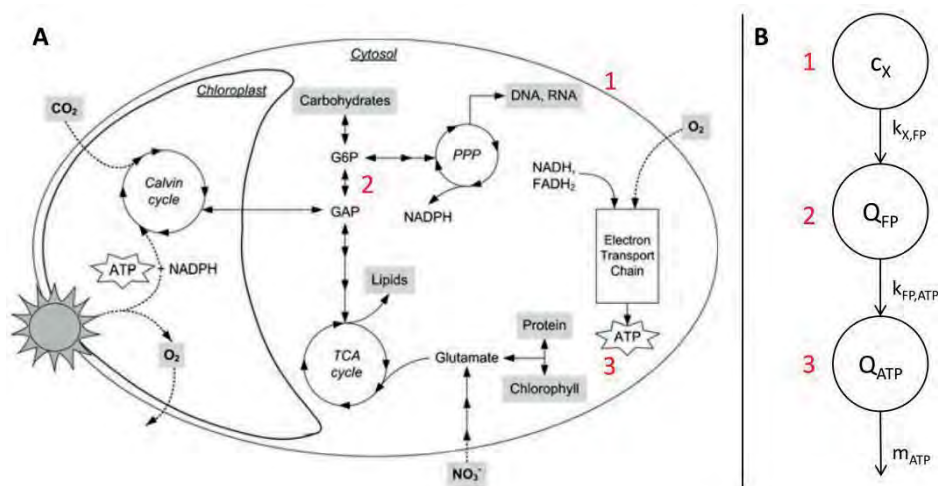


Abbildung 3: Aggregierte Darstellung der biochemischen Prozesse zur Gewinnung von Energie (ATP) für den Erhaltungsstoffwechsel (Maintenance), **1** - Biomasse c_x (summarisch), **2** - funktioneller Pool (FP) an organischen Kohlenstoff-Spezies im Cytosol, **3** - intrazellulärer ATP-Pool; **A:** Schematische Darstellung intrazellulärer Kohlenstoff-Ströme⁶, Chloroplast ist in betrachteter Nachtphase funktionslos; **B:** Kausale Modellvorstellung, Q – Zell-Quota: Anteil der betrachteten Komponente an der Biomasse, $k_{Edukt,Produkt}$ - Umwandlungsrate (Indizes: Edukt bzw. Produkt), m_{ATP} - konstante ATP-Maintenance.

In den Nachtphasen findet keine Photosynthese statt. Um den Energiebedarf des Erhaltungsstoffwechsels zu bedienen, wird der organische Kohlenstoff des funktionellen Pools der Atmungskette zur ATP-Bereitstellung zugeführt (Abb. 3; 3). Um im Gegenzug den Zusammenbruch des funktionellen Pools zu verhindern, erfolgt die Mobilisierung von Speicherstoffen (Abb. 3; 2) in den funktionellen Pool. Aufgrund dieser Mobilisierung erfolgt eine summarische Reduktion der Biomassekonzentration (Abb. 3; 1). Das Minimal-Modell ist auf Grundlage eines Zell-Quota-Modells (analog dem *Droop*-Modell⁷) formuliert. Gln. 4 bis 7 bilden dabei die drei zu beschreibenden Zustandsgrößen ab (Abb. 3-B).

$$\frac{dc_X}{dt} = -k_{X,FP}(Q_{FP}) \cdot c_X \quad (4)$$

$$\frac{dQ_{FP}}{dt} = \frac{1}{Y_{X,FP}} \cdot k_{X,FP}(Q_{FP}) - k_{FP,ATP}(Q_{ATP}) \cdot Q_{FP} \quad (5)$$

$$\frac{dQ_{ATP}}{dt} = \frac{1}{Y_{FP,ATP}} \cdot k_{FP,ATP}(Q_{ATP}) \cdot Q_{FP} - m_{ATP} \cdot Q_{ATP} \quad (6)$$

$$k_{E,P}(Q_P) = k_{E,P,max} \cdot \left(1 - \frac{Q_P}{q_{P0,5} + Q_P}\right) \quad (7)$$

mit k - Umwandlungsrate, c_X - Biomassekonzentration, Q - interne Zell-Quota, m_{ATP} - Maintenance-Koeffizient, Y - Ertragskoeffizient, $q_{P0,5}$ - Halbsättigungs-Quota; Indizes: X - Biomasse, FP - funktioneller Pool, ATP - Adenosintriphosphat, E - Edukt, P - Produkt.

Die Ertragskoeffizienten geben hierbei die Ausbeuten bei der Umwandlung von jeweiligem Edukt zu Produkt an. Die abhängigen Umwandlungsraten (k) werden in dieser initialen Modellvorstellung mittels einer inversen *Monod*-Kinetik abgebildet (Gl. 7).

Erste Simulationen zeigten, dass dieses Modell in der Lage ist, die gemittelten experimentellen Daten der Biomasseabnahme abzubilden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorgestellten Arbeit wurde die für die Bioprozessführung von Mikroalgenkulturen relevante Biomasseabnahme in den Nachtphasen experimentell und modellgestützt untersucht. Die Biomasse nimmt dabei im Mittel um ca. 5,5 % innerhalb von 8 h weitgehend linear ab. Initial ist eine ca. einstündige Lag-Phase festzustellen. Dies wurde mit einer formal-mathematischen Beschreibung sehr gut abgebildet.

Erweiternd wurde ein kausal-physiologisches Minimal-Modell formuliert, welches neben der Biomassekonzentration interne Zell-Quota eines intrazellulären Kohlenhydrat- als auch ATP-Pools berücksichtigt. Dessen Simulationen zeigten grundsätzlich gute Übereinstimmungen mit den experimentellen Biomassedaten der Dunkelphase. Herausfordernd ist hierbei aktuell die Ermittlung von Parameterbereichen für die Implementierung und Anwendung des Modells. Künftig sollen derartige Modelle zur Optimierung von Bioprozessregimen im Hinblick auf optimale Betriebspunkte eingesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] T. Weise, S. Schuster, M. Pfaff. Mikroalgen-Kultivierung im tubulären Photobioreaktor: Biomasse-Produktivität von *Nannochloropsis salina* im dis- und semikontinuierlichen Bioprozessregime. Vortrag und in Tagungsband 16. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mittel- und ostdeutscher Fachhochschulen. S. 257-262. BWV - Berliner Wissenschafts-Verlag. 2015. ISBN 978-3-830-520-44-3.
- [2] T. Weise, S. Schuster, M. Pfaff. Bestimmung algenbiotechnologisch relevanter Parameter im kontinuierlichen Bioprozessregime: Ertrags- und Maintenance-Koeffizient. Vortrag und in Tagungsband 17. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mittel- und ostdeutscher Fachhochschulen. S. 30-34. Hochschule Schmalkalden. 2016.
- [3] T. Weise, M. Reinecke, S. Schuster, M. Pfaff. Investigation of Dark Cycle Biomass Decline for Optimal Control Design of Continuous Algal Bioprocesses. Poster Nr. 28 und in Tagungsband 9. Bundesalgenstammtisch. S. 59. Forschungszentrum Jülich. 2016.
- [4] M. Reinecke, T. Weise, S. Schuster, M. Pfaff. Model-based Optimal Control Design for Algal Bioprocesses: A Theoretical Study. Poster Nr. 56 und in Tagungsband International Study Group for Systems Biology (ISGSB). S. 125-126. Friedrich-Schiller-Universität Jena. 2016.
- [5] T. Weise, M. Reinecke, J. Demmel, S. Schuster, M. Pfaff. Model-based Optimal Control Design for Algal Bioprocesses: An Experimental Study. Poster Nr. 57 und in Tagungsband International Study Group for Systems Biology (ISGSB). Seite 127. Friedrich-Schiller-Universität Jena. 2016.
- [6] A. Kliphuis, A. Klok, D. Martens, P. Lamers, M. Janssen, R. Wijffels. Metabolic Modeling of *Chlamydomonas reinhardtii*: Energy Requirements for Photoautotrophic Growth and Maintenance. *Journal of Applied Phycology*. 2012;24(2):253-266. doi:10.1007/s10811-011-9674-3.
- [7] M.R. Droop. Some Thoughts on Nutrient Limitation in Algae. *Journal of Phycology*. 1973;9(3):264-272. doi: 10.1111/j.1529-8817.1973.tb04092.x.
- [8] S. Edmundson, M. Huesemann. The Dark Side of Algae Cultivation: Characterizing Night Biomass Loss in Three Photosynthetic Algae, *Chlorella sorokiniana*, *Nannochloropsis salina* and *Picochlorum sp.* *Algal Research*. 2015;12:470-476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2015.10.012>.

Einfluss mechanischer Aufschlusstechnologien auf Bioverfügbarkeit und Extraktion von Mikroalgeninhaltsstoffen

S. Matthes¹, M. Preßler¹, S. Löffler¹, A. Dietsch², F. Cotta², D. Gottstein¹

¹Hochschule Anhalt, Bernburg/Deutschland

²GICON GmbH, Dresden/Deutschland

sandra.matthes@hs-anhalt.de

Abstract

Mikroalgen enthalten hochinteressante Verbindungen für die Nutzung in Pharmazie, Kosmetik, Ernährung und Futtermittel. Eine besondere Herausforderung ist dabei die wirtschaftlich effiziente Erhöhung der Bioverfügbarkeit bzw. der Gewinnung applikationsrelevanter Wertstoffe. Aktuell angewandte Aufschlussverfahren sind dazu meist nur unzureichend in der Lage. Ziel des Forschungsprojektes besteht in der Entwicklung eines neuartigen Verfahrens unter Anwendung der Steam-Explosion-Technologie.

1. Einleitung

Mikroalgen bieten aufgrund ihrer Inhaltsstoffzusammensetzung vielfältige Nutzungspotenziale in den Bereichen Pharmazie, Kosmetik, zur Erzeugung von biobasierten Kraftstoffen sowie in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie¹. Zur Umsetzung dieser Strategien besteht ein besonderes Interesse an wirkstoffschonenden und wirtschaftlich effizienten Verfahren für den Zellaufschluss von Algenbiomasse. Aufgrund der zum Teil sehr widerstandsfähigen Zellwandstrukturen von Mikroalgen werden die derzeitigen Aufschlussverfahren wie Kugelmühlen, Ultraschallverfahren, Stickstoff-Dekompression und Hochdruckhomogenisierung (French Press) diesen Anforderungen nur in unzureichendem Maße gerecht². Eine industrielle Verwendung der genannten Verfahren ist zumeist mit sehr hohem Energieeinsatz, begrenzten Wirkstoffausbeuten und erheblichen Investitionen verbunden. Problematisch erweist sich in diesem Zusammenhang die Suche nach optimierten Prozessparametern, um einerseits die extrahierbaren Substanzmengen deutlich zu steigern und andererseits eine Schädigung der erwünschten Wertstoffe weitgehend zu minimieren³.

2. Vorhabenbeschreibung

Üblicherweise werden zum Zellaufschluss verschiedene klassische Verfahren eingesetzt, in denen diskontinuierlich die Algenzellen durch mechanische Einwirkung, Schallbehandlung bzw. differenzierte Druckverhältnisse perforiert werden. Aufgrund des sehr stabilen

Zellwandaufbaus von Mikroalgen, bestehend aus mehreren Schichten, ist eine großtechnische Verarbeitung zumeist mit beträchtlichem Energieeinsatz und hohen Investitionskosten verbunden⁴. Gleichfalls sind sie häufig schwer in Kombination mit stofflichen Nutzungspfaden einsetzbar, da oftmals Bedingungen herrschen, die zur Schädigung der gewünschten Inhaltsstoffe führen können. Einen Ansatz zur Lösung der Problematik könnte der Einsatz von Steam-Explosion-Technologie sein, wenn es gelingt, die wasserhaltigen, stark komprimierten Algenzellen durch eine abrupte Expansion zu perforieren. Diese Technik ist in der Mikroalgentechnologie bisher wenig bekannt, bietet aber Potenzial für eine erhöhte Wirkstoffausbeute⁵. Im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens steht der kontinuierliche Zellaufschluss mit angepassten verfahrenstechnischen und stoffspezifischen Parametern, die nicht zur Zerstörung empfindlicher Wirkstoffe führen.

Die Forschungsaktivitäten an der Hochschule Anhalt, Standort Bernburg, beinhalten den Einsatz von Extrusionstechnik zur Vorbehandlung von Algenbiomasse im Hinblick auf eine signifikante Verbesserung der Bioverfügbarkeit und des Extraktionsverhaltens unter Berücksichtigung wirtschaftlich tragfähiger Prozessbedingungen. Die Ergebnisse betreffen unter anderem Untersuchungen zur Bewertung des Aufschlussgrades von Mikroalgen unter stark variierenden Extrusionsbedingungen und der nachgelagerten Extraktionsprozesse. Dazu wurde ein auf die Problematik Algenbiomasse angepasster Laborextruder eingesetzt, für den geeignete Parameter bezüglich Schneckenengeometrie, Temperaturregimen, Drehzahl, Düsendurchmesser und Konditionierung der Biomasse zu ermitteln waren.



Abb. 1 - Laborextruder KEP 16-25-S, Firma Ematik (Hochschule Anhalt, AG Gottstein)

Die technologischen Untersuchungen wurden kombiniert mit Bewertungen zum Aufschlussgrad mittels mikroskopischer Aufnahmen und der Quantifizierung von Markersubstanzen aus dem Fettsäurespektrum der Algen durch GC-MS Analysen.

3. Ergebnisse

Zur Beurteilung des Zellaufschlussverfahrens mittels Extruder wurden als Referenzmethoden einerseits unaufgeschlossene, lediglich sprühgetrocknete Biomasseproben und andererseits mechanisch behandelte Mikroalgen unter Einsatz der Kugelmühle verwendet. Die Kugelmühle erwies sich in Vorversuchen bezüglich des Rohfettanteils als weitgehend vergleichbar zum alleinigen Einsatz der ASE (ohne vorangestellten Aufschluss) und eignet sich damit eher als Benchmark, da hier der finale Extraktionsschritt unter identischen Bedingungen durchgeführt werden kann wie bei den Versuchen, in denen die Biomasse mit Hilfe des Extruders aufgeschlossen wurde. Die ASE führt zu einer signifikant verbesserten Extraktion der Wirkstoffe aufgrund erhöhter Druck- und Temperaturbedingungen, leistet aber nur einen begrenzten Beitrag zur Perforation der Zellen und einer Beeinflussung der Bioverfügbarkeit. Die Eignung der verbleibenden Restbiomasse als mögliches Futtermittel ist somit stark eingeschränkt.

Im Rahmen der Vorbereitung der Algenbiomasse für die Extrusion wurde diese in verschiedenen Lösungsmitteln konditioniert. Bei Verwendung organischer Solventien ergibt sich das Problem einer sehr schnellen Verdampfung des Lösungsmittels, eines schlechten Transportverhaltens und einer Biomasseverfestigung im Extruder. Ausschließlich Wasser erwies sich in den Untersuchungen als geeignet. Der Feuchtegehalt ist auf 15 % (w/w) einzustellen. Werte darunter führen zu einem Festfahren des Extruders, Werte darüber zu einem Verkleben der Schnecke und zum schlechten Transport der Biomasse.

Bezüglich der Extrudergeometrie erweist sich eine Kompressionsschnecke ohne Scherteil als vorteilhafter für einen kontinuierlichen Transport des Materials. Der Durchmesser der Düse am Extruderkopf wurde auf 3 mm optimiert, wodurch eine deutlich geringere Tendenz des Extruders zum Festfahren erreicht wurde. Als optimales Temperaturregime konnten Temperaturen von 80/110/120/120 °C in den vier Temperaturzonen vom Biomasseeinzug bis zur Düse ermittelt werden. Bei Temperaturen unterhalb von 80 bzw. über 150 °C war die Biomasse nicht förderbar.

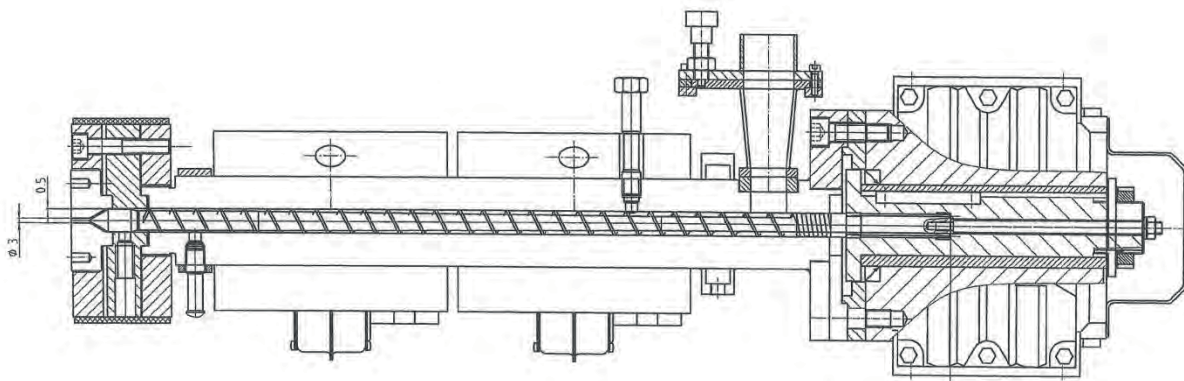


Abb. 2 – Aufbau des Extruders mit Kompressionsschnecke (Firma Ematik)

Als intrazelluläre Markersubstanz zur Quantifizierung der Effizienz von Aufschluss und Extraktion wurde Palmitinsäure gewählt, da diese in verhältnismäßig großen Mengen sowohl in den Plastidmembranen als auch in Lipid Droplets von Chlorophyceae vorkommt⁶. Die Extraktion mit Chloroform/Methanol 1:2 (v/v) nach Bligh & Dyer⁷ wurde bei den extruderbasierten Versuchsreihen nicht eingesetzt, da bereits das Extraktionsmittel zu einer deutlichen Perforation der Zellen führte und eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Versuchsreihen zum Zellaufschluss nicht gegeben war. Wegen der zellschonenden Wirkung wurde für die Extraktion n-Hexan eingesetzt. Freie und gebundene Palmitinsäure kann mit n-Hexan extrahiert werden und erweist sich damit als geeignet zur Bestimmung in Form des Palmitinsäuremethylesters (PAME).

Nach Extrusion der Algenbiomasse unter den oben genannten Bedingungen konnten 2,56 mg PAME/g Biotrockenmasse (BTM) nachgewiesen werden. Dies entspricht ca. einer Verdopplung des PAME-Gehaltes gegenüber unbehandelter Algenzellen, verbunden mit einem Aufschlussgrad von ca. 31 % bezogen auf die Kugelmühle (Benchmark). Die Bestimmung des Aufschlussgrades relativ zum Einsatz der Kugelmühle ist somit prinzipiell möglich, dagegen kann der tatsächliche Gehalt an Palmitinsäure unter diesen methodischen Bedingungen nicht absolut bestimmt werden.

Neben der Extrusion von ausschließlich mit Wasser konditionierter Algenbiomasse wurden auch Versuche mit unterschiedlichen Zusätzen gefahren und deren Effekt auf den Aufschlussgrad untersucht. Dabei handelte es sich zum einen um Bicarbonat, welches mit einem Massenanteil von 2 % der Probe vor Beginn der Extrusion zugesetzt wurde. Daraus freigesetztes Kohlendioxid sollte nach Diffusion ins Innere zu einer zusätzlichen Erhöhung des Zellinnendruckes während des Prozesses der Steam-Explosion führen. Tatsächlich konnten dadurch 3,07 mg PAME/g BTM isoliert werden und damit der Aufschlussgrad auf 37 % gegenüber dem Benchmark gesteigert werden. Zudem wurden Ansätze mit Beimischungen an entfettetem und gemahlenem Stroh durchgeführt. Das Ziel bestand darin, eine Erhöhung der Reibung während des Extrusionsvorganges und eine zusätzliche mechanische Beanspruchung der Algenzellen zu erreichen. Auf diese Weise konnte die größte Menge an Palmitinsäure quantifiziert werden. Bei 5 % Strohzumischung wurden 3,41 mg PAME/g BTM detektiert (entspricht 41 % Aufschlussgrad bezogen auf den Benchmark). Eine Konditionierung mit 2M NaOH erbrachte keine Verbesserung gegenüber Wasser und erreichte 2,4 mg PAME/g BTM.

In einem sequenziellen Verfahren, bestehend aus der ersten Extrusion von Biomasse (15 % Feuchte) und einer zweiten Extrusion nach Konditionierung mit Ethylacetat, konnten signifikant höhere Werte an Palmitinsäure im Vergleich zu einem einstufigen Prozess detektiert werden. Dadurch wurde ein Aufschlussgrad von bis zu 69 % relativ zur Kugelmühle erreicht. Ethanol und Aceton als Konditionierungsmittel für die zweite Extrusion waren mit 38 bzw. 57 % weniger effektiv. Die doppelte Extrusion unter Einsatz von Ethylacetat scheint über einen rein additiven Effekt hinauszugehen, wodurch sich ein synergistischer Effekt vermuten lässt. Die Perforation der Zellwand im ersten Extruderprozess begünstigt das nachfolgende

Eindringen des Ethylacetats in die Algenzelle. Daraus resultiert aufgrund des geringeren Siedepunktes und damit höheren Dampfdruckes ein positiver Effekt auf die Steamexplosion. Zur Bestimmung des Zellaufschlussgrades kamen weiterhin hochauflösende mikroskopische Untersuchungen zum Einsatz. Diese weisen in Verbindung mit Lebend-Tot-Zellfärbungen auf eine signifikante Zellperforation nach dem Einsatz der Extrusion hin. Parallel durchgeführte Aufnahmen mittels Rasterelektronenmikroskopie bestätigten diese Befunde.

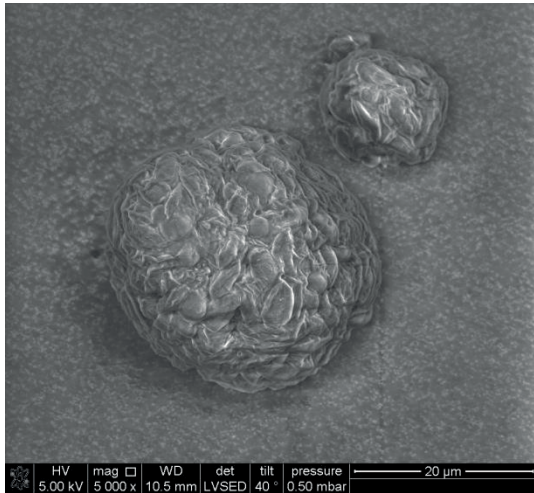


Abb. 3 – unbehandelte, intakte Zellen (REM; Fraunhofer IMWS, AG Prof. Heilmann)

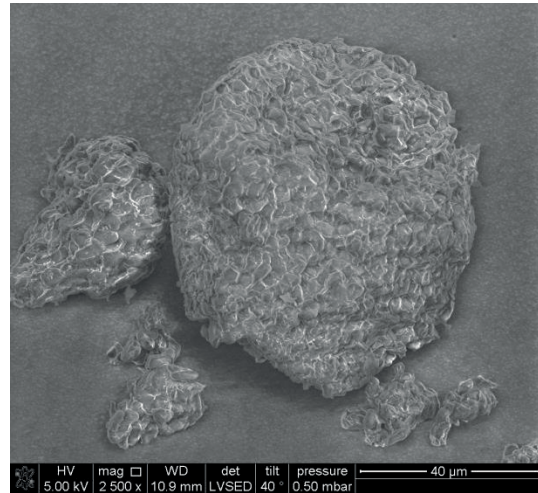


Abb. 4 – Aufbruch der Zellen nach Extrusion (REM; Fraunhofer IMWS, AG Prof. Heilmann)

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde eine Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gegenüber klassischen Aufschluss- und Extraktionstechniken vorgenommen. Darin konnten solche Faktoren wie Energieverbrauch, Prozessdauer, Durchsatz, Druck- und Temperaturregime sowie Arbeitsaufwand und Verwertungspotentiale für Restbiomassen einbezogen werden, die als entscheidende Voraussetzung für ein Scaling up gelten.

4. Zusammenfassung & Ausblick

Mit dem Projekt wurde das Ziel verfolgt, aus Mikroalgen die Verfügbarkeit industriell bedeutsamer Inhaltsstoffe deutlich zu erhöhen. Auf der Grundlage klassischer Aufschluss- und Extraktionsverfahren wurde der Einsatz der Steam-Explosion-Technologie im Hinblick auf die Entwicklung eines kontinuierlichen Prozesses geprüft. Die angestrebte Perforation der Algenzellwand als Folge der Extrusion wurde mit modifizierten mikroskopischen und analytischen Verfahren bewertet. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte eine signifikante Verbesserung des Aufschlussgrades erreicht werden, wobei insbesondere der hohe Rohstoffdurchsatz eine wesentliche Voraussetzung für ein industrielles Verfahren darstellt. Bisherige Batchverfahren erwiesen sich aufgrund der Verfahrensbedingungen und der damit

verbundenen Wirtschaftlichkeit als wenig geeignet. Mit der Extrusion ist es prinzipiell möglich, die Bioverfügbarkeit relevanter Inhaltsstoffe für Lebens- und Futtermittel nachhaltig zu erhöhen. Zur gezielten Isolierung hochwirksamer Mikroalgeninhaltsstoffe im Rahmen der Wertschöpfung neuer, innovativer Produkte ist allerdings eine sequenzielle Anordnung von Aufschluss- und Extraktionstechnik erforderlich.

5. Literaturangaben

¹ Varfolomeeva, S. D. & Wasserman, L. A., 2011. Micoalgae as Source of Biofuel, Food, Fodder and Medicines. In *Biochemistry and Microbiology*. Vol. 47, Nr. 9, pages 789-807.

² Lee, Andrew K. et. al., 2012. Disruption of microalgal cells for the extraction of lipids for biofuels: Processes and specific energy requirements. In *Biomass and Bioenergy*. Vol. 46, pages 89-101.

³ Günerken, E. et. al., 2015. Cell disruption for microalgae biorefineries. In *Biotechnology Advances*. Vol. 33, pages 243-260.

⁴ Posten, C. & Rosello-Sastre, R., 2010. Die vielfältige Anwendung von Mikroalgen als nachwachsende Rohstoffe. In *Chemie Ingenieur Technik*. Vol. 82, Issue 11, pages 1823-2026.

⁵ Nurra, C. et. al., 2014. Biorefinery concept in a micralagae pilot plant. Culturing, dynamic filtration and steam explosion fractionation. In *Bioresource Technology*. Vol. 163, pages 136-142.

⁶ Li-Beisson, Y. et. al., 2015. Metabolism of acyl-lipids in *Chlamydomonas reinhardtii*. In *the plant journal*. Vol. 82, Issue 3, pages 504-522.

⁷ Bligh, E. G. & Dyer, W. J., 1959. A rapid Method of total Lipid Extraction and Purification. In *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. Vol. 37, Number 8.

Laserscanning Messsystem zur Charakterisierung mikrostrukturierter Oberflächen

P.-P. Jacobs^{a,b}, B. Nelsen^a, C. Taudt^{a,b}, P. Hartmann^{a,b}

^aWestsächsische-Hochschule-Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, Zwickau,

^bFraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien, Keplerstraße 2, 08056 Zwickau, Germany

Paul.Philipp.Jacobs.fto@fh-zwickau.de

Abstract:

Bei der Mikrostrukturierung von Werkstücken mittels Laserablation, bedarf es einer steten Kontrolle des erreichten Abtragniveaus. Das Ziel war die Entwicklung eines Messverfahrens welches prozessimmanent μm -genaue 3D-Scans der bearbeiteten Oberfläche erstellt. Dabei wurde die Verwendung verschiedener Wellenlängen untersucht, um die Materialvielfalt der zu untersuchenden Werkstücke zu steigern. Zusätzlich wurde zur Erhöhung der Messgenauigkeit ein Außreißerdetektions-Algorithmus implementiert.

1. Motivation

In vielen industriellen Anwendungen bedarf es Werkstücke, deren Oberfläche Strukturen oder Texturen im Mikrometerbereich aufweisen um solche Werkstücke herzustellen, kommen häufig laserbasierte Fertigungsverfahren zum Einsatz. Kurze Laserpulse werden auf das Werkstück fokussiert und bringen es aufgrund der hohen Leistung punktuell zum Verdampfen^[1]. Da sich ein solcher Laser auf sehr kleine Areale von wenigen μm^2 fokussieren lässt, sind die herstellbaren Strukturen entsprechend klein. Allerdings ist die Laserablation, ein unter thermodynamischen Gesichtspunkten betrachtet, physikalisch komplexer Prozess^[2] und dementsprechend schwierig bis zur gewünschten Genauigkeit des Abtragniveaus vorherzusagen. Folglich variiert das abgetragene Volumen zwischen den Laserpulsen und es bedarf einer stetigen Kontrolle des hergestellten Höhenprofils. Dabei ist es wichtig, dass das Messverfahren hinreichend schnell arbeitet, um die Parameter der Bearbeitung noch im Prozess anpassen zu können und dabei trotzdem ausreichend genau das Profil der Struktur wiedergibt.

2. Entwicklungsansatz und Messprinzip

Um den Anforderungen einer Industrieanwendung zu entsprechen, sollte das Messsystem die in Tab. 1 zusammengefassten Eigenschaften erfüllen.

Tab. 1 Anforderungen an das Messsystem

Parameter	Parameterwert
Messgeschwindigkeit	>1 cm ² /min
Flankensteilheit	>70°
Tiefenauflösung (z)	<2 μm
Messbereich	<2 mm
Ortsauflösung (x-y)	<5 μm
Messfeld (x-y)	50 x 50 mm ²

Ein zur 3D-Profilerstellung geeignetes Messprinzip ist der sog. Laserlinien-Scan^[3]. In Abb. 1 ist der prinzipielle Messaufbau dargestellt. Dabei wird der punktförmige Strahl eines Lasers zu einer Linie geformt und auf die zu messende Struktur projiziert, welche mit einer Kamera aufgenommen wird. Aus dem Linienverlauf lassen sich dann die gewünschten Höheninformationen gewinnen. Wird die Linie über das Probenstück gescannt, so eignen sich die gewonnenen Daten dazu ein dreidimensionalen Scan der gesamten Fläche zu erstellen.

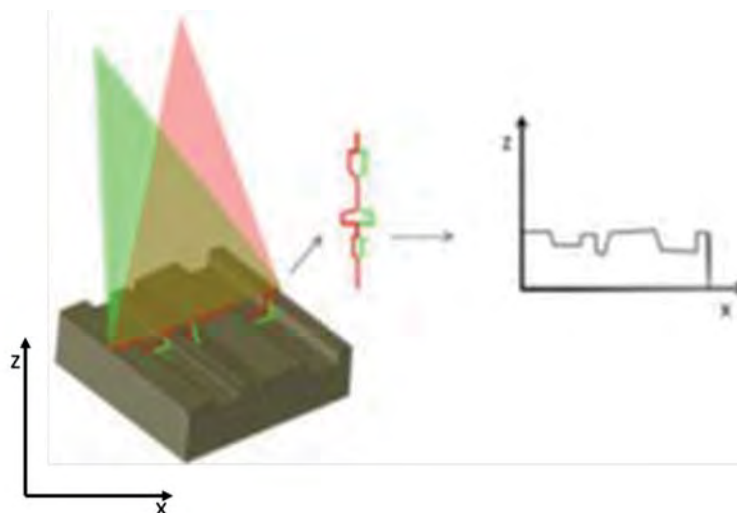


Abb. 1 Messprinzip des Laserlinien-Scans. Ein linienförmiger Laser wird auf das zu messende Objekt projiziert. Aus dem Linienverlauf lassen sich Daten zum Höhenprofil des Objektes gewinnen.

Viele Probenmaterialien zeigen ein wellenlängenabhängig starkes Absorptions- und Reflektionsverhalten^[4]. Bei der Verwendung mehrerer Wellenlängen, kann diejenige gewählt werden, welche das für das untersuchte Material das beste Signal liefert.

Bei der Entwicklung des Messverfahrens, war die Prüfung zweier Konzepte Bestandteil der Untersuchungen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal beider Optionen ist die Anordnung der Bauelemente Kamera-Scanlaser-Galvokopf-Probe. Im Falle von Option A sollte der Strahlengang des Scanlasers parallel, zum in der Produktionsanlage integrierten Bearbeitungslaser und durch den Galvokopf geführt werden. Die Kamera wurde unter einem

definierten Winkel relativ zur Probe, außerhalb des Bearbeitungsfeldes positioniert. Die prinzipielle Anordnung ist in Abb. 2 gezeigt.

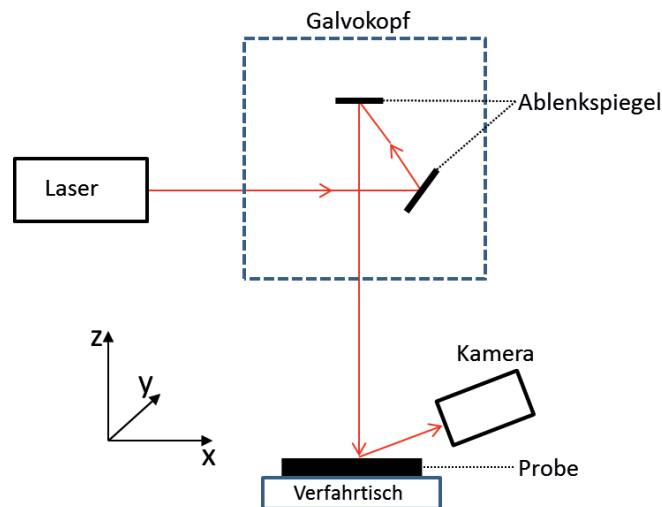


Abb. 2 Anordnung wie in Option A beschrieben. In Option B wird auf den Galvokopf verzichtet, die Probe mittels x-y-Verfahrtisch gescannt und der Laser direkt auf die Probe projiziert.

Die Rastergeschwindigkeit des Lasers wäre somit durch die Scangeschwindigkeit des verwendeten Galvokopfes bestimmt und damit schnell und einfach auf der Probe positionierbar. Aus der Anordnungsgeometrie ergab sich jedoch, dass beim Verfahren, der Laser aus dem Fokus der feststehenden Kamera wandert, was zu einem kleinen räumlichen Auflösungsvermögen im Bereich weniger als 2 mm in Verfahrerrichtung führte. Eine verkleinerte Blende im Kamera Objektiv konnte dieses Problem nicht zufriedenstellend lösen. Die Entwicklung einer Autofokusfunktion würde die Messzeit signifikant erhöhen, da diese neben der Rechenzeit auch abhängig von der Geschwindigkeit der mechanischen Nachjustierung des Kamerafokus ist. Ein weiterer Nachteil dieser Anordnung ist, dass für zwei ($\lambda=532$ nm, $\lambda=405$ nm) der drei geprüften Wellenlängen, Geisterbilder auf der Probe zu beobachten waren, welche von Doppelreflexion an der Vorder- und Rückseite der Spiegelbeschichtung der Galvokopfspiegel herrühren. Das System des Galvokopf ist ohnehin auf die Verwendung einer bestimmten Wellenlänge ($\lambda =1064$ nm) optimiert und damit für andere Wellenlängen auch hinsichtlich des Reflexionsvermögens beschränkt. Option A wurde daraufhin verworfen und stattdessen Option B favorisiert. Hier sind Kamera und Laser fest positioniert und die Probe wird mittels eines x-y-Verfahrtisches gescannt. Es entfallen somit die genannten Nachteile des Galvokopfes.

3. Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis eines, wie in Option B beschriebenen Scans, ist in Abb. 2 zu sehen. Gemessen wurde hier ein Tiefennormal der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) Braunschweig.

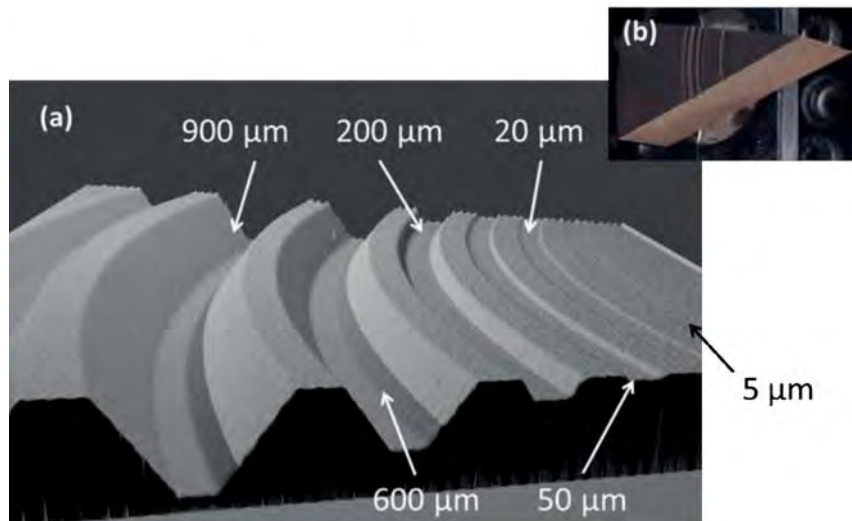


Abb. 3 Scan eines Tiefennormals der Physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig.

Die Tiefenauflösung in z-Richtung liegt bei $(3 \pm 1) \mu\text{m}$. Die Scangeschwindigkeit ist vor allem durch die Datenübertragungsgeschwindigkeit zwischen Kamera und Computer beschränkt, konnte jedoch durch geeignete Wahl des auszuwertenden Areals und Anpassung der Kamera-Parameter in den anvisierten Bereich von $1 \text{ cm}^2/\text{min}$ gebracht werden. Damit sind die wichtigsten Parameteranforderungen, nämlich Messgeschwindigkeit und Tiefenauflösung nahezu vollständig erfüllt. Die geforderte Messfeldgröße ist mit Vorhandensein eines ausreichend schnell verfahrbaren Positioniertisches ebenfalls erfüllt.

Bei der Auswertung der Aufnahmen von Einzellinien, stellte sich heraus, dass insbesondere in Kanten und Flankenbereichen Ausreißer auftreten, welche die Profilmessung verfälschen. Um diese Ausreißer während der Datenauswertung zu detektieren, wurde ein Algorithmus in die Datenverarbeitungsprozedur implementiert welcher auf dem sog. Local Outlier Factor^[5] basiert. Hierbei wird für jeden Messpunkt die Größe desjenigen Areals ermittelt, in welchem eine bestimmte Anzahl an nächsten Nachbarpunkten liegt und damit eine Messpunktdichte ermittelt. Setzt man diese ins Verhältnis mit den Dichten der jeweils anderen Punkte, so erhält man den Local Outlier Factor. Überschreitet dieser Faktor einen festgelegten Wert, so ist der Messpunkt als Ausreißer zu betrachten und aus der Messung zu entfernen. Abb. 3 zeigt einen typischen Linienverlauf (blau) und den Local Outlier Factor (rot).

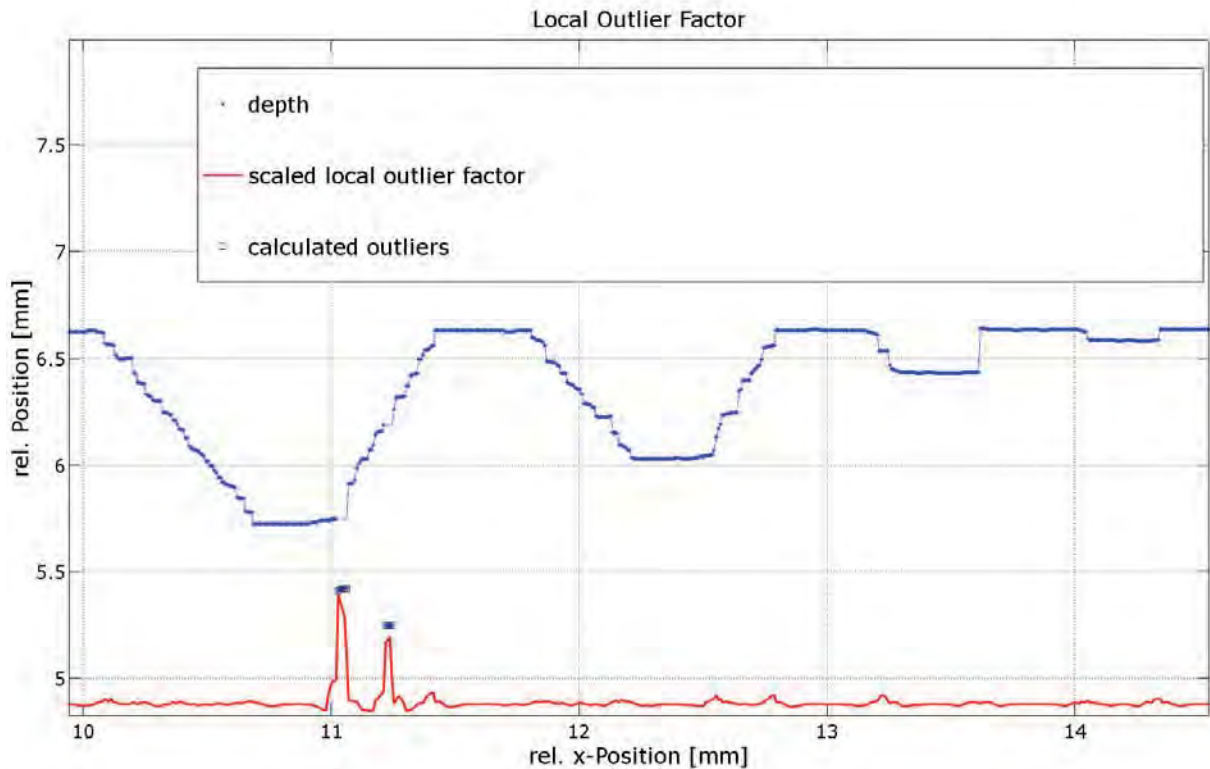


Abb. 4 Typisches Profil einer Laserlinien Einzelmessung (blau), mit berechneten Local Outlier Factor (rot) und detektierten Ausreißern (schwarz umrahmt).

Die umrahmten Datenpunkte wurden mittels des Local Outlier Factors als Ausreißer detektiert und können in einem weiteren Schritt aus der Messung entfernt werden. Mit dieser Methode lässt sich das Messsignal effektiv von störendem Rauschen befreien und die erreichte Genauigkeit erhöhen.

4. Zusammenfassung

Es wurde ein Messverfahren für mikrostrukturierte Werkstücke vorgestellt, welches unter Nutzung multispektraler, auf die Probe projizierter Laserlinie, μm -genaue Höhenprofile produziert. Durch den Vergleich zweier unterschiedlicher Messaufbauten, konnte die bessere der beiden Optionen detektiert und umgesetzt werden. Es konnte, bei einer Messgeschwindigkeit von $1 \mu\text{m}^2/\text{min}$, eine Tiefenauflösung in z-Richtung im Bereich von $(3 \pm 1) \mu\text{m}$ erreicht werden. Die Implementierung eines Korrekturalgorithmus ermöglichte das Detektieren von Ausreißern in den erhaltenen Messsignalen und erhöht damit die Zuverlässigkeit des gemessenen Höhenprofils. Das entwickelte Messsystem stellt eine Möglichkeit zur prozessimmanenten Kontrolle des Abtragniveaus bei der Mikrostrukturierung mittels Laserablation.

Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf den zusätzlichen Informationsgewinn aus der Rauigkeit des zu messenden Objektes, beispielweise durch Analyse der Speckle-Interferenzen, konzentrieren.

5. Danksagung

Die hier vorgestellte Arbeit entstand im Rahmen eines ZIM-Projektes (Förderkennzeichen: KF2013923AB4) in Kooperation der Westsächsischen Hochschule Zwickau mit der ACSYS – GmbH. Mein Dank gilt der Arbeitsgruppe Optische Technologien der WHZ um Prof. P. Hartmann, der ACSYS GmbH. Besonderer Dank gilt den Projektleitern Herrn C. Taudt und B. Nelsen.

Referenzen

- [1] X. Liu, D. Du, G. Mourou, *Laser ablation and micromachining with ultrashort laser pulses*, IEEE Journal of Quantum Electronics Vol. 33 **1997**
- [2] Mihai Stafe A. Marcu, N. N. Puscas, *Pulsed Laser Ablation of Solids*, Springer Series in Surface Sciences Vol. 53, **2014**
- [3] A.W. Koch, *Optische Messtechnik an technischen Oberflächen: Praxisorientierte lasergestützte Verfahren zur Untersuchung technischer Objekte hinsichtlich Form, Oberflächenstruktur und Beschichtung*, Expert Verlag, **1998**
- [4] M. v. Allmen, A. Blatter, *Laser-Beam Interactions with Materials: Physical Principles and Applications*, Springer Science & Business Media, **2013**
- [5] M. M. Breunig, H.-P. Kriegel, R.T. Ng, J. Sander, *LOF: Identifying Density-Based Local Outliers*, **2000**

Einfluss mikrobieller Stoffwechselprozesse auf den Betrieb geothermischer Anlagen

Anke Westphal, Hilke Würdemann

Hochschule Merseburg, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

anke.westphal@hs-merseburg.de

Abstract: Die geothermische Nutzung des Untergrundes bewirkt Temperaturänderungen die die Fluidchemie und die Mikrobiologie beeinflussen. In geothermischen Fluiden wurden die mikrobielle Biozönose sowie hydrogeochemische und mineralogische Parameter charakterisiert. Mikroorganismen waren bei Temperaturen von 10 °C-107 °C und bei einer Mineralisierung von 0,5–131 g/L an Stoffumsetzungen beteiligt. Organismen des Schwefelkreislaufes wurden als Indikatororganismen für Prozessstörungen identifiziert.

1. Einleitung

Mikroorganismen spielen eine Schlüsselrolle in den globalen und lokalen biogeochemischen Stoffkreisläufen. Aufgrund ihrer außerordentlichen Anpassungsfähigkeit sind sie auch für viele technische Prozesse und die Betriebssicherheit der Anlagen relevant. Mikrobiell katalysierte Reaktionen sowie die Bildung von Biofilmen können Prozessstörungen wie Korrosion, Scaling, und Verstopfung in geotechnischen Anlagen hervorrufen oder beschleunigen und damit die Effizienz der Anlagen beeinträchtigen¹. Insbesondere für tiefe terrestrische Aquifere sind die Wechselwirkungen zwischen einer technischen Nutzung des Untergrundes und dem mikrobiellen Leben noch nicht ausreichend erforscht. Die Verbesserung des Verständnisses dieser Wechselwirkungen ist daher notwendig, um eine dauerhafte, umweltgerechte und effiziente Nutzung geothermischer Anlagen zu gewährleisten².

1.1 Grundlagen

Aus anthropozentrischer Sicht herrschen in geothermischen Reservoirs extreme Bedingungen für das Leben. Mikroorganismen können jedoch bei hohen Temperaturen, hoher Salinität, hohem Druck und begrenzten Energie- und Nährstoffressourcen leben oder zumindest überdauern³. In geothermischen Anlagen wird die klimaunabhängige und konstant verfügbare Wärme aus dem Erdinneren zur nachhaltigen Energie- und Wärmegewinnung genutzt. Thermalwasser wird über Bohrungen gefördert und nach dem Wärmeentzug wieder in den Aquifer injiziert. In den Reservoirs kann auch die Überschusswärme aus technischen Anwendungen gespeichert werden. Wärmenutzung und -speicherung bewirken Temperatur- und Druckänderungen im Aquifer und Wässern. Diese Änderungen beeinflussen die hydrologischen, geochemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Grundwasserleiters^{4, 5}. Fließgeschwindigkeit und Lösungsgleichgewichte für Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase werden verändert⁶. Partikelumlagerungen, die Neubildung von Mineralen durch Druckentlastungen, Sauerstoffzutritt, Korrosion oder Fluidabkühlung wurden

beobachtet⁷. Lerm et al.¹ berichten über einen Anstieg der mikrobiellen Diversität und Abundanz nach dem Wärmetauscher. Die temperaturbedingt erhöhte Verfügbarkeit von Elektronendonatoren zur Reduktion von Nitrat, Eisen(III) und Sulfat veränderte die Redoxverhältnisse im Aquifer⁵.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der Untersuchungen ist es, die Auswirkungen der geothermischen Nutzung auf die mikrobielle Gemeinschaft und deren Interaktion mit den technischen Anlagen besser zu verstehen. Auswirkungen der Temperatur, der Substratverfügbarkeit und von Betriebsstillständen auf die mikrobielle Gemeinschaft und der Zusammenhang mit Prozessstörungen wie Korrosion und Scaling wurden in einem weiten Temperatur- und Salinitätsbereich untersucht. Dazu wurden kultivierungsunabhängige Methoden basierend auf der Analyse der mikrobiellen Erbinformation eingesetzt, die einen Überblick über Vorkommen und Abundanzen von Mikroorganismen in Umweltproben geben. Diese molekularbiologischen Ergebnisse wurden gemeinsam mit hydrogeochemischen und mineralogischen Parametern interpretiert.

2. Wärmespeicher Neubrandenburg–Indikatororganismus für Luftzutritt

Der Wärmespeicher in Neubrandenburg erschließt einen 1.200 m bis 1.285 m tiefen Sandsteinaquifer und wird seit 2004 in saisonalem Wechsel betrieben. Infolge des Speicherbetriebes erhöhte sich die originäre Aquifertemperatur auf der „warmen Seite“ von 54 °C auf 85 °C und erniedrigte sich auf der „kalten Seite“ auf 47 °C. Das Thermalwasser ist hochsalinar (Na-Cl-Typ) und hat eine Mineralisation von 131 g/l. Die Anlage ist auf der „kalten Seite“ von Korrosion betroffen und SRB wurden in den kalten Fluiden nachgewiesen¹.

Im Anschluss an eine Stillstandsphase erhöhte sich die Abundanz sowohl der Bakterien insgesamt als auch der SRB um vier Zehnerpotenzen (Abb. 1) einerseits aufgrund des fehlenden Abtransports mit dem Fluidstrom und vermutlich auch aufgrund einer Förderung biologischer Aktivität. Neben den im Normalbetrieb nachgewiesenen Bakterien, dominierten Schwefeloxidierer (SOB) der Gattung *Halothiobacillus* die mikrobielle Biozönose⁸. Die Zunahme des obligat aeroben SOB weist auf einen Sauerstoffeintrag während der Stillstandsphase hin, der vermutlich aufgrund eines kurzfristigen Unterdruckes während des Abschaltens in die Anlage eingetragen wurde⁸. Dieser Sauerstoff war geochemisch nicht nachweisbar. Die SOB nutzten den Sauerstoff zur Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen und daher stieg die Sulfatkonzentration weit über das normale Niveau an. Zudem wurden beim Wiederaufstart eine um das 50.000-fach erhöhte Partikelkonzentration (97 % Eisensulfide) gefördert. Nach der Produktion von 80.000 m³ lag der Partikelgehalt wieder im Bereich des ungestörten Betriebs. Da auch die bakteriellen, die SRB- sowie die SOB-spezifischen Genkopien mit zunehmender Fluidproduktion sanken (Abb. 1), waren die Mikroorganismen wahrscheinlich partikelassoziiert¹⁰. Die kurzfristig erhöhte Abundanz der SOB und die erhöhten Sulfatkonzentrationen weisen auf eine Förderung biologischer Aktivität während eines Anlagenstillstandes hin. Der Sauerstoffeintrag verstärkte vermutlich sowohl die chemische als auch die biologisch induzierte Korrosion in der Anlage.

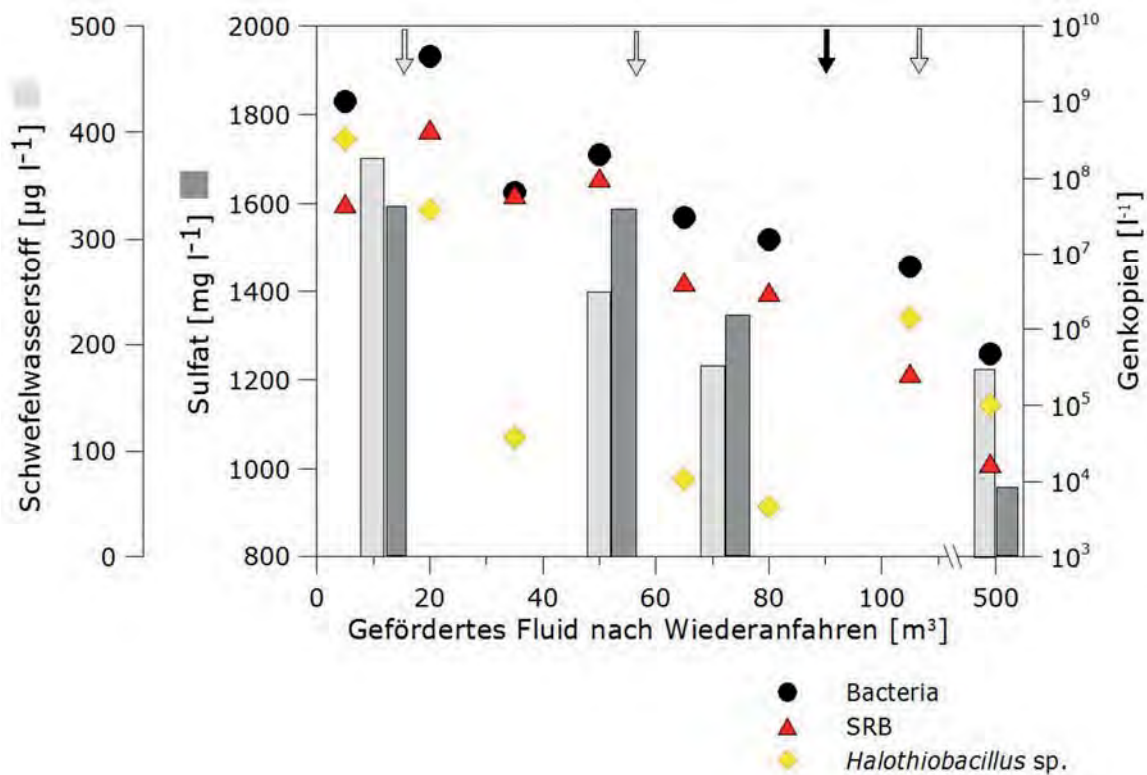


Abbildung 1: Sulfat- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen in Fluiden der „kalten Seite“ nach Wiederanfahren der Anlage. Ein Bohrlochvolumen umfasst 35 m³. Graue Pfeile kennzeichnen kurzzeitige und der schwarze Pfeil einen langzeitige Anlagenstopp während des Anfahrens.

3. Geothermische Anlage in Bad Blumau – Hyperthermophile Sulfatreduktion und Förderung Nitrat-reduzierender Schwefeloxidierer

In der geothermischen Anlage in Bad Blumau wird 107 °C heißes, salines Fluid (20 g/L) aus einem 2,8 km tiefen paläozoischen Karbonataquifer gefördert und mit einer Temperatur von etwa 50 °C wieder in einer Injektionsbohrung verpresst. Infolge einer Ausgasung von Kohlenstoffdioxid und dem damit verbundenen Anstieg des pH-Werts kam es in der Bohrung zu erheblichen Karbonatausfällungen. Zur Vermeidung der Ausfällungen wird in einer Tiefe von etwa 500 m ein organischer Scaling-Inhibitor (TOC=150 mg C/L) injiziert⁹.

In den 107 °C heißen Fluiden wurde eine diverse Biozönose nachgewiesen, die von SRB dominiert wurde. Sowohl die seit Betriebsbeginn steigende Schwefelwasserstoffkonzentration als auch die Isotopensignatur des Sulfidschwefels (-0,06 ‰ CDT) weisen auf eine hyperthermophile Sulfatreduktion hin¹⁰. Mit abnehmender Temperatur bedingt durch den Wärmezug erhöht sich die Diversität und Abundanz der gesamten bakteriellen Biozönose und insbesondere der SRB und zugleich steigt die Schwefelwasserstoffkonzentration in den Fluiden. Zur Verminderung der Konzentration des toxischen und potentiell korrosiven Schwefelwasserstoffs wurde Nitrat in einer Testleitung zum Thermalwasser gegeben. Zum einen kann Nitrat heterotrophe Nitratreduzierer fördern, die einen energetischen Vorteil gegenüber

heterotrophen SRB haben und diese auskonkurieren wodurch die Schwefelwasserstoffbildung gehemmt wird. Auch die Förderung von Nitrat-reduzierenden SOB bewirkt eine Abnahme der Schwefelwasserstoffkonzentration. In der Testleitung führte die Nitratzugabe zur Vermehrung des Nitrat-reduzierenden SOB *Thiobacillus thioparus*, der Nitrat zur Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen nutzte¹⁰. Folglich nahm die Schwefelwasserstoffkonzentration ab (Abb. 2). Allerdings erhöhte sich zugleich die Korrosionsrate¹¹.

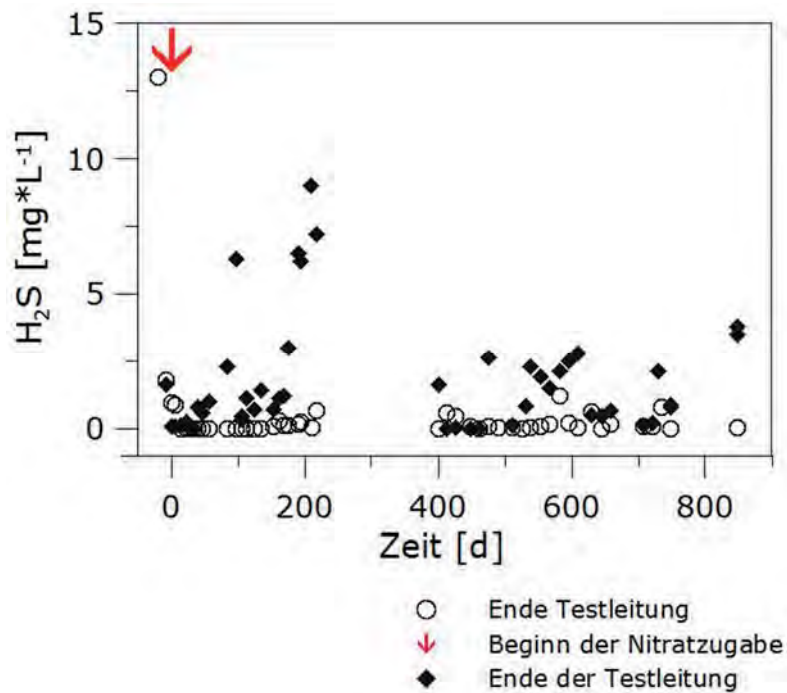


Abbildung 2: Schwefelwasserstoffkonzentrationen am Anfang und am Ende der Testleitung während der Nitratzugabe zum geothermischen Fluid.

4. Schlussfolgerung

Temperaturänderungen infolge einer geothermischen Nutzung beeinflussen die mikrobielle Diversität und Abundanz. Trotz struktureller Unterschiede der Biozöosen bei verschiedenen Temperaturen können die Funktionen im Habitat ähnlich sein¹². Änderungen in der Zusammensetzung der mikrobiellen Biozönose erlauben Rückschlüsse auf Prozesse im Reservoir und der Anlage. So konnten Indikatororganismen als Anzeiger für Prozessstörungen identifiziert werden. Obwohl die Nitrat-Zugabe zu einer Abnahme der Schwefelwasserstoffkonzentration führte, erhöhte sich die Korrosionsrate. Die erhöhte Abundanz von *T. thioparus* weist auf die Bildung korrosiver Schwefelverbindungen hin. Da geothermische Fluide unterschiedliche physikochemische Eigenschaften aufweisen und in Anlagen unterschiedliche Werkstoffen verbaut sind, ist es wichtig den Einfluss der Temperatur und Inhibitoren auf Korrosion und Scaling standortspezifisch zu untersuchen, um Empfehlungen für den Schutz der Anlage und des Reservoirs ableiten zu können.

Literatur

- ¹Lerm S, Westphal A, Miethling-Graff R, Alawi M, Seibt A, Wolfgramm M, Würdemann H (2013) Thermal effects on microbial composition and microbiologically induced corrosion and mineral precipitation affecting operation of a geothermal plant in a deep saline aquifer. *Extremophiles* 17:311–327. Doi: 10.1007/s00792-013-0518-8
- ²Bauer S, Beyer C, Dethlefsen F, Dietrich P, Duttmann R, Ebert M, Feeser V, Görke U, Köber R, Kolditz O, Rabbel W, Schanz T, Schäfer D, Würdemann H, Dahmke A (2013) Impacts of the use of the geological subsurface for energy storage: an investigation concept. *Environ Earth Sci* 70:3935–3943. Doi: 10.1007/s12665-013-2883-0
- ³Stetter KO (1999) Extremophiles and their adaptation to hot environments. *FEBS Lett* 452:22–25.
- ⁴Griffioen J, Appelo CAJ (1993) Nature and extent of carbonate precipitation during aquifer thermal energy storage. *Appl Geochemistry* 8:161–176. Doi: 10.1016/0883-2927(93)90032-C
- ⁵Jesußek A, Grandel S, Dahmke A (2013) Impacts of subsurface heat storage on aquifer hydrogeochemistry. *Environ Earth Sci* 69:1999–2012. Doi: 10.1007/s12665-012-2037-9
- ⁶Stumm W, Morgan J (1996) *Aquatic Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York.
- ⁷Wolfgramm M, Seibt A (2006) Geochemisches Monitoring des geothermalen Tiefenspeichers in Neubrandenburg. *GTV-Tagung*. Karlsruhe, pp 148–157
- ⁸Westphal A, Lerm S, Miethling-Graff R, Seibt A, Wolfgramm M, Würdemann H (2016) Effects of plant downtime on the microbial community composition in the highly saline brine of a geothermal plant in the North German Basin. *Appl Microbiol Biotechnol* 100:3277–3290. Doi: 10.1007/s00253-015-7181-1
- ⁹Goldbrunner J (2005) State, possible future developments in and barriers to the exploration and exploitation of geothermal energy in Austria. *Proc. World Geotherm. Congr. 2005*, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005. pp 24–29
- ¹⁰Westphal A, Eichinger F, Eichinger L, Würdemann H Effects of nitrate on the microbial community in the geothermal system of Bad Blumau, Austria (in preparation)
- ¹¹Würdemann H, Westphal A, Kleyböcker A, Miethling-Graff R, Teitz S, Kasina M, Seibt A, Wolfgramm M, Eichinger F, Lerm S (2016) Störungen des Betriebs geothermischer Anlagen durch mikrobielle Stoffwechselprozesse und Erfolg von Gegenmaßnahmen. *Grundwasser* 21:93–106. doi: 10.1007/s00767-016-0324-1
- ¹²Westphal A, Kleyböcker A, Jesußek A, Lienen T, Köber R, Würdemann H (2017) Aquifer heat storage: abundance and diversity of the microbial community with acetate at increased temperatures. *Environ Earth Sci*. doi: 10.1007/s12665-016-6356-0

Konzeption und Aufbau eines orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers zur Laser-Prozessanalyse

Theo Pflug, Matthias Frank, Tino Pahlig, Markus Olbrich, und Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Schillerstraße 10, 09648 Mittweida
horn4@hs-mittweida.de

Abstract: Ellipsometrie ist ein anerkanntes optisches Verfahren zur Bestimmung des komplexen Brechungsindex von Substraten oder Schichtsystemen. Wird ein Ellipsometer mit einem Ultrakurzpuls-Laser kombiniert, so können mittels einer Anrege-Abfrage-Technik (Pump & Probe) Laserprozesse mit einer zeitlichen Auflösung von wenigen 10 Femtosekunden vom Femtosekunden- bis in den Nanosekundenbereich beobachtet werden. Da die eingesetzte ultrakurz gepulste Laserstrahlung ($\tau_H = 35$ fs, $\lambda = 515$ nm, $f_p = 1$ kHz) ein breitbandiges Spektrum aufweist, muss bei der Auslegung des Ellipsometers die Polychromasie berücksichtigt werden.

1. Einleitung

Die Lasermikromaterialbearbeitung setzt ultrakurz gepulste Laserstrahlung ein, da beim Abtragen von Werkstoffen, wie Metallen, Halbleiter oder Dielektrika die optische Energie fast vollständig zum Verdampfen bzw. Zersetzen umgesetzt wird und die zurückbleibende Oberfläche nahezu kalt und frei von Rückständen bleibt.

Die Vorgänge beim Abtragen mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung sind sehr komplex. Wird z. B. das Abtragen von Metalle betrachtet, so kann mit dem Zwei-Temperatur-Modell (TTM) die resultierende Temperaturverteilung im Material vereinfacht beschrieben werden. Dabei wird die optische Energie in zwei Stufen an den Werkstoff abgegeben. Zuerst wird die Strahlung von den Elektronen, die bei Metallen als Elektronengas beschrieben und im Modell als Elektronensystem gekennzeichnet werden, vollständig absorbiert (abgesehen vom reflektierten Anteil). Das Elektronensystem heizt sich dadurch stark auf und wechselwirkt wiederum durch Stöße u. a. mit den Gitteratomen, die als Phononensystem bezeichnet werden, und gibt so die Energie an diese weiter. Die Temperatur des Phononensystems steigt innerhalb weniger Pikosekunden stark an und führt, abhängig von der absorbierten Energie, zu Abtragsprozessen, wie einer Phasenexplosion oder -separation [2, 9], welche mit länger gepulster oder kontinuierlicher Laserstrahlung niemals erreicht werden können. Da das TTM einen thermodynamischen Ansatz hat, werden thermische und optische Kenngrößen, wie z. B. die Wärmeleitfähigkeit oder Wärmekapazität für das Elektronen- und Phononensystem und den Brechungsindex sowie den Reflektionsgrad der Metalloberfläche für einen großen Temperaturbereich benötigt. Diese können über theoretische Betrachtungen hergeleitet werden und führen auch zu qualitativ guten Modellbeschreibungen der Ablation von dünnen Metallschichten [7, 8]. Dennoch weichen Simulation und Experiment leicht voneinander ab, was zum einen auf die Verwendung von

idealen Kenngrößen zurückzuführen ist. Die zeit- und orts aufgelöste Messung der genannten Kenngrößen z. B. durch Anrege-Abfrage-Technik (Pump & Probe Technik) [3, 5, 6, 10] kann die Lücke zwischen Simulation und Experiment schließen.

In dieser Arbeit wird die Auslegung und Erprobung eines zeit- und orts aufgelösten Ellipsometers beschrieben, mit dem der komplexe Brechungsindex und der Reflexionsgrad für Metalle nach Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung bestimmt werden kann. Ellipsometrie bestimmt die Änderung des Polarisationszustandes von Licht einer definierten Wellenlänge hervorgerufen durch die Reflexion an einer Probe. Der Polarisationszustand des einfallenden Lichtes wird mit einem Polarisator linear polarisiert und somit vorgegeben. Nach der Reflexion ist das ausfallende Licht im Allgemeinen elliptisch polarisiert. Ausgehend von der Änderung des zuvor definierten linearen Polarisationszustandes in elliptisch polarisierte Strahlung kann auf die Materialgrößen ψ und Δ und schlussendlich mit Hilfe eines geeigneten Modelles auf den komplexen Brechungsindex $\tilde{n} = n + i \cdot \kappa$ geschlossen werden [1, 4, 11].

2. Konzeptionierung und Aufbau eines orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers

Der prinzipielle Aufbau eines orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers ist in Abbildung 1 dargelegt. Der Laser emittiert ultrakurz gepulste Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 800 nm, die anschließend durch einem Strahlteiler in Pump- und Probe-Laserstrahlung aufgespalten wird. Die Pump-Laserstrahlung dient dazu auf dem Material eine Veränderung in Form von einfachen Heizen oder eine Phasenänderung hervorzurufen. Dazu wird die Strahlung über eine Linse mit einer Brennweite von 150 mm auf die Probe fokussiert. Die Probe-

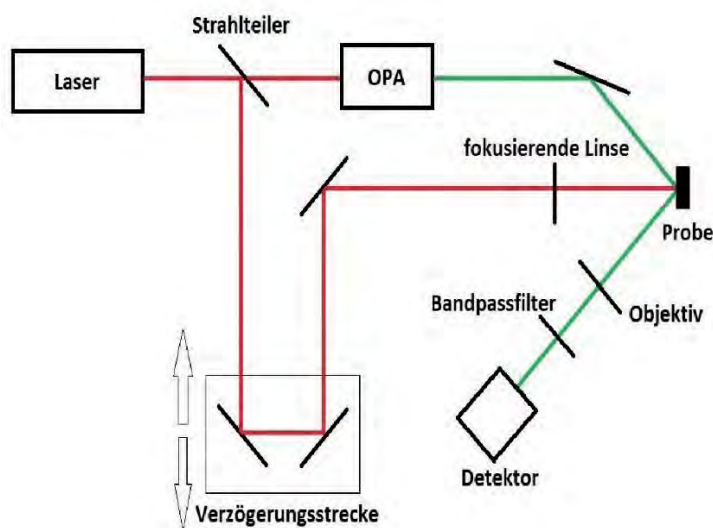


Abb. 1. Strahlengang eines Pump & Probe Ellipsometers mit rot gekennzeichneter Pump- und grün gekennzeichneter Probe-Laserstrahlung.

Laserstrahlung wird in einem optisch parametrischen Verstärker, kurz OPA (optical parametric amplifier), zu 515 nm frequenzkonvertiert, um diese später von der Pump-Laserstrahlung trennen zu können, und anschließend unter einem Einfallswinkel θ auf die Probe fokussiert. Dort wird diese reflektiert und durch ein Objektiv und eine Tubuslinse auf dem Detektor abgebildet. Vor dem Detektor befindet sich ein Bandpassfilter mit einer Mittenwellenlänge von 514,5 nm

und einer Halbwertsbreite von 3 nm zur Trennung von Pump- und Probe-Laserstrahlung. Der Detektor misst orts aufgelöst die Intensität der reflektierten Laserstrahlung. Mit einem Schuss wird durch die Probe-Laserstrahlung somit orts aufgelöst ein Bild der Materialoberfläche

aufgenommen. Die zeitliche Auflösung wird durch die definierte Verschiebung der Pump-Laserstrahlung relativ zur Pump-Laserstrahlung mit einer verfahrbaren Verzögerungsstrecke, bestehend aus einer Translationsachse und vier 45 ° Spiegeln, realisiert. Mit einem zweiten Schuss wird dadurch ein weiteres Bild zu einem anderen Zeitpunkt aufgenommen, die Pump-Laserstrahlung erneut verschoben und der Vorgang wiederholt. Der Aufbau ermöglicht dadurch die Auswirkung der ultrakurz gepulsten Pump-Laserstrahlung auf den komplexen Brechungsindex im Bereich weniger Femtosekunden zu untersuchen. Der limitierende Parameter in dieser Anordnung ist die Pulsdauer τ_H der Laserstrahlung, welche ca. 35 fs beträgt.

Ausgehend von dem prinzipiellen Aufbau wurde der Versuchsaufbau, wie ist in Abbildung 2 dargestellt, konzeptioniert: (1) Laser, emittiert Laserstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 800$ nm; (2) Strahlteiler; (3) Spiegel; (4) Verzögerungsstrecke; (5) optisch parametrischer Verstärker; (6) Probe-Laserstrahlung mit $\lambda = 515$ nm; (7) Pump-Laserstrahlung mit $\lambda = 800$ nm; (8) x-y-Positionieranlage für die Probe; (9) z-Achse zur Fokuspositionierung; (10) Spindel um Einfallswinkel θ der Strahlung auf die Probenoberfläche zu variieren; (11) Ellipsometer; (12) extra dünne Linse für ultrakurz gepulste Laserstrahlung mit der Brennweite $f_p = 150$ mm fokussiert die Pump-Laserstrahlung auf die Probenoberfläche. Der fertige Aufbau ist in Abbildung 3 dargestellt.

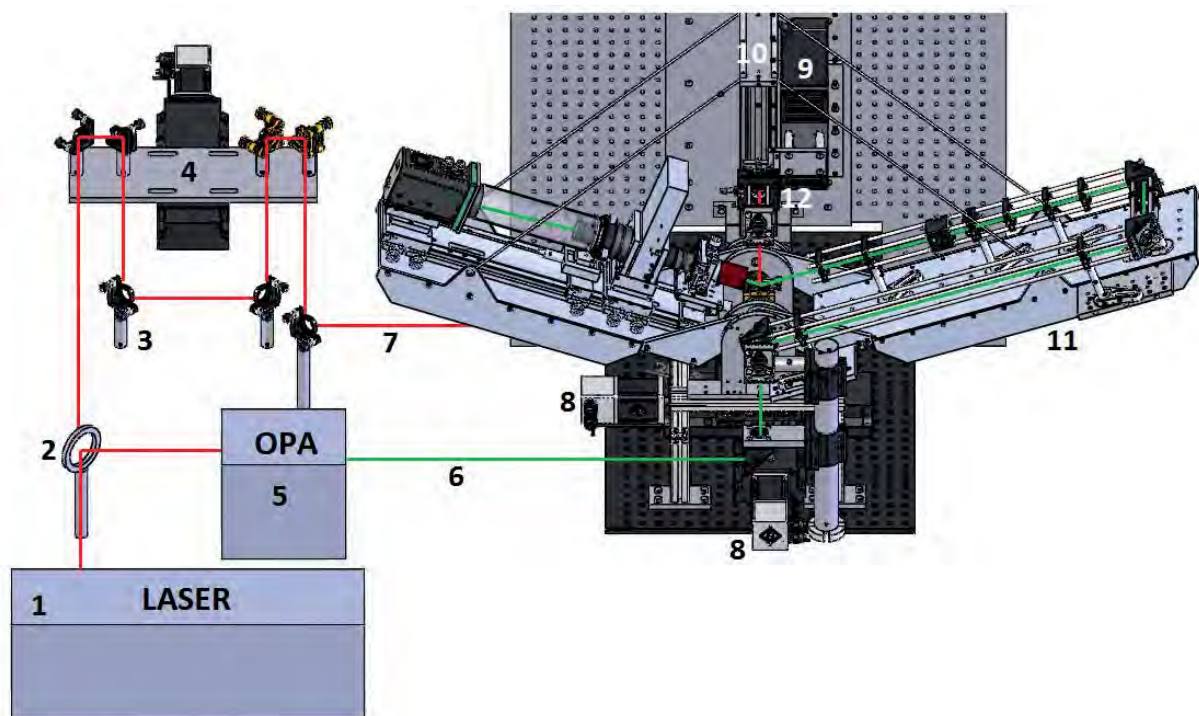


Abb. 2. Versuchsaufbau des orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers.

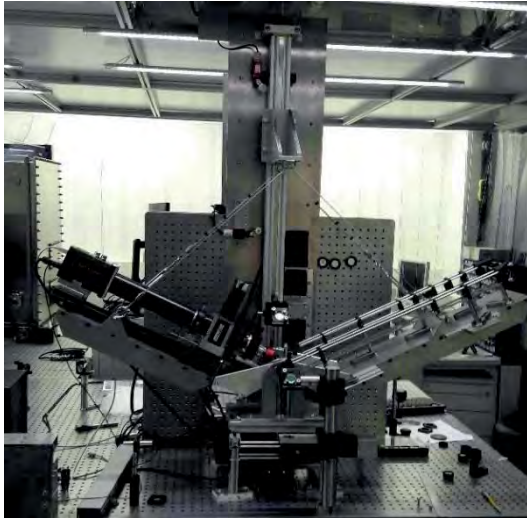


Abb. 3. Fertiger Aufbau des orts- und zeitaufgelösten Ellipsometers.

Der Strahlengang der Probe-Laserstrahlung im Ellipsometer ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Laserstrahlung wird über dünne Linsen für ultrakurze Pulse (1) durch das Ellipsometer geführt und geformt. Mit einer $\frac{\lambda}{2}$ -Platte (2) und einem Polarisator (3) kann die Leistung der Probe-Laserstrahlung zusätzlich manuell eingestellt werden. Mit dem Polarisator (3) wird die Probe-Laserstrahlung linear um 45° polarisiert. Damit sind die parallel (E_p) und senkrecht (E_s) polarisierte Komponente der räumlichen elektrischen Feldstärkeverteilung relativ zur Probe gleich groß und das Verhältnis von E_p und E_s des reflektierten Strahles wird direkt durch die Ellipsometrieparameter ψ und Δ beschrieben.

Nach dem Objektiv (4) wird mit dem rotierenden Analysator (5) die Leistung der an der Probe reflektierten Laserstrahlung nach der Tubuslinse (6) mittels einer Detektorkamera (7) in Abhängigkeit vom Analysatorwinkel ϕ bestimmt. Über den gemessenen Intensitätsverlauf

$$I(\phi) = I_0[1 + \alpha \cos(2\phi) + \beta \sin(2\phi)]$$

nach der Reflexion, α und β sind die beiden Fourier-Koeffizienten des gemessenen Intensitätsverlaufs, ergeben sich

$$\psi = \arctan\left(\sqrt{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} \tan|\phi|\right) \text{ und}$$

$$\Delta = \arccos\left(\frac{\beta}{\sqrt{1-\alpha^2}}\right).$$

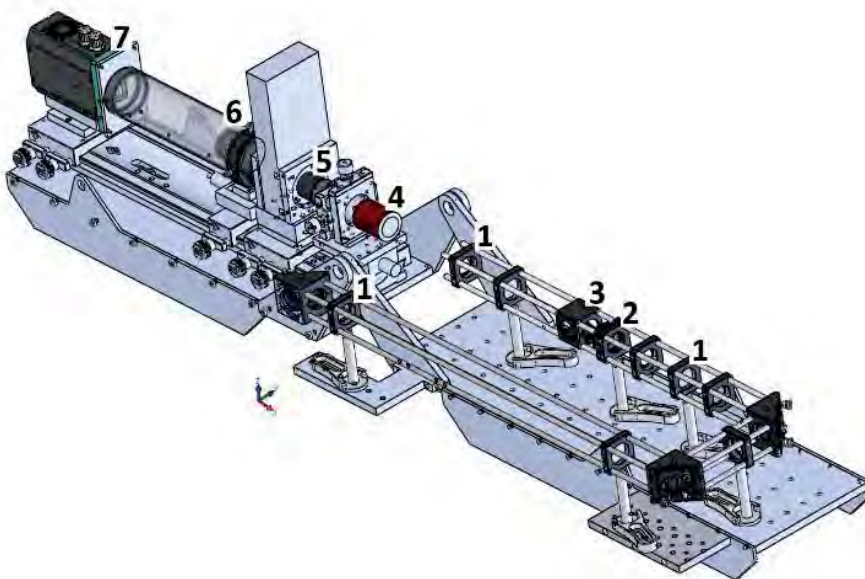


Abb. 4. Strahlengang der Probe-Laserstrahlung im Ellipsometer.

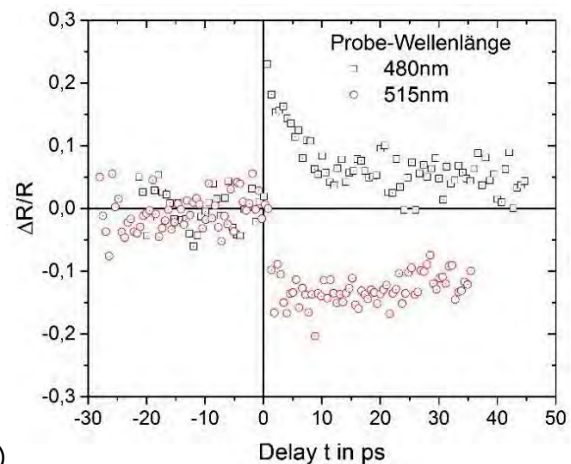
3. Kalibrierung

Zur Kalibrierung des Nullpunktes der Verzögerung von Pump- und Probe-Laserstrahlung wurde das Ellipsometer als ortsaufgelöstes polychromatisches Reflektometer (Abbildung 5 b) eingesetzt. Die Ergebnisse bestätigen die Untersuchungen anderer Autoren, die belegen, dass der zeitlich veränderliche relative Reflexionsgrad $\Delta R/R$ von Gold für Probe-Wellenlängen unterhalb der Interbandübergangsschwelle bei $\lambda_{ITR} = 500$ nm nach Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung ($\lambda = 800$ nm, $\tau_H = 35$ fs) zunimmt, da die Absorption über ein (d→s/p) Interband-Übergang wegen der Verbreiterung der Fermikante durch den Pump-Puls nicht möglich ist. Hingegen nimmt der zeitlich veränderliche relative Reflexionsgrad $\Delta R/R$ nach Anregung für Probe-Wellenlängen oberhalb der Interbandübergangsschwelle ab [12].

Weiterhin wurde die Verwendung als ortsaufgelöstes Ellipsometer bei Raumtemperatur ebenfalls kalibriert und liefert Ergebnisse, welche mit denen eines kommerziellen Ellipsometers vergleichbar sind (Abbildung 5 a).

	Eigenbau Ellipsometer		Kommerzielles Ellipsometer	
	n	κ	n	κ
PMMA	1,51	0,00	1,52	0,00
Au	0,58	2,20	0,49	2,17
Si	4,37	0,24	4,13	0,28
Wasser	1,33	0,00	1,33	0,00

a)



b)

Abb. 5. a) gemessener komplexer Brechungsindex für verschiedene Referenzsubstanzen mit Eigenbau-Ellipsometer und kommerziellem Ellipsometer bei der Wellenlänge $\lambda = 532$ nm und **b)** Reflexionsgradänderung von Gold beim Winkel $\varphi = 64,3^\circ$ bei zwei Probe-Wellenlängen ($\lambda = 480$ nm und 515 nm) nach Anregung mit 1 ultrakurzem Pump-Puls ($\tau_H = 35$ fs, $\lambda = 800$ nm, Fluenz $H = 0,1$ Jcm⁻²).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ein zeit- ortsaufgelöster Ellipsometer wurde für ultrakurz gepulste Laserstrahlung (Pulsdauer $\tau_H = 35$ fs), in Verbindung mit der Anrege-Abfrage-Technik (Pump & Probe-Technik), ausgelegt und aufgebaut worden. Die Kalibrierung des Nullpunktes des zeitlichen Abstandes zwischen Pump- und Probe-Laserstrahlung wurde durch polychromatische Reflexion durchgeführt und die Kalibrierung des Ellipsometers durch einen Vergleich der Bestimmung des komplexen Brechungsindex \tilde{n} mit einem kommerziellen Ellipsometers.

Die Kombination von Pump & Probe-Messtechnik und Verwendung des Aufbaus als Ellipsometers zur Bestimmung der Dynamik des komplexen Brechungsindex für die zu untersuchende Werkstoffe ist Gegenstand aktueller Arbeiten. Dazu wird mit Pump-Laserstrahlung bei der Wellenlänge $\lambda = 800$ nm angeregt und ellipsometrisch mit Probe-Laserstrahlung bei der Wellenlänge $\lambda = 515$ nm abgefragt.

Literatur

- [1] Azzam, R. M. A.-G. and Bashara, N. M. 1999. *Ellipsometry and polarized light*. North-Holland personal library. Elsevier, Amsterdam.
- [2] Cheng, C. and Xu, X. 2005. Mechanisms of decomposition of metal during femtosecond laser ablation. *Phys. Rev. B* 72, 16.
- [3] Domke, M., Rapp, S., Schmidt, M., and Huber, H. P. 2012. Ultrafast pump-probe microscopy with high temporal dynamic range. *Optics express* 20, 9, 10330–10338.
- [4] Fujiwara, H. 2007. *Spectroscopic Ellipsometry*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
- [5] Horn, A. 2009. *Ultra-fast material metrology*. Wiley-VCH, Weinheim.
- [6] Mingareev, I. and Horn, A. 2009. Melt dynamics of aluminum irradiated with ultrafast laser radiation at large intensities. *Journal of Applied Physics* 106, 1, 13513.
- [7] Olbrich, M., Punzel, E., Lickschat, P., Weißmantel, S., and Horn, A. 2016. Investigation on the Ablation of thin Metal Films with Femtosecond to Picosecond-pulsed Laser Radiation. *Physics Procedia* 83, 93–103.
- [8] Olbrich, M., Punzel, E., Roesch, R., Oettking, R., Muhsin, B., Hoppe, H., and Horn, A. 2016. Case study on the ultrafast laser ablation of thin aluminum films. Dependence on laser parameters and film thickness. *Appl. Phys. A* 122, 3.
- [9] Povarnitsyn, M. E., Fokin, V. B., and Levashov, P. R. 2015. Microscopic and macroscopic modeling of femtosecond laser ablation of metals. *Applied Surface Science* 357, 1150–1156.
- [10] Rapp, S., Kaiser, M., Schmidt, M., and Huber, H. P. 2016. Ultrafast pump-probe ellipsometry setup for the measurement of transient optical properties during laser ablation. *Optics express* 24, 16, 17572–17592.
- [11] Tompkins, H. G., Ed. 2010. *Handbook of ellipsometry*. Andrew, Norwich, NY.
- [12] Wellershoff, S.-S. 2000. *Untersuchungen zur Energierelaxationsdynamik in Metallen nach Anregung mit ultrakurzen Laserpulsen*. Dissertation.de 232. Dissertation.de, Berlin.

Bias-corrected Maximum-likelihood Estimates of Multiplicity of Infection

Meraj Hashemi and Kristan A. Schneider

Department of Applied Computer and Biosciences,
University of Applied Sciences Mittweida,
Technikumplatz 17, 09648
Mittweida, Germany.

E-mail: mhashemi@hs-mittweida.de, schneid2@hs-mittweida.de

Abstract

Multiplicity of infection (MOI) refers to the presence of multiple pathogen variant within an infection due to multiple infective contacts. MOI is an important clinical, genetic and epidemiological parameter, hence accurate estimates are highly desirable. Here, we show how a maximum-likelihood estimate of MOI can be improved by applying bias correction.

1 Introduction

In epidemiology, metrics capable to monitor changes in exposure and transmission intensity are of particular interest. While the entomological inoculation rate (EIR) and the basic reproduction number R_0 are still the gold standards to measure transmission [3, 13], molecular metrics such as multiplicity of infection (MOI) and molecular force of infection (mFOI) are recognized as being more appropriate [13]. In some diseases, e.g., malaria this is well recognized [7, 8]. Multiplicity of infection refers to the number of super-infections with the same or different pathogen variants in the course of an infection (Figure 1).

MOI is of clinical importance as it might correlate with disease severity (e.g., in the case of malaria) and the interaction of different pathogen variants within an infection might affect the course of the disease. Moreover, the distribution of MOI in a population correlates with transmission intensities, underlying its epidemiological importance. Moreover, MOI is an important genetic quantity as it mediates recombination between pathogen variants.

Although it is possible to control or measure the number of distinctive pathogen lineages in models and experimental settings (e.g. [3]), a totally different scenario is the one faced by those studying naturally occurring infections in the context of ecological and epidemiological investigations [4]. Under such circumstances, MOI is usually measured by ad hoc metrics that rely on a set of genetic markers or the observed polymorphism in one or several genes [2]. The need for an experimental definition of MOI has generated approaches based on

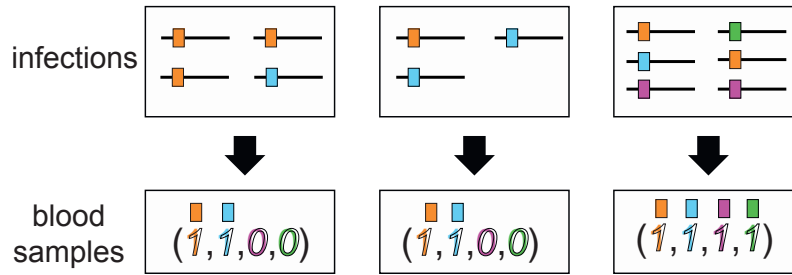


Figure 1. Information contained in blood samples. The top shows three (co-)infections, while the bottom shows the respective information about the infection that can be reconstructed from a blood sample. The first individual was infected by $m = 4$ lineages, three times with the orange and once with the blue lineage. Hence the orange and blue lineages are detectable in the blood sample, while the pink and green lineages were not detected. In the middle a co-infection with $m = 3$ lineage is illustrated which differs from the first infection but results in the same 0-1-vector. All four lineages were infecting in the third example, however $m = 6$ co-infections occurred.

phylogenetic frameworks (e.g. many viruses) or some form of multi-locus genotyping [9] Whereas such approximations have been useful, there is still need for a formal statistical framework that allows the estimation of the actual number of lineages and other approximations to MOI that facilitates and/or considers confounding factors. In the context of malaria (and related diseases) such a framework was introduced and developed by [7,10,11]. More precisely, a maximum-likelihood framework was employed to estimate MOI and the frequency of pathogen lineages from molecular data obtained from a collection of blood samples of disease-positive patients. Although, the method is promising, it leads to biased results, especially for small sample sizes. Here, we report how a bias correction can improve the estimate in terms of bias and variance.

2 Methods

In the following we briefly describe the model and review how the maximum likelihood is derived.

2.1 Model background

We refer to lineages as pathogen variants that can be identified by allelic variants at a considered locus, therefore we can use the terms “lineage” and “allele” synonymously. Lineages can also be interpreted as haplotypes in a non-recombining region. Suppose n lineages of a pathogen, A_1, \dots, A_n , circulating in a population. Their frequencies are denoted by the vector $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_n)$. It is assumed that a host is infected by one lineage at each infective event. Importantly, hosts can be super-infected multiple times with the same lineage or different ones. Let m_k be the number of times a host is infected by lineage A_k , so $m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ is the number of times a host was (super-) infected during the course of an infection. Consequently, conditioned on being super-infected m -times, the probability that the host is infected m_k times with lineage A_k , $k = 1, \dots, n$ follows a multinomial distribution

with parameters (m, p_1, \dots, p_n) . The quantity m is called multiplicity of infection (MOI). If infections with the pathogen are rare and independent events, it is natural to assume the number of pathogens infecting a host to be Poisson distributed, more precisely conditionally Poisson distributed (CPD), i.e.,

$$\frac{1}{e^\lambda - 1} \cdot \frac{\lambda^m}{m!} \quad \text{for } m = 1, 2, \dots$$

Eq. 1

Under this assumption, the distribution of MOI is identified by the parameter λ . The average MOI is

$$\frac{\lambda e^\lambda}{e^\lambda - 1}.$$

Eq. 2

The objective is to estimate the distribution of m or equivalently λ from N disease-positive blood samples by a maximum-likelihood approach. In practice m is unknown for a given host (see Figure 1) and it is impossible to reconstruct $\mathbf{m} = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, however, it is possible to detect the absence and presence of lineages in a blood sample. Let $i_k \in \{0, 1\}$ denote the absence and presence of lineage A_k . Therefore, a clinical sample is represented by the configuration $\mathbf{i} = (i_1, i_2, \dots, i_n) \in \{0, 1\}^n \setminus \{\mathbf{0}\}$. Notably, the configuration $\mathbf{0}$ represents an uninfected host ($m = 0$). The probability that a clinical sample has configuration \mathbf{i} is given by

$$Q_{\mathbf{i}} = \frac{1}{e^\lambda - 1} \prod_{k=1}^n (e^{\lambda p_k} - 1)^{i_k}$$

Eq. 3

according to [1]. This model is identifiable, i.e., different sets of parameters lead to different distributions of \mathbf{i} .

Data is obtained by collecting clinical samples (e.g. blood samples) from N disease-positive hosts. Let N_k be the number of samples in which lineage A_k is found, i.e., $N_k = \sum_{k=1}^n i_k^{(j)}$ where $\mathbf{i}^{(j)}$ corresponds to configuration of j -th sample. Under the conditional Poisson model the log-likelihood function is given by

$$L(\lambda, p_1, \dots, p_n) = -N \log(e^\lambda - 1) + \sum_{k=1}^n N_k \log(e^{\lambda p_k} - 1),$$

Eq. 4

cf. [11].

2.2 Maximum Likelihood

The maximum-likelihood estimate (MLE) for the model parameters $\theta = (\lambda, \mathbf{p})$ exists and is uniquely defined except in two pathologic situations. In the first, only one lineage is found in each blood sample, i.e., $\sum_{k=1}^n N_k = N$ so there is no indication of super-infections. In the second, at least one lineages is found in every blood sample, i.e., $N_k = N$ for at least one k . Except these cases the maximum likelihood can be properly evaluated. For a regular case the maximum likelihood estimate of θ is

$$\hat{p}_k = -\frac{1}{\hat{\lambda}} \log \left(1 - \frac{N_k}{N} (1 - e^{-\hat{\lambda}}) \right),$$

Eq. 5

Where $\hat{\lambda}$ is found by iterating

$$\lambda_{t+1} = \lambda_t - \frac{\lambda_t + \sum_{k=1}^n \log \left(1 - \frac{N_k}{N} (1 - e^{-\lambda_t}) \right)}{1 - \sum_{k=1}^n \frac{N_k}{N e^{\lambda_t} - N_k (e^{\lambda_t} - 1)}}.$$

Eq. 6

The sequence Eq. 6 converges monotonically and at quadratic rate from any initial value $\lambda_1 \geq \lambda$. Hence, it is guaranteed to find the MLE as long as the initial value λ_1 is chosen sufficiently large.

2.3 Bias correction

Maximum-likelihood estimates have many desirable asymptotic properties. In particular, they are typically asymptotically unbiased, where the bias is of order $\mathcal{O}(N^{-1})$. Indeed, in our case, bias might be too large for small sample sizes, especially if λ is small, i.e., if transmission intensities are small. Since transmission intensities correlate not only with MOI but also with disease prevalence, it will be difficult to collect a large number of clinical samples in low-transmission settings, rendering $N \sim 90$ a realistic sample size. Therefore, it is important to apply bias corrections to Eq. 5 and Eq. 6, which reduce bias to the order $\mathcal{O}(N^{-2})$. We adopt the bias-correction outlined in [14], which requires the likelihood function to be well-behaved, as in the present case. The advantage of this method is that it can be explicitly derived, although the formulas are complicated and hence omitted.

We conducted a simulation study, in which for each parameter choice $\theta = (\lambda, p_1, \dots, p_n)$ 10 000 samples of size N ($=50, 70, 100, 150, 200, 250$) were randomly drawn from the conditional-Poisson model and the MLE and its bias-corrected version were derived. Bias and variance of the estimates were derived based on these samples. Since the MLE cannot be derived in pathologic situations, especially in the case $\sum_{k=1}^n N_k = N$, in which formally $\hat{\lambda} = 0$ and Eq. 6 is undefined, pathologic samples were replaced until a total number of 10 000 was reached.

Hence, bias was calculated conditionally on non-pathologic data. The case $\sum_{k=1}^n N_k = N$ occurs mainly for very small λ .

3 Results and conclusions

The bias-corrected estimate (BCE) shows clear improvement over the original estimate, as shown in Figure 2. The parameters chosen in Figure 2 are representative choices as far as results change only quantitatively but not qualitatively. (The parameters used lead to high coefficients of variation, hence worst case scenarios are shown). The original MLE tends to overestimate the true parameter, even substantially for small values of λ , but bias vanishes as sample size increases. The BCE can be regarded unbiased irrespectively of the sample size, except for small λ . The reason for the overestimation of small true λ , is that occasional data sets with high MOI yield a huge overestimation. (Remember also that we report bias conditioned on non-pathologic data. Since $\hat{\lambda} = 0$ if $\sum_{k=1}^n N_k = N$, actual bias is smaller than the one reported.)

The BCE shows small improvement in standard deviation compared with the MLE (cf. Figure 2c, g), especially for small sample size. Together with the reduction in bias, this leads to a small decrease in the coefficient of variation of the BCE (cf. Figure 2d, h).

Summarizing, the BCE has reduced bias and smaller variance as the original estimate and is therefore preferable, especially for small samples.

References

- [1] Alizon, S., de Roode, J. C., Michalakis, Y., 2013. Multiple infections and the evolution of virulence. *Ecology Letters* 16 (4), 556–567.
- [2] Balmer, O., Tanner, M., 2011. Prevalence and implications of multiple-strain infections. *The Lancet Infectious Diseases* 11 (11), 868 – 878.
- [3] Ben-Ami, F., Mouton, L., Ebert, D., Jul 2008. The effects of multiple infections on the expression and evolution of virulence in a daphnia-endoparasite system. *Evolution* 62 (7), 1700–1711.
- [4] Cohen, T., van Helden, P. D., Wilson, D., Colijn, C., McLaughlin, M. M., Abubakar, I., Warren, R. M., 2012. Mixed-strain mycobacterium tuberculosis infections and the implications for tuberculosis treatment and control. *Clinical Microbiology Reviews* 25 (4), 708–719.
- [5] David E. Giles and Hui Feng and Ryan T. Godwin , 2016. Bias-corrected maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized Pareto distribution. *Journal of Communications* in45 (8), 2465-2483.
- [6] Efron, B., Tibshirani, R. J., 1994. An introduction to the bootstrap. Vol. 57. CRC press.
- [7] Hill, W. G., Babiker, H. A., 1995. Estimation of numbers of malaria clones in blood samples. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 262 (1365), 249–257.
- [8] Klein, E. Y., Smith, D. L., Laxminarayan, R., Levin, S., 9 2012. Superinfection and the evolution of resistance to antimalarial drugs. *Proc Biol Sci* 279 (1743), 3834–3842.
- [9] Poon, A. F. Y., Swenson, L. C., Bunnik, E. M., Edo-Matas, D., Schuitemaker, H., van't Wout, A. B., Harrigan, P. R., 2012. Reconstructing the dynamics of hiv evolution within hosts from serial deep sequence data. *PLoS Comput Biol* 8 (11), e1002753.

- [10] Schneider, K. A., 2015. Estimating multiplicity of infection - a robustness study and applications. submitted.
- [11] Schneider, K. A., Escalante, A. A., 07 2014. A likelihood approach to estimate the number of co-infections. PLoS ONE 9 (7), e97899.
- [12] Schneider, K. A., Kim, Y., 9 2010. An analytical model for genetic hitchhiking in the evolution of antimalarial drug resistance. Theor Popul Biol 78 (2), 93–108.
- [13] Tusting, L. S., Bousema, T., Smith, D. L., Drakeley, C., 2014. Chapter three - measuring changes in plasmodium falciparum transmission: Precision, accuracy and costs of metrics. Advances in Parasitology 84, 151 – 208.
- [14] Cordeiro, G. M.; Klein, R. Statistics & Probability Letters 1994, 19(3), 169–176.

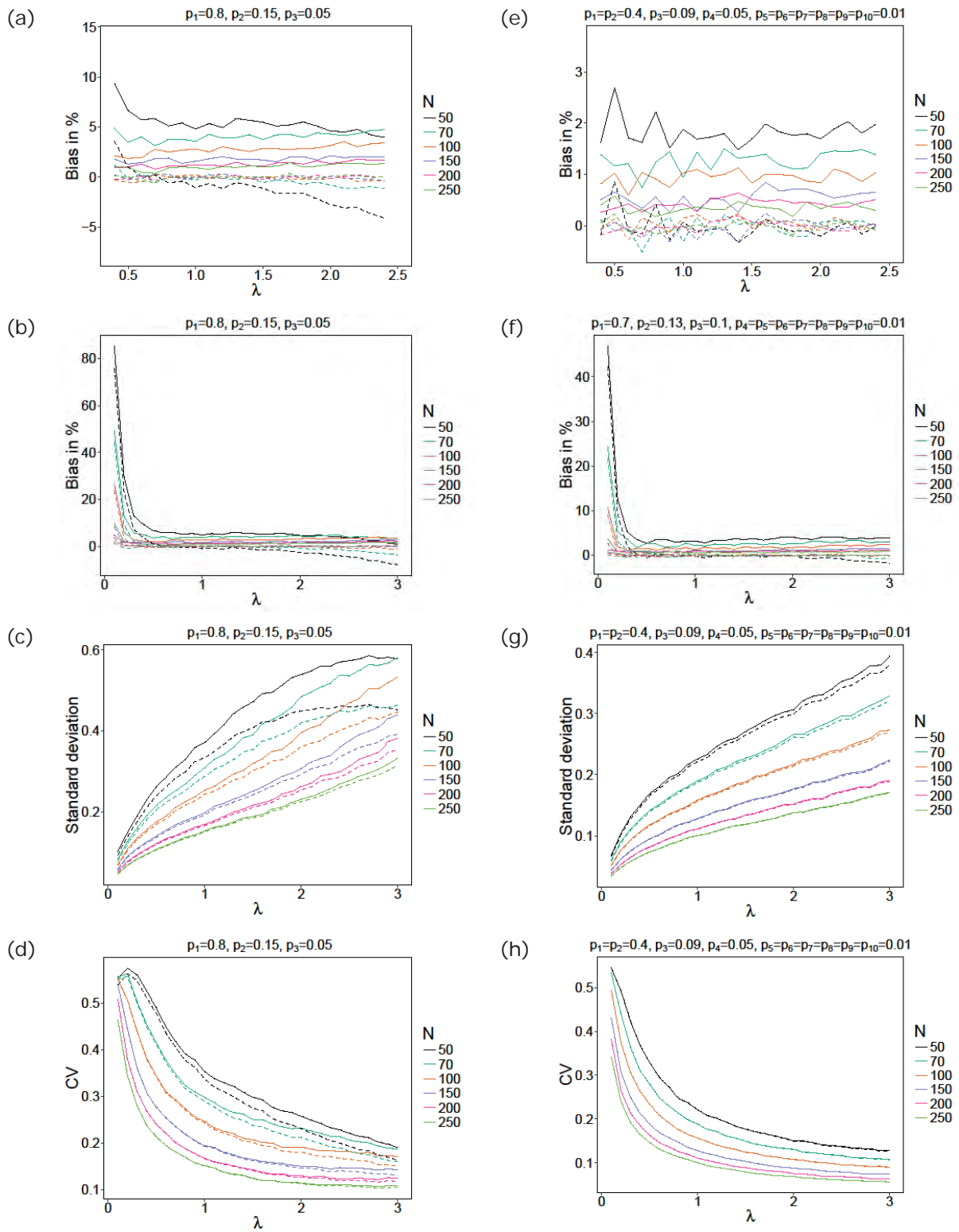


Figure 2. (a), (b), (e), (f) show the bias of the MLE $\hat{\lambda}$ (solid) and its bias-corrected version (dashed) in percent of the true parameter λ . (a), (b) and (e), (f) differ only in the range on the x-axis. The left and right panels each assume a specific lineage-frequency distribution. (c) and (g) show the variance of the estimates, while (d) and (h) show the coefficient of variation.

Neuroinformatische EKG-Analysen für die Schläfrigkeitsbewertung

Christian Heinze, Ingo Schäfer, Martin Golz
Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik
c.heinze@hs-sm.de

Abstract: In einer Nachtfahrtsimulationsstudie, wo extreme Schläfrigkeit bis hin zur Fahruntüchtigkeit auftrat, wurde untersucht, wie gut sich anhand von Herzschlagintervallen selbst-ingeschätzte Schläfrigkeit vorhersagen ließ. Eine Support-Vektor-Maschine erzielte den kleinsten Fehler von rund 20 %, wenn Intervall-Spektralkomponenten als Merkmale verwendet wurden. Die Herzschlagvariabilität lag bei hoher Schläfrigkeit deutlich höher, war asymmetrisch verteilt und entsprach insgesamt einem Ruhezustand.

1. Einleitung

In Phasen extremer Ermüdung, die durch Mikroschlafereignisse charakterisiert sind, ist die Analyse von Hirnpotentialen (EEG) das Mittel zur objektiven Schläfrigkeitseinschätzung. Gerätetechnisch jedoch ist das schwierig umzusetzen, weil die EEG-Muster durch sehr viele parallel ablaufende Hirnprozesse (Größenordnung 10^8) und durch Signaleinkopplungen von Fremdquellen stark verrauscht sind. Anderen physiologischen Variablen, wie bspw. okulomotorische (Bulbus, Lid, Pupille) oder elektrokardiographische (EKG), liegen deutlich weniger Prozesse zugrunde. Andererseits sind diese Variablen nur indirekt mit der Wach-Schlaf-Regulation und damit mit Schläfrigkeitsveränderungen verbunden. Vorteilhaft für die Nutzung des EKGs zur Einschätzung des Schläfrigkeitsniveaus ist zum einen das relativ starke, elektrische Strömungsfeld des Herzens und zum anderen die kleinere Anzahl an Messkanälen. In der vorliegenden Studie wurden das EKG einkanalig aufgenommen. Wir gehen im weiteren der Frage nach, wie genau sich das Schläfrigkeitsniveau aus der Zeitreihe der Herzschlagrate (Tachogramm) über lernfähige Analysemethoden schätzen lässt. Die Komplexität des Tachogramms und der indirekte Forschungszugang über das EKG zu schläfrigkeitsbedingten Prozessen stellen besondere Herausforderungen dar. Die charakteristischen Graphoelemente eines Herzschlages, der sich im EKG widerspiegelt, haben einen recht konstanten Zeitbezug zueinander; der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen ist dagegen wesentlich variabler. Selbst bei Ruhe und unter konstanten äußeren Bedingungen sind diese Abstände nicht gleichmäßig lang, sondern verlängern und verkürzen sich unaufhörlich. Dieses Phänomen ist als Herzratenvariabilität (HRV) bekannt, und es spiegelt die Fähigkeit eines gesunden kardiovaskulären Systems zur Anpassung an schnell veränderliche Erfordernisse wider.

2. Material / Studie

Im Fahrsimulationslabor der Hochschule Schmalkalden wurde im Zeitraum Juni bis August 2016 eine Pilotstudie durchgeführt, die 25 Testnächte mit jeweils einem Probanden (12 ♀, 13

σ , Alter: $24,7 \pm 3,4$ Jahre) umfasste. Ziel war es, Biosignale (EEG, EOG, EKG) und Simulator-daten zu erhalten, die während Episoden von mäßiger bis extremer Fahrerschläfrigkeit aufgezeichnet wurden. Diese Aufzeichnungen werden zu einer ständig wachsenden Datenbank hinzugefügt, um langfristig einen Referenzstandard für die objektive Einschätzung der Schläfrigkeit von Personen unter fortwährenden Wachheitsanforderungen zu erhalten, die in vielen Berufsfeldern bestehen. Mit einem Referenzstandard können neben Forschungs- auch Validierungsfragen zu Gerätekonzepten, die aus verschiedenen Gründen auf Biosignale verzichten müssen, beantwortet werden. Die erste Fahrtsitzung startete 1:00 Uhr mit einer Wachzeit von mindestens 16 Stunden. Jede der sieben, stündlich beginnenden Fahrtsitzungen hatte eine Länge von 40 Minuten, danach wurde ein zwölfminütiger Reaktionszeittest durchgeführt und nach kurzer Pause die nächste Fahrtsitzung begonnen. Während der Fahrsimulation wurde alle fünf Minuten eine Schläfrigkeitseinschätzung auf der Karolinska-Skala (engl. *Karolinska sleepiness scale*, KSS) ¹ abgefordert.

3. Methoden

3.1 R-Zacken-Detektion und Segmentierung

Das einkanalige EKG wurde während der Fahrsimulationen mit einem mobilen Gerät (Somnoscreen, Fa. Somnomedics, Randersacker, Deutschland) aufgezeichnet. Nach Abschluss der Studie wurden alle im weiteren genannten Analysen durchgeführt. Zunächst wurde jeder einzelne QRS-Komplex und in ihm die R-Zacke detektiert. Aus den Zeitabständen aufeinanderfolgender R-Zacken lässt sich dann die RR-Zeitreihe aufstellen. Weil über längere Zeit aufgezeichnete EKG-Signale mit teils erheblichen Störungen behaftet sind, die bspw. durch schlechten Elektrodenkontakt, Bewegungen oder Muskelkontraktionen eingebracht werden, ist die R-Zacken-Detektion fehlerbehaftet. Methodisch wurde sie mit der Einhüllenden der Shannon-Energie über ein vorverarbeitetes EKG-Signal umgesetzt.² Dadurch werden auch QRS-Komplexe mit geringer Amplitude, die von anderen Verfahren meist übersehen werden, detektiert. Dennoch mussten die Detektionsergebnisse manuell nachbefundet werden, um noch verbleibende Detektionsfehler zu korrigieren. Die nachfolgenden Merkmalsextraktionsschritte wurden gemäß einer internationalen Richtlinie³ durchgeführt. Bspw. wurde jede RR-Zeitreihe in Segmente von 5 min Länge zerteilt.

3.2 Merkmalsextraktion: Spektrale Leistungsdichte

Durch eine spektrale Zerlegung können langsame und schnelle Änderungen der RR-Intervalle unterschieden werden, was Rückschlüsse darüber ermöglicht, welcher Teil des autonomen Nervensystems größeren Einfluss auf die momentane Herzrate ausübt. Hierfür wird die spektrale Leistungsdichte (PSD, *power spectral density*) eines RR-Segments üblicherweise in die drei Spektralbänder VLF (*very low frequency*, 0 - 0,04 Hz), LF (*low frequency*, 0,04 - 0,15 Hz) und HF (*high frequency*, 0,15 - 0,4 Hz) unterteilt. Die PSD wird meist mit der diskreten Fourier-Transformation direkt geschätzt, die aber mit dem Ausfließ-Effekt (*leakage*) behaftet ist,

der dazu führt, dass die PSD-Werte verschiedener Frequenzen korrelieren und somit nicht statistisch unabhängig sein können. Insbesondere im niederfrequenten Bereich vergrößern sich die Korrelationen, wenn die Zeitbereichsfolge nicht äquidistant ist. RR-Zeitreihen sind jedoch ihrer Natur nach nicht äquidistant. Häufig wird dem mit einem sog. Resampling entgegengewirkt, d. h. mit nichtlinearer Interpolation gefolgt von äquidistanter Neuabtastung. Jedoch verzerrt das wiederum die PSD-Schätzung. Eine Alternative zur Interpolation ist die Kleinst-Quadrat-Regression, bspw. das Lomb-Scargle-Periodogramm^{4,5}, die insbesondere bei stark streuenden Abtastintervallen die PSD mit geringerer Verzerrung schätzt. In anderen Worten heißt das, dass die PSD-Folge als Summe von wahrer PSD-Folge und artifiziellen PSD-Folgen durch geringere Amplituden letzterer geschätzt wird. Deshalb wurde mit dieser Methode die PSD für jedes RR-Segment zwischen 0 und 0,4 Hz berechnet und, abweichend vom Standard³, nicht innerhalb von drei, sondern von zwanzig gleichbreiten Frequenzbändern aufgemittelt.

3.2.2 Poincaré-Darstellung und Herzratenasymmetrie

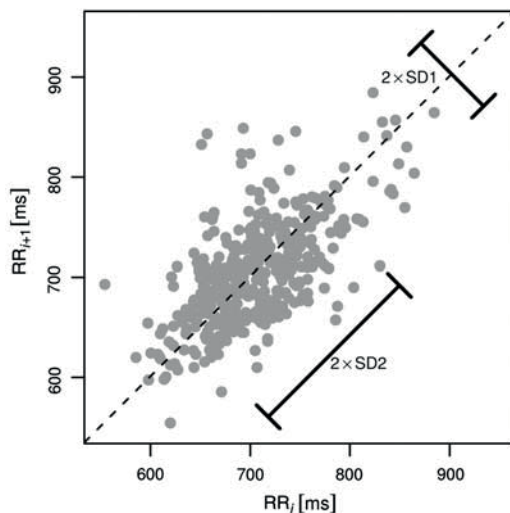


Abb. 1: Poincaré-Darstellung eines RR-Segments. Für die gestrichelte Diagonale gilt $RR_i = RR_{i+1}$. Senkrecht zur Diagonalen erstrecken sich kurzfristige, senkrecht dazu langfristige RR-Schwankungen.

Eine weitere Herangehensweise, um kurz- und langfristige RR-Korrelationen getrennt beurteilen zu können, ist die Poincaré-Darstellung: innerhalb eines Segments wird jedes Intervall RR_{i+1} in Abhängigkeit von seinem Vorgänger RR_i aufgetragen. Die resultierende Verteilung liegt typischerweise um die Diagonale $RR_i = RR_{i+1}$. Als Merkmale werden die Standardabweichungen senkrecht (SD1) bzw. parallel (SD2) zur Diagonalen berechnet. SD1 beschreibt das Ausmaß kurzfristiger und SD2 langfristiger RR-Veränderungen (maximal bis zur Segmentlänge)⁶. SDNN ist die Summe aus SD1 und SD2 und repräsentiert die Gesamtvariabilität im ganzen Segment. Werte oberhalb der Diagonale kennzeichnen Beschleunigungen der momentanen Herzrate, während Verlangsamungen unterhalb davon liegen.

Überwiegt der Mengenumfang der RR-Werte im oberen Halbraum bzgl. SD1, dann überwiegen Beschleunigungen, andernfalls überwiegen Verlangsamungen. Die Mengenumfänge können sich durchaus kräftig unterscheiden, weil die RR-Abstände sich schnell verkürzen und anschließend langsam verlängern können und umgekehrt⁷. Andererseits kann der Mengenumfang im unteren oder oberen Halbraum bzgl. SD2 überwiegen, was eine Indikation vermehrter Langzeit-Verkürzungen bzw. -Verlangsamungen ist. Das ungleiche Verhältnis des Mengenumfangs wird als Herzratenasymmetrie (HRA) bezeichnet ist, wie die HRV selbst, Ausdruck einer gesunden Herzschlagregulation. Um HRA zu quantifizieren, wurden die Größen SD1 und SD2 separat für Herzratenbeschleunigungen bzw. -verlangsamungen berechnet: $SD1_a$ und $SD2_a$ bzw. $SD1_d$ und $SD2_d$ beziffern die Streuungen

von kurzfristigen und langfristigen RR-Verkürzungen („a“ für *acceleration*) bzw. RR-Verlängerungen („d“ für *deceleration*). Analog gilt wie oben $SD1_a + SD2_a = SDNN_a$ und $SD1_d + SD2_d = SDNN_d$. $SD1$, $SD1_a$ und $SD1_d$ wurden als Merkmalsgruppe $SD1^*$ zusammengefasst, mit $SD2^*$ und $SDNN^*$ wurde ebenso verfahren.

3.3 Klassifikation und Validierung

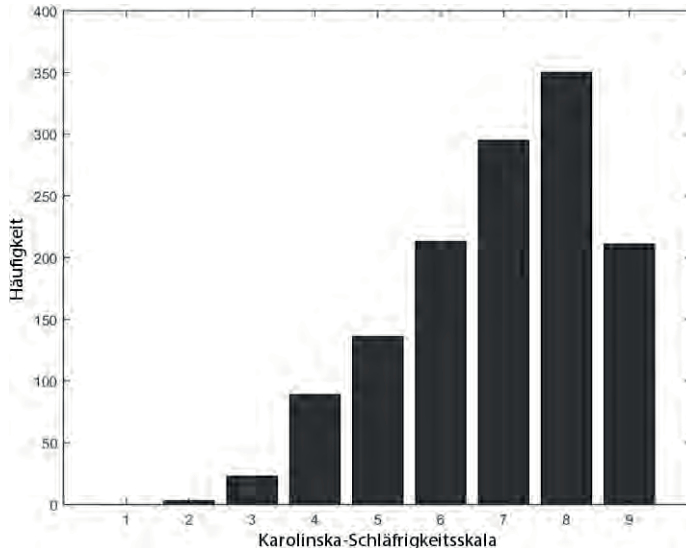


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung aller gemittelte KSS-Werte. Histogramm über alle erfassten KSS-Werte. Der Median der Verteilung beträgt 7,5.

Beim Fahren wurde alle fünf Minuten eine Einschätzung der Fahrerschläfrigkeit auf der KSS vom Probanden selbst als auch vom Versuchsbeobachter abgefragt. KSS ist eine ordinale Skala mit neun Stufen (1 = „äußerst wach“ bis 9 = „schläfrig, große Mühe wachzubleiben“). Der jeweilige Wert vom Probanden und vom Beobachter wurde gemittelt⁸, und die so entstandenen Werte KSS_k von einer 40-minütigen Fahrtsitzung dienten als unabhängige Zielvariable. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wurde vorerst auf Untersuchungen für ein

Neun-Klassen-Problem verzichtet und stattdessen als einfachster Fall ein Zwei-Klassen-Problem aufgestellt. Falls $KSS_k < 7,5$, dann wurde das entsprechende RR-Segment der Klasse c_0 für geringe Schläfrigkeit zugeordnet; falls $KSS_k > 7,5$, wurde das Segment der Klasse c_1 für hohe Schläfrigkeit zugeteilt; für $KSS_k = 7,5$ wurde das Segment keiner Klasse zugeordnet. Damit hatten die Klassen c_0 und c_1 einen Umfang von 607 bzw. 650 Segmenten; 63 Segmente wurden nicht zugeordnet.

Mit Klassifikationsmethoden ist nun zu untersuchen, wie genau und zuverlässig von den objektiven Messgrößen, hier die aus einem RR-Segment extrahierten Merkmale, auf die subjektiven Variablen, hier die KSS, abgebildet werden kann. Hierfür wurde die Stützvektormethode (SVM, support-vector machine)⁹ mit Gaußscher Kernfunktion verwendet, um nichtlineare Trennfunktionen zu ermöglichen. Eine SVM trennt eine gegebene Trainingsmenge $\{(g_i, c_i) | g_i \in \mathbb{R}^d, c_i \in \mathbb{Z}, i = 1, \dots, N\}$ vom Umfang N anhand von Merkmalen g_i und Klassenzugehörigkeiten c_i . Das Ziel dabei ist, von allen möglichen Trennfunktionen $w^t g + b = 0$ diejenige auszuwählen, die den größten Abstand zu den am nächsten beieinander gelegenen Merkmalen besitzt und somit den größtmöglichen Pufferbereich zwischen den Klassen definiert. Eine solche gefundene Trennfunktion ist gut für eine Generalisierung, also für eine spätere Anwendung auf unbekannte Daten, geeignet. Zur Feststellung seiner Generalisierungsfähigkeit muß

einem Klassifikator eine bislang unbekannte Testmenge $\{(g_j, c_j) | g_j \in \mathbb{R}^d, c_j \in \mathbb{Z}, j = 1, \dots, M\}$ präsentiert werden. Im Gegensatz zur Trainingsphase muß der Klassifikator die zuvor ermittelte Trennfunktion nun verwenden, um die Klassenzugehörigkeit \hat{c}_j für jeden Merkmalsvektor g_j aus der Testmenge vorherzusagen. Durch den Abgleich der vorhergesagten mit den wahren Klassenzugehörigkeiten \hat{c}_j und c_j wird schließlich der Klassifikations- oder Testfehler ermittelt. In unserem Fall wurde eine Kreuzvalidierung durchgeführt: die ersten 10 % der Trainingsmenge wurde als Testmenge verwendet, danach die nächsten 10 % usw., bis schließlich die letzten 10 % der Trainingsmenge als Testmenge dienten. Dieser Vorgang wurde fünfmal wiederholt, wobei vor jeder Wiederholung die Gesamtmenge zufällig neuangeordnet wurde, um eine mögliche Verzerrung, die sich durch die gegebene Reihenfolge der Daten ergeben könnte, auszuschließen.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1: Mittlerer Klassifikationsfehler für verschiedene Merkmalskombinationen.

Die oben beschriebene Klassifikation wurde wiederholt für verschiedene Kombinationen von Merkmalen probiert, um zu beurteilen, welche Kombination am besten zur Unterscheidung der beiden Klassen geeignet war. Die beste Klassifikationsleistung, d. h. der kleinste Testfehler, wurde erzielt, wenn die 20 PSD-Bänder

Merkmale	Trainingsfehler	Testfehler
SDNN*	25,6 ± 0,1 %	26,1 ± 0,3 %
PSD 1-4 & SD2*	23,2 ± 1,0 %	25,2 ± 0,3 %
SD2*	21,4 ± 1,8 %	25,1 ± 0,2 %
PSD 1-4	19,8 ± 0,8 %	24,8 ± 0,4 %
SD1*, SD2* & SDNN*	12,9 ± 3,1 %	22,9 ± 0,3 %
SD2* und SDNN*	8,1 ± 5,7 %	22,9 ± 0,2 %
PSD	0,5 ± 1,1 %	20,3 ± 0,2 %

verwendet wurden (Tab. 1). Die nächstbeste Leistung lieferten die Merkmale der Poincaré-Darstellung, wobei es mit Hinsicht auf den Testfehler praktisch keinen Unterschied machte, ob die Merkmale der kurzfristigen RR-Änderungen (SD1*) mit einbezogen wurden. Andere Merkmalszusammenstellungen, z. B. eine Unterauswahl von PSD-Bändern kombiniert mit Poincaré-Merkmalen, führten zu keiner weiteren Klassifikationsverbesserung. Eine Betrachtung der erfolgreichsten Merkmalskombinationen in Abhängigkeit von der Klassenzugehörigkeit zeigte, dass die Variabilität der RR-Intervalle im schläfrigen Zustand generell stärker ausgeprägt war. Der Medianwert von jedem PSD-Band über alle RR-Segmente, die zur Klasse c_1 (schläfrig) gehören, war deutlich größer als der entsprechende Medianwert von den Segmenten in Klasse c_0

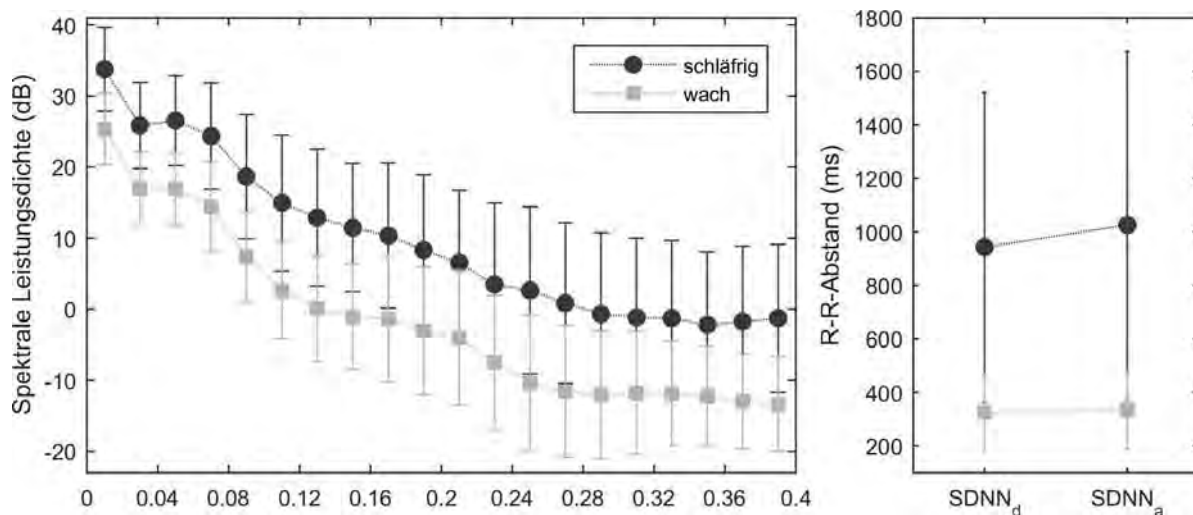


Abb. 3 Merkmale in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zur Klasse „schläfrig“ oder „wach“. Links: 0,02 Hz breite PSD-Bänder zwischen 0 und 0,4 Hz. Rechts: Streuung sämtlicher RR-Verlängerungen (SDNN_d) bzw. -Verkürzungen (SDNN_a).

(Abb. 4 links). Die Gesamtvariabilität SDNN zeigte das gleiche Bild (Abb. 4 rechts): die Streuung war für c_1 größer und um einen höheren Medianwert herum verteilt als für c_0 . Außerdem hatten Beschleunigungen der Herzschlagrate (SDNN_a) für Klasse c_1 einen höheren Anteil an SDNN, während das Verhältnis für Klasse c_0 annähernd gleich war. Der erzielte Klassifikationsfehler von etwa 20 % ist sicherlich unzureichend für eine zuverlässige Schläfrigkeitseinschätzung. Allerdings wurde durch das Einbeziehen von Segmenten um den mittleren KSS-Wert von 7,5 herum bewusst ein Klassifikationsproblem geschaffen, bei dem ähnlich ausgeprägte Beispiele unterschieden werden mussten, damit die Grenzen der Unterscheidbarkeit festgestellt werden konnten. Durch eine Vergrößerung des Puffers zwischen den KSS-Werten ließ sich der Klassifikationsfehler weiter, auf etwa 10 %, reduzieren.

¹ Åkerstedt, T. & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37.

² Manikandan, M. S. & Soman, K. P. (2012). A novel method for detecting R-peaks in electrocardiogram (ECG) signal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7(2), 118-128.

³ Heart rate variability. (1996). Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*, 17, 354-381.

⁴ Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and space science*, 39(2), 447-462.

⁵ Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263, 835-853.

⁶ Kamen, P. W. & Tonkin, A. M. (1995). Application of the Poincaré plot to heart rate variability: a new measure of functional status in heart failure. *Australian and New Zealand journal of medicine*, 25(1), 18-26.

⁷ Guzik, P., Piskorski, J. et al. (2006). Heart rate asymmetry by Poincaré plots of RR intervals. *Biomedizinische Technik*, 51(4), 272-275.

⁸ Die Mittelung beider Schläfrigkeitseinschätzungen war gerechtfertigt, weil sich beide Werte, über alle Probanden hinweg, proportional zueinander verhielten und sich meist nur um eine individuelle konstante Differenz voneinander unterschieden.

⁹ Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.

Simulation des Morris-Lecar-Neuronenmodells mit stochastischen Störungen

Gregor Schuldt, Jochen Merker
HTWK Leipzig, Angewandte Mathematik
gregorschuldt@aol.com

Abstract: In diesem Beitrag wird das dem Morris-Lecar-Neuronenmodell zugrundeliegende nichtlineare zweidimensionale Differentialgleichungssystem analysiert. Neben der Auswertung von Nullbahnen werden Stabilitäts- und Bifurkationsanalysen durchgeführt, insbesondere wird ein Bifurkationsdiagramm erstellt und ausgewertet. Danach wird statt des deterministischen ein zugehöriges stochastisches Modell untersucht, in dem die Störung bezüglich stochastischer Resonanz optimiert wird.

1. Modellierung

Da praktische Tests am menschlichen Gehirn zu gefährlich sind, ist man auf mathematische Modelle der neuronalen Aktivität angewiesen.

1.1 Wichtige Eigenschaften neuronaler Aktivität

Die Signalweitergabe zwischen Neuronen erfolgt über Aktionspotentiale. Diese werden durch den Austausch von Ionen über Kanäle entlang der Zellmembran realisiert. Dieser Vorgang kann als elektrischer Schaltkreis modelliert werden. Die Dynamik des Schaltkreises kann durch Differentialgleichungssysteme beschreiben werden, diese bezeichnet man auch als Neuronenmodelle.

1.2 Das Morris-Lecar-Neuronenmodell

Das dem Modell zugrundeliegende nichtlineare zweidimensionale Differentialgleichungssystem lautet

$$\begin{aligned} C_M \frac{dV}{dt} &= I_{app} - g_L(V - E_L) - g_K n (V - E_K) - g_{Ca} m_\infty(V)(V - E_{Ca}) \\ \frac{dn}{dt} &= \phi(n_\infty(V) - n) / \tau_n(V), \end{aligned} \quad (1)$$

mit:

$$\begin{aligned} m_\infty(V) &= \frac{1}{2} [1 + \tanh((V - V_1)/V_2)] \\ \tau_n(V) &= 1 / \cosh((V - V_3) / 2V_4) \\ n_\infty(V) &= \frac{1}{2} [1 + \tanh((V - V_3)/V_4)] \end{aligned}$$

Dabei entsprechen g_{Ca} , g_K und g_L den Durchlassraten der Kanäle, E_{Ca} , E_K und E_L den Ruhepotentialen der jeweiligen Ionen und C_M der Membrankapazität. Die Funktionen m_∞ , τ_n und n_∞ ergeben sich durch die Reduzierung des Hodgkin-Huxley-Neuronenmodells auf zwei Differentialgleichungen¹. V_1 , V_2 , V_3 und V_4 sind Potentiale, die auf Grundlage biologischer Experimente bestimmt wurden. Der Parameter ϕ beschreibt die Frequenz des Austauschs von Kalium-Ionen. Für den in diesem Beitrag verwendeten Hopf-Parametersatz gilt beispielsweise $\phi=0.04[1/ms]$, $g_{Ca}=4.4[\mu S/cm^2]$, $g_K=8[\mu S/cm^2]$, $g_L=2[\mu S/cm^2]$, $V_1=-1.2[mV]$, $V_2=18[mV]$, $V_3=2[mV]$ und $V_4=30[mV]$, $E_{Ca}=120[mV]$, $E_K=-84[mV]$, $E_L=-60[mV]$ und $C_M=20[\mu F/cm^2]$.

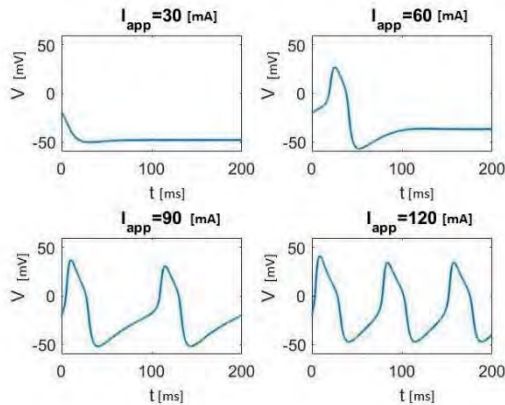


Abb. 1: Potentialverläufe für variierendes I_{app}

Die in Abb. 1 dargestellten Potentialverläufe der Lösungen von (1) bei variierender angelegter Stromstärke $I_{app}[mA]$ zeigen, dass das Morris-Lecar-Neuronenmodell viele der von Neuronen gezeigten Eigenschaften reproduziert. Bei geringer Anregung mit $I_{app}=30[mA]$ fällt das Potential des Neurons auf einen Ruhezustand ab und verbleibt dort. Setzt man diesen Ruhezustand (V_R , n_R) als Anfangszustand und $I_{app}=30[mA]$, so ist die Lösung konstant. Man

beachte, dass der Ruhezustand je nach angelegter Stromstärke variiert. Die Ursachen dafür werden in Abschnitt 2 erläutert. Bei einer Anregung mit $I_{app}=60[mA]$ steigt das Potential des Neurons über einen gewissen Schwellwert, ein Aktionspotential wird erzeugt, und es kommt anschließend zur Depolarisation. Das zugehörige Neuronenmodell bezeichnet man in diesem Fall als erregbar. Für $I_{app}=90[mA]$ ist der Potentialverlauf der Lösung periodisch. Dies entspricht einem periodischen Feuern des Neurons mit einer gewissen Frequenz.

2. Das Deterministische System

2.1 Nullbahnen

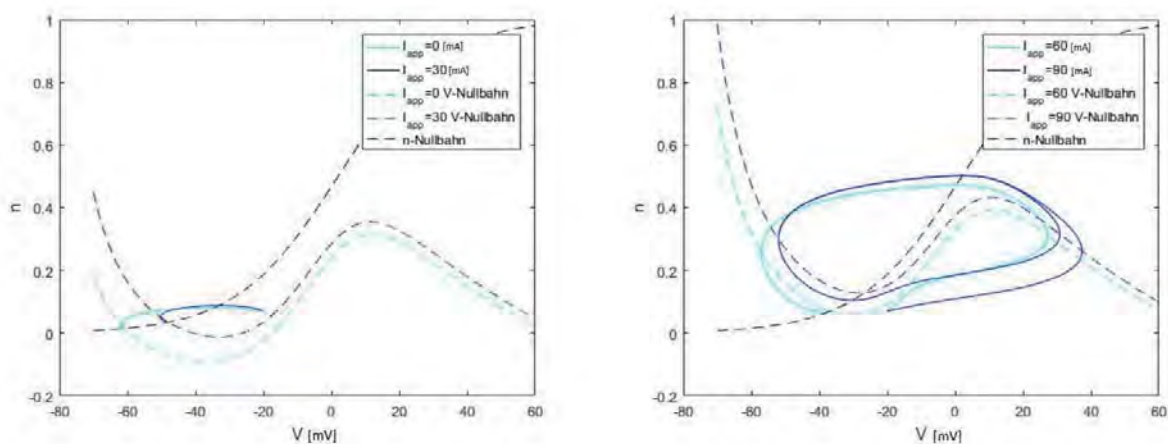


Abb. 2: Zustandsraum und Nullbahnen des Systems

Sei $(V(t), n(t))$ eine Lösung von DGL (1), dann definiert $(V(t_0), n(t_0))$ für jeden Zeitpunkt t_0 einen Punkt im Zustandsraum. Dieser Punkt ändert sich mit der Zeit, also entspricht die Gesamtlösung $(V(t), n(t))$ einer Kurve im Zustandsraum. Da alle Komponenten von (1) lokal Lipschitz-stetig sind, folgt nach einem Theorem von Picard-Lindelöfⁱⁱ die Eindeutigkeit solcher Lösungen. Man beachte, dass sich somit verschiedene Lösungstrajektorien nicht kreuzen können.

Die Kurven in Abb. 2 zeigen die Trajektorien ausgewählter Potentialverläufe (s. Abb. 1). Die Kurven des linken Plots entsprechen zum Ruhezustand abklingenden Lösungen, die des rechten entsprechen einem Aktionspotential bzw. dem Verlauf einer periodischen Oszillation. Des Weiteren werden die zu (1) gehörigen Nullbahnen dargestellt. Deren Schnittpunkte entsprechen den Ruhezuständen des Systems. Man beachte, dass sich Lage der Ruhezustände für variierendes I_{app} ändert.

2.2 Bifurkationsanalyse

Eine maßgebliche Änderung der Dynamik der Lösungen des Systems nennt man Bifurkation. Es besteht besonderes Interesse an den genauen Punkten, an denen eine solche Bifurkation stattfindet. Formal definiert man eine Bifurkation als qualitative Zustandsänderung eines nichtlinearen Systems unter Einfluss eines beliebigen freien Parameters. Als Bifurkationspunkt wird der exakte Wert bezeichnet, an dem sich das Verhalten des Systems ändert. Um (1) näher zu untersuchen wird im folgenden Abschnitt eine numerische Bifurkationsanalyse vorgenommen.

Abb. 3 zeigt ein mit XPPAUT erstelltes Bifurkationsdiagramm für den Hopf-Parametersatz. Durchgezogene (gestrichelte) Kurven entsprechen stabilen (instabilen) Gleichgewichtszuständen. Blaue (grüne) Punkte repräsentieren instabile (stabile) periodische Orbits, wobei jeweils Maximal und Minimalpotential angegeben werden. Für

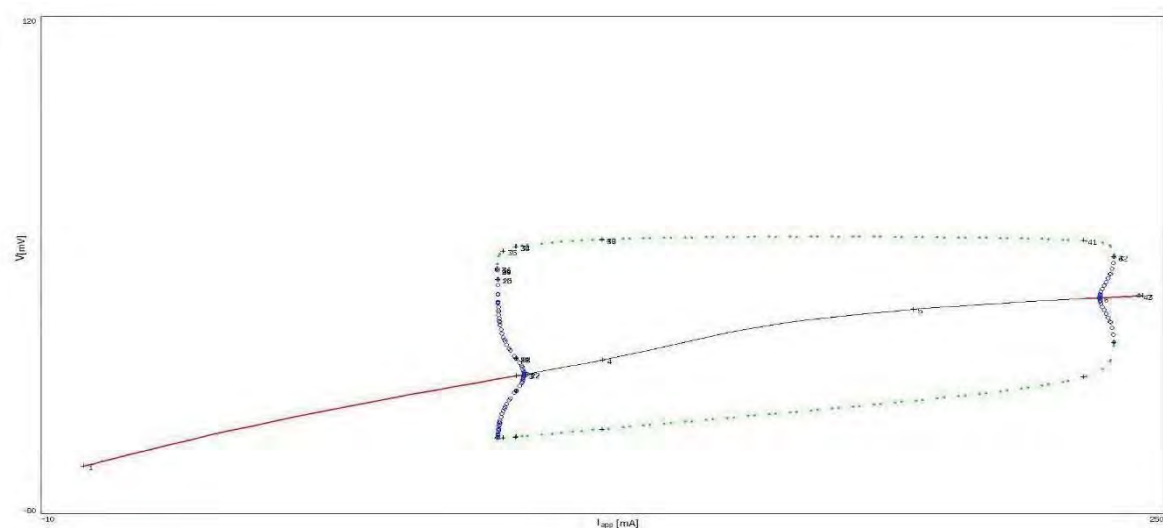


Abb. 3: Bifurkationsdiagramm von (1)

$I_{app} < 88$ [mA] hat das System einen stabilen Gleichgewichtszustand. Bei $I_{app} \sim 88.29$ [mA] entstehen neben dem vorhandenen stabilen Gleichgewichtszustand ein stabiler und ein instabiler periodischer Orbit durch eine Bifurkation. Für $I_{app} \sim 93.86$ [mA] findet eine sogenannte Hopf-Bifurkation statt. Der instabile periodische Orbit und der stabile Gleichgewichtszustand verschmelzen zu einem instabilen Gleichgewichtszustand. Betrachtet man die Eigenwerte des linearisierten Systems, so kann man die Klassifikation der auftretenden Bifurkation analytisch beweisenⁱⁱⁱ.

Liegt I_{app} im Intervall $[88.29, 93.86]$, so kann sich das System auf zwei Arten verhalten. Es kann ein einzelnes Aktionspotential auslösen und anschließend den stabilen Gleichgewichtszustand anstreben oder sich dem geschlossenen stabilen Orbit annähern und periodisch oszillieren. Um genauer zu untersuchen, wann das System sich auf welche Weise verhält, sind weitere Betrachtungen nötig. Es kann gezeigt werden, dass die Lage des gewählten Ausgangszustandes von entscheidender Bedeutung ist^{iv}. Alle Anfangszustände, die in einer gewissen offenen Umgebung des Gleichgewichtszustandes liegen, streben den Ruhezustand an. Ist $I_{app} > 93.86$ [mA] hat eine Hopf-Bifurkation stattgefunden und jede Zustandstrajektorie nähert sich dem stabilen periodischen Orbit an. Man beachte, dass dies, wenn man die Zeit rückwärts laufen lässt, einer subkritischen Hopf-Bifurkation entspricht. Ein instabiler Gleichgewichtszustand geht in einen stabilen Gleichgewichtszustand und einen instabilen periodischen Orbit über. Im Intervall $[212, 217]$ gelten ähnliche Betrachtungen. Die Änderungen der Dynamik sind spiegelverkehrt zu denen im Intervall $[88, 94]$, aber ansonsten analog. Mit anderen Worten liegt in diesem Fall eine vorwärts in der Zeit verlaufende subkritische Hopf-Bifurkation vor.

Im deterministischen System passiert bei gleichen Ausgangsbedingungen immer das gleiche. Die Natur ist da variabler, unter anderem, da Neuronen in der realen Welt in großen Clustern auftreten, die sehr stark vernetzt sind und sich gegenseitig beeinflussen.

3. Das stochastische System

3.1 Modellierung

Man kann den Einfluss der anderen Neuronen auf ein einzelnes Neuron durch eine stochastische Störung modellieren, in (1) mittels Wiener Prozessen^v $W_1(t)$, $W_2(t)$ mit den Standardabweichungen σ_1 , σ_2 . Diese werden jeweils als additives Rauschen zu den zu V bzw. n gehörigen Differentialgleichungen hinzugefügt. Der so modellierte Itô-Prozess zu (1) ist gegeben durch:

$$C_M \frac{dV}{dt} = I_{app} - g_L(V - E_L) - g_K n (V - E_K) - g_{Ca} m_\infty(V)(V - E_{Ca}) + \sigma_1 dW_1(t) \quad (2)$$

$$\frac{dn}{dt} = \phi(n_\infty(V) - n) / \tau_n(V) + \sigma_2 dW_2(t) ,$$

Man beachte, dass es sich bei (2) um ein nichtlineares zweidimensionales stochastisches Differentialgleichungssystem handelt. Die nicht differenzierbaren Wiener Prozesse beeinflussen das Verhalten etwaiger Trajektorien maßgeblich. Viele der im Laufe von Kapitel 2 aufgeführten Überlegungen gelten nicht mehr. Geschlossene Orbits im Zustandsraum können gekreuzt werden. Neuronen können feuern ohne mit einer Stromstärke oberhalb des Schwellwertes angeregt worden zu sein. Insbesondere kann das Verhalten einer Lösung bei identischen Ausgangsbedingungen variieren.

3.2 Simulation

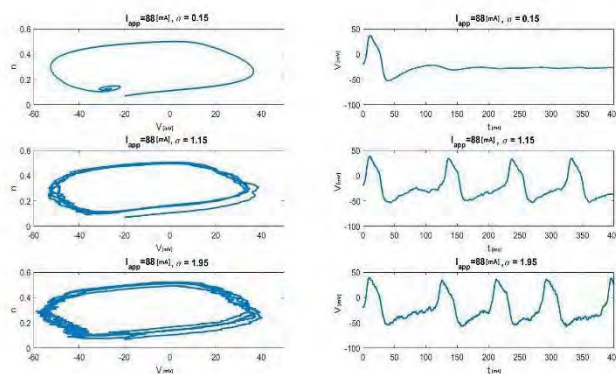


Abb. 4: Zustandsräume des stochastischen Systems (2)

Mittels Matlab wird (2) mit einem Vorwärts-Euler-Verfahren für $\sigma_2=0$ simuliert. In Abb. 4 werden für verschiedene $\sigma_1=\sigma$ Trajektorien und Potentialverläufe der Lösungen unterhalb des Bifurkationspunktes für $I_{app}=88[\text{mA}]$ dargestellt. Man beachte den für ein stochastisches System typischen zackigen Verlauf der Kurven.

Im Gegensatz zum deterministischen System ist es möglich bei einer angelegten Stromstärke von $I_{app}=88[\text{mA}] < 88.29[\text{mA}]$ Oszillationen zu erzeugen. Außerdem kann beobachtet werden, dass im stochastischen System Oszillationen mit zwischenzeitlichen Ruhephasen bei konstantem I_{app} möglich sind. Man beachte, dass es sich bei den in Abb. 4 dargestellten Plots jeweils nur um einzelne Realisierungen des zugrundeliegenden stochastischen Differentialgleichungssystems (2) handelt, es könnte also z.B. auch für $I_{app}=88[\text{mA}]$ und bei $\sigma=0.15$ zur Oszillation oder bei $\sigma=1.95$ zum Abklingen gegen den Ruhezustand kommen. Um Verteilungsfunktionen und Langzeitverhalten der Lösungen bei fixiertem σ analytisch zu ermitteln, muss man die zugehörige Fokker-Planck-Gleichung aufstellen und lösen^v.

3.3 Kalibrierung

Wie in Abschnitt 3.2 gezeigt, beeinflusst die Varianz σ^2 der Störung die Dynamik des Systems (2) maßgeblich. Im Folgenden wird eine Kenngröße für kohärente Resonanz vorgestellt. Die modellierte Störung wird mithilfe dieser optimal kalibriert. Ziel ist es, trotz der Störung noch einen relativ regelmäßigen Potentialverlauf zu erzeugen, da dies dem Verhalten realer Neuronen am ehesten entspricht. Dafür berechnet man den Variationskoeffizienten R, gegeben als^{vi}

$$R = \frac{\sqrt{\langle \Delta T^2 \rangle}}{\langle T \rangle}$$

Er gibt das Verhältnis der Standardabweichungen der *interspike intervals* T (ISI) zu ihrem Mittelwert an. Diese sind definiert als die Intervalle zwischen den einzelnen Aktionspotentialen. Für einen Poisson-Prozess gilt z.B. $R=1$ und für das deterministische Modell $R=0$. Liegt R nahe an Null, spricht man von einem kohärenten Verlauf. In Abb. 5

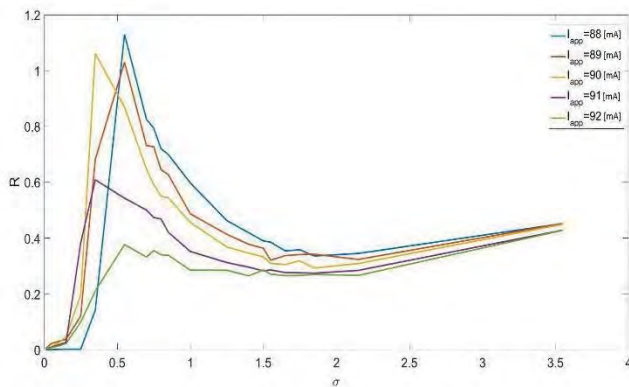


Abb. 5: Variationskoeffizient von (2) für variierendes I_{app}

wird R für verschiedene I_{app} in Abhängigkeit von σ dargestellt. Entfernt sich I_{app} genügend weit vom Bifurkationspunkt, so steigt R fast monoton mit σ . Nahe des Bifurkationspunktes ergibt sich je nach I_{app} ein optimales σ zwischen 1,4 und 1,8. Diese Ergebnisse können als Grundlage für weitere Experimente genutzt werden.

Diese Vorgehensweise ist beliebig auf andere Parametersätze, andere Neuronenmodelle und beliebige erregbare Systeme übertragbar. Um das vorgestellte computationale Modell dem Verhalten realer Neuronen noch besser anzupassen, sind weitere Verfeinerungen möglich. Die an der HTWK Leipzig von Jochen Merker betreute und am MPI für Mathematik in den Naturwissenschaften Leipzig unter der Anleitung von Jürgen Jost angefertigte Masterarbeit^{vii} diskutiert unter anderem detailliert die Kalibrierung des mit einer periodischen Störung modulierten stochastischen Morris-Lecar-Neuronenmodells.

ⁱ Lecar, K. M. (1981). *Voltage oscillations in the barnacle giant muscle fiber*. Biophysical journal.

ⁱⁱ Jost, J. (2007). *Mathematical Methods in Biology and Neurobiology*. Max Planck Institute for Mathematics.

ⁱⁱⁱ Kuznetsov, Y. (1998). *Elements of Applied Bifurcation Theory, Second Edition*. Springer.

^{iv} Terman, G. B. (2010). *Mathematical Foundations of Neuroscience*. Springer.

^v Gardiner, C. (1985). *Handbook of stochastic Methods*. Springer.

^{vi} Lindner, B., García-Ojalvo, J., Neiman, A., & Schimansky-Geier, L. (2003). Effects of noise in excitable systems.

^{vii} Schuldt, G. (2016). Simulation des Morris-Lecar-Neuronenmodells mit stochastischen Störungen.

Blockausbreitungsgeschwindigkeiten in Bitcoin

Martin Kuchler

Hochschule Mittweida

Fakultät Computer- und Biowissenschaften

mkuechle@hs-mittweida.de

Abstract

Die vorliegende Arbeit untersucht die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Blöcken in Bitcoin. Es wird dabei untersucht, ob und wie stark die Blockgröße Einfluss auf die Verbreitungsdauer von neuen Blöcken hat. Die ermittelten Daten werden mit den Ergebnissen vorheriger Untersuchungen verglichen. Dadurch können deren Prognosen überprüft und bereits vorhandene Änderungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit ermittelt werden.

Grundlagen

Netzwerk

Die verschiedenen Bitcoin-Clients sind durch ein Peer-to-Peer-Netzwerk miteinander verbunden. Die vollständige Kommunikation, d.h. alle Transaktionen, Nachrichten und Blöcke werden über dieses übertragen. Im Durchschnitt ist jeder Client mit 8 anderen Knoten verbunden. Im Durchschnitt sind ca. 5200 Knoten im Netzwerk aktiv¹.

Eine weitere interessante Eigenschaft des Netzwerkes ist die Verteilung der Knoten. Während in China der Großteil der Miner und deren Pools ihren Sitz haben, stellen chinesische Knoten mit ca. 3,5% der Nodes nur eine geringe Anzahl aller Knoten dar. Die meisten aktiven Bitcoin-Peers befinden sich in Europa und Nordamerika.¹

Übertragungstechniken

Standard

Die standardmäßige Übertragungstechnik basiert auf einem „inv-getdata“-System. Neue Transaktions- und Blockhashes werden nach dem Validieren über eine „inv“-Nachricht an alle verbundenen Peers geschickt. Wenn diese die entsprechenden Daten noch nicht besitzen, senden sie den „getdata“-Befehl zurück und bekommen anschließend die vollständigen Informationen zugeschickt. Die empfangenen Daten werden anschließend validiert und die „inv“-Nachricht an alle mit dem Peer verbundenen Knoten weitergeleitet.²

Dadurch, dass erst „inv“-Nachrichten geschickt werden, kann sehr viel unnötiger Datenverkehr gespart werden, da diese maximal nur wenige Kilobyte groß ist, während die Blöcke bis zu 1 MB groß sind.

Compact Blocks und XThin-Blocks

Die aktuelle Technik der Blockverbreitung hat ihre Schwächen. Besonders hervorzuheben ist dabei das Problem, dass Transaktionen zweifach durch das Netzwerk geschickt werden: Einmal wenn sie erstellt worden sind, und einmal wenn sie in einem Block enthalten sind und mit diesem propagiert werden. Durch die Techniken Compact Blocks³ und XThin-Blocks⁴ wird dies behoben indem nur die wichtigsten Informationen von einem Block gesendet werden und der Peer den Block anschließend rekonstruiert. Als Resultat können 1 MB große Blöcke auf wenige Kilobyte komprimiert werden. Beide Techniken sind seit 2016 im Einsatz.

Relay-Netzwerke

Für die Miner ist es wichtig, so schnell wie möglich von neuen Blocks zu erfahren. Jede Sekunde, in der ein Miner noch nicht von einem neuen Block erfahren hat, erstellt er im Prinzip falsche Blöcke. Dies kostet Geld und je später ein Miner von einem neuen Block erfährt, desto geringer sind seine Chancen einen neuen Block zu finden und desto höher ist die Orphan-Wahrscheinlichkeit. Miner, welche zuerst von einem Block erfahren, haben deshalb einen Vorteil. Deshalb versuchen alle Mining-Pools so schnell wie möglich von neuen Blöcken zu erfahren. Die Verbreitung von neuen Blöcken über das Peer-to-Peer-Netzwerk dauert eine gewisse Zeit. Obwohl sowohl Compact Blocks, als auch XThin Blocks die Verbreitungsgeschwindigkeit erhöhen können, ist dies immer noch für die Miner zu langsam. Für die Miner machte es deshalb Sinn, sich ein privates Netzwerk aufzubauen und sich darüber über neue Blöcke zu informieren.

Vorhabenbeschreibung

Für die Beobachtung der Blockausbreitungsgeschwindigkeit wurde ein speziell angepasster Client verwendet. Dieser versuchte sich mit so vielen Peers wie möglich zu verbinden. Für jede Verbindung wurden anschließend alle ankommenden Nachrichten ausgewertet. Die Zeitpunkte für die eintreffenden „inv“-Nachrichten für neue Blöcke wurden in einer Datenbank gespeichert. Um die Daten auswerten zu können, müssen auch verschiedene Informationen über den Peer (z.B. Herkunftsland) und die Blöcke (z.B. Größe, Anzahl Transaktionen) in der Datenbank gespeichert werden. Durch diese Methode kann für jeden Block die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Bei der Auswertung wurden die Blöcke je nach Größe in verschiedene Gruppen eingeteilt normiert. Anschließend konnte daraus die durchschnittliche Blockausbreitungsgeschwindigkeit für die verschiedenen Blockgrößen berechnet werden.

Ergebnisse

Das ununterbrochene Erheben der Messdaten begann am 03. November 2016 und endete am 19. Dezember 2016. In dieser Zeitspanne wurden insgesamt 7308 Blöcke mit einer gesamten Größe von 6298,949 MB empfangen. Dies entspricht einer durchschnittlichen Blockgröße von 861.859 Bytes. In den Blöcken waren ca. 13,33 Millionen Transaktionen, d.h. Bitcoin konnte

3,44 Transaktionen pro Sekunde verarbeiten. Während der Erfassung der Daten wurden 15 Orphan Blöcke erhalten. Dies entspricht einer Orphan-Rate von ca. 0,2 %.

In Abbildung 1 ist die Verteilung der Ursprungsländer der ersten „inv“-Nachricht zu sehen. Der Anteil an chinesischen Blöcken steigt mit höheren Blockgrößen. Dennoch ist er im Vergleich zum prozentualen Anteil der chinesischen Mining-Pools zu gering, da diese mehr als 80% der Hashleistung ausmachen. Der sehr hohe Anteil an deutschen und europäischen Ursprungsländern kann durch die Verwendung von Relay-Netzwerken und Optimierung des Routings von größeren Mining-Pools erklärt werden.

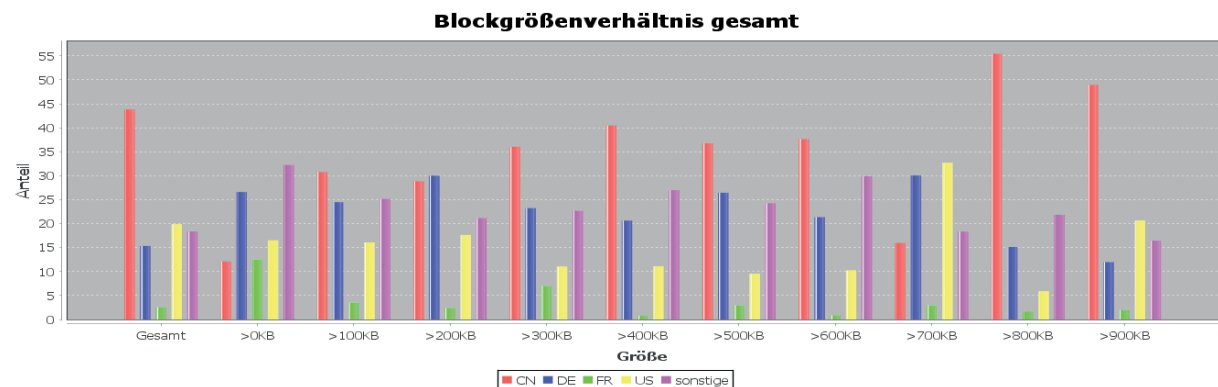


Abbildung 1: Ursprungsländer der Blöcke

Da sich das geschriebene Programm im Durchschnitt mit mehr als 3000 Clients verbunden war, konnten ebenfalls potentielle Verteilungsknoten für die jeweiligen großen Mining-Pools identifiziert werden. Diese wurden jeweils von den entsprechenden Mining-Pools verwendet, um ihre Blöcke zu propagieren.

In den Abbildungen 2 und 3 wird die Blockausbreitung für die kleinsten und größten Blöcke exemplarisch dargestellt.

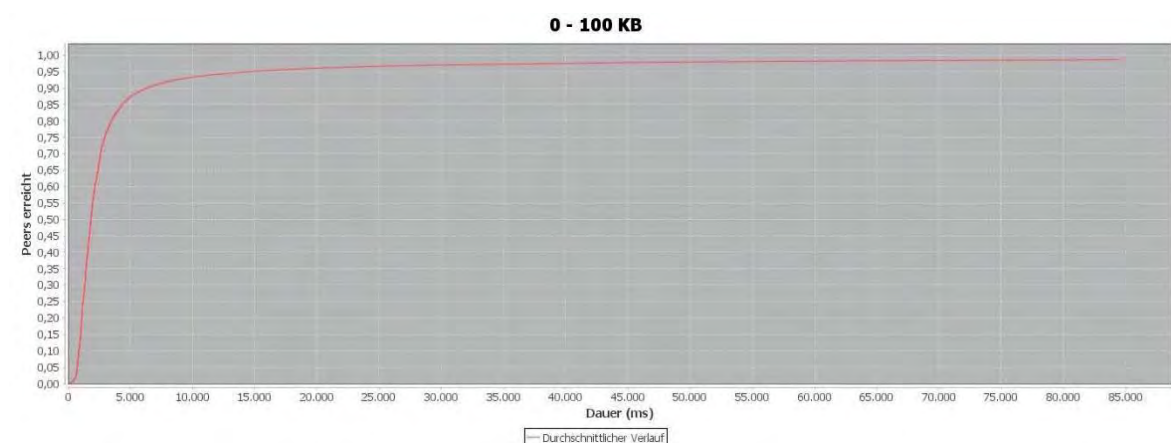


Abbildung 2: Durchschnittlicher Verlauf der Blockverbreitung für Blöcke zwischen 0 und 100 KB

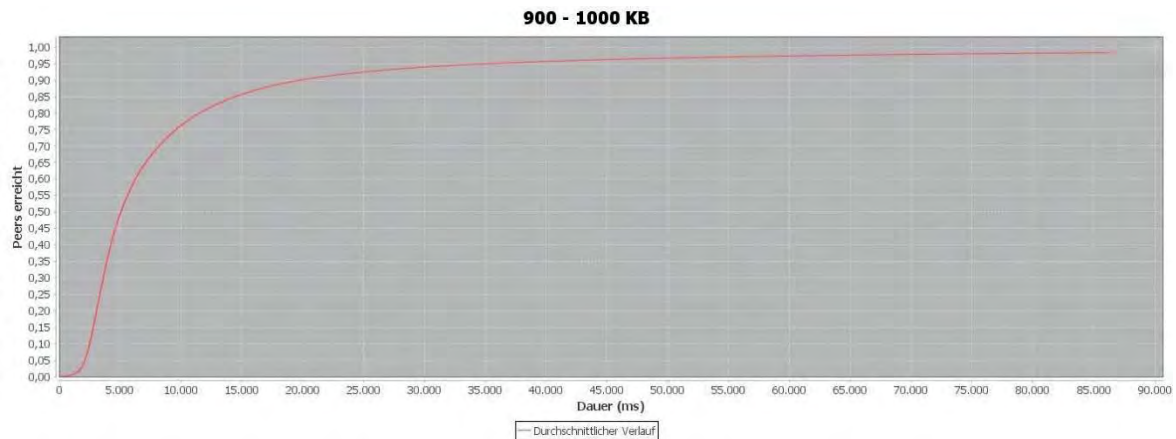


Abbildung 3: Durchschnittlicher Verlauf der Blockverbreitung für Blöcke zwischen 900 und 1000 KB

Die Abbildungen zeigen, dass größere Blöcke deutlich länger brauchen, um vollständig im Netzwerk verbreitet zu werden. Wie von Decker und Wattenhofer⁵ beobachtet, steigt die Verbreitungszeit für größere Blöcke nahezu linear.

Die Blockverbreitungsgeschwindigkeit wurde auch für die entsprechenden Wochentage untersucht. Es wurde herausgefunden, dass die Blöcke an Wochenenden durchschnittlich kleiner sind. Auch die durchschnittliche Anzahl der Transaktionen pro Sekunde ist an Wochenenden geringer. Dadurch konnte angenommen werden, dass die Netzwerkauslastung an den Wochenenden geringer ist. Dies wiederum könnte zu schnelleren Blockverbreitungsgeschwindigkeiten führen. Die Messungen jedoch zeigen, dass der Wochentag keine großen Auswirkungen auf die Verbreitungsgeschwindigkeit hat.

Neben der Untersuchung der Wochentage wurde auch die Blockverbreitungsgeschwindigkeit für die entsprechenden Wochen analysiert. Da im Beobachtungszeitraum der Anteil von Clients mit Compact Block Unterstützung um 10% gewachsen ist, könnte dies ebenfalls Auswirkungen haben. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass es keine messbaren Änderungen im Verlauf der Untersuchung gab.

Die Blockverbreitungsgeschwindigkeit wurde auch für Deutschland, Frankreich, USA und China untersucht. Es stellte sich heraus, dass sich die Blöcke fast überall gleich verbreiten. Einzige Ausnahme ist China. Zu Beginn liegt der chinesische Verlauf leicht vor dem Rest, flacht jedoch eher als die anderen Kurven ab, d.h. es wird insgesamt mehr Zeit benötigt um den Block von allen chinesischen Peers zu erhalten. Dieser Effekt verstärkt sich mit steigender Blockgröße.

Die gewonnenen Daten wurden ebenfalls mit der Analyse von TradeBlock⁶ aus dem Jahr 2015 verglichen. Ebenso wurde eine ähnliche Extrapolation durchgeführt. Die Abbildung 4 zeigt das Ergebnis.

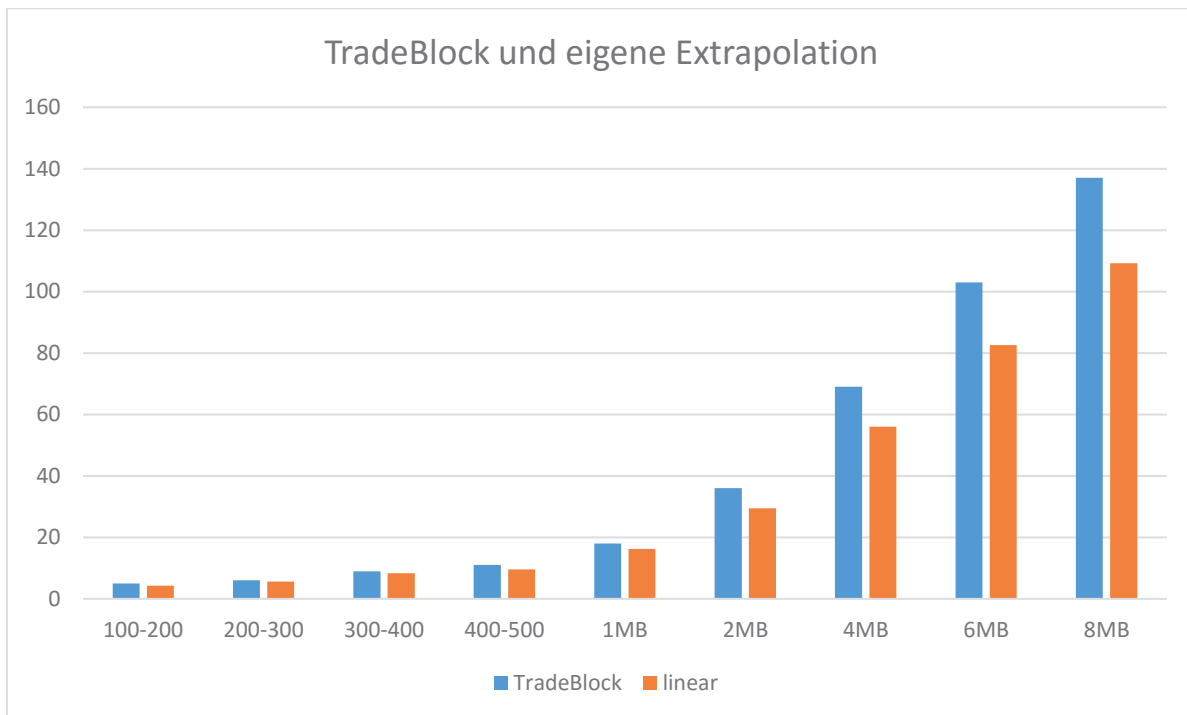


Abbildung 4: Vergleich der TradeBlock⁶ Vorhersage mit eigener Extrapolation

Es ist zu sehen, dass sowohl die gemessenen, als auch die extrapolierten Werte der aktuellen Messung 20% schneller sind als die von TradeBlock⁶, d.h. die Blockausbreitungsgeschwindigkeit ist innerhalb eines Jahres um diesen Betrag gestiegen.

Fazit und Ausblick

Die Untersuchung hat ergeben, dass die Blockgröße deutlichen Einfluss auf die Verbreitungsgeschwindigkeit hat. Die Aussage von einem nahezu linearen Anstieg der Verbreitungszeit mit steigender Blockgröße konnte bestätigt werden. Es wurde ebenfalls deutlich, dass Bitcoin zurzeit nahe an der maximalen Leistungsgrenze operiert, da fast alle Blöcke voll sind. Die Extrapolationen zeigen jedoch auch, dass die Blockgröße auf bis zu 4 MB erhöht werden kann, ohne dass das Netzwerk Schaden nimmt.

Um die Ergebnisse zu verfeinern, müsste in einem nächsten Schritt das geschriebene Programm auf Servern in verschiedenen Regionen eingesetzt werden um den Einfluss der Latenzen besser bestimmen zu können.

Literatur

- [1] bitnodes.21.co/, „Bitnodes,“ 2017. [Online]. Available: <https://bitnodes.21.co/>. [Zugriff am 19 Dezember 2016].
- [2] A. M. Antonopoulos, Mastering Bitcoin, O'Reilly Media, Inc, 2014.
- [3] BitcoinCore, „Compact Blocks FAQ,“ 07 Juni 2016. [Online]. Available: <https://bitcoincore.org/en/2016/06/07/compact-blocks-faq/>. [Zugriff am 17 Dezember 2016].

- [4] P. Tschipper, „BUIP010 (passed): Xtreme Thinblocks,“ 10 Januar 2016. [Online]. Available: <https://bitco.in/forum/threads/buip010-passed-xtreme-thinblocks.774/>. [Zugriff am 17 Dezember 2016].
- [5] C. Decker und R. Wattenhofer, „Information propagation in the Bitcoin network,“ in *2013 IEEE Thirteenth International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P)*, Trento, 2013.
- [6] TradeBlock, „Bitcoin Network Capacity Analysis – Part 6: Data Propagation,“ 23 Juni 2015. [Online]. Available: <https://tradeblock.com/blog/bitcoin-network-capacity-analysis-part-6-data-propagation>. [Zugriff am 16 Dezember 2016].

Deeper Insights into Classification Problems in Machine Learning

Marika Kaden and Thomas Villmann

University of Applied Sciences Mittweida, Department: Mathematic

Contact: kaden1@hs-mittweida.de

Abstract: Solving classification problems is a common task in Machine Learning. In general, the classification task seems to be intuitive and well defined. Yet, there exists a lot of classification methods and the choice of an appropriate method is crucial. This paper analyzes the classification problems more deeply and describe some aspects, which should be considered before a suitable classifier is chosen.

INTRODUCTION

A typically task in the Machine Learning domain is the classification task, i.e. the automatic assignment of given input information to a discrete output value. Classification problems appears in nearly all application fields like:

- food industry - fat or quality level detection of a food sample;
- automotive industry – decision about airbag deployment in a crash scenario captured by acceleration sensors;
- remote sensing - kind of soil conditions in an area captured by a hyper-spectra camera;
- in medical sciences - rating of the advanced case of a patient using medical records like for example weight, age, blood measurements, EEG-signal or even fMRI-data.

to name just a view.

Moreover, it is too complex or even impossible to develop an exact model for a given problem in several practical applications. An example is the distinction of soil conditions via reflectance spectra from the field of remote sensing. The idea in Machine Learning is to generate a model by learning from examples. There are inter alia clustering and classification tasks. The clustering belongs to the unsupervised learning and here, only a set of input information, the data set, is given. The goal of clustering methods is to find data, which are *similar* to form so called clusters. Yet, the term *similar* cannot be well defined¹ and therefore, clustering is called as ill-posed problem (see last section).

Otherwise, the classification belongs to the supervised learning. Beside a training data set, the assignment of each data point to a discrete output, called class or label, is given. The classification model is trained using this information. In the application phase, a learned model is applied to a new observation and return a class information. An example is the decision about an airbag deployment in a car crash scenario. The model is learned using different crash test scenarios with known deployment behavior. Later, this model is integrated in a sensor system of a vehicle and decides about the airbag behavior during a real crash.

In the last decades, a lot of Machine Learning methods were developed to solve classification problems like Linear Discriminant Analysis², the Neural Networks³, Gaussian Models², Support Vector Machine⁴ or Learning Vector Quantization⁵. The methods differ in different aspect like theoretical background, complexity, or practicality for a given problem. A challenging but obvious question is: which method should a user apply to his problem. Therefore, the user should analyze his problem thoroughly. In this paper, different aspects which should consider are mentioned. It turns out that the classification problem is very versatile. At the end we will conclude that the classification task can be seen as ill-posed problem.

THE CLASSIFICATION TASK

As mentioned before, a lot of different methods exist to solve classification problems. Reasons therefore are multifaceted. For example: the kinds of underlying data and classes might be miscellaneous or the classification goal is not uniform. A possible categorization of classification problems could be:

- A) goal of the classification task,
- B) data characteristics, and
- C) class characteristics.

A more detailed breakdown can be found in ⁶. To the lack of space, we mention only a few aspect per category to give a better understanding.

A goal in Machine Learning is to obtain a model which reflect the underline problem as good as possible. In the classification task, it is often measured by the classification accuracy, which is the relative number of correct classified data to all data, i.e. it counts all data points which are assigned to the correct class by the model. Yet, beside this evaluation measure, different aspects affect the performance in practice, e.g. the model complexity, the interpretability, or the usability for real time applications⁷. An important aspect for the user is the interpretability of a model, due to the poor acceptance of so called *black box* models. *Black box* classification models are models which often achieve a good classification performance, however the learning process or the resulting model are not comprehensible for the user. Examples are the Neural Networks. Otherwise, there are models with good interpretability, i.e. the basic idea of the training procedure or even the resulting model are transparent and easy to understand. Examples are the Learning Vector Quantization or the Decision Trees⁸.

A further goal of the classification models should be the sparseness concerning runtime and model complexity, i.e. a model should be applicable and suitable for the given problem. Thereby, a statement of *Einstein* might be considered: 'Everything should be made as simple as possible, but not simpler'. Further, since the resulting model might be implemented in an overall system with restricted memory capacity, the model size is restricted. Thus, at the beginning the goal, the limits and the constraints of the given classification problem should be well defined.

Another category is the characteristic of the data. Thereby, an important issue is the type of the given data. In remote sensing the data often contain the signals of a spectral camera, thus each data point is a vector, where the feature is the reflectance or absorbance value per wavelength. These *vectorial* data are most frequently and most algorithm can handle such type of data. Yet, data come from the medical or biology domain might be strings like DNA-sequences or categories like blood groups. In these cases, the algorithm should be able to use such kind of data. Thus, the type of the given data is important for the choice of the classification method. The last category is the class characteristic. This includes e.g. the number of classes and the number of samples per class. In a crash scenario, the number of classes are two: activation of airbag in a automotive or not. In many practical application, the number of classes are two, which are called binary classification problems. Yet, the number of classes can be up to ten or more. These problems are multi-class problems. Some methods can directly handle only binary problems like Support Vector Machines. Thus, if a multi-class problem is given, the basic method should be adapted or a method which can directly use more than two classes should be applied. Another critical issue is the number of samples per class. Especially in medical applications it appears very often that the number of health patients is much higher than the number of diseased patient or vice versa, i.e. the class distribution is very unbalanced. For example, there are 100 patients given. Only two persons have a disease X and all other 98 persons not. A classifier ends up with a classification accuracy of 98%, which is a good value for medical applications. Yet, if we have a close look, the classifier might be assigned all patients to be health and the persons diseased are not considered. Thus, in these cases the classification accuracy can be misleading and therefore, methods which optimizes the accuracy might be not the best choice.

Of course, these categories are only one possibility to graduate classification problems. Yet, it shows the diversity of the classification task and the importance of thoroughly analyses of the problem before choosing a classifier.

THE CLASSIFICATION TASK AS AN ILL-POSED PROBLEM

In the previous part, it is shown that the classification problem is versatile. Like the unsupervised task clustering, classification could be taken as an ill-posed problem based on the following definition by Hadamard⁹:

A problem is denoted as well-posed problem if all the following requirements are fulfilled:

- a) A solution for the problem exists.
- b) The solution is unique.
- c) The behavior of the solution changes continuously with the initial conditions.

If one of these requirements is violated the problem is denoted as *ill-posed*.

In general, the assessment of the classification problem only looking at the classification accuracy is not appropriate, other criteria should be also considered. These criteria could be model complexity, interpretability, or number of data per class. It depends on the application if a classification model is appropriate. Thus, it does not exist the one and only solution for a classification problem. This in turn means that the requirement b) for well-posed problems is not fulfilled and the classification task can be seen as an ill-posed problem.

¹ Everitt, B. (2011). Cluster analysis. U.K: Wiley

² Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer.

³ Haykin, S. (1994). Neural Networks - A Comprehensive Foundation. IEEE Press.

⁴ Schölkopf, B. and Smola, A. (2002). Learning with Kernels. MIT Press.

⁵ Kohonen, T. (1986). Learning vector quantization for pattern recognition. Technical Report, TKK-F-A601. Helsinki University of Technology.

⁶ Kaden, M. (2016). Integration of Auxiliary Data Knowledge in Prototype Based Vector Quantization and Classification Models, Dissertation, University Leipzig.

⁷ Backhaus, A. and Seiffert, U. (2014). Classification in high-dimensional spectral data: Accuracy vs. interpretability vs. model size. Neurocomputing.

⁸ Rokach, L. and Maimon, O. (2008). Data mining with decision trees: theory and applications. World Scientific Pub Co Inc.

⁹ Kabanikhin, S. (2011). Inverse and Ill-Posed problems. Series 55.

Towards introducing nanopore sequencing to undergraduate education in biotechnology and computational biology

Robert Leidenfrost, Nadine Wappler und Röbbe Wünschiers
Hochschule Mittweida, Biotechnologie und Chemie
robert.leidenfrost@hs-mittweida.de

Abstract:

The advent of third generation sequencing technology requires updates to undergraduate education in biotechnology and computational biology. This work exemplarily sequences the pUCD-lacZ plasmid using the MinION technology. It is serving as a successful proof-of-concept towards the introduction of nanopore sequencing to an undergraduate curriculum. The lessons learned may lay foundation for future theory lectures and a practical course for biotechnology students at the UAS Mittweida.

1. Introduction

A fundamental of today's molecular biology is the knowledge about DNA, a biomolecule which is the carrier of the genetic code. The determination of its sequence is, despite complex and laborious, a key analysis method routinely performed in molecular biology and genetic engineering requiring specialized education in both, the wet- and dry-lab environment and, to date, expensive equipment. Established methods include first generation (e.g. Sanger) and second generation (e.g. next-generation sequencing) sequencing techniques¹. A new method promising to revolutionize the field in a plethora of aspects, including, but not limited to costs, time, mobility and throughput², is nanopore sequencing, notably promoted by Oxford Nanopore Technologies (ONT) through its MinION sequencer, a third generation sequencer.

This work explores the possibilities to give undergraduate students expertise in third generation sequencing technology and accompanying downstream data analysis using the MinION sequencer. As a proof-of-concept, the 5,669 bp long pUCD-lacZ plasmid routinely used in the practical courses of the Bachelor of Science biotechnology curriculum at the University of Applied Sciences Mittweida is sequenced. The developed procedures and lessons learned here aim to lay foundation for future theoretical lectures and a practical course.

2. Materials and Methods

2.1. Strain cultivation and harvest

E. coli K12 JM109 (Promega) harboring the pUCD-lacZ plasmid (Roche) was cultured in lysogeny broth (10 g/l NaCl, 10 g/l tryptone, 5 g/l yeast extract) overnight, at 125 rpm and 37 °C. Genomic and plasmid DNA was extracted using the MasterPure™ Complete DNA and RNA Purification Kit Kit (Biozym) according to manufacturer's instructions. DNA was quantified

at 280 nm using the NanoVue (General Electric) spectrophotometer. Nucleic acid quality was verified using the 260/280 and 260/230 ratios of absorbance.

2.2. Sample preparation and rapid sequencing

The sequencing library was prepared according to manufacturer's protocol (RAD001) in a DNA LoBind tube (Eppendorf). In brief, 200 ng DNA (A260/280: 1.800; A260/230: 2.030) were gently mixed with 2.5 µl fragmentation mix, followed by one minute 30 °C and one minute 75 °C incubation steps, fragmenting the DNA and simultaneously adding adapters to the free ends. One µl rapid adapter mix was then added using 0.2 µl Blunt/TA Ligase Master Mix (New England Biolabs), the reaction mixed gently, spun down and incubated for 5 minutes at room temperature. The library was then prepared for loading by mixing 6 µl of the library with 31.5 µl nuclease free water and 37.5 µl running buffer with fuel mix.

The MinION device (ONT) and the flow cell (ONT, R9.4 chemistry) used for sequencing were prepared and primed according to manufacturer's instructions and the library loaded in a dropwise manner. The sequencing run was initiated with MinKNOW (ONT, version 1.1.20) and basecalled using the Metrichor software (Metrichor, version 1.121).

2.3. Data analysis and quality control

Basecalled data was extracted and converted from FAST5 file format to the FASTQ file format using poretools (specifying parameters --type fwd --group 001), a python toolkit specifically written to address MinION data³, which was also used to do initial on-the-spot quality control. Sequences were then mapped against the pUCD-lacZ reference sequence⁴ using an in-house pipeline utilizing either, the Burrows-Wheeler⁵ or the Bowtie 2⁶ aligner. SAMtools⁷ was used for converting file formats, sorting and indexing. Comparative quality control and data analysis was performed with NanoOK⁸ using the Burrows-Wheeler aligner with settings for long reads and 1D data (-templateonly).

3. Results and discussion

3.1. Sequencing of pUCD-lacZ

The MinION returned initial flow cell conditions with a total of 1,055 available pores (group 1: 478; 2: 362; 3: 183; 4: 32 pores), within expected specifications. After 3 hours the MinION had accumulated a total of ~16 million events and the run was aborted. The majority of events, >7 million, resulted in reads <3,600 bp long. Close to 2 million events were collected for reads with a length between 3,600 bp and 7,200 bp. The remaining events were attributed to reads of length >7,200 bp (see figure 1). The reads with a length >5,669 bp were attributable to *E. coli* K12 (unpublished), of which the JM109 strain used in this work is a derivative.

Total reads generated during the run were 22,915. Of these 19,329 reads (8.4 Mbp) were extracted.

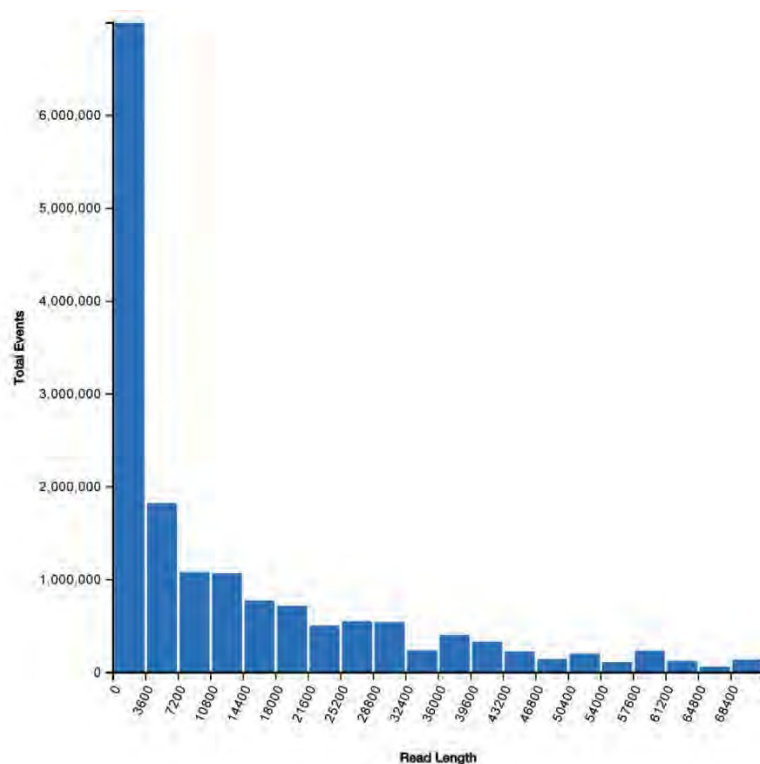


Figure 1: Events per read length distribution of a 3 hour sequencing run of genomic *E. coli* and pUCD-lacZ plasmid DNA.

Subsequent exemplary analysis was performed with Burrows-Wheeler and Bowtie 2 aligner. Both aligners were able to build consensus sequences with a (near) perfect identity on the reference sequence. Bowtie 2 returns a 100% identity (5,655/5,655) of consensus to reference sequence, with an E-value of 0, covering 100% (see table 1). The Burrows-Wheeler aligner returns a consensus sequence with 100% identity (5,666/5,669), an E-value of 0 and a query coverage of 100% (see table 1) to the reference sequence.

Consensus	Identity [%]	Query coverage [%]	E value
Poretools+bowtie2	100 (5655/5655)	100	0
Poretools+bwa	100 (5666/5669)	100	0

Table 1: Blast metrics of consensus sequences built using Poretools and Burrows-Wheeler (bwa) / Bowtie2 aligner versus pUCD-lacZ reference sequence.

NanoOK was used as described for comparative quality control and analysis using the Burrows-Wheeler aligner. It could extract 22,385 reads (8.9 Mbp) with a mean read length of 399.53 bp, a N50 of 8,137 bp and a longest read length of 81,861 bp. It could align a total of 130 reads to the reference sequence with a mean coverage of 70.81 and an aligned base identity (excluding indels) of 94.25% (-passfail) or, respectively, 117 reads to the reference sequence with a mean coverage of 63.45 and an aligned base identity (excluding indels) of

95.31% (-passonly)(see figure 2). The differences between NanoOK –passfail and –passonly settings are indicative of the potential usability of all reads generated, despite failing the Metrichor basecaller’s rudimentary quality criteria.

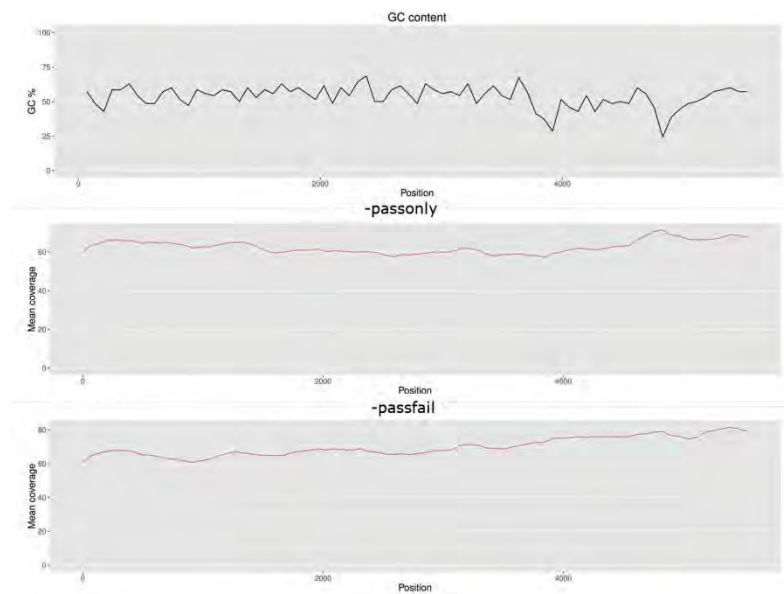


Figure 2: Display of the GC content of pUCD-lacZ plasmid and the NanoOK calculated mean coverages for -passonly (63.45) and -passfail (70.81) settings using Burrows-Wheeler aligner.

Solely conceived as a proof-of-concept work with an educational background in mind, especially the downstream data analysis presented here is limited⁹. Despite this limit the pUCD-lacZ plasmid could be sequenced and mapped in its entirety from a mixed sample within only a day, with the actual sequencing time being as low as 3 hours, yielding a sequencing coverage, as computed by open source software NanoOK, of greater 63.

3.2. Preparation of a nanopore sequencing class

A single practical course, modelled after the experiment conducted here, would require approximately a week (see figure 3) and give students interdisciplinary hands-on training in molecular and computational biology. DNA extraction, library preparation and actual sequence data acquisition can be accomplished using established molecular biology kits and protocols. Of note, care must be taken at two steps in the practical workflow, DNA isolation and library preparation. However, both can be overcome through thorough theoretical education and good laboratory practice. The actual sequence data acquisition is easily facilitated through ONT software. Downstream, a vast range of proprietary and open source methods for analysis and data visualization can be applied and exercised in an interactive way. For example, instead of the exemplary mapping of pUCD-lacZ to a reference sequence, using Burrows-Wheeler or Bowtie 2 aligners, as done in this work, other aligners, such as GraphMap¹⁰ may be used. Moreover, depending on the input samples, *de novo* assembly of the reads generated in this work can be facilitated (unpublished), using tools such as CANU¹¹.

Monday	<ul style="list-style-type: none"> Theory: Introduction to the MinION Theory: Review - DNA isolation Theory: Library preparation and assessment Theory: MinION data format and basecalling Practical: <i>E. coli</i> culture (Instructors)
Tuesday	<ul style="list-style-type: none"> Theory: Introduction, overview over MinION platform, library preparation Practical: <i>E. coli</i> harvest and DNA isolation Practical: Library preparation Practical: Sequence data acquisition
Wednesday	<ul style="list-style-type: none"> Theory: MinION application examples Theory: De Novo vs. Mapping Practical: Linux refresher Practical: VM Software installation
Thursday	<ul style="list-style-type: none"> Practical: Data analysis Practical: Data analysis Practical: Data analysis Practical: Data analysis
Friday	<ul style="list-style-type: none"> Practical: Data analysis Practical: Data analysis Discussion of results Discussion of results

Figure 3: Exemplary overview of a practical course modelled after the experiment concluded in this work.

4. Conclusion

The advent of nanopore sequencing promises unprecedented leaps in the competitive and complex field of (gen)omics. The highly promising features of this technology imply an importance of particularly qualified scientists. This work has successfully set out to exemplarily sequence the plasmid commonly used in undergraduate biotechnology education at the UAS Mittweida using third generation sequencing technology. The lessons learned here may lay foundation for theory lectures and a practical course educating future generations of scientists at the UAS Mittweida.

¹ Shendure et Ji, Next-generation DNA sequencing, 2008, Nat Biotechnol., 2008 Oct;26(10):1135-45

² Jain et al., The Oxford Nanopore MinION: delivery of nanopore sequencing to the genomics community., Genome Biol. 2016 Nov 25;17(1):239.

³ Loman et Quinlan, Poretools: a toolkit for analyzing nanopore sequence data., Bioinformatics, 2014 Dec 1;30(23):3399-401

⁴ Sandra Feik, personal communication, 2015

⁵ Li et Durbin, Fast and accurate short read alignment with Burrows-Wheeler Transform., Bioinformatics, 25(14):1754-60

⁶ Langmead and Salzberg, Fast gapped-read alignment with Bowtie 2., Nat Methods, 2012 Mar 4; 9(4):357-9

⁷ Li et al., The Sequence Alignment/Map format and SAMtools., Bioinformatics. 2009 Aug 15;25(16):2078-9.

⁸ Leggett et al., NanoOK: multi-reference alignment analysis of nanopore sequencing data, quality and error profiles., Bioinformatics, 2016 Jan 1;32(1):142-4

⁹ Jain et al., Improved data analysis for the MinION nanopore sequencer., Nat Methods. 2015 Apr;12(4):351-6.

¹⁰ Sovic et al., Fast and sensitive mapping of nanopore sequencing reads with GraphMap., Nat commun. 2016 Apr 15;7:11307.

¹¹ Koren et al., Canu: scalable and accurate long-read assembly via adaptive k-mer weighting and repeat separation., bioRxiv., 2016

Bildererkennung von Teststreifen basierend auf einer Smartphone-Applikation

Steven Schwensow, Sylvio Schneider, Andreas H. Foitzik

Technische Hochschule Wildau, Fachbereich: Ingenieur- und Naturwissenschaften,

Hochschulring 1, 15745 Wildau

sschwensow@th-wildau.de

Abstract: Erarbeitet wurde ein Programm welches mit Hilfe der Fouriertransformation LFA-Teststreifen auswerten kann. Die Programmierung der Fourier-Methode ist in Java realisiert, um eine Implementierung in eine Android App zu ermöglichen. Konzentrationen über 1ng/ml sind bereits mit minimaler Abweichung bestimmbar. Die Ergebnisse zeigen, dass die Auswertung von LFA-Teststreifen mittels Fouriertransformation möglich ist und ein Zusammenhang zwischen der Fläche der Amplituden und der Konzentration besteht.

1. Einleitung und Zielstellung

Im Gegensatz zu früher haben die Menschen im Durchschnitt eine immer höhere Lebenserwartung, was auch das Aufkommen eher altersbedingte Krankheiten, wie Herzerkrankungen, nach sich zieht¹. Das hohe Aufkommen an medizinischen Notfällen kann, auch aufgrund von Mangel an (Fach-)Ärzten und Rettungskräften, nicht in einem angemessenen Zeitrahmen bearbeitet werden. Die Dauer von Tests und Analysen selbst, sowie die Notwendigkeit eines Mediziners beziehungsweise einer medizinischen Einrichtung, sind beides entscheidende Faktoren. Bis sichergestellt ist ob es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen Myokardinfarkt handelt oder nicht vergehen oft Stunden. In diesem Zeitraum sterben, wenn es sich tatsächlich um einen Myokardinfarkt handelt, weitere Herzmuskelzellen ab, was dem Patienten in eine kritische Situation bringen und ihn, im Falle des Überlebens, für den Rest seines Lebens stark einschränken kann. Um dieses Problem anzugehen bedient man sich sogenannter Immunoassays, welche verhältnismäßig schnell, vor allem aber sehr spezifisch, bestimmte Biomarker nachweisen können.

Ein als Lateral Flow Assay, also ein Testsystem ähnlich dem eines Schwangerschaftsteststreifens, verpacktes Testsystem und eine einfache, auf dem Smartphone anwendbare, Applikation könnten die Point of Care Diagnostik stark voran treiben. Für viele Untersuchungen medizinischer Proben wäre somit ein Zentrallabor nicht mehr notwendig. Dies würde bedeuten dass wichtige Analysen bereits im Krankenhaus oder direkt beim Hausarzt möglich sind. Noch weiter in die Zukunft blickend könnte diese Entwicklung einen großen Schritt im Bereich Home Care bedeuten. Personen die entsprechende Symptome aufweisen könnten, ähnlich wie bei einem Blutzuckermessgerät, einen Tropfen Blut auf den Teststreifen auftragen und nach Färbung des Kontrollstreifens, welcher die korrekte Durchführung des Tests bestätigt, diesen zu Hause selbstständig analysieren lassen. Dies würde ein erhebliches Zeitersparnis und vor allem auch eine große Entlastung der Ärzte darstellen. Das dabei aktuell bestehende Problem ist der quantitative Nachweis der entsprechenden Substanz. Aktuelle Methoden sind hier, besonders in den interessanten Konzentrationsbereichen noch zu unpräzise. An dieser Stelle kommt die Fourieranalyse ins Spiel, welche das Farbspektrum der, durch die Reaktion des Immunoassays erhaltenen, Färbung in seine Bestandteile zerlegen kann, was eine nähere Analyse der Farbintensität und deren Zusammenhang mit der Konzentration an Biomarkern ermöglicht.

Ziel der Arbeit ist die Erstellung eines Algorithmus in Java zur Berechnung von Konzentrationen eines Lateral Flow Assay Tests welcher sich in eine Android basierte Programmierumgebung Implementieren lässt. Des Weiteren erfolgt eine Analyse von Bilddaten mit Hilfe der Fourieranalyse.

2. Ergebnisse und Diskussion

2.1. Die Programme

Der erste Programmteil liest die gegebene Bilddatei ein, konvertiert diese in Graustufen und dreht das Bild um 90 Grad. Anschließend liest das Programm die Farbintensität jedes einzelnen Pixels in einer Zeile aus, bildet den Median der Werte, wodurch der Einfluss kleiner Störfaktoren minimiert beziehungsweise gänzlich ausgeschlossen wird und fährt dann nach dem selben Schema Zeile für Zeile bis zum Bildende fort. Im zweiten Programmteil, werden die Werte über die Frequenzen von 0-10, welche in einer Schritten erhöht werden, Fouriertransformiert. Dabei werden zuerst ak und bk ermittelt und anschließend dk und φk berechnet und in der Datei DFT_Werte.txt gespeichert. Abschließend wird die Fläche unter den Amplituden berechnet, wodurch man am Ende einen einzelnen Wert erhält. Der dritte und letzte Programmteil nimmt die ermittelte Fläche (A_k) als x-Wert und berechnet anhand der ermittelten Formel die Konzentration (c) des Biomarkers und gibt diese in ng/ml aus.

2.2. Die Testreihe

Für die Testreihe wurden die Test- und Kontrollbereichstreifen händisch ohne Laufmittel oder Analyt aufgetragen. Für die Verdünnungsreihe wurden Konzentrationen von 0 ng/ml bis 10 ng/ml gewählt. Von jeder Konzentration erfolgte eine vierfach Bestimmung. Nach Eliminierung der Ausreißer, also der unplausiblen Werte, wurde für jede Konzentration der Mittelwert gebildet. Bei Betrachtung aller Flächen gegen die dazugehörige Konzentration, dargestellt in Abbildung 2.2.1, scheint ein linearer Zusammenhang vor zu liegen. Teilt man die Werte jedoch in Konzentrationen unter 1 ng/ml und Konzentrationen über 1 ng/ml ist zu erkennen, dass die Werte kleiner als 1 ng/ml stark streuen, während bei Werten über 1 ng/ml der lineare Zusammenhang weiterhin bestehen bleibt. Dies ist in den Abbildungen 2.2.2 und 2.2.3 dargestellt.

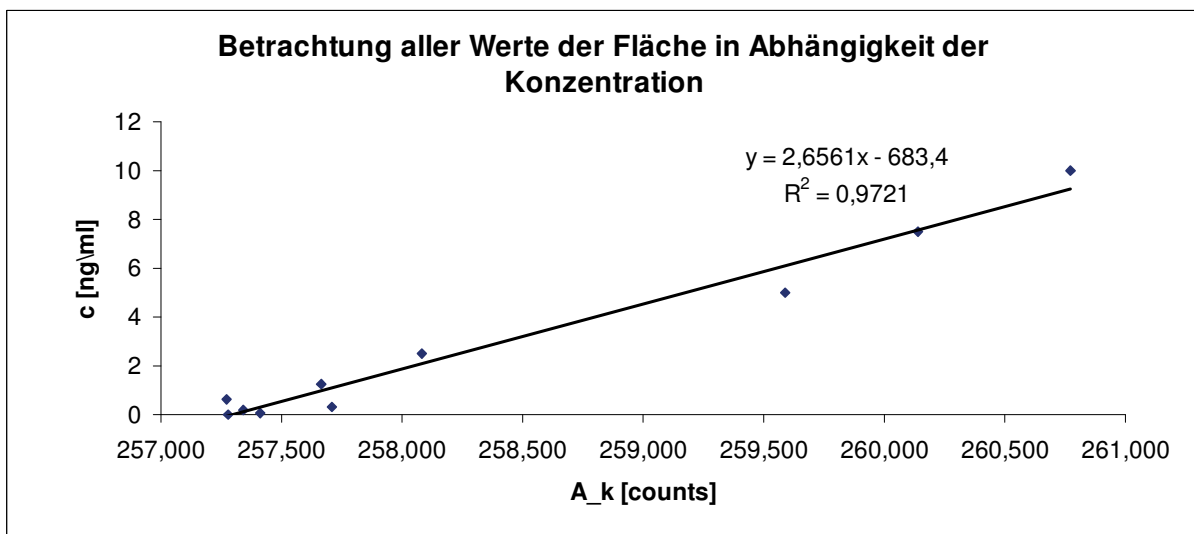


Abbildung 2.2.1: Das Diagramm zeigt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen der Fläche A_k und der Konzentration c . Das durch Excel ermittelte Bestimmtheitsmaß beträgt 0,9721. Der selbstständig ermittelte Pearson-Korrelationskoeffizient beträgt 0,9859655

Ab einer Konzentration von 1 ng/ml erkennt man einen klaren Anstieg der Fläche. Der größte Sprung findet von 2,5 ng/ml zu 5 ng/ml statt.

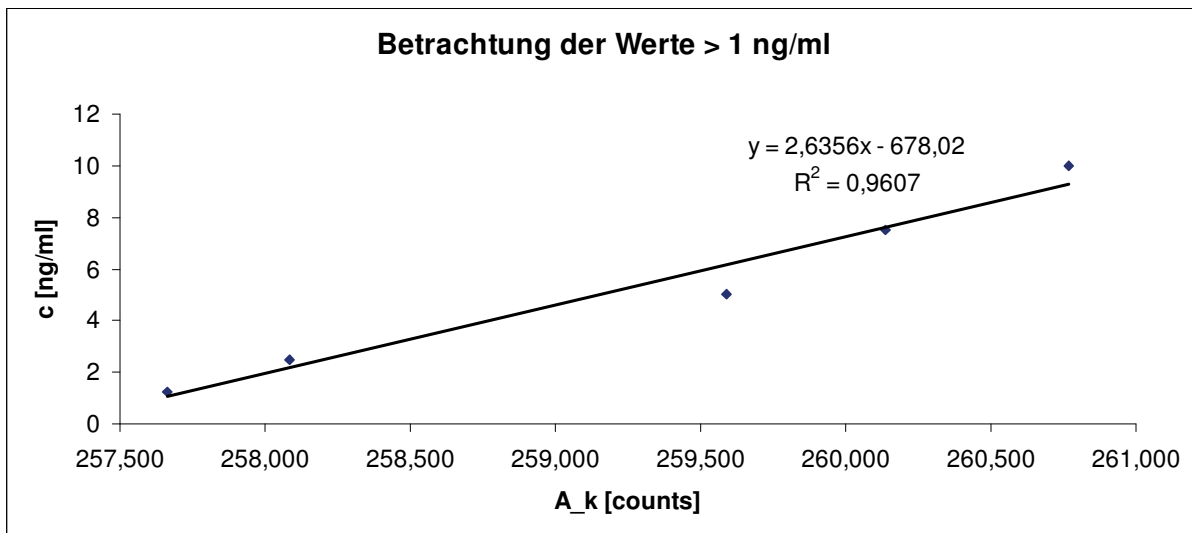


Abbildung 2.2.2: Das Diagramm zeigt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen der Fläche A_k und der Konzentration c . Das durch Excel ermittelte Bestimmtheitsmaß beträgt 0,9607.

Bei Konzentrationen unter 1 ng/ml ändert sich die Fläche nur minimal. Es lässt sich kein Zusammenhang der Werte erkennen. Besonders sticht die Fläche der Konzentration 0,64 ng/ml heraus. Diese ist kleiner als alle anderen Werte, sogar als der Blank mit einer Konzentration von 0 ng/ml.

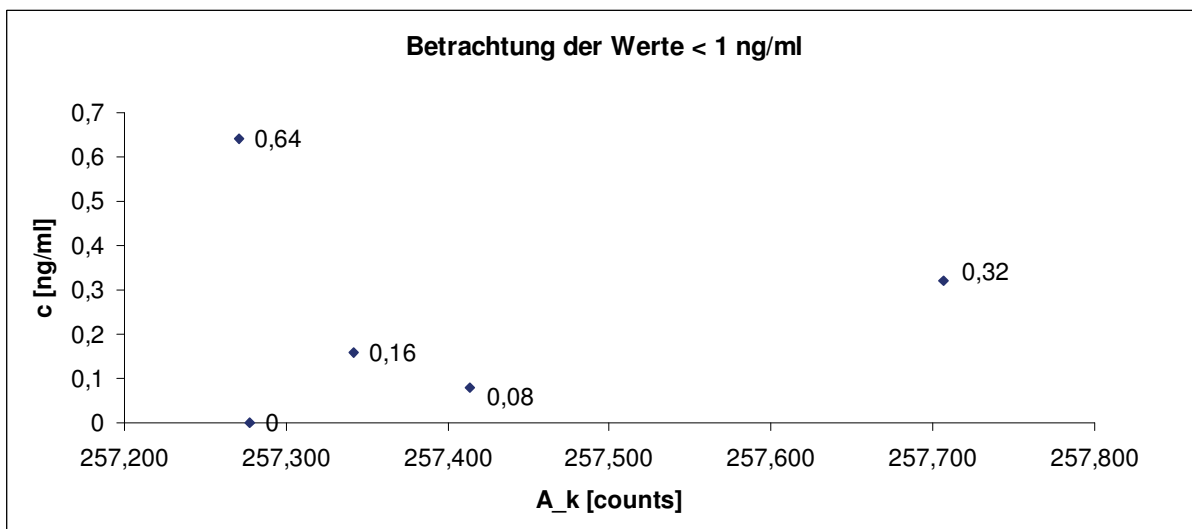


Abbildung 2.2.3: Das Diagramm zeigt keinerlei Zusammenhang zwischen der Fläche A_k und der Konzentration c . Ebenfalls zu erkennen ist die starke Streuung der Werte und das diese sich im Bereich einer Fläche von 257,25 und 257,75 befinden, also sich lediglich in einem Bereich von 0,5 Einheiten aufhalten.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen das die Ergebnisse einen vielversprechenden Ansatz aufzeigen den es weiter zu verfolgen gilt. Es ist definitiv möglich mittels der Fourier-Methode die LFA-Teststreifen auszuwerten, wobei einzelne Aspekte des Systems weiter verbessert werden können.

Hierzu bedarf es in erster Linie weiterer Testreihen unter variablen Bedingungen um optimale Faktoren für die App und den Messaufbau zu finden. Besonders im unteren Konzentrationsbereich gilt es noch zu optimieren, da die Ergebnisse hier weniger präzise

sind als im Bereich höherer Konzentrationen. Diese sind bereits mit dem aktuellen Stand gut zu ermitteln. Aufbauend auf diese Arbeit ergibt der Austausch der Komponenten für die Aufnahme der Testbilder sinn, da eine verbesserte Aufnahme auch für eine bessere Detektion sorgen kann. Ebenfalls sollte die Verarbeitung der Bilder durch die LFA Reader App im Auge behalten werden, wobei es gilt ein gutes Maß zwischen Rauschunterdrückung und Weichzeichnen zu finden. Auch eine Optimierung des Messgehäuses ist notwendig, da die Ausleuchtung der Teststreifen noch nicht optimal ist wodurch leichte Abweichungen entstehen können. Möglichkeiten hier wären unter anderem eine stärkere Ausleuchtung des Messgehäuses oder die Wahl anderer Leuchtmittel, wie Tageslichtlampen. Die Methode bietet genügend Potential um das Angestrebte Ziel erreichen zu können.

4. Quellen

[1] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/273406/umfrage/entwicklung-der-lebenserwartung-beigeburt-in-deutschland-nach-geschlecht/>

Gestaltung, Kultur- und Medienwissenschaften

Immersion und Stadtmarketing mittels 360° Videografie

Die Verwendung von 360-Grad-Videos bei der kommunalen und regionalen Kommunikation in Mittweida

Tamara Huhle, Constanze Hundt, Lars Schäfer, Lisa Patzer
Hochschule Mittweida, Fakultät Medien
huhle, hundt, lpatzer oder lschaef2@hs-mittweida.de

Abstract:

Das Forschungsprojekt „Innovative Ansätze zur Lösung gesellschaftlicher Wandlungsprozesse – Teilprojekt 2 – Crossmediale Medienwirkungsforschung“ untersucht mittels 360-Grad Videos den Einfluss auf die Emotionalisierung der Rezipienten im Hinblick auf deren Aktivierung und Teilhabe am Inhalt als auch die Möglichkeiten eines Stadtmarketings im Bereich der virtuellen Realität. Beide Analysen visieren den Einsatz von 360-Grad Video im Bereich der kommunalen Kommunikation an.

1. Einführung ins Thema

Durch die Etablierung des Internets haben sich Kommunikations- und Informationswege stark verändert – sowohl auf persönlicher als auch auf kommunaler Ebene der Rezipienten. Bild und Videoinhalte, die mittels neuer Technologien produziert wurden, erreichen eine höhere Reichweite und eine gesteigerte Interaktionsrate als normale Bildbeiträge in den sozialen Medien. In dieser Entwicklung liegt ein großes Potential, das für die Kommunikation und einen Dialog auf kommunaler Ebene genutzt werden kann.

In Kooperation mit der Freien Presse entstanden bereits in einer früheren Phase des Forschungsprojekts u. a. innovativ produzierte Medieninhalte. So wurden hier 360-Grad-Fotos und Drohnenvideos eingesetzt, welche das Interesse der Rezipienten weckten. Auch an verschiedenen Veranstaltungen konnten Interessierte einige 360-Grad-Fotos mittels sogenannter Cardboards anschauen. Das hohe Interesse an innovativen Technologien durch die Rezipienten, welches sich vor allem durch gesteigerte Reichweiten bei Facebook zeigte, ermöglicht nun u. a. weitere Untersuchungen im Bereich 360-Grad-Videos, welche für die Kommunikation und einen Dialog auf kommunaler Ebene genutzt werden kann.

2. Vorhabensbeschreibung

In Phase 3 des Forschungsprojektes soll untersucht werden, inwiefern sich technologische Neuheiten auf die Informationsvermittlung und das Kommunikationsverhalten der Rezipienten auswirken. Im Bereich der 360-Grad Videografie umfassen die Untersuchungsgegenstände die Informationsvermittlung in 360-Grad Videos für das Stadtmarketing, als auch die grundlegende Wirkungsforschung von 360-Grad Videos. In der Gesamtheit, betrachtet die dritte Phase die Sichtbarkeit, die Aufmerksamkeit und die Verweilzeit der Rezipienten bei verschiedenen Elementen im Social Media und während der Experimente in einer Laborumgebung.

2.1 Immersion in 360-Grad Bewegtbild

Die Kommunikation komplexer Themen auf kommunaler Ebene wird anhand der Wirkung von 360-Grad-Medien auf den Rezipienten qualitativ erforscht. Kernbegriffe dabei sind Immersion und Presence, welche beide die „Tiefe des Eintauchens ins Geschehen“ beschreiben. Immersion stellt die objektive Komponente dar, welche über technische Hilfsmittel gesteigert (z. B. über die Bildschirmgröße) und somit bei der Forschung variiert werden kann. Der Begriff Presence bezieht das Erleben des Rezipienten ein, es ist also subjektiv und kann davon beeinflusst werden. zeigt das technische Umfeld der Forschung. Es wird zunächst Grundlegend zwischen 2D-Inhalten und 360-Grad-Inhalten unterschieden. Während die 2D-Technik heute als hinreichend etabliert angesehen werden kann, wird im Rahmen dieser Forschung die 360-Grad-Technik als innovativ angesehen. Hierbei wird schließlich zwischen den Betrachtungsweisen *Magic Window* (Betrachten ohne VR-Brille, z.B. im Web-Browser) und Brille (VR-Brille) unterschieden.



Abbildung 1: Überblick über die zu untersuchende Technologie.
Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Erforschung und wissenschaftlichen Einordnung der beiden Variablen wird Probanden in einer Laborumgebung einerseits ein Video als 360-Grad-YouTube-Video („Magic Window“; also niedrigere Immersion) und andererseits als 360-Grad-Video mittels VR-Brille (höhere Immersion) gezeigt werden. Thematischer Inhalt der Versuchsreihe ist dabei ein komplexes Thema im Stadtumfeld von Mittweida: Eine theoretische Verkehrsberuhigung der Haupteinkaufsstraße in der Innenstadt. An die Videovorführung schließt sich eine Befragung an, diese adressiert das Erleben der Probanden während der Rezeption und liefert Antworten, ob und inwiefern beide Präsentationsformen zur Kommunikation komplexer Themen verwendet werden können. Das Experiment untersucht die Tiefe des Eintauchens in das Thema in Abhängigkeit von Vorkenntnissen, Pre-Kontakt mit der 360-Grad und dem allgemeinen Interesse an der Thematik. Es gilt zu beweisen, dass ein hohes Interesse oder eine gesteigerte Bereitschaft zur Rezeption die Immersion steigern und erhöhtes Gefühl des Eintauchens in das Geschehen erzeugen.

2.2 Analysierende Informationsaufnahme in 360-Grad Bewegtbild

Die quantitative Analyse der Informationsaufnahme bei den Rezipienten wird vergleichend zwischen einem klassischen 2D-Video und dem 360-Grad-Video durchgeführt. Die aufgestellten Thesen zu dieser Thematik veranschaulicht Abbildung 2. Für den Vergleich wird für beide Fälle ein Video mit gleichem Inhalt erstellt, wobei möglichst viele Informationen über Mittweida und den Tourismus in der Stadt enthalten sein sollen. Diese beiden Videos werden zwei Gruppen von Probanden zur Verfügung gestellt und mittels Fragebogen jeweils vor und nach der Präsentation der Videos die exakte Informationsaufnahme abgefragt. Mithilfe der Videos zur Informationsaufnahme soll erforscht werden, wie für Bürger das Erlernen und Übermitteln wichtiger und nützlicher Inhalte auf kommunaler Ebene einfacher und erlebnisreicher gestaltet werden kann. Für die Befragung im Bereich VR werden zehn Personen je vorher definierte Untersuchungsgruppe hinsichtlich der Informationsaufnahme analysiert. Anhand des Laborversuches soll der Zusammenhang zwischen Informationsdarbietung in einem 360-Grad Video und der bewussten Aufnahme dieser Informationen ermittelt werden. Daraus ergeben sich Handlungsempfehlungen für die Erstellung entsprechender virtueller Inhalte für die Informationsverbreitung im kommunalen Umfeld.

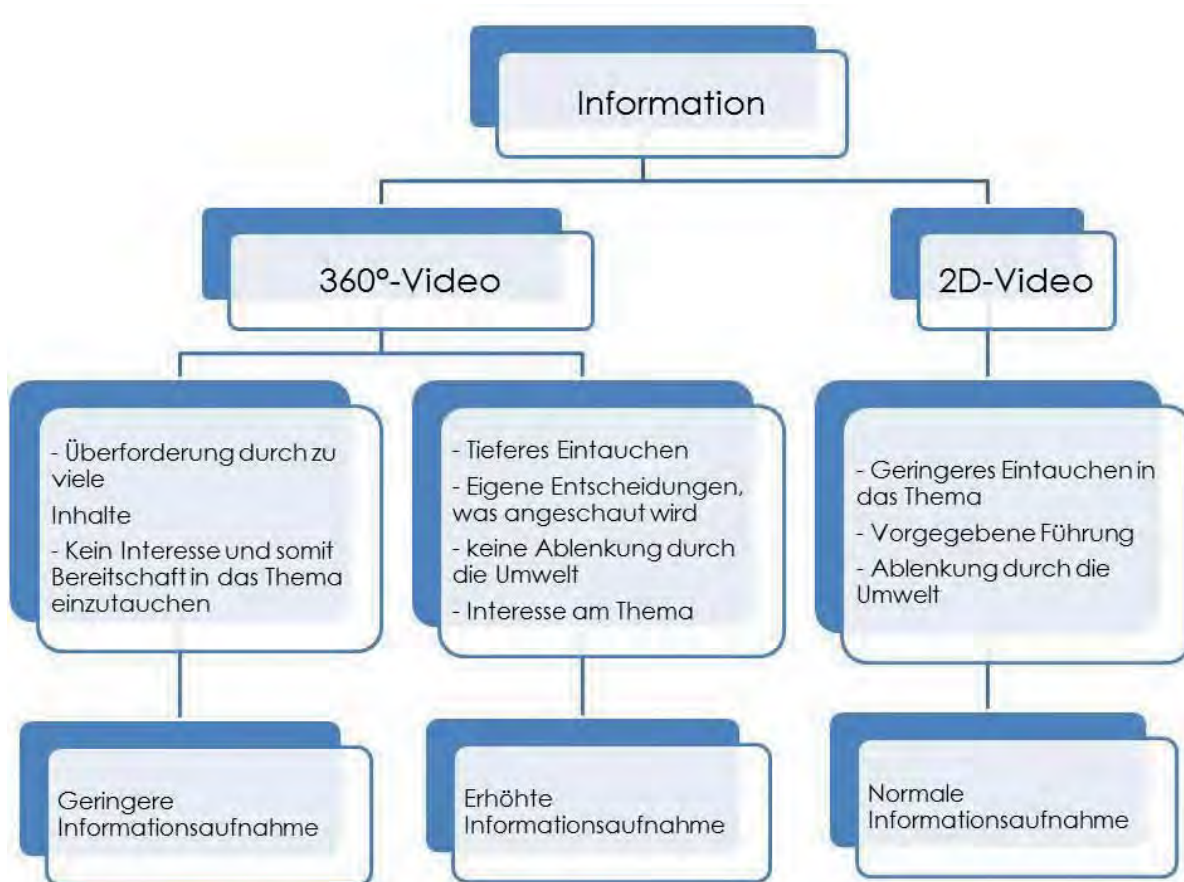


Abbildung 2: Thesen zur Informationsaufnahme in 360-Grad Bewegtbild gegenüber 2D Bewegtbild. Quelle: Eigene Darstellung.

3. Erwartete Ergebnisse

Durch den teilweise explorativen und qualitativen Forschungsansatz sind die zu erwartenden Forschungsergebnisse sehr vielfältig und habe die Möglichkeit eine Grundlage darüber zu schaffen, wie 360-Grad-Videos zukünftig eingesetzt werden können. Es wird erwartet, dass die Probanden interessiert an der neuen Technologie sind und dem Gegenstand mit Neugier begegnen. Allerdings wird auch erwartet, dass einige Probanden deutliche Schwierigkeiten mit der neuen Technologie haben werden. So werden die Phänomene Schwindel, Desorientierung und Überforderung genauer betrachtet. Weiterhin könnte es beispielsweise beim Verwenden von 360-Grad-Brillen zu Problemen mit der Bequemlichkeit oder der Sehschwäche einiger Probanden kommen.

Darüber hinaus erwartet die Forschungsgruppe für den quantitativen Teil, dass die Informationsaufnahme bei einem 360-Grad-Video höher ist als bei einem 2D-Video. Dazu muss der Inhalt jedoch korrekt aufbereitet sein und den Zuschauer lenken, damit dieser keine Information verpasst. Eine hohe Bereitschaft zur Informationsaufnahme wird angenommen, sodass die Bereitschaft zur Informationsaufnahme stark vom Interesse gelenkt wird.

Demnach wirkt sich eine hohe Bereitschaft auf eine intensivere Beschäftigung aus und daraus resultierend eine bessere Informationsaufnahme als bei geringem Interesse und geringerer Bereitschaft. Anhand dieser Vermutung muss auch die Bereitschaft der Probanden im Fragebogen erfasst werden.

4. Ausblick

Falls die Ergebnisse von der Erwartung abweichen, gilt es herauszufinden, welche Ursachen dem zu Grunde liegen. Sollte sich die Vermutung bestätigen, dass mit 360-Grad-Videos mehr Informationen aufgenommen werden können, kann die VR-Technik zum Beispiel in Schulen als eine innovative Lernmethode eingesetzt werden. Weiterhin würde dies nicht nur die reine Informationsaufnahme steigern, sondern ebenso würden die Informationen erlebnisreicher wahrgenommen werden und der Lernspaß somit gesteigert werden. Außerdem ist eine Ausweitung des Destinationsmarketings durch 360-Grad-Videos denkbar, um eine Stadt für Touristen attraktiv zu halten. Über den Vergleich der beiden Betrachtungsweisen (VR-Brille und Magic Window) lassen sich zudem Schlüsse ziehen, über welche Kanäle eventuelle Videos ausgespielt werden können.

5. Literaturangaben und Internetquellen

[1] Michael Kölling [Hrsg.]: Website virtualbiz,
<http://virtualbiz.de/2015/11/immersion-und-praesenz-die-neuen-buzzwords> (Letzter Zugriff: 14.01.2017)

[2] nextMedia.Hamburg [Hrsg.]: Digitalmagazin Unified, Artikel: Im Interview: Daniel Bröckerhoff
<http://unified.nextmedia-hamburg.de/unified-6-virtual-reality#23571> (Letzter Zugriff: 14.01.2017)

Crossmediale Dialogkommunikation in Kommunen

Ansprache der Bürger über das soziale Netzwerk Facebook

Tamara Huhle / Constanze Hundt / Christopher M. Brinkmann

Hochschule Mittweida, Fakultät Medien

huhle , hundt oder cbrinkma@hs-mittweida.de

Abstract: Über das Internet und die sozialen Netzwerke, wie Facebook, kann jeder zum Sender eigener Nachrichten werden, wodurch ein direkter Meinungs austausch ermöglicht wird. In dieser Interaktivität liegt auch ein Potential für Kommunen mit ihren Bürgern in einen verstetigten Dialog zu treten. Im vorliegenden Paper wird am Praxisbeispiels Hochschulstadt Mittweida untersucht, wie soziale Netzwerke im Rahmen einer crossmedialen Kommunikation auf kommunaler Ebene zur Ansprache der Bürger genutzt werden können.

1. Einführung ins Thema

Die Entwicklung neuer Medien verändern die Kommunikations- und Informationsstrukturen in einer Gesellschaft. Ein solcher Wandel vollzog sich auch durch die Etablierung des Internets und der sozialen Medien. Durch die Allgegenwärtigkeit von Informationen können diese überall und jederzeit abgerufen werden. Auch das klassische Modell der Sender-Empfänger-Relation wurde gebrochen. Gerade durch die sozialen Netzwerke kann jeder Nutzer online zum Sender eigener Informationen und Meinungen werden. Mit diesem Wandel änderten sich auch die Wege auf kommunaler Ebene, über die Bürger Informationen zu politischen Themen erhalten und über sie diskutieren.¹ Kommunen brauchen neue Ansätze, um den geänderten Kommunikationsgewohnheiten der Bürger zu begegnen. Integriert in eine crossmediale Kommunikation bieten sozialen Netzwerke durch ihre Interaktivität die Möglichkeit mit den Bürgern in einen Dialog zu treten, um das beschriebene Kommunikationspotential auf kommunaler Ebene zu nutzen. In einer gezielten dialogischen Kommunikation können die Bürger mit ihrem Feedback als Experten des Alltags in die Entwicklungsprozesse der Kommune einbezogen werden.

Untersuchungen zu Crossmedia in der kommunalen Kommunikation

Erste Erfahrungen in der crossmedialen Kommunikation in Kommunen konnten durch das Monitoring und die Dokumentation während der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida gesammelt werden. Ziel der lokalen Kampagne war die Erstellung eines gesamtstädtischen Leitbildes für Mittweida bis ins Jahr 2030. In diesen Entwicklungsprozess wurden die Bürger über eine crossmediale Kommunikation informiert und zu einem Dialog über die Zukunft ihrer Stadt motiviert. Das Forschungsprojekt Crossmediale Medienwirkungsforschung an der Hochschule Mittweida nahm sich die Kampagne Zukunftsstadt Mittweida als

¹ Vgl. Schneider, Helmut: Kommunale Bürgerkommunikation als essenzielle Vertiefung des Stadtmarketings, in Schneider, Helmut / Herbers, Heinz-Hermann [Hrsg.]: Kommunale Bürgerkommunikation. Konzeptionelle Grundlagen - Empirische Befunde - Kommunale Praxis, Glückstadt, 2013, S. 27.

Forschungsgegenstand zur wissenschaftlichen Untersuchung des Ansatzes der crossmedialen Kommunikation auf kommunaler Ebene. Nach Ende der Kampagne übernahm das Forschungsprojekt die etablierten Kommunikationskanäle und kommunizierte in einem praktisch orientierten Ansatz in den Themenfeldern Energie und Umwelt mit den Bürgern von Mittweida. In Abbildung 1 ist die Seite bei Facebook zu sehen.

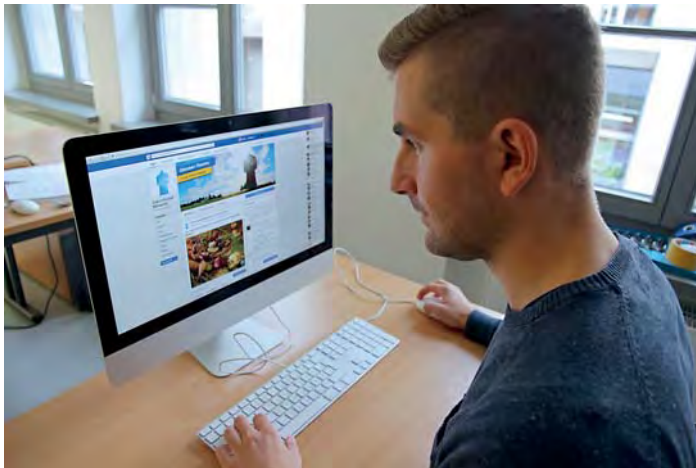


Abb. 1: Einblick in die Arbeit mit der Seite der Zukunftsstadt Mittweida, Quelle: Crossmediale Medienwirkungsforschung.

2. Beschreibung des Ansatzes in der Forschung

Der zentrale Leitkanal in dieser crossmedialen Kommunikation war Facebook. Alle Kommunikationsinhalte aus den formal, inhaltlich und zeitlich vernetzten Kanälen wurden in diesem Kanal zusammengeführt. Über das soziale Netzwerk fand die Information und das Abrufen von Feedback der Bürger statt. Die Untersuchung umfasste die Kommunikation der Bürger auf Facebook und die daraus entstehende Interaktion sowie Dialogpotential. Dabei lag die These zu Grunde, dass durch das Aufgreifen und Erzählen der Geschichten der Bürger in einem emotionalen Rahmen die Reichweite der Kommunikation erhöht werden kann.

Forschungsdesign für die Untersuchung der Kommunikation über Facebook

Zur Auswertung der Kommunikation über die von der Forschungsgruppe geleitete Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida, fand im Zeitraum 1. April bis 31. Oktober 2016 eine teilnehmende Beobachtung statt. Als Redaktionsteam reagierte die Forschungsgruppe auf Kommentare der Nutzer und kommunizierte so mit den Bürgern. Dieses Vorgehen begründet sich aus dem Forschungsziel, die crossmediale Ansprache der Bürger und ihre Aktivierung zum Dialog zu untersuchen. Die Grundgesamtheit basiert auf den erreichten Personen des reichweitenstärksten Beitrags im Erhebungszeitraum. Der Post vom 20. Juni 2016 erreichte N=13309 Personen. Im Erhebungszeitraum wurde keine Werbung geschaltet, sodass die erhobenen Reichweiten auf Facebook organisch sind.

Die veröffentlichten Inhalte wurden für die Auswertung in Beitrags- und Artencluster eingeteilt. Die im Erhebungszeitraum veröffentlichten Beitragscluster sind in Tabelle 1 dargestellt.

Beitragscluster auf der Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida				
Foto	Grafisches Foto	Grafik	Fotoalbum	Grafisches Fotoalbum
360-Grad-Foto	Link Website	Link YouTube	Link Extern	Notiz
Video	Titelbild	Drohnavideo	Geteilter Post	Text
Link Instagram				

Tab. 1: Im Erhebungszeitraum relevante Beitragscluster auf der Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida. Quelle: Eigene Darstellung.

Des Weiteren fand eine Einteilung der im sozialen Netzwerk veröffentlichten Beiträge in die Artencluster Information und Emotion statt. Informierende Beiträge dienten zur sachlichen Darstellung aktueller Entwicklungen im Projekt oder zur Weitergabe von für die Teilnahme an dem gewünschten Beteiligungsprozess benötigten Wissens. So wurde über Termine für kommende Events informiert oder kommunale Daten zu den Themen Energie und Umwelt aufbereitet und veröffentlicht. Dem gegenüber polarisierten die emotionalen Inhalte die Rezipienten oder spielten mit deren nostalgischen Erinnerungen. Beiträge wie historische Fotos, Bilder von Orten aus Mittweida oder das Aufgreifen von in Mittweida diskutierten Themen im Rahmen von beispielhaften Geschichten bedienten sich der emotionalen Ansprache der Bürger. In Abbildung 2 sind zwei Posts aus dem Erhebungszeitraum für die beiden Artencluster im Vergleich aufgeführt.



Abb. 2: Vergleich beispielhafter Beiträge in den Artenclustern Information (links) und Emotion (rechts), Quelle: Facebook-Seite Zukunftsstadt Mittweida.

3. Ergebnisse der Untersuchungen im Kanal Facebook

Im Erhebungszeitraum 1. April bis 31. Oktober 2016 wurden 158 Beiträge auf der Seite der Zukunftsstadt Mittweida bei Facebook veröffentlicht. Dabei sind 83 dem Cluster Information und 75 dem Cluster Emotion zuzuordnen. Neben der Beitragsart und dem Artencluster wurde für jeden veröffentlichten Beitrag die Anzahl der erreichten Personen, der Gefällt-mir-Angaben, der Kommentare und Häufigkeit der Teilung durch die Nutzer aufgenommen. Die Auswertung der Daten erfolgte über das Statistiktool SPSS.

Die Betrachtung der über Facebook erreichten Personen zeigt, dass vor allem mit emotionalen Inhalten eine höhere Reichweite erzielt werden konnte. Im Mittel wurden auf Facebook mit den Beiträgen im Artencluster Emotion 1278 Personen erreicht. Dem gegenüber stehen 580 Personen die im Durchschnitt mit Beiträgen im Artencluster Information erreicht wurden. Auch bei der Anzahl von Gefällt-mir-Angaben zeigt die Auswertung das vermutete Verhalten. Beiträge mit emotionalen Inhalten wurden viel häufiger mit Gefällt-mir markiert als rein informative. Im Durchschnitt aller informierenden Beiträge wurden fünf Gefällt-mir-Angaben erzielt. Emotionale Inhalte verzeichnen hingegen im Durchschnitt 22 Gefällt-mir-Angaben. Die Verteilung von Kommentaren folgt dem gleichen Schema. Vor allem auf emotionale Fotos oder 360-Grad-Fotos erfolgte eine Kommentierung (im Durchschnitt elf Kommentare bei Fotos und 14 bei 360-Grad-Fotos). Im Beitragscluster Drohnenvideo zeichnet sich hingegen ein anders Bild. Hier wurden im Durchschnitt 18 Kommentare auf informierende und 14 Kommentare auf emotionale Drohnenvideos gegeben. Es zeigt sich, wie über innovative Medientechnologien eine Kommunikation von Informationen erfolgen kann. Drohnenflugaufnahmen bieten einen ungewöhnlichen Blick auf lokale Themen und damit einen emotionalisierten Rahmen, in dem Informationen kommuniziert werden können.

Die Auswertung spiegelte ein im Vergleich zum Dialogpotential höheres Interaktionspotential wieder. Im Durchschnitt aller Beiträge wurde im Artencluster Information fünf Kommentare und im Artencluster Emotion sieben Kommentare erzielt. Das gewünschte Dialogpotential konnte im Mittel somit nicht immer erreicht werden. Es zeigt sich allerdings, dass die Kommunikation über Facebook nur bedingt für komplexe Themen, sondern vielmehr für aufmerksamkeitsstarke und bedürfnissynchrone Inhalte geeignet ist. Glaubwürdige und emotionale Inhalte von lokal bekannten Personen, Situationen oder Orten bieten einen niedrigschwelligen Interaktionsanreiz und motivieren zur Interaktion.² Die Möglichkeiten einer crossmedialen Kommunikation in Kommunen wird hier deutlich. Über eine medienübergreifende Kommunikation kann das kanalspezifische Potential zur Information und zur dialogischen Kommunikation mit den Bürgern genutzt werden. Durch die crossmediale Kommunikation erreichen Kommunen ihre Bürger an den passenden Touchpoints und können sie damit in die kooperative Gestaltung von kommunalen Prozessen einbeziehen.

² Vgl. Mammen, Madlen : Facebook als Instrument der Unternehmenskommunikation, in Handbuch Online-PR. Strategische Kommunikation in Internet und Social Web, Hrsg. Zerfaß, Ansgar / Pleil, Thomas, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, München, 2015, S. 342.

4. Ausblick auf die kommende Forschung

In der bisherigen Forschung wurde die crossmediale Kommunikation in Kommunen daraufhin untersucht, auf welche Inhalte und in welchen Kanälen die Bürger reagieren und an einem Dialog oder Interaktion teilnehmen. Für die Vertiefung des Verständnisses der crossmedialen Kommunikation in Kommunen wird es allerdings auch relevant, die Frage nach der Intention eines Bürgers zur Kommunikation zu stellen, um Kommunikationsprozesse genauer und zielorientierter planen zu können.

Big Data für die zielgenaue Kommunikation in Kommunen

Für die kommende Forschung wird es zudem relevant sein, den Einsatz von Big Data im kommunalen Bereich zu untersuchen. Die Stadtverwaltungen verfügen über eine große bürgerbezogene Datenmenge. Kann diese strukturiert und organisiert werden, wird dies auch die kommunale Kommunikation verbessern. Mit einem umfassenden bürgerbezogenen Wissen könnten Kommunikationserfolge durch die zielpersonengenaue Aufbereitung von Informationen erhöht werden. Um die derzeitigen Informationskultur in Kommunen zur interaktiven Feedbackgesellschaft weiter zu entwickeln, müssen moderne Kommunikationsmaßnahmen auch in Kommunen den Anspruch haben, ihre Bürger so gut wie möglich zu erreichen und durch die zielpersonenspezifische Aufbereitung von Inhalten die Relevanz für den Kommunikationsempfänger zu erhöhen.

5. Literaturangaben

Schneider, Helmut: Kommunale Bürgerkommunikation als essenzielle Vertiefung des Stadtmarketings, in Schneider, Helmut / Herbers, Heinz-Hermann [Hrsg.]: Kommunale Bürgerkommunikation. Konzeptionelle Grundlagen - Empirische Befunde - Kommunale Praxis, Glückstadt, 2013

Mammen, Madlen: Facebook als Instrument der Unternehmenskommunikation, in Handbuch Online- PR. Strategische Kommunikation in Internet und Social Web, Hrsg. Zerfaß, Ansgar / Pleil, Thomas, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage, München, Berlin, 2015

Heine, Daniel / Zerfaß, Ansgar: Regieren im Social Web- Eine experimentelle Studie zur Rezeption innovativer Elemente der Regierungskommunikation im Internet, in Wolling, Jens / Will, Andreas / Schumann, Christian [Hrsg.]: Medieninnovationen. Wie Medienentwicklungen die Kommunikation in der Gesellschaft verändern, Konstanz, 2011

Klages, Helmut / Vetter, Angelika: Bürgerbeteiligung auf kommunaler Ebene. Perspektiven für eine systematische und verstetigte Gestaltung, Berlin, 2013

Thummes, Kerstin / Malik, Maja: Beteiligung und Dialog durch Facebook? Theoretische Überlegungen und empirische Befunde zur Nutzung von Facebook-Fanseiten als Dialogplattform in der Marken-PR, in Hoffjann, Olaf/ Pleil, Thomas [Hrsg.]: Strategische Online-Kommunikation. Theoretische Konzepte und empirische Befunde, Wiesbaden, 2015

Stressprävention und -analyse anhand eines virtuellen Szenarios

Bastian Rademacher

Hochschule Mittweida, Angewandte Computer- und Biowissenschaften

brademac@hs-mittweida.de

Abstract:

Stressbedingte Krankheiten sind ein zunehmendes Problem für die Gesellschaft geworden. Fehlende Kompensation von Stress kann langfristig zu gesundheitlichen und psychologischen Problemen führen. Präventivmaßnahmen sind eine Notwendigkeit geworden, um einen weiteren Anstieg stressbedingter Krankheiten zu verhindern. Das vorliegende Paper beschäftigt sich mit dem Einsatz und der Evaluation eines immersiven Computerspiels zur Förderung der eigenen Selbsteinschätzung vom Stress.

1. Einleitung

Eine Studie der Techniker Krankenkasse aus 2016 zeigte, dass 61 Prozent der untersuchten Probanden mehr Stress hatten als vor drei Jahren¹. Besonders betroffen scheinen Personen im Alter von 18 bis 29 Jahren. Eine Studie der American College Health Association zeigt auch, dass Stress eines der größten Probleme für die studentische Leistungsfähigkeit ist.² Laut einer Untersuchung liegen die direkten Kosten für deutsche Unternehmen durch stressbedingte Krankheiten bei etwa 9 Billionen Euro, worunter Aspekte wie Stresspräventionen, Rehabilitation und Behandlung zählen.³ Ausfälle der Mitarbeiter und Präventionsmaßnahmen verursachen insgesamt Kosten von ca. 29.2 Billionen Euro jährlich.³ Auch in anderen Ländern ist Stress eine der größten Gefahren am Arbeitsplatz.⁴ Die Kosten für Rehabilitationsmaßnahmen und die entsprechenden Behandlungen stiegen in den letzten Jahren signifikant an.⁵ Daher ist es notwendig, neue und innovative Konzepte für eine Anti-Stress Therapie zu entwickeln und zu erproben.

2. ABC-Theorie

In einem früheren Paper des Autors wurden die wichtigsten Theorien und Ansätze diskutiert, die den Stress und die Stressbewältigung beschreiben. Ergänzend dazu sei hier noch die ABC-Theorie nach Albert Ellis kurz angerissen, die der in diesem Paper beschriebenen Experimentenreihe zugrunde liegt.

Die ABC-Theorie nach Albert Ellis besagt, dass nach einem Impuls z.B. in Form eines täglichen Problemes A („Activating event“) als Ausgang basierend auf den Glaubenssätzen B („Belief“) entweder eine rationale oder irrationale Bewertung von bestimmten Ereignissen stattfindet.⁶ Die Konsequenzen C („Consequences“) bei einer irrationalen Bewertung führen zu einem

gesundheitsschädlichen Verhalten. Die irrationalen Überzeugungen müssen von den Betroffenen in Frage gestellt werden D („Disputation“) um einen Effekt E („Effect“) zu erzielen.

2.1. Kontrolle

Kontrolle beschreibt die Fähigkeit des Probanden zu entscheiden, welche Tätigkeit verfolgt werden soll und wann diese zu erledigen ist.⁷ Vom Gefühl der Kontrolle hängt das Wohlbefinden ab. Mangelnde Kontrolle wird als nachteilig erlebt.⁸ In einer In vivo Studie anhand von Sprague-Dawley-Ratten wurde gezeigt, dass Kontrolle und Stress unmittelbar miteinander korrelieren.⁹ Zur Messung von Stress wurde die Entwicklung von Magengeschwüren untersucht. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass Ratten, die eine fehlende Kontrolle über die Situation hatten, deutlich mehr Stress erlitten haben.⁹

3. Das virtuelle Szenario

Die Motivation der Probanden ist deutlich stärker als bei anderen Verfahren.¹⁰ Dies ist wichtig, um die Bereitschaft für eine Verhaltensänderung zu verbessern. Entscheidend ist vor allem der Interaktionskanal. Dies fordert den Probanden über den gesamten Versuchsablauf hinweg auf, sich auf das Spielgeschehen zu fokussieren. Ein weiterer Aspekt, der hinzukommt ist, dass bei dem implementierten Szenario der Spieler entweder einen männlichen oder weiblichen Protagonisten spielen kann. Dies liegt daran, dass dann ein sogenannter Anchoring Effect eintritt.¹¹ Menschen sind offener gegenüber anderen Menschen, die ihnen ähnlicher sind. Hinzu kommt noch das emotionale Involvement des Spielers, das sich dabei entfaltet.¹² In einer Studie vom Max Planck Institut wurde bei den Probanden ein Anstieg des Kortisol-Spiegels festgestellt, die Stresssituationen am Bildschirm ausgesetzt waren.¹³ Stress bewirkt unter anderem einen beschleunigten Herzschlag, einen erhöhten Blutdruck und eine beschleunigte Atmung. Es handelt sich dabei um eine Alarmreaktion des Körpers. In der Studie von Baldaro et al. (n=22) wurde bereits gezeigt, dass der Blutdruck bei bestimmten Computerspielen ansteigt.¹⁴ Eine andere Studie von der East Carolina University (n=125) weist darauf hin, dass sich beim Spielen das Wohlbefinden der Probanden verbessert und auch diese auch geeignet sind, um das Stresslevel zu senken.¹⁵ Der Proband soll seinen Stress in einem Pre- und Posttest selbst einschätzen im Laufe des Szenarios. Ziel ist, mit Hilfe einzelner Unterschiede in der Bewertung herauszufinden, ob der Proband seine Stresssituation richtig einschätzen kann und in welchen Bereichen es sinnvoll ist, dem Benutzer weitere Information zu liefern. Innerhalb der Umfragen werden Schieberegler statt Kästchen verwendet. Eine Untersuchung von Catherine A. Roster et al. zeigt auf, dass Benutzer diese Eingabe bequemer finden und bevorzugen.¹⁶

3.1. Versuchsablauf

Im Versuch nahmen Studenten (n=51) der Hochschule Mittweida teil. Der Altersbereich war im Bereich von 19-27 Jahren. Das Projekt wurde mit Flyern, Postern über E-Mail und durch soziale

Netzwerke beworben. Bei der Versuchsanordnung gab es 46 % weibliche Probanden und 54 % männliche Probanden. Eine relevante Information, die beim Versuch abgefragt wurde betraf die Mediennutzung. Anhand dieser Information wurden zwei Probandengruppen gebildet: eine Vielspieler-Gruppe die über eine Stunde am Tag spielt (n=30) und eine Wenigspieler-Gruppe, die unter einer Stunde am Tag spielt (n=21). Es wird in männliche (n=29) und weibliche (n=22) Probanden unterschieden.

3.2. Spielemetrik

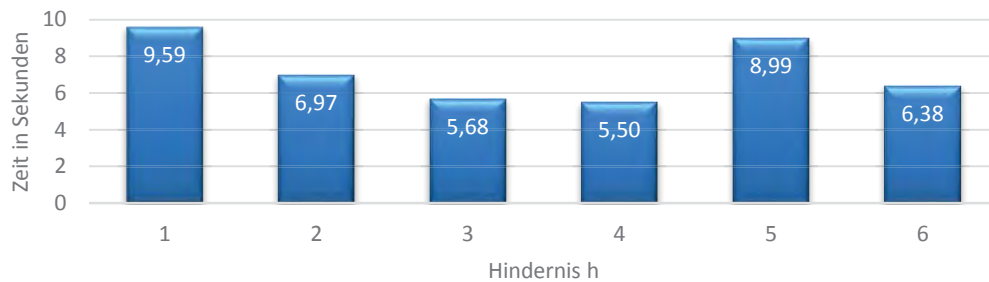


Abbildung 1 Zeit, die die Probanden für die Hindernisse benötigt haben

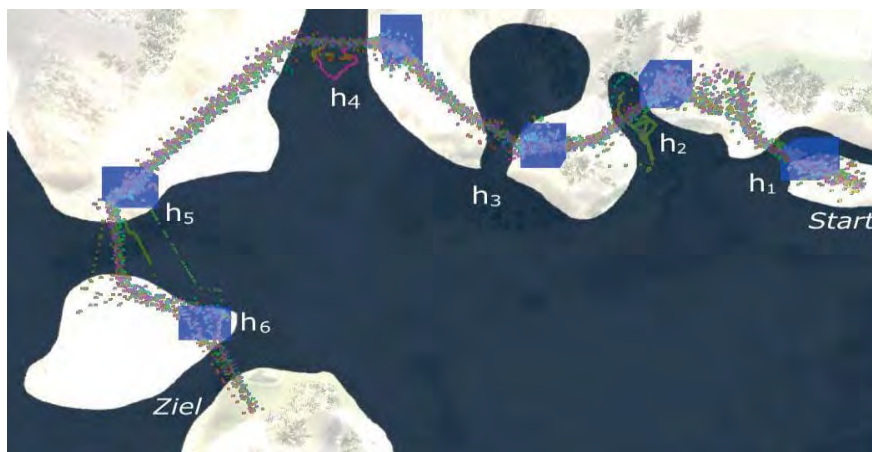


Abbildung 2 Experimentverlauf. Position der Hindernisse und Bewegungsmuster der Probanden

Im Versuch müssen Probanden innerhalb einer vorgegebenen Zeit von 3 Minuten einen bestimmten Ort im Spiel erreichen. Im Versuchsablauf benötigten die Wenigspieler durchschnittlich 2:31 Minuten und Vielspieler 2:26 Minuten. Die 6 Hindernisse bestehen darin, dass der Proband durch das Wasser gehen muss oder eine Aufgabe löst. Beim richtigen Beantworten der Aufgabe wird eine Brücke generiert, die es ihm ermöglicht, über das Wasser zu kommen. Die Aufgaben werden mit jedem absolvierten Hindernis zunehmend schwerer. Bei einem Fehler kommt es zu einem Abzug von 20 Sekunden.



Abbildung 3 Durch das Betätigen des Schalters erhält der Spieler eine Aufgabe, die er lösen muss.



Abbildung 4 Modell des Versuchsablaufes

Ein Aspekt der untersucht wurde, ist, ob der Stresslevel mit jedem Hindernis anstieg oder gleichgeblieben ist. Die Ergebnisse von Shelley E. Taylor¹⁷ zeigen, dass bei Frauen die Stressreaktion schwächer ausgeprägt ist. Im Versuch hat sich herausgestellt, dass der Stresslevel bei Frauen um 8 % weniger ausgeprägt war als bei Männern. Insgesamt ist der Stresslevel bei 22 Probanden mit jedem Hindernis angestiegen, bei 25 Probanden blieb der Stresslevel mit jedem Hindernis gleich und bei 4 Probanden ist der Stresslevel gesunken. Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, dass sich nach dem Modell von Lazarus eine Anpassung und Neubewertung der Situation ergeben hatte.¹⁸

3.3. Pre- und Posttest

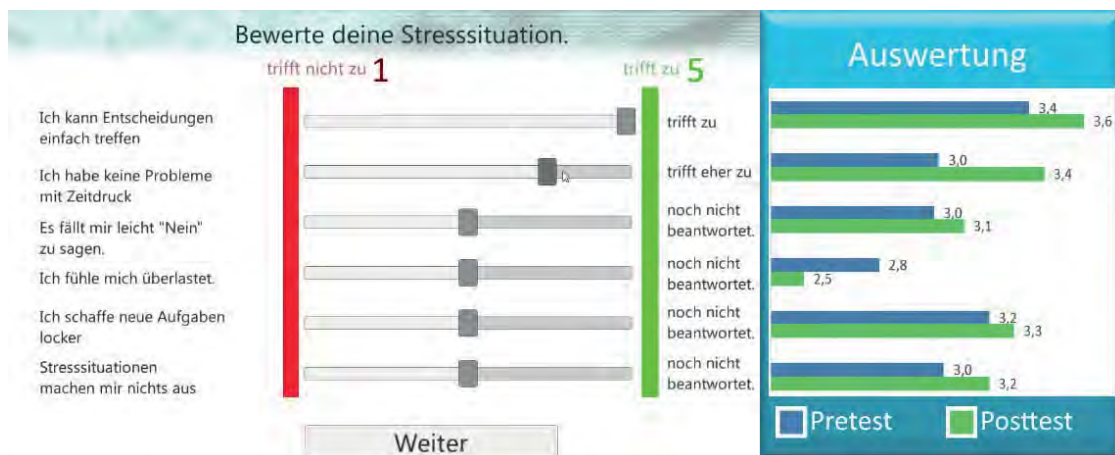


Abbildung 5 Der Fragebogen bestehend aus 6 Fragen

Ein eigener Fragebogen, bestehend aus 6 Items – basierend auf dem virtuellen Szenario – wurde verwendet. Es wurden Fragen gestellt, die unmittelbar mit der Stresssituation zusammenhängen. Den Probanden wurde nicht gesagt, dass sie sich im Posttest nochmal einschätzen müssten und der Posttest zeigte erst nach dem vollständigen Ausfüllen an, welche Werte der Proband im Pretest angegeben hatte. Hier zeigten sich auch erste Ansätze, wo sich Probanden im Allgemeinen gut oder schlecht einschätzen können. So zeigt sich, dass sich

Probanden nach einer Stresssituation unter Zeitdruck, besser einschätzen mit Zeitdruck umzugehen, nachdem ein solcher Stressor zuvor vorlag und der Proband sich dort einschätzen sollte. Es zeigte die Wahrnehmungsverzerrung der Probanden bei Stress auf. Bei der Frage „Es fällt mir leicht Nein zu sagen“ wurde die Frage im Pre- und Posttest fast gleich bewertet. Es ist anzunehmen, dass die Teilnahme am Spiel den Wert nicht drastisch verändert hatte, da diese Frage nicht in dem direkten Szenario mit dem Versuch war. Die Selbsteinschätzung der Probanden zeigte, dass 30% sich im Posttest deutlich stressresistenter eingeschätzt haben als im Pretest. Nur 8% der Probanden haben sich im Posttest schlechter eingeschätzt. Im Experiment konnte die Theorie von Holmes und Rahe¹⁹ bestätigt werden, dass die Stresspotenzierung bei Wenigspielern um das 2,5 fache höher ist, das heißt, dass jede Stresssituation die nächste Stresserfahrung verstärkt hatte. Der Post-Experiment-Fragebogen erforderte die Eigenreflexion. Dies sorgte dafür, dass die Selbstwahrnehmung gefördert wurde. Hier zeigte sich, ob der Proband in der Lage war, seine Stresswahrnehmung richtig zu bewerten.

4. Diskussion

Im Versuch zeigte sich, dass ein Einleitungslevel dem Benutzer helfen würde. Zudem sollte das Spiel adaptive Elemente haben, sodass die Aufgaben auch dem Benutzer angepasst werden können. Die Verhaltensänderungen sollten zu Wohlbefinden und gesundheitlichen Verbesserungen führen. Um dies zu überprüfen, ist allerdings eine längerfristige Begleitung der Probanden notwendig. Daher sind weitere Forschungsschritte erforderlich.

5. Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel hat den Nutzen eines Videospieles als Anwendung zur Vorbeugung stressbedingter Erkrankungen vorgestellt. Da chronischer Stress tieferliegende Ursachen hat, ist es schwer herauszufinden, welche Mittel sich eignen, um einen positiven Effekt beim Probanden zu erzielen. Anhand der Ergebnisse im Pre- und Posttest könnten erste Vermutungen ermittelt werden, welche Lösungsansätze geeignet wären. Ziel ist es, die richtige Balance zwischen Erholung und Belastung, Arbeit und Freizeit für den Betroffenen zu finden und seine Selbstwahrnehmung zu fördern.

Der Autor des Papers bedankt sich bei Robert J. Wierzbicki und Norbert Rasch für das sorgfältige Lesen des Manuskripts, wertvolle Tipps und Unterstützung.

6. Literaturangaben

- ¹ Grobe, T. (2016). Gesundheitsreport 2016 Gesundheit zwischen Beruf und Familie. Hamburg: Techniker Krankenkasse, 10
- ² American College Health Association. (2011). American College Health Association National Collee Health Assessment II: Reference Group Report, Hanover, MD: American College Health Association
- ³ Bodeker, W., Friedrichs, M. (2011). Kosten der psychischen Erkrankungen und Belastungen in Deutschland, Regelungslücke psychische Belastungen schließen, Hans Bockler Stiftung (Kamp L., Pickshaus K., eds.), Düsseldorf, 69–102
- ⁴ <https://www.statista.com/chart/6177/stress-is-biggest-threat-to-workplace-health/>
- ⁵ Bundespsychotherapeutenkammer (2012). BPtK-Studie zur Arbeitsunfähigkeit – Psychische Erkrankungen und Burnout. BPtK. 16-17
- ⁶ Ellis, A. (1982). A re-appraisal of rational-emotive therapy's theoretical foundations and therapeutic methods: A reply to Eschenroeder. *Cognitive Therapy and Research*, 6, 393-398
- ⁷ Sonnentag, S., Fritz, C. (2007). The recovery experience questionnaire: Development and validation of a measure for assessing recuperation and unwinding from work. *Journal of Occupational Health Psychology*, 12, 204-221
- ⁸ Rothbaum, F., Weisz, J. R., Snyder, S. S. (1982). Changing the world and changing the self: A two-process model of perceived control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42, 5-37
- ⁹ Weiss, J. M. (1971). Effects of coping behavior with and without a feedback signal on stress pathology in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 77(1), 22-30
- ¹⁰ Baranowski, T. et al. (2008). Playing for real. Video games and stories for health-related behavior change *American Journal of Preventive Medicine*, 34(1), 74-82
- ¹¹ Furnham, A. (2011). A literature review of the anchoring effect *The Journal of Socio-Economics*, 40(1), 35–42
- ¹² Calleja, G. (2011). Emotional involvement in digital games, *Int. J. Arts and Technology*, 4(1), 19- 31
- ¹³ Engert, V. et al. (2014). Cortisol increase in empathic stress is modulated by social closeness and observation modality. *Psychoneuroendocrinology*.
- ¹⁴ Baldaro et al. (2004). Aggressive and non-violent videogames: Short-term psychological and cardiovascular effects on habitual players *Stress and Health*, 20(4), 203–208.
- ¹⁵ Russoniello, V. O'Brien, C., Parks, K., J. (2008). The effectiveness of casual video games in improving mood and decreasing stress. *Journal of CyberTherapy & Rehabilitation*, 2(1), 53-66
- ¹⁶ Roster, C. (2015). Exploring Slider vs. Categorical Response: Formats in Web-Based Surveys *Journal of Research Practice*, 11(1), Article D1
- ¹⁷ Taylor, S. E. et al. (2010). Biobehavioral Responses to Stress in Females: Tend-and-Befriend, Not Fight-or-Flight *Psychological Review* 2000, 107(3), 411-429
- ¹⁸ Lazarus, R., Alfert, E. (1964). The short-circuiting of threat by experimentally altering cognitive appraisal. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 69(2), 195–205
- ¹⁹ Holmes, T. H., Rahe, R. H. (1967). The Social Readjustment Rating Scale. *J Psychosom Res* 11 (2): 213–8

Vom Gedanken zum Trieb – Die Motivation zu spielen

Tobias Steindorf, tsteindo@hs-mittweida.de | Nico Noé, nnoe@hs-mittweida.de | Simon Josiek, sjosiek@hs-mittweida.de

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer-und Biowissenschaften | Fakultät Medien

Abstract

Spiele haben sich mittlerweile nahtlos in unsere kulturelle Gesellschaft integriert. Dabei wächst ihr Stellenwert stetig weiter an und verdrängt die alten Medien nach und nach aus der Unterhaltungsindustrie. Besonders in der jüngeren Generation setzt sich die digitale Spielebranche zunehmend durch. Mit dem immer größer werdenden Zuspruch für Spiele geht aber auch die Frage einher, welche Aspekte das interaktive Medium „Spiel“ so erfolgreich machen und woran sich dieser Erfolg messen lässt. In diesem Paper werden die Ergebnisse einer aktuellen Umfrage zur Spielmotivation diskutiert, die innerhalb einer 14-30-jährigen Zielgruppe von Studenten durchgeführt wurde. Es werden zudem einige der aus dem Jahr 2007 stammenden Studienergebnisse von Nick Yee einbezogen, wobei sich Yee's Studien hingegen nur mit dem Genre des MMORPGs befasst haben¹.

1. Einleitung

Virtuelle Umgebungen ermöglichen es Spieleentwicklern, die verschiedensten Szenarien und Situationen zu erschaffen, die so in der realen Welt niemals existieren können. Sie sind gewissermaßen vergleichbar mit einem Buch oder Film. Betrachtet man aber nun den Aspekt der Interaktivität, so ist es nicht zu verdenken, dass Spiele die Unterhaltungsbranche zunehmend dominieren werden. Auch klassische Spieleverlage schwenken auf eine Digitalisierung ihrer Produkte um. Besonders in Zeiten, in welchen bereits rund ein Viertel der Weltbevölkerung ein Smartphone besitzt (Stand Ende 2015)², sehen darin viele Unternehmen große Erfolgchancen, ihre Spiele zu publizieren. Genauso erfreuen sich PC und Konsolen einer immer größeren Beliebtheit unter den Spielern. Aber auch in psychologischer Hinsicht hat der vermehrte Spielekonsum das Verhalten vieler Menschen scheinbar verändert und eröffnet dadurch neue Forschungsfelder.

2. Zielstellung

Im Vordergrund dieses Projektes steht vor allem die Frage, was die Menschen dazu motiviert zu spielen und wovon diese Motivation abhängt. Letztendlich ist auch genau das die Basis, auf welcher Game Designer und Publisher bei der Entwicklung neuer Spiele aufbauen. Besonders der soziale Aspekt wird dabei als einer der Hauptgründe für das Spielen vermutet. Die Studie soll außerdem die Aktualität von Yee's Ergebnissen zum Thema Spielmotivation überprüfen. Dabei soll das Hauptaugenmerk auf die jüngere Generation im Bereich der 14-30-jährigen gelenkt werden. Die Umsetzung des Projektes erfolgte in Form einer anonymen Befragung der Zielgruppe auf freiwilliger Basis mit anschließender Auswertung. Kernaspekte der Umfrage stellten dabei das Spielgenre, die bevorzugten Spielmodi, das tägliche Konsumverhalten sowie dessen Gründe und Auswirkungen dar.

3. Versuchsdurchführung

Zur Erfassung der benötigten Daten wurde ein Fragebogen auf dem Internetportal umfrageonline.com³ erstellt. Grund dafür sind die integrierten Funktionen zur Formatierung und Analyse der Ergebnisse. Insgesamt umfasste die Online-Umfrage, die unter dem Titel „Warum spielt man?“ veröffentlicht wurde, acht Fragen. Zu Beginn wurden allgemeine Angaben der Probanden wie Alter, Geschlecht und Tätigkeit erfasst. Anschließend folgten Fragen zum Spielverhalten. Die Teilnahme an der Umfrage erfolgte innerhalb von 3 Wochen.

4. Auswertung

4.1 Gesamtergebnisse

Für die folgende Auswertung werden nur vollständige Angaben berücksichtigt. Insgesamt haben 179 Probanden an der gesamten Umfrage teilgenommen. Darunter befinden sich 110 männliche und 69 weibliche Teilnehmer. Die Mehrheit der befragten Spieler ist zwischen 20 und 24 Jahren alt und als Schüler, Student oder Azubi tätig. Die durchschnittliche Spieldauer aller Befragten beträgt circa 1-2 Stunden pro Tag.

Zu den beliebtesten Spielgenres zählen Abenteuer, Rollenspiele, Action, Strategie sowie Ego-Shooter.

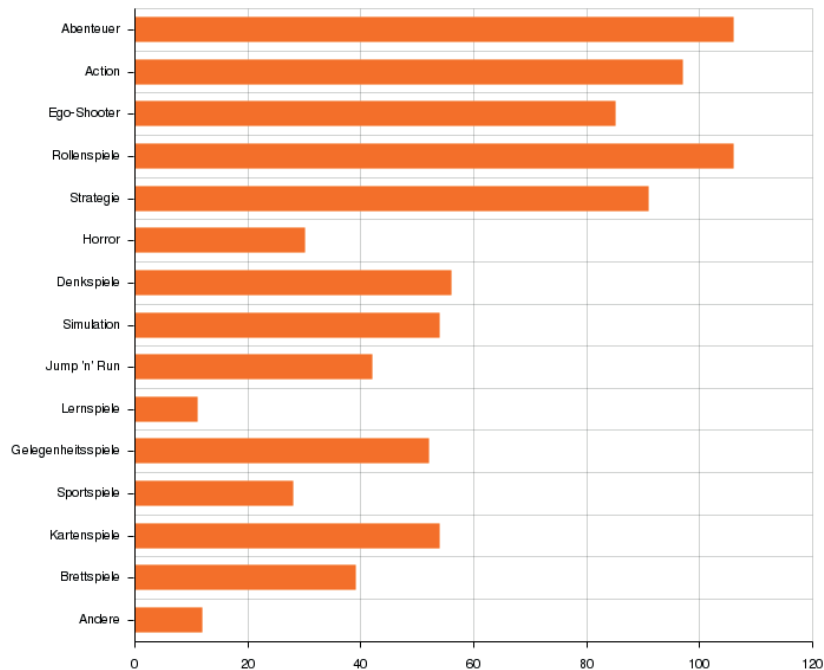


Abbildung 1: Beliebtheit der Spielgenres

Nach der Frage, welchen Spielmodus die Probanden bevorzugen, wurde weitestgehend ausgeglichen geantwortet. Es gibt lediglich leichte Tendenzen dazu, dass die Spieler den Singleplayer-Modus, also das alleinige Spielen, dem Spielen mit Freunden oder mit anderen Menschen vorziehen. Aufgrund der nur gering vorliegenden Unterschiede, lässt sich somit nicht bestätigen, dass der soziale Aspekt beim Spielen im Vordergrund stünde. Die Hauptmotivation der Befragten liegt vielmehr im reinen Unterhaltungswert des Spiels. Aber auch der damit verbundene Zeitvertreib und vorübergehender Stressabbau führen dazu, dass die Testpersonen den Drang zu spielen verspüren.



Abbildung 2: Spielmotive

Betrachtet man einmal das Befinden der Spieler nach einer Spielsitzung, so wird schnell deutlich, dass sie sich besonders entspannt und glücklich fühlen.

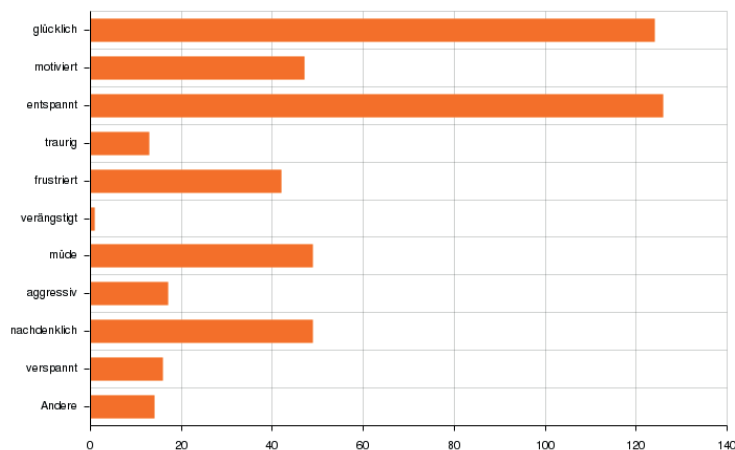


Abbildung 3: Emotionen nach dem Spielen

4.2 Verhaltensunterschiede bei Männern und Frauen

In Altersgruppe und Tätigkeit unterscheiden sich die männlichen und weiblichen Probanden kaum. Lediglich 10% aller Befragten spalten sich vom Kernanteil ab. Aber auch das Spielverhalten der beiden Geschlechter weist kaum Unterschiede auf. Diese Erkenntnisse entsprechen dem Ergebnis, auf welches Yee bereits 2007 in seiner Abhandlung über MMORPG's stieß. Die erste Differenzierung besteht darin, dass die männlichen Testpersonen, nach der aktuellen Umfrage zu urteilen, täglich in etwa doppelt so lange spielen. Der zweite und wesentlich wichtigere Unterschied besteht aber darin, dass, während die Männer actionlastige Genres wie Ego-Shooter bevorzugen, die Frauen überwiegend zu Abenteuer-, Denk- und Rollenspielen tendieren.

4.3 Psychologische Auffassung und mögliche Theorien

Das Ergebnis der hier vorliegenden Motivationsstudie zeigt unter anderem auf, dass der überwiegende Teil der Probanden ein Spiel hauptsächlich aufgrund seines Unterhaltungswerts spielt. Die aus einer Spielsitzung resultierenden Reaktionen von Glück und Entspannung stehen dabei in engem Zusammenhang mit der Spielmotivation. Die Motivation wird besonders durch Erfolge im Spiel herbeigeführt, bei denen vermehrt sogenannte Glückshormone im Gehirn ausgeschüttet werden⁴, allen voran das antriebssteigernde Dopamin⁵. Durch dessen regelmäßigen Ausstoß kann es zu einer Konditionierung führen, bei der das Gehirn Umgebungsreize nutzt, die es mit dem Spiel verknüpft⁶. Diese Verknüpfung erzeugt dann letztendlich den Drang beziehungsweise die Motivation zu spielen.

Des Weiteren liegt der Ursprung des Spieltriebs auch im Versuch, die eigenen unerfüllten Bedürfnisse und Wünsche zu stillen. Die grundlegenden Gedanken dazu waren bereits Bestandteil der Analyse von Sigmund Freud, Carl G. Jung und Alfred Adler, die drei Begründer der sogenannten Tiefenpsychologie. Später beschäftigten sich mit dem Thema auch Herzberg, Mausner & Snyderman, Bruggemann, Groskurth & Ulrich sowie Maslow⁷. Die Spieler können durch ein Spiel in eine andere, virtuelle Welt eintauchen, in der ihnen Möglichkeiten dargeboten werden, die genau diese inneren Wünsche vorübergehend erfüllen können.

Bei der Betrachtung des Spielverhaltens zwischen Männern und Frauen treten aber leichte Unterschiede auf. Wie aus der Umfrage hervorgegangen, spielen Männer anscheinend doppelt so lange wie Frauen. Hierzu spalten sich allerdings die Meinungen der zahlreichen Studien⁸, weshalb eine genauere Analyse an dieser Stelle ausgeschlossen ist. Ein weiterer Punkt, den die Umfrage hervorgebracht hat, ist, dass Männer vor allem zu actionlastigen und strategischen Spielen neigen. Das ist möglicherweise zurückzuführen auf die in der Urgesellschaft angestammte Position des (Treib-)Jägers. Während die Frauen den Nachwuchs versorgen mussten und die Rolle des Sammlers annahmen, waren die Männer gezwungen, aus eigener Kraft Tiere zu jagen und zu erledigen. Der erfolgreichste Jäger bekam viel Ansehen, da er den Frauen die größte Sicherheit bezüglich der Nahrungsversorgung bot. Schließlich gehört diese nach Maslow zu einem der physiologischen Grundbedürfnisse⁹ und ließ die Frauen den Mann in der Folge begehren. So entstand zwischen den Männern ein Konkurrenzkampf um das höhere Ansehen¹⁰. Abgesehen davon, dass das Verhalten des Mannes auch durch das Sexualhormon Testosteron beeinflusst wird¹¹, spiegelt sich die urtümliche Konkurrenz sowie der Jagdinstinkt bis heute in den Genen des Mannes wieder. Dieses Muster hat sich daher womöglich im Spielverhalten des Mannes verankert.

Im Gegensatz zu den männlichen Spielern bevorzugten Frauen allerdings Abenteuer, Denk- und Rollenspiele. Auch das ließe sich eventuell mit der Urgesellschaft begründen. Wie bereits erwähnt hatten Frauen damals die Aufgabe des Sammlers. Neben der Tatsache, dass sie ihren Nachwuchs versorgen und beschützen mussten, beschafften sie pflanzliche Nahrung. Unter dem Aspekt, dass die weiblichen Spieler heutzutage eine Präferenz zu Denkspielen besitzen, könnte die Erklärung dafür auf dem Sammeln beziehungsweise Erkennen von nicht-giftigen Pflanzen, Früchten und Pilzen beruhen. Bewiesen ist dies allerdings nicht. Die Tendenz zu Abenteuer und Rollenspielen könnte darin begründet sein, dass die Frauen damals einen instinktiven Freiheitsdrang entwickelten, da sie sich die meiste Zeit in nahezu abwechslungsloser Umgebung aufhielten. Der Gedanke daran, was ihre Männer auf der Jagd erlebten, ließ in den Frauen den Wunsch aufkommen, selbst einmal auf Entdeckungsreise zu gehen.

4.4 Fehlerbetrachtung

Die hier vorliegende wissenschaftliche Arbeit ist nicht eindeutig repräsentativ, da sowohl Umfang als auch Versuchsdauer deutlich begrenzt waren. Zudem ist unklar, ob die Teilnehmer ausschließlich wahrheitsgemäße Aussagen getroffen haben. Nicht zuletzt kann aufgrund der Tatsache, dass andere Studien teilweise von den hier gegebenen Antworten abweichen, nicht präzise festgestellt werden, welche Ergebnisse für die Spielmotivation ausschlaggebend sind und welche nicht.

5. Fazit

Im Nachhinein betrachtet war die Umfrage bis auf wenige Punkte für unsere Zwecke zufriedenstellend. Für kommende Projekte dieser Art sollte man jedoch erwägen, ein größeres Zeitfenster einzuplanen. Trotz der hohen Reichweite wurde die Umfrage nur begrenzt wahrgenommen. Man sollte daher zukünftig weitere Vertriebswege mit einbeziehen, um das gewählte Thema genauer und umfangreicher beleuchten zu können. Die Studie hat gezeigt, dass im Sinne der Spielmotivation vor allem Spaß und Unterhaltung im Vordergrund stehen. Allerdings scheinen einige andere aus der Umfrage hervorgegangene Resultate diskussionsbedürftig. Besonders sticht dabei heraus, dass Männer angeblich doppelt so lange spielen wie Frauen. Das lässt sich bisher weder mit einer Quelle bestätigen noch widerlegen. Nicht zuletzt sei gesagt, dass das Thema noch lange nicht abgeschlossen ist und sich der Spielmarkt sowie dessen Erforschung insbesondere auf dem Gebiet der Spielmotivation auch in Zukunft noch weiterentwickeln wird.

Die Autoren des Papers bedanken sich bei allen Teilnehmern der Umfrage sowie bei Robert J. Wierzbicki für das sorgfältige Lesen des Manuskripts.

Literatur und Quellen

¹ Nick Yee: „Maps of Digital Desires: Exploring the Topography of Gender and Play in Online Games“, 2008

² <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309656/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-smartphone-nutzer-weltweit/>

³ <https://www.umfrageonline.com/>

⁴ Josef Zehentbauer: „Körpereigene Drogen. Die ungenutzten Fähigkeiten unseres Gehirns.“ Artemis & Winkler, Düsseldorf 2003

⁵ <http://www.zeit.de/2014/52/computerspiele-experiment-gamejam-hamburg>

⁶ <http://www.automatisch-verloren.de/de/wie-unser-gehirn-auf-gluecksspiel-reagiert>

⁷ Melanie Raschke: „Im Computerspiel bin ich der Held. Wie virtuelle Welten die Identitätsentwicklung von Jugendlichen beeinflussen“ Diplomica Verlag GmbH, Hamburg 2007

C. G. Jung: „Zur Psychologie westlicher und östlicher Religion.“
Gesammelte Werke, Band 11

Alfred Adler: „Praxis und Theorie der Individualpsychologie“, 1920

Frederick Herzberg; Bernard Mausner; Barbara Bloch Snyderman: „The Motivation to Work.“
2. Auflage, New York 1959

Agnes Bruggemann; Peter Groskurth; Eberhard Ulich: „Arbeitszufriedenheit.“
Hans Huber, Bern 1975

Abraham Maslow: „Motivation and Personality“, 1954

Abraham Maslow: „Toward a psychology of being“, 1962

⁸ http://www.deutschlandfunk.de/soziologie-der-computerspiele-frauen-spielen- genausoviel.1148.de.html?dram:article_id=339423

⁹ Abraham Maslow: „A Theory of Human Motivation. In Psychological Review Vol 50 No 4“
1943

¹⁰ <http://www.planet-wissen.de/gesellschaft/lebensmittel/fleisch/pwiejagenundsammelnfleischundgeschlechterrolle n100.html>

¹¹ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160252709000636>

Crossmediale Bürgeransprache in Kommunen

Ein visuelles Erscheinungsbild für eine crossmediale Kommunikationskampagne auf kommunaler Ebene

Tamara Huhle, Jan Schaaf, Tanja Korzer, Constanze Hundt & Natalie Kunze
Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, Fachbereich Medien
huhle, schAAF, hundt oder nkunze@hs-mittweida.de & korzer@wifa.uni-leipzig.de

Abstract:

In der modernen Kommunikation können Mediennutzer durch die große Informationsflut nur einen kleinen Teil der Inhalte selektiv rezipieren. Auch die Kommunikation in Kommunen muss diesem Verhalten begegnen. Mit einer crossmedialen Kommunikation können Bürger zielgerichtet in den Medien angesprochen werden, die sie täglich nutzen. Um den Wiedererkennungswert einer solchen vernetzten Kommunikation zu erhöhen, bedarf es einer formalen Integration über ein einheitliches und geschlossenes Corporate Design.

1. Neue Ansätze in der modernen kommunalen Kommunikation

1.1 Wandel in der Kommunikationskultur

Die Wahl der passenden Kommunikationsstrategie und deren wirkungsvoller Umsetzung ist ausschlaggebend für das Marketing von Produkten, Marken, Unternehmen und Kampagnen. Bevor es zur Wirkung von Kommunikationsbotschaften kommt, müssen diese von den Konsumenten wahrgenommen werden. Aufgrund des zunehmenden Überangebots von Informationen in verschiedenen Medien, verliert sich allerdings ein Großteil der Kommunikationsbotschaften in einem Grundrauschen. Durch die Etablierung des Internets und der sozialen Medien, hat sich der Kommunikations- und Informationsdruck weiter erhöht. Die Mediennutzer können nun überall und jederzeit auf Informationen zugreifen und mit anderen Kommunikationspartnern in einen Kontakt treten. Diesem Information overload kann nur über ein selektives Mediennutzungsverhaltens begegnet werden.

Auch die kommunale Kommunikation und die Bürgeransprache unterliegt den Zwängen der öffentlichen Kommunikation. Es müssen daher in der Stadtverwaltung Maßnahmen ergriffen werden, um für die Bürger relevante, lokale Themen zielgerichtet zu kommunizieren. Ein möglicher Ansatz zur Bürgeransprache bietet hier die crossmediale Kommunikation in einer Kommune. Über mehrere inhaltlich, formal und zeitlich integrierte Kanäle werden die Bürger an den passenden Touchpoints angesprochen, wodurch gezielte Information und Feedback ermöglicht werden.

1.2 Einheitliches Erscheinungsbild in der Kommunikation

Um den Wiedererkennungswert in der Kommunikation zu steigern, bedarf es auch in Kommunen eines einheitlich und kanalübergreifend geführten Erscheinungsbildes. Über die formale Integration der Kanäle, kann durch wiederkehrende visuelle Elemente ein prägnantes Erscheinungsbild erzeugt werden. Dieses stützt die Erinnerung eines Rezipienten bei Kontakt mit der kommunizierenden Institution.¹ Gerade bei einer crossmedialen Kommunikation, die sich über mehrere Medienkanäle erstreckt, ist die formale Integration ein zentraler Bestandteil, um eine nachvollziehbare visuelle Vernetzung der Kanäle zu ermöglichen. Dabei steht das Corporate Design unter besonderer Beachtung. Denn ein bewusst angewandtes Design schafft einen Vertrauensgewinn bei den Bürgern und eine klare Identifikation sowie Profilierung am Markt. Im Besonderen kann damit der gewünschte Wiedererkennungseffekt in der Kommunikation gesichert werden. Dahinter verbirgt sich die Frage, wie sich das Corporate Design auf ein einheitliches und geschlossenes Erscheinungsbild mehrerer Medienkanäle auswirkt und darauf aufbauend wie die Gestaltungsregeln zu definieren sind, um eine crossmediale Kampagne auf kommunale Bedürfnisse anzupassen. Das vorliegende Paper untersucht, wie ein solches Erscheinungsbild für die crossmediale Kommunikation in Kommunen am Beispiel der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida über mehrere Medienkanäle hinweg etabliert werden konnte.

2. Crossmediale Bürgerbeteiligung in der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida

Mit der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida wurde bereits eine crossmediale Kommunikation auf kommunaler Ebene an einem praktischen Beispiel etabliert. Die lokale Initiative war ein gemeinschaftliches Projekt der Stadtverwaltung Mittweida, der Hochschule Mittweida und der Universität Leipzig im Rahmen des Wettbewerbs Wissenschaftsjahr 2015 – Zukunftsstadt des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Ziel der Kampagne war die Gestaltung eines gesamtstädtischen Leitbildes bis ins Jahr 2030. Über eine crossmediale Kommunikation konnten die Bürger informiert und ein direktes Feedback bei ihnen abgerufen werden. Die in der beschriebenen Kommunikation bedienten Kanäle sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Medienmatrix der Zukunftsstadt Mittweida

Quelle: Eigene Darstellung

¹ Vgl. Bruhn, Manfred: Kommunikationspolitik – Systematischer Einsatz der Kommunikation für Unternehmen (2015), S. 100

3. Das visuelle Erscheinungsbild der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida

3.1 Medienübergreifende Gestaltung

Auch für die Gestaltung der crossmedialen Kommunikation in der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida wurde ein durchgängiges Corporate Design etabliert. Ziel dabei war es, eine über alle Kanäle konstante Wiedererkennbarkeit kampagnenbezogener Inhalte zu sichern und das Leitbild der Kampagne visuell widerzuspiegeln.

In der Kampagne wurde gemeinsam mit den Bürgern die Zukunft von Mittweida gestaltet. Das Design der Zukunftsstadt Mittweida musste folglich eine breite Masse der Bürgerinnen und Bürger ansprechen. Um den unterschiedlichen Bürgergruppen visuell zu begegnen, fiel die Entscheidung auf ein klares und einfaches Design. Als zentrales Designelement diente der Wasserturm – das Wahrzeichen Mittweidas. Mit der Platzierung der regionalen Sehenswürdigkeit im Logo wurde ein klarer Lokalbezug der Kampagne kommuniziert. Helle und freundliche Farben, eine offene Typografie, die klar und gut leserlich ist und eine emotional ausgerichtete Bildsprache rundeten das Kampagnen-Design ab. Das visuelle Erscheinungsbild der Kampagne Zukunftsstadt Mittweida wurde so über die fünf Corporate Design-Grundelemente Logo, Schrift, Farbe, Stilelemente und Bildsprache erreicht. Ein Überblick über die Elemente ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Auswahl an Corporate Design-Elementen der Zukunftsstadt Mittweida

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Formale Integration in allen Medienkanälen

Um in der Kommunikation der Kampagne die formale Integration in allen Kanälen zu etablieren, müssen die jeweiligen spezifischen Anforderungen der Kommunikationsmittel berücksichtigt werden. So wurden beispielsweise für eine einheitliche Farbwiedergabe in den unterschiedlichen Medienkanälen die Farben und ihre Wertangaben in den verschiedenen Farbsystemen definiert. Für den Printbereich wurden demzufolge HKS-Farbwerte und für den Onlinebereich HEX-Farbwerte als Vorgabe festgelegt. Alle weiteren definierten Farbangaben wurden in den anderen Kanälen so verwendet, dass eine einheitliche Farbgeschlossenheit gewährleistet blieb. Auch bei der Schrift wurde im Design darauf geachtet, dass diese sowohl im Printbereich als auch im Webbereich einsetzbar ist. Als Logo- und Hausschrift dient die geometrische Groteskschrift Montserrat, die bei Print- und Werbeprodukten ihre Anwendung findet. Neben der Hausschrift kommt die serifenlose Helvetica als Ersatzschrift zum Einsatz, die vornehmlich als websichere Schrift im Onlinebereich, im Speziellen bei der Website der Kampagne, angewendet wird. Auch das Logo als eines der Grundelemente sollte in den jeweiligen Kanälen zur Anwendung kommen, jedoch muss es dabei nicht zwingend einen festen Platz einnehmen. Gerade bei Medienkanälen, bei denen sich ein starres und zu fixiertes Design aufgrund der kanalbezogenen Grundvoraussetzungen als problematisch erweist, muss mit einer flexiblen Designanpassung reagiert werden. Zum Beispiel kann hierbei anstatt dem Logo auch die Bildmarke, der Wasserturm, als erkennendes Merkmal zum Einsatz kommen, wie es bei der Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida als Profilbild gehandhabt wurde.



Abbildung 3: Umsetzung des neuen Erscheinungsbildes in den einzelnen Kampagnenkanälen
Quelle: Eigene Darstellung

Die unterschiedlichen Medienkanäle erfordern differenzierte Designanpassungen, welchen durch feste und unflexible Richtlinien nicht nachgekommen werden kann. So bieten beispielsweise die klassischen Printmedien viele Gestaltungsfreiheiten, um das Corporate Design und die einzelnen Gestaltungselemente optimal darzustellen, hingegen lassen die digitalen Medien, wie eben der Social Media-Kanal, diese Freiräume in der Gestaltung nicht in dem gleichen Umfang zu, da diese durch technische oder gestalterische Vorgaben des Kanals eingeschränkt werden.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Bezugnehmend auf die in dem vorliegenden Paper formulierte Fragestellung kann konkludierend festhalten werden, dass ein Corporate Design auf verschiedene Medienkanäle umsetzbar ist. Vor dem Hintergrund der immer stärkeren Nutzung von mobilen Endgeräten wird es sogar notwendig, ein über die Kanäle stimmiges und formal einheitliches Erscheinungsbild zu schaffen. Am Beispiel der kommunalen Kampagne Zukunftsstadt Mittweida konnte aufgezeigt werden, wie mit einem formal integrierten Design eine die Leitidee der Kampagne widerspiegelnde, medienübergreifende Kommunikation gestaltet werden kann. Dieses hat einen hohen Wiedererkennungseffekt und ist in allen Medienkanälen einsetzbar.

Die formale Integration in der besprochenen Kampagne konnte insbesondere durch vielseitige visuelle Gestaltungsmöglichkeiten erreicht werden, die dem Design eine Flexibilität einräumen, mit der ein einheitliches und wiederkehrendes Erscheinungsbild in den Kanälen bestmöglich umgesetzt werden kann. Auf diese Weise können die Eigenschaften jedes Medienkanals ausgeschöpft und auf die spezifischen Ansprüche der Medien reagiert werden. Wichtig ist hierbei, dass der Kern der Gestaltungselemente gleich bleibt, sich diese aber aufgrund technischer Voraussetzungen oder auch im Kontext zu einer bestimmten Situation verändern respektive anpassen dürfen, aber nicht wahllos werden. Eine gut einsetzbare Schrift und die Berücksichtigung der unterschiedlichen Medienfarbräume zum Beispiel verhilft die formale Integration zu unterstützen und eine hohe Wirkungskraft zu erzeugen. Stilelemente und eine emotionale sowie stark an das Leitbild angedachte Bildsprache unterstützen die Geschlossenheit des Erscheinungsbildes weiterhin.

Erweiterung des visuellen Erscheinungsbildes als Ausblick

Die Zukunftsstadt Mittweida erhielt mit dem Corporate Design ein unverwechselbares und signifikantes Erscheinungsbild, das in der Zukunft durchaus auch wandel- und erweiterbar ist. So könnte sich das Erscheinungsbild flexibler im Auftreten gegenüber der vielen verschiedenen Zielgruppen präsentieren – beispielsweise durch eine jugendlichere und verspieltere Schriftart für die jüngeren Zielgruppen oder der Aufnahme einer weiteren Farbe zur Kenntlichmachung von bestimmten Themengebieten. Dieser zielgruppen- oder auch situationsbedingte freiere Umgang mit dem Design ist dabei von der Verträglichkeit des

Erscheinungsbildes und nicht zuletzt auch von der Wiedergabe der Leitidee der Kampagne abhängig. Das richtige Maß an Flexibilität zu finden ist die Herausforderung.



Abbildung 4: Ein Eindruck der Vielfalt der Bildsprache der Zukunftsstadt Mittweida
Quelle: Eigene Darstellung

5. Literaturangaben und Internetquellen

- [1] Bruhn, Manfred [Hrsg.]: Kommunikationspolitik – Systematischer Einsatz der Kommunikation für Unternehmen, 2015, München
- [2] Bruhn, Manfred [Hrsg.]: Unternehmens- und Marketingkommunikation – Handbuch für integriertes Kommunikationsmanagement, 2011, München
- [3] Böhringer, Joachim / Bühler, Peter / Schlaich, Patrick [Hrsg.]: Kompendium der Mediengestaltung. Konzeption und Gestaltung für Digital- und Printmedien, 2011, Berlin/Heidelberg
- [4] Mahrtdt, Niklas [Hrsg.]: Crossmedia. Werbekampagnen erfolgreich planen und umsetzen, 2009, Wiesbaden
- [5] Sauter, Rebekka [Hrsg.]: Crossmedia – Kampagnen: Aspekte der inhaltlichen und formalen Integration, 2006, Hamburg
- [6] Schneider, Martin [Hrsg.]: Management von Medienunternehmen. Digitale Innovationen – crossmediale Strategien, 2013, Wiesbaden
- [7] Bundesministerium für Bildung und Forschung [Hrsg.]: Bekanntmachung vom 30. Januar 2015, <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung.php?B=1007> (Letzter Zugriff 12. Januar 2017)
- [8] Stadtverwaltung Mittweida [Hrsg.]: Website der Zukunftsstadt Mittweida, <http://www.zukunftsstadt-mittweida.de> (Letzter Zugriff 12. Januar 2017)
- [9] Stadtverwaltung Mittweida [Hrsg.]: Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida, <https://www.facebook.com/ZukunftsstadtMW> (Letzter Zugriff 12. Januar 2017)

Innovative Technologien für progressive Kommunikation in Kommunen

Tamara Huhle, Constanze Hundt, Christopher Markus Brinkmann
Hochschule Mittweida, Fakultät Medien
huhle, hundt, cbrinkma@hs-mittweida

Abstract:

Die Anforderungen im Bereich der kommunalen Kommunikation steigen mit der wachsenden Medienerfahrung der Konsumenten. War es vor einigen Jahren noch möglich Aufmerksamkeit durch Fotografien und Bewegtbild zu generieren, sollte nun der Umschwung auf neue Technologien erfolgen, um dem Rezipienten immer wieder neue Reize und Einblicke zu gewähren. Diese vorliegende Analyse umfasst den Erfolg solcher neuen Technologien im Vergleich zu herkömmlicher Technik am Beispiel der Hochschulstadt Mittweida.

1. Einfluss der Technologie in die Kommunikation

Durch den technologischen Fortschritt und die ständige als auch mobile Verfügbarkeit des Internets in hoher Bandbreite unterliegt die Informationsbeschaffung und -verbreitung einem steten Wandel. Jeder Nutzer mit einem entsprechenden Endgerät ist in der Lage, Bild- und Videoinhalte zu produzieren und für eine breite Masse zur Verfügung zu stellen. Damit wird jeder Nutzer zum Sender eigener Medieninhalte. Dies bewirkt auch die Abkehr vom klassischen Sender- Empfänger-Kommunikationsmodell nach Weaver. In diesem wurde noch postuliert, dass es für jeden Inhalt einen spezifischen Sender der entsprechenden Empfänger erreicht. Auch für die Bürgeransprache von Kommunen ergibt sich durch diesen Wandel die Notwendigkeit sich durch Qualität, Innovation und exakter Information von der Informationsflut in der modernen Kommunikation abzuheben. Dafür müssen neue Wege in der Kommunikationsverbreitung gegangen werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Innovative Ansätze zur Gestaltung gesellschaftlicher Wandelungsprozesse“ untersuchte die Forschungsgruppe des Teilprojektes 2 „Crossmediale Medienwirkungsforschung“ daher, wie mithilfe von innovativen Medientechnologien (z.B. Drohnenvideos oder 360-Grad-Fotos) in einer crossmedialen Kommunikation die Reichweite der kommunalen Bürgeransprache erhöht werden kann.

2. Forschungsphasen

In der ersten Phase des Projektes begleitete die Forschungsgruppe die Aktivitäten der Zukunftsstadt Mittweida im Monitoring der verschiedenen Kommunikationskanäle und erkannte dabei, dass die Thematiken „Energie und Umwelt“ bisher lokal noch wenig mediale Beachtung fanden. In der zweiten Phase von April bis Oktober 2016 übernahm die Forschungsgruppe schließlich die Kommunikationskanäle der Zukunftsstadt Mittweida und spezialisierte sich thematisch auf die eben genannten Bereiche. Die Festlegung für das Themenspektrum „Energie und Umwelt“ fiel auch, um untersuchen zu können, wie scheinbar wenig relevante Themenfelder über eine crossmediale Kommunikation ein Mehrwert für die Bürger schaffen und die Reichweite der Kommunikation erhöht werden kann.

Innovative Technologien als Forschungsgegenstand

Im Rahmen der zweiten Phase wurden auf dem Leitkanal Facebook Bild- und Videoinhalte direkt veröffentlicht oder als Link zu YouTube den Bürgern angeboten. In der Untersuchung erfasste die Forschergruppe sämtliche klassischen Bild- und Fotobeiträge als auch 360-Grad-Fotografien. Zudem war der Bereich Bewegtbild mit herkömmlichen Videobeiträgen sowie Drohnenflügen und 360-Grad-Videobeiträgen für die Untersuchung relevant. Für alle kommunizierten Inhalte wertete die Forschungsgruppe die Reichweite der Kommunikation und die stattgefundene Interaktion aus. Neben der inhaltlichen Komponente wirkten das Artencluster und die Beitragsart auf die zu analysierenden Parameter ein. Das Artencluster beschreibt hierbei die Einordnung der Beiträge als „Information“ oder „Emotion“. Die Beitragsart definierten sich als YouTube-Link auf Facebook oder als eine direkte Veröffentlichung der Inhalte in dem sozialen Netzwerk. Um die Daten valide und vergleichbar zu halten, wurden die Zugriffszahlen jeweils eine Woche nach der Veröffentlichung der Beiträge erfasst und nach Abschluss der Phase mit den anderen Beiträge der jeweiligen Kategorie verglichen. Der Zeitraum von sieben Tagen umfasst die Wertzeit im Online-Bereich, Zugriffe erfolgen demnach in diesem Zeitraum, danach sind keine Aufrufe mehr zu verzeichnen.

3. Ergebnisse

Die Analyse der publizierten Bild- und Videoinhalte auf der Facebook-Seite sowie dem YouTube-Kanal der Zukunftsstadt Mittweida ergab eine deutliche Steigerung in der Reichweite und eine erhöhte Interaktionsrate bei Medieninhalten die mittels neuer Technologien produziert wurden. Diese Entwicklung beschreibt das große Potential für die Kommunen um deren Inhalte möglichst effektiv zu verbreiten und dadurch mehr Bürger zu erreichen sowie das vorhandene Dialogpotential auszuschöpfen. Hieraus ergeben sich wichtige Handlungsschritte für eine zukünftige kommunale Kommunikation. Erhebungsende der Daten war der 31. Oktober 2016.

Kommunikation auf der Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida

Im Forschungszeitraum veröffentlichte die Forschergruppe insgesamt 158 Beiträge, von denen 38 als Bild- oder Videoinhalt definiert wurden. Diese Beiträge gliedern sich in 23 Fotobeiträge, vier 360-Grad-Fotos, acht Videos und drei Drohnenvideos. In Relation zu den veröffentlichten Inhalten auf der Facebook-Seite ergeben sich folgende prozentualen Anteile an der Gesamtkommunikation: Foto 14.6 Prozent, 360-Grad-Fotos 2.5 Prozent, Video 5.1 Prozent und für Drohnenvideos 1.9 Prozent. Bei der Analyse innerhalb von Facebook wurden alle Beiträge der jeweiligen Kategorie erfasst, um eine Vergleichbarkeit als auch Validität zu gewährleisten. Wie in der Abbildung 1 erkennbar ist, erreichten sowohl die 360-Grad-Fotos als auch die Drohnenvideos eine höhere Reichweite. Die prozentuale Anzahl der Reichweite erhöhte sich im Bereich der Fotografie um rund 50 Prozent und bei den Videobeiträgen um 135 Prozent. Dies belegt, dass Medieninhalte, welche mithilfe innovativer Medientechnologien produziert wurde mehr Bürger erreichen als herkömmlicher Content. Im Hinblick auf die Interaktion zeigt sich ebenfalls eine deutliche Steigerung der Gefällt-mir-Angaben, der Kommentare und der geteilten Inhalte für die 360-Grad-Fotografien und die Drohnenvideos. Ein Grund hierfür kann vor allem in den neuen Blickwinkeln und den ungewohnten Ansichten auf bekannte Orte vermutet werden, die dazu führen, dass ein gesteigertes Interesse besteht und die Rezipienten zur Interaktion angeregt werden. Folglich wird die These gestützt, dass Inhalte, die effektiver kommuniziert werden sollen und somit sowohl eine höhere Reichweite als auch eine erhöhte Interaktionsrate aufweisen, mittels neuartiger Technologie hergestellt werden müssen.

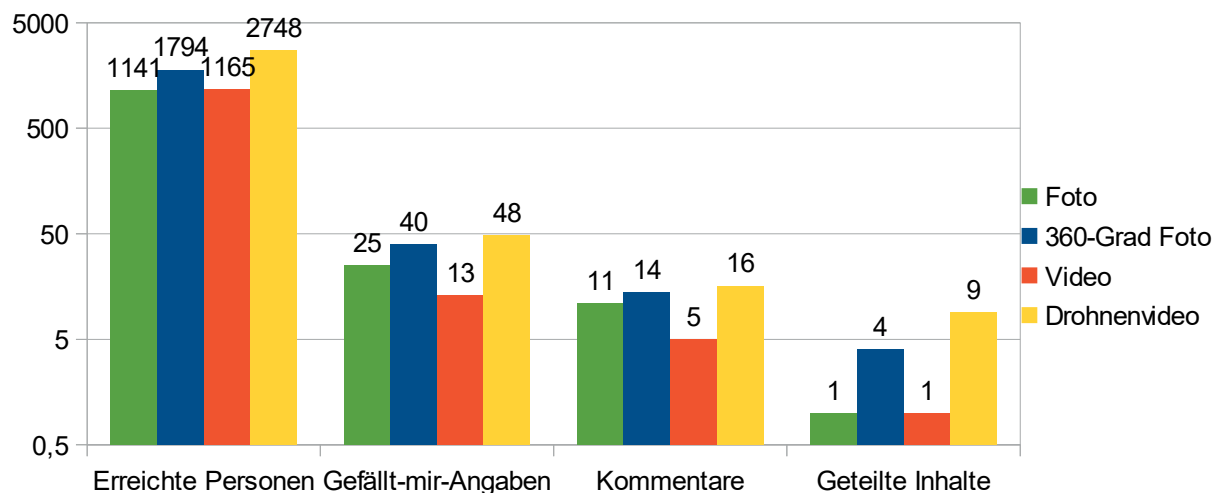


Abb. 1: Durchschnittliche Reichweite und Interaktion pro Beitrag auf der Zukunftsstadt Facebook-Seite im Zeitraum 1. April - 31. Oktober 2016
Quelle: eigene Darstellung

Bei der Analyse der Einbettung des Videos als Link oder als Facebook-Video ergeben sich durchschnittliche Reichweiten bei der Link-Einbettung (sechs Beiträge) von 648 erreichten

Personen und bei der direkten Veröffentlichung bei Facebook (fünf Beiträge) von 2219 Rezipienten. Es zeigt sich, dass die Reichweite stark ansteigt, wenn Inhalte direkt bei Facebook hinzugefügt werden. Dies scheint durch den internen Facebook-Algorithmus bedingt zu sein, der eine erhöhte Sichtbarkeit für direkt veröffentlichte Inhalte im Newsfeed generiert. Abbildung 3 vergleicht die Artencluster Emotion und Information miteinander, hieraus geht hervor, dass Videobeiträge, welche vorrangig Informationen enthalten, mehr Personen erreichen. Es zeigte sich erneut, wie über Drohnenvideos und 360-Grad-Videos Informationen aufbereitet und in einem emotionalen Rahmen kommuniziert werden können.

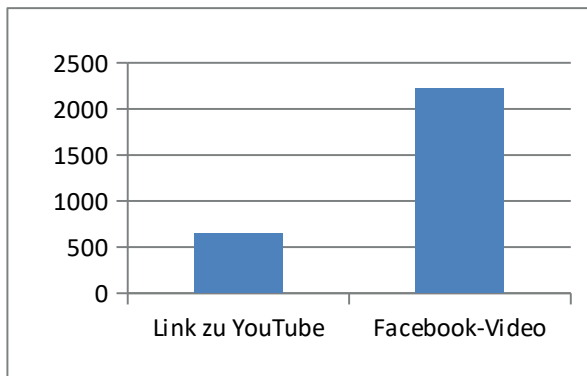


Abb. 2: Durchschnittliche Videoaufrufe im Untersuchungszeitraum auf der Facebook-Seite, Quelle: eigene Darstellung

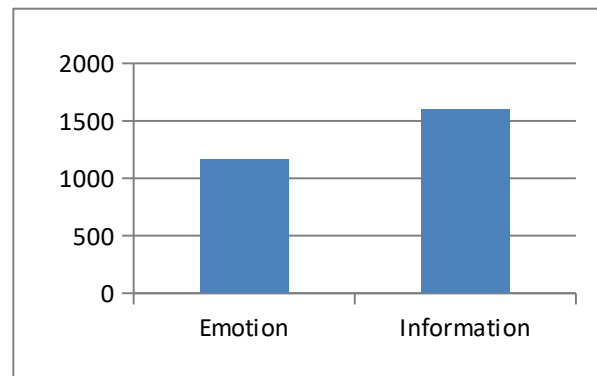


Abb. 3: Durchschnittliche Videoaufrufe im Untersuchungszeitraum auf der Facebook-Seite, Quelle: eigene Darstellung

Video-Kommunikation auf dem You-tube-Kanal

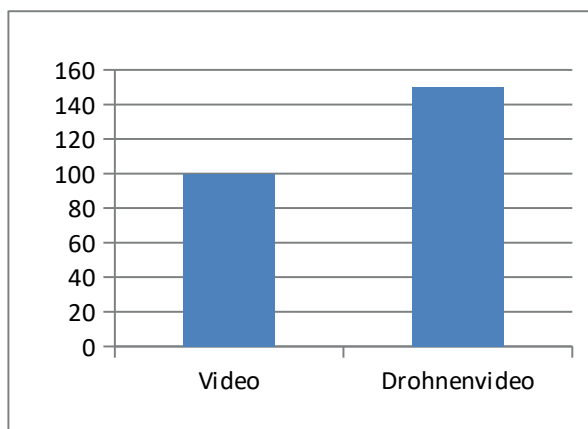


Abb. 4: Durchschnittliche Videoaufrufe im Untersuchungszeitraum auf dem YouTube-Kanal, Quelle: eigene Darstellung

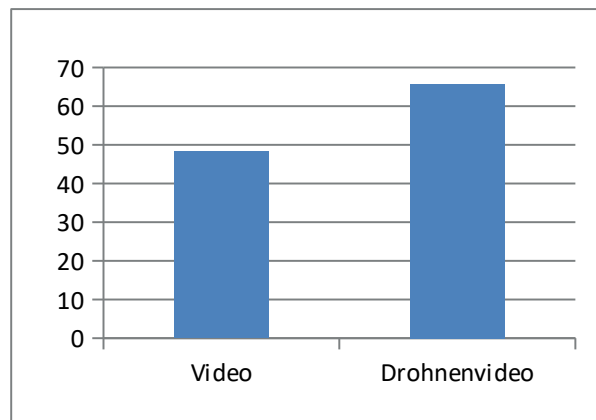


Abb. 5: Durchschnittliche Betrachtungszeit in Prozent im Untersuchungszeitraum auf dem YouTube-Kanal, eQuelle: igene Darstellung

Auf dem YouTube-Kanal wurden innerhalb des Betrachtungszeitraumes acht Videos und vier Drohnenvideos veröffentlicht. Diese wurden auch auf der Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida geteilt. Eine Abweichung bei den Drohnenvideos ergibt sich daraus, dass der für eine Kooperation mit der Freie Presse erstellte Beitrag „Baustellen in Mittweida“ bereits vor der Veröffentlichung von der Facebook-Seite „Mein Mittweede“ geteilt wurde und somit eine

weitere Veröffentlichung ausgeschlossen wurde. Im Durchschnitt erreichten die klassischen Videobeiträge 100 Personen und die Drohnenvideos 150 Personen (vergleiche Abb.4).

Neben der höheren Reichweite bei YouTube steigerte sich mit dem Einsatz von innovativen Technologien ebenfalls die Betrachtungszeit der einzelnen Videos. Lag diese bei herkömmlichen Videos noch bei 48 Prozent, verlängerte sich die Dauer bei Drohnenvideos auf 67 Prozent. Daraus ergibt sich eine erhöhte und zeitlich verlängerte Sichtbarkeit der jeweiligen Drohnenvideos, die im Vergleich zu normalen Videos ungewohnte Einblicke boten.

4. Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine deutlich gesteigerte Reichweite, Interaktion und Verweildauer bei mithilfe von innovativen Medientechnologien produzierten Bild- und Videomaterial. Dies lässt sich aktuell auf die geringe Anzahl dieser Medieninhalte und dem daraus resultierenden neuen Blickwinkel zurückführen. Da diese Inhalte beispielsweise für Facebook noch sehr neuartig sind, ist zu vermuten, dass sie häufiger durch den internen Algorithmus von Facebook im Newsfeed potenzieller Rezipienten angezeigt werden, was zu einer erhöhten Sichtbarkeit der Medieninhalte führt. Es ist jedoch anzunehmen, dass mit einer steigenden Anzahl von innovativ produzierten Inhalten der Algorithmus entsprechend angepasst wird und dadurch das kanalinterne Hervorheben unterbunden wird. Ferner steht die Annahme, dass durch den technologischen Fortschritt binnen der nächsten Jahre die 360-Grad-Fotografien und Drohnenvideos von neuen Technologien überholt werden respektive sich der Anwendungsbereich der Technologien wandelt.

5. Literaturangaben und Internetquellen

- [1] Shannon, Claude E; Weaver, Warren: The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Urbana 1949
- [2] Stadtverwaltung Mittweida [Hrsg.]: Website der Zukunftsstadt Mittweida, <http://www.zukunftsstadt-mittweida.de> (Letzter Zugriff 14. Januar 2017)
- [3] Stadtverwaltung Mittweida [Hrsg.]: Facebook-Seite der Zukunftsstadt Mittweida, <https://www.facebook.com/ZukunftsstadtMW> (Letzter Zugriff 14. Januar 2017)
- [4] Stadtverwaltung Mittweida [Hrsg.]: YouTube-Kanal der Zukunftsstadt Mittweida, <https://www.youtube.com/channel/UC9WzxJaEzIXxuKuO3dVkc-w> (Letzter Zugriff 14. Januar 2017)
- [5] Zukunftsstadt Mittweida [Hrsg.]: Kooperationsdokumentation Freie Presse, Mittweida, August 2016
- [6] Zukunftsstadt Mittweida [Hrsg.]: Mittweida ins Bild setzten, Veröffentlicht am 29. September 2016, <http://www.zukunftsstadt-mittweida.de/portfolio/mittweida-ins-bild-setzen/> (Letzter Zugriff am 4. November 2015)

Einsatz von Instagram in der kommunalen Bürgerkommunikation

Tamara Huhle, Constanze Hundt, Marina Beisel
Hochschule Mittweida, Fakultät Medien
huhle, hundt, mbeisel@hs-mittweida.de

Abstract:

Das vorliegende Paper beschreibt den Einsatz des sozialen Netzwerks Instagram auf die Einsetzbarkeit in der kommunalen Bürgerkommunikation anhand des Beispiels der Stadt Mittweida. Die Untersuchung analysiert die Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Instagram für innovative Dialogkommunikation oder für Destinationsmarketing. Ziel ist es, Handlungsempfehlungen zu formulieren, die das Netzwerk für die Kommunikation einsetzbar machen.

1. Die Kampagne Zukunftsstadt Mittweida – Stage 3 Innovative Technologien



Abbildung 1: Screenshot Instagram-Account der Zukunftsstadt Mittweida, Quelle: eigene Darstellung

Um die kommunale Bürgerkommunikation in Städten und Gemeinden von einer einseitigen Informationskultur zu einer Dialogkommunikation auf Augenhöhe weiter zu entwickeln, ist es notwendig, innovative Methoden zu etablieren, um der digitalisierten Gesellschaft gerecht zu werden. Durch eine entsprechende Dialogkommunikation wird angestrebt, die Bürger zur aktiven Teilnahme am kommunalpolitischen Geschehen zu bewegen. Als Erhebungsgrundlage wurde am 12.09.2016 der Instagram-Account „zukunftsstadtmw“ durch die Forschungsgruppe „Crossmediale Medienwirkungsforschung“ erstellt und mit Inhalt gefüllt, um crossmedial den Leitkanal Facebook zu unterstützen und um den Usern, neue visuelle Inhalte zu präsentieren.

2. Der Kanal Instagram und dessen Relevanz für die Forschung

Die App Instagram ist eine Social Media Plattform, die von neun Millionen in Deutschland lebenden Menschen genutzt wird, um Fotos und Videos mit ihren Followern zu teilen.

Vergleichend steht Facebook mit 27 Millionen Usern.¹ Nutzer der App Instagram laden Fotos und Videos auf ihrem Profil hoch und können sich andere geteilte Inhalte von Profilen anschauen, sodass ein digitales Fotoalbum entsteht. Die Besonderheit der App liegt darin, die Bilder und Videos mithilfe von Filtern und Rahmen kreativ zu bearbeiten. Dadurch entsteht eine gewisse persönliche Individualität. Die App bietet weiterhin die Möglichkeit mit der Community zu interagieren, indem der User Beiträge liked, teilt oder kommentiert. Ebenso entstehen Synergieeffekte, indem der Nutzer anderen Nutzern folgt und gegebenenfalls andere ihm folgen. Die Beiträge können mit Hilfe von Hashtags – also einem Schlagwort beschrieben und so auf Social Media Plattformen mit anderen Beiträgen mit dem gleichen Schlagwort vernetzt werden. Dadurch wird die Suchfunktion mit diesen Schlagworten ermöglicht, Nutzer können alle Beiträge mit dem jeweiligen Hashtag anzeigen lassen.

Hinsichtlich der Altersstruktur der Nutzer von Instagram ergibt sich in Deutschland eine jüngere Zielgruppe. Mit 1,2 Millionen Nutzern nimmt die Gruppe der 13 bis 19 Jährigen den größten Anteil ein, die kleinste Gruppe mit nur 11 000 Nutzern stellen die 60 bis 64 jährigen dar. Erweitert man die Hauptzielgruppe auf bis 29 Jährige, so wird Instagram von 2,56 Millionen Usern verwendet.² Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Instagram-App lag im ersten Quartal 2016 bei 20,3 Minuten pro Tag. Im Vergleich dazu wurde die Facebook-App im gleichen Betrachtungszeitraum rund 33 Minuten pro Tag verwendet³

Die drei größten privaten Instagram-Accounts in Deutschland mit dem höchsten earned media value bloggen Lifestyle-Content, dieser spezialisiert sich auf Reisen, Mode, Beauty und Interior. Earned Media Value bezeichnen Verlinkungen bei Accounts von Dritten, die den jeweiligen Influencer – also dem Einflussgeber, in ihren Postings verlinken, je höher dieser Wert ist, desto öfter wurde der Influencer von einflussreichen Accounts mit einer hohen Follower-Anzahl in deren Postings erwähnt. Analog dazu besitzen die Kanäle DM-Drogeriemarkt, Snipes Onlineshop und DM Balea, die höchste Follower-Zahl, daraus lässt sich schlussfolgern, dass Instagram vorrangig zur Kommunikation der genannten Themen im Bereich Lifestyle und Lebensgefühl verwendet wird. Dies bietet die Grundlage für die Forschungsfrage, ob Instagram ein geeignetes Tool für die kommunale Bürgerkommunikation darstellen kann. Weiterhin sollen die Möglichkeiten der Nutzung hinsichtlich der Verwendung als Dialogkommunikation oder auf visuelles Stadtmarketing eingegrenzt werden.

¹ Facebook, Instagram. n.d. Anzahl der Nutzer von Facebook und Instagram in Deutschland im Jahr 2016 (in Millionen). Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/503046/umfrage/anzahl-der-nutzer-von-facebook-und-instagram-in-deutschland/>, aufgerufen am 15.1.2017

² Hutter Consult. n.d. Schätzung der Anzahl der Instagram Nutzer in Deutschland nach Altersgruppen im Oktober 2015. Statista. , <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/469513/umfrage/instagram-nutzer-in-deutschland-nach-altersgruppen/>, aufgerufen am 15.1.2017

³ Horizont. n.d. Tägliche Nutzungsdauer der Facebook-, Snapchat- und Instagram-App durch Nutzer in Deutschland im 1. Quartal 2016 (in Minuten). Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/593780/umfrage/taegliche-nutzungsdauer-von-social-media-apps-in-deutschland/>, aufgerufen am 15.1.2017

3. Forschungsgegenstand und wissenschaftliche Methodik

Den Forschungsgegenstand stellt der Instagram-Account der Zukunftsstadt Mittweida dar. Auf diesem wurden bereits 47 Beiträge veröffentlicht und 101 Personen folgen dem Kanal (Stand: 16.01.2017). Zur Erweiterung der Thematik führte die Forschungsgruppe eine Umfrage unter Bürgermeister*innen und Kommunen über deren Social Media Verhalten durch, hierbei wurde speziell die Instagram-Nutzung untersucht und ausgewertet. Das Forschungsdesign beschreibt die beobachtende Verwendung des angelegten Kanals und des Austestens verschiedener Beitragsarten und Veröffentlichungszeiten. Die präsentierten Beiträge werden hinsichtlich der verwendeten Fotos, der Beiträge, der Nutzer-Kommentare, der demographischen Nutzerdaten der Follower und der Hashtags ausgewertet.

Die 47 Beiträge wurden in einem Contentplan erfasst und entsprechend dokumentiert. Der Contentplan sieht für jeden Untersuchungsmonat ein Monatsüberthema vor. Diese Themen ergeben sich aus den Erfahrungen der Forschergruppe in der Phase 1 und 2 des Forschungsprojektes. Die Beiträge auf Instagram korrespondieren mit den Themen der Beiträge in anderen Kommunikationskanälen zu dem jeweiligen Zeitpunkt, sodass eine einheitliche Kommunikationsstruktur und Design entsteht. Der Mehrwert besteht darin, dass für den Kanal Instagram extra Beiträge und Videos produziert werden, die die Angebote der anderen Kanäle erweitern, sodass die Nutzer in dem neuen Kanal einen Mehrwert erfahren und zur Interaktion motiviert werden. Hierbei soll untersucht werden, ob die Liker von Beiträgen über die Verknüpfung zum Leitkanal Facebook generiert werden können oder ob der Instagram-Account autark die Follower anspricht und somit die Zielgruppe der Bürgerkommunikation erweitert.

4. Auswertung der Ergebnisse

Die Forschung im Kanal Instagram soll bestehende Thesen im Bereich der Bürgerkommunikation weiterentwickeln und untersucht mögliche Hypothesen und Vorgehensweisen für den kommunalen bidirektionalen Bürgerdialog. Es werden verschiedene Methoden zur Bürgeransprache getestet, um eine Handlungs- sowie Gestaltungsempfehlung für die Dialogkommunikation zwischen Stadtverwaltung und Bürger zu entwickeln.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mittels des Tools „Business Profile“, welches in die App integriert ist und frei zugänglich ist, sobald 100 Follower erreicht werden. Anhand des Tools

lassen sich verschiedene Parameter, die den Beitrag betreffen, auswerten. Dazu gehören die Impressionen, welche die Gesamtanzahl aller Beitragsaufrufe wiedergibt, die Reichweite beschreibt die Anzahl der erreichten Nutzer sowie die Interaktionsrate, welche angibt, wie häufig auf den Beitrag reagiert wurde. Im Vergleich zwischen Reichweite und Impressionen kann somit herausgefunden werden, wie häufig der einzelne Nutzer den jeweiligen Beitrag angeschaut hat, um daraus Ableitungen für die Handlungsempfehlungen zu treffen. Neben der Beitragsanalyse kann durch das Business Profile ebenfalls auf die Nutzerdaten zugegriffen werden, sodass präzise Aussagen zur Geschlechterverteilung, der Altersstruktur, den Standorten, an welchen sich die Nutzer befinden und die sich in Städte und Länder unterteilen, sowie die zeitliche Nutzung in Stunden und Wochentagen der Zugriffe. Die Analyse bietet demnach ein konkretes Nutzungsprofil und gibt im Zusammenhang mit dem jeweiligen Beitrag an,



Abbildung 2: Screenshot Analysetool "Instagram Business Profile", Quelle: eigene Darstellung

welche Komponenten und Parameter den Nutzer, zu welcher Uhrzeit ansprechen, ob der Beitrag mehrfach besucht oder gar mit dem Beitrag interagiert wird. Zusätzlich kann untersucht werden, wie die generelle Struktur der Instagram-Nutzer aufgebaut ist, um so Aussagen treffen zu können, ob dieses Tool für die kommunale Bürgerkommunikation relevant ist und wie Reichweiten- und Interaktionsstarke Inhalte gestaltet werden müssen. Betrachtet man den Inhalt im Allgemeinen, so analysiert die Forschergruppe, welche Inhalte überhaupt ansprechen, sodass Aussagen darüber getroffen werden können, ob Grafiken mit Fakten möglich sind und von den Nutzern angenommen werden oder ob sich dieser Kanal nur für das Stadtmarketing im Rahmen von ansprechenden Bildern verwendet werden kann.

Eine Hypothese besagt, dass Hashtags für die Reichweite und für die Interaktion dienlich sind. Der Kanal beinhaltet verschiedene Beiträge, bei denen die Anzahl der Hashtags variiert. Weitere Hypothesen befassen sich mit der Nutzbarkeit von Instagram in der Dialogkommunikation, sowie mit dem Potential von möglichen Interaktionen bis hin zur Möglichkeit qualitative Diskussionen zu führen. Zusammengefasst dient die Untersuchungen, für den Nachweis der Verwendung von Instagram in der kommunalen Bürgerkommunikation als Kanal für Diskussionen über Themen, die alle Bürger interessieren oder als Teil eines Konzepts für das Stadtmarketing einer Stadt/Kommune.

5. Ausblick auf weitere Forschung

Weiterführenden Forschungen umfassen die zusätzliche und vollständige Nutzung der Möglichkeiten von Instagram. Weitere bisher noch nicht analysierte Parameter sind die Chance bezahlte Beiträge anzulegen – ähnlich den bei Facebook, bei dem für einen bestimmten Geldbetrag der jeweilige Medieninhalt beworben und mit Hilfe eines eigenen nicht öffentlichen Algorithmus im Newsfeed der Nutzer angezeigt wird. Des Weiteren existiert seit kurzem der Bereich „Instagram Stories“, welcher auf dem Prinzip des Instant Messaging Fotodienstes Snapchat basiert. Für Forschungen eignen sich hier vor allem die Verwendung der Instagram Stories durch den Nutzer und in wie weit diese eher spontane Kommunikationsform in einem Contentplan für Unternehmen oder die Politik erfasst und umsetzbar sein kann.

6. Literatur

- [1] Facebook, Instagram. n.d. Anzahl der Nutzer von Facebook und Instagram in Deutschland im Jahr 2016 (in Millionen). Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/503046/umfrage/anzahl-der-nutzer-von-facebook-und-instagram-in-deutschland/>, aufgerufen am 15.1.2017
- [2] Faßmann, Manuel & Moss, Christoph: Instagram als Marketing-Kanal. Die Positionierung ausgewählter Social-Media-Plattformen. Wiesbaden: Springer Verlag 2016
- [3] Hutter Consult. n.d. Schätzung der Anzahl der Instagram Nutzer in Deutschland nach Altersgruppen im Oktober 2015. Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/469513/umfrage/instagram-nutzer-in-deutschland-nach-altersgruppen/>, aufgerufen am 15.1.2017
- [4] Horizont. n.d. Tägliche Nutzungsdauer der Facebook-, Snapchat- und Instagram-App durch Nutzer in Deutschland im 1. Quartal 2016 (in Minuten). Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/593780/umfrage/taegliche-nutzungsdauer-von-social-media-apps-in-deutschland/>, aufgerufen am 15.1.2017
- [5] Hootsuite. n.d. Ranking der beliebtesten deutschen Unternehmen auf Instagram nach Anzahl der Follower im Juli 2016 (in 1.000). Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/427354/umfrage/top-10-beliebteste-deutsche-unternehmen-auf-instagram-nach-anzahl-der-follower/>, aufgerufen am 15.1.2017

Überzeugung fremder Passanten zur Umzugshilfe mithilfe der „Foot-in-the-Door“-Technik

Ines Heilmann, Romy Kitschke, Johannes Krause, Sebastian Schleier,

Julia Stegmann, Tobias Stinner, Linda Weber

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

ines.heilmann@hs-mittweida.de, romy.alexandra.kitschke@hs-mittweida.de,

johannes.krause@hs-mittweida.de, sebastian.schleier@hs-mittweida.de,

julia.stegmann@hs-mittweida.de, tobias.stinner@hs-mittweida.de,

linda.weber@hs-mittweida.de

Abstract: Dieser Beitrag beschreibt die Durchführung und Auswertung einer Technik, die als „Foot-in-the-Door“ bezeichnet wird. Für diesen Versuch wurde das Szenario eines Umzuges konstruiert, in dessen Verlauf zufällig ausgewählte Passanten aus studentischem Umfeld zunächst nach einem kleinen Gefallen und anschließend nach einem größeren Gefallen gefragt wurden. Darauf folgt die Auswertung der Ergebnisse sowie eine Diskussion der Auswirkungen in Hinblick auf gegenwärtige Gesellschaftseinflüsse.

1. Foot in the Door (FITD)

1.1. Einführung

Bei Foot in the Door ^[1, 6] handelt es sich um eine persuasive Kommunikationstechnik, bei der eine Zielperson dahingehend manipuliert werden soll, ein gewünschtes Verhalten zu zeigen. Bei der Technik wird eine Person um einen möglichst kleinen Gefallen gebeten, so dass eine Ablehnung möglichst unwahrscheinlich ist. Wurde erreicht, dass besagte Person bereit ist, diesen Gefallen durchzuführen, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sie im Anschluss größere Gefallen ebenfalls nicht ablehnt, zu denen sie zuvor nicht bereit gewesen wäre. Dabei wird u.A. die Tatsache ausgenutzt, dass Menschen danach streben, sich konsistent zu verhalten (s. 1.2). Andere psychologische Erklärungsversuche für diese Technik gehen aber davon aus, dass bereits bei der Durchführung des kleineren Gefallens zwischen Ausführenden des Versuchs und Probanden eine Bindung entsteht, die ein Ablehnen des größeren Gefallens für den Probanden erschwert. ^[5]

Die Foot-in-the-Door Handlungsstrategie ist aus dem Umfeld karitativer Praktiken bekannt - die Angesprochenen werden zunächst um eine kleine Spende gebeten und werden später zu mehr Engagement aufgefordert. Ähnliches kennt man auch aus dem Kontext des ethisch problematischen, manipulativen (Online-)Marketings - ein potenzieller Käufer wird beispielsweise für ein günstiges oder sogar kostenloses Probeabonnement von einem Produkt motiviert und auf diese Weise beeinflusst, nach Ablauf des Probeabos ein tatsächliches Abonnement abzuschließen. ^[8]

Die psychologische Erklärung für die Wirkung der Foot-in-the-Door -Technik liefern mehrere Verhaltensmodelle. Dholakia [1979, 1987] behauptet, dass dem Verhalten der Zielpersonen die

Selbstwahrnehmung zugrunde liegt: "Erkennt die Person nämlich, dass ihre Entscheidung für das Probeabonnement freiwillig war, unterstellt sie sich anschließend internale Motive für ihr Verhalten. die wiederum die Einstellung gegenüber ihrer Entscheidung für das Probeabonnement positiv beeinflussen und die Wahrscheinlichkeit für ein tatsächliches Abonnement der Zeitschrift steigern." [8]

1.2. Hintergründe

Laut Burger (1999) ergeben sich sechs psychologische Prozesse, die auf die Wahrscheinlichkeit, den größeren Gefallen zu erweisen, einwirken:

1. *Selbstwahrnehmung*

Nach aktuellem Stand der Einstellungsforschung sind viele Einstellungen zu gewissen Sachverhalten nicht direkt abrufbar, sondern müssen erst konstruiert werden. Dadurch ergibt sich für die Erfüllung des chronologisch ersten Gefallen die Situation, dass der Proband keinen Anhaltspunkt hat, dadurch, dass er sich allerdings während der Erfüllung des ersten Gefallen selbst beobachtet, den Schluss zieht, dass er wohl gerne in ähnlichen Situationen hilft, was die Bereitschaft, beim Erbitten des zweiten Gefallen zu helfen, erhöht. [3]

2. *Reziprozitätsregeln und Reaktanz*

Bei den Forschungen von Burger ergab sich die Beobachtung, dass kurz hintereinander erfolgende Anfragen kaum vom Foot-in-the-Door Effekt profitieren. Andererseits waren die beiden Aufgaben als eindeutige Fortführung konstruiert, was laut Burger einen positiven Einfluss haben sollte. [3]

3. *Norm-Konformität*

Teilnehmer versuchen tendenziell, gesellschaftliche Normen einzuhalten. In diesem Fall war die den Versuch ausführende Person weiblich, die Probanden allesamt männlich. Davon ausgehend, dass eine gesellschaftliche Norm existiert, nach der Männer Frauen bei körperlichen Aufgaben helfen, sollte das die Wahrscheinlichkeit einer Teilnahme erhöhen. [3]

4. *Konsistenzstreben*

Menschen sind danach bestrebt, konsistentes Verhalten zu zeigen, was die Wahrscheinlichkeit weiter steigert, dass eine angesprochene Person beim zweiten Gefallen hilfsbereites Verhalten zeigt. [3]

5. *Attributionen*

Fritz Heider stellte in seiner Attributionstheorie fest, dass Menschen dazu neigen, Gründe für das Auftreten bestimmter Ereignisse im näheren Umfeld (z.B. bei sich selbst) zu suchen. Dadurch werden ansonsten unerklärliche Phänomene plötzlich plausibel. In der hier vorliegenden Situation könnte ein Proband die Gründe für die Schwierigkeiten, in denen die den Versuch durchführende Person steckt, bei sich selbst suchen und sich so verpflichtet fühlen, zu

helfen. Ein weiterer Grund könnte sein, dass die gefragte Person den Grund dafür, dass genau sie ausgewählt wurde, darin sieht, dass sie besonders hilfsbereit wirke und diesem Bild gerne entsprechen würde. ^[4]

6. *Verbindlichkeit*

Personen, die sich auf ein bestimmtes Verhalten festgelegt haben, sind wenig bereit, davon abzuweichen, selbst wenn sich die Umstände ändern. Sobald die Entscheidung getroffen wurde, hilfsbereit zu sein, erscheint es sinnvoller, auch beim zweiten Gefallen hilfsbereit zu bleiben, um die Gesamthandlung konsistent zu halten. ^[3]

Insgesamt ergibt sich eine starke theoretisch angenommene Erhöhung der Hilfsbereitschaft, die jedoch in dem durchgeführten Experiment nicht bestätigt werden konnte.

1.3. **Adaption**

Foot-in-the-Door ist eine allgemein anerkannte und vielfach untersuchte Methode der psychosozialen Manipulation. Der Großteil dieser Untersuchungen wurde jedoch in den 70er & 80er Jahren durchgeführt und seit dieser Zeit im wissenschaftlichen Feld der Psychosozialogie als gegeben hingenommen. Meta-Studien^[2] kommen aber zum Ergebnis, dass der FITD-Effekt keine so stabilen Ergebnisse produziert wie bisher angenommen, und Durchführungen ähnlicher Experimente nicht selten negierende Ergebnisse zutage förderten. Die Anzahl und der Anteil an Faktoren für den Erfolg der Anwendung der FITD-Technik scheint damit nicht vollständig aufgeklärt zu sein. Eine große Rolle für den Erfolg der Technik scheint die Menge der Zeit zu sein, die zwischen den Gefallen verstreicht. Das Original Experiment von Freedman und Fraser, dass 1966 durchgeführt wurde, ließ bis zu zwei Wochen verstreichen, und erreichte den größten Effekt. Weitestgehend unergründet ist damit die Wirksamkeit der FITD-Technik bei weit geringerem zeitlichem Abstand. ^[7]

Dieses Vorhaben soll einen Beitrag in der Ergründung ebendieser Wissenslücke leisten.

Die Unterschiede in den Vorbedingungen zum Original-Experiment von Freedman und Fraser sind somit zweierlei:

- I. Der Effekt der Methode wird auf die heutige Zeit übertragen.
- II. Die Menge der Zeit, die zwischen den Gefallen eingefordert wird, wird drastisch verkürzt: Sie erfolgen unmittelbar aufeinander.

Gemäß dem Effekt der Foot-in-the-Door-Technik wird erwartet, dass die Anzahl der Personen in der Versuchsgruppe, die bereit ist, den zweiten Gefallen(II) zu erweisen, höher ist als in der Kontrollgruppe.

2. **Experiment**

2.1. **Zielgruppe**

Die Zielgruppe des Versuchs sind ausschließlich männliche Studenten der Fachhochschule Mittweida in dem Altersbereich von 18 bis 30 Jahren.

2.2. Vorgehensweise

Zur Erzeugung des Umzugsszenarios wurden an einer Straße Hochschule und der Mensa mehrere Umzugskartons aufgestellt und künstlich beschwert.

2.3. Methode

Zur Mittagsstunde, wenn zwischen der Hochschule und der Mensa der größte Personenverkehr vorherrscht, wurden von der den Versuch durchführenden Person zehn Passanten nach Gefallen befragt. Dabei werden nacheinander zwei unterschiedliche Gefallen eingefordert:

I: Der Proband wird darum gebeten, auf die Umzugskartons eine unbestimmte Zeit lang aufzupassen, während sich der Tester von dem Ort entfernt. Als Vorwand wird angegeben, man wolle noch einen Umzugskarton holen, den man im Auto gelassen habe.

II: Wenn der Proband dem Gefallen zugestimmt und ihn durchgeführt hat, wird er danach gefragt, die Umzugskartons zum Bestimmungsort tragen zu helfen.

Spätestens wenn der zweite Gefallen akzeptiert wurde, wird der Versuch aufgelöst und dem Probanden seine Teilnahme an dem Experiment mitgeteilt.

Das Experiment wurde an zehn verschiedenen Personen durchgeführt. Diese Gruppe ist die *Versuchsgruppe*.

Das Experiment wird weiterhin an weiteren zehn Personen mit einer leichten Modifizierung des Versuchs durchgeführt: Statt zuerst den kleineren, ersten Gefallen(I) einzufordern, wird gleich um den zweiten Gefallen(II) gebeten. Bei dieser Gruppe handelt es sich um die *Kontrollgruppe*.

3. Ergebnisse

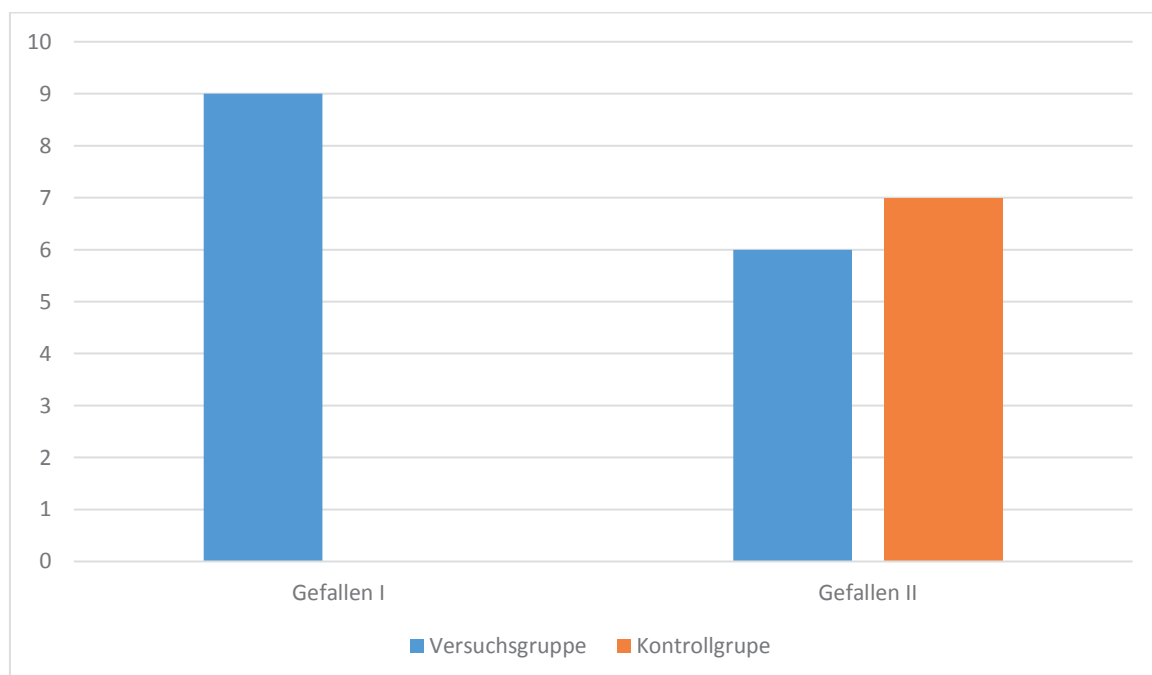


Abbildung 1: Erfasste Daten

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, waren, entgegen der Erwartung, sogar mehr Personen aus der Kontrollgruppe bereit, den größeren Gefallen II zu leisten, als aus der eigentlichen Versuchsgruppe. In der Versuchsgruppe waren immerhin noch 6 Personen dazu bereit, nachdem 9 von Ihnen bereits den kleineren Gefallen I leisteten.

4. Diskussion

Die erhobenen Daten konnten die These des Foot-in-the-Door-Effektes nicht stützen. Eine Widerlegung der These ist dadurch allerdings nicht gegeben, da zahlreiche Studien die Wirksamkeit des Effektes belegen.

Die erhobenen Daten bestätigen jedoch die Vermutung, dass die verstrichene Zeit zwischen den Gefallen von größerer Bedeutung zu sein scheint. Verwässert wird die Eindeutigkeit zum Bezug zum Faktor „Zeit“ jedoch durch das Alter des Original-Experimentes: Es kann nicht eindeutig zugeordnet werden, ob die Ursache für die gegen die Erwartung ausgefallenen Daten ausschließlich auf den Zeitunterschied zwischen den Gefallen zurückzuführen ist. Aufgrund der Instabilität der Technik, welche bereits 1983 in einer Meta-Studie ^[2] erforscht wurde, ist davon auszugehen, dass soziologische Veränderungen, die die Gesellschaft seit den 60er Jahren durchlebt hat, ebenfalls eine Rolle spielen.

Durch die Vielzahl von Angeboten, denen sich ein Benutzer des Internets ständig gegenübersteht, muss zwangsläufig eine Erhöhung der Ablehnungsrate erfolgen. Diese könnte dazu führen, dass heutige Probanden im Gegensatz zu den Versuchspersonen von früheren Versuchen zunächst von einer Ablehnung eines Angebots ausgehen und erst, wenn sich triftige Gründe für das Annehmen des Angebots finden lassen, ihre Meinung ändern. Dieses Bewertungsschema führt dazu, dass die schwach angestiegene Bereitschaft aus dem Foot-in-the-Door-Prinzip nicht ausreicht um die starke Initialskepsis zu überbieten. Dadurch schlägt der Versuch, den größeren Gefallen zu erhalten, fehl. ^[9]

Ein weiterer Punkt könnte die stark erhöhte Geschwindigkeit im Alltag sein. Diese führt dazu, dass jeder Ereigniskette weniger Zeit eingeräumt wird. Nach der Erfüllung des ersten Gefallens ist die Aufmerksamkeitsspanne des Probanden bereits erschöpft. Vielleicht wäre er bereit, einen weiteren Gefallen zu leisten, allerdings speziell *nicht* einen Gefallen, der auf dem bereits erwiesenen aufbaut. Sollte der zweite Gefallen jedoch eine neue Ereigniskette auslösen, wäre der Proband bereit, diesen zu erfüllen. Das jedoch widerspricht der Voraussetzung von FITD, dass die beiden Gefallen aufeinander aufbauen sollen. ^[9]

5. Zusammenfassung

Das Ziel des Versuches bestand darin, die Wirksamkeit des Foot-in-the-Door-Prinzips zu untersuchen. Dabei ist aufgefallen, dass die Ergebnisse von Freedman & Fraser von 1966 nicht bestärkt werden konnten, da keinerlei verstärkende Wirkung des Prinzips nachgewiesen werden konnte. Zurückführen lässt sich das möglicherweise auf eine Veränderung der Gesellschaft

durch ein Überangebot via Internet oder eine Reduzierung der Aufmerksamkeitsspanne durch die Erhöhung der Schnellebigkeit.

6. Schlussbemerkungen

Alle männlichen Formen eines Nomens (z.B. Proband) stehen selbstverständlich stellvertretend für jede mögliche Geschlechtsform und wurden rein aus Gründen der Lesbarkeit gewählt.

Die Autoren des Papers bedanken sich bei Robert J. Wierzbicki für das sorgfältige Lesen des Manuskripts, wertvolle Tipps und Unterstützung.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Freedman, J., & Fraser, S. (1966). Compliance without pressure: the foot-in-the-door technique. *Journal of Personality and Social Psychology* 4
- [2] Beaman, A., Cole, M., Preston, M., et al. (1983). Fifteen years of foot-in-the-door research: a meta-analysis. *Personality and Social Psychology Bulletin* 9
- [3] Burger, J. (1999). The foot-in-the-door compliance procedure: a multiple-process analysis and review. *Personality and Social Psychology Review* 3
- [4] Heider, F. (1977). *Psychologie der interpersonellen Beziehungen*. Stuttgart: Klett.
- [5] Strohner, H. (2006). *Kommunikation: kognitive Grundlagen und praktische Anwendungen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht
- [6] Hewstone, M., Stroebe, W., Jonas, K. (Herausgeber, 2014). *Sozialpsychologie*. Heidelberg: Springer
- [7] Guéguen, N., Jacob, C. (2001). Fund-Raising on the Web: The Effect of an Electronic Foot-in-the-Door on Donation. *CyberPsychology & Behavior* Volume 4, Number 6
- [8] Eisend, M. (2013). *Glaubwürdigkeit in der Marketingkommunikation: Konzeption, Einflussfaktoren und Wirkungspotenzial*. Heidelberg: Springer
- [9] Monahan, T. (2006): *Surveillance and Security: Technological Politics and Power in Everyday Life*. London: Routledge

Ingenieurwissenschaften

Effiziente Oberschwingungskompensation mithilfe von intelligenten Ladesäulen für die Verbesserung der Spannungsqualität im Verteilnetz

Lutz Rauchfuß, Jérémie Foulquier

Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften

foulquie@hs.mittweida.de

Abstract: Der Wandel des elektrischen Netzes zum Smart Grid und die dezentrale Einspeisung aus erneuerbaren Quellen erfordert den Einsatz innovativer Netzbetriebsmittel. Mit der Forschung an einer intelligenten Ladesäule für Elektrofahrzeuge wird das Ziel verfolgt, einen intelligenten Netzteilnehmer zu entwickeln, der zur Modernisierung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes und zum Durchbruch der Elektromobilität beiträgt.

1. Einleitung

Die Einhaltung der Klimaziele durch die Reduktion der CO₂ Emissionen hat die Energiewende in Deutschland, zusammen mit der Steigerung der Energieeffizienz, eingeleitet. Die dezentral erzeugte Energie aus erneuerbaren Quellen ist für das elektrische Netz eine neue Herausforderung, die auch eine dezentrale Regelung der Spannung und des Energieflusses erfordert. „Der Einsatz innovativer Betriebsmittel kann zu einer deutlichen Reduktion des Ausbaubedarfs der Stromverteilnetze beitragen“^[1] und stellt damit eine Schlüsselaufgabe bei der Modernisierung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes dar.

Eng verbunden mit der Energiewende verfolgt die Bundesregierung das Ziel, bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen. Durch E-Fahrzeuge, gespeist aus erneuerbarer Energie, sollen die CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden. Die zukünftige E-Fahrzeugflotte stellt einen neuen Verbrauchertyp dar, der in moderne Energienetze integriert werden muss. Mit der Forschung an einer netzdienlichen DC Ladestation wird das Ziel verfolgt, das Schnellladen von E-Fahrzeugen zu ermöglichen und gleichzeitig mit einem dezentralen Steuerventil die Netzspannungsqualität stellen zu können.

1.1 Projekt der intelligenten DC Ladesäule

Die Reichweite ist das Akzeptanzproblem Nr.1 der Elektrofahrzeuge. Die kommenden Elektrofahrzeuge werden über höhere Batteriekapazitäten von etwa 60kWh verfügen und somit Reichweiten von bis zu 400km erreichen können. Die Ladung dieser größeren Batterien ist unter einer Stunde nur durch die Verwendung von Gleichstrom (DC-Ladesäulen) möglich. DC Ladestationen stellen der Batterie direkt Gleichstrom zu Verfügung und übernehmen die notwendige Umformung der elektrischen Energie von AC zu DC. An Photovoltaikanlagen erfolgt die Energieumformung in entgegengesetzter Richtung von DC zu AC, mit einem Wechselrichter der den elektrischen Strom wandelt und ins Netz einprägt. Der Wechselrichter bietet neben dem bidirektionalen Energiefluss, für das Laden und Entladen der

Fahrzeuggestricke, zusätzliche Möglichkeiten als aktiver intelligenter Netzteilnehmer. Die Forschung zu intelligenten Netzteilnehmern wurde durch die Entwicklung neuer Funktionen und Steuerverfahren des Wechselrichters, mit dem Projekt der intelligenten DC Ladesäule begonnen.

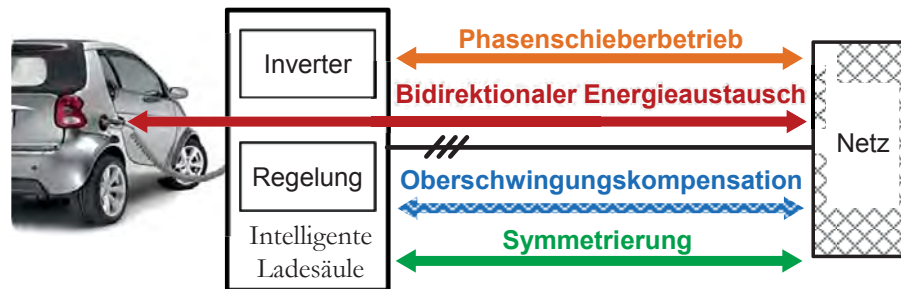


Abbildung 1: Netzdienliche Funktionen der intelligenten Ladesäule

Durch die Regelung verschiedener Leistungsarten (Abbildung 1: Wirkleistung, Phasenschieberbetrieb, Oberschwingungskompensation, Symmetrierung) kann die Kopplung der Elektromobilität mit dem elektrischen Netz zur dezentralen Steigerung der Effizienz und Netzspannungsqualität beitragen. Die netzdienliche DC Ladesäule stellt damit eine hochwertige Möglichkeit zur Ladung des Elektrofahrzeugs dar und kann Netzurückwirkungen anderer Verbraucher gleichzeitig kompensieren. Die Entwicklung der Oberschwingungskompensation mit der intelligenten Ladesäule stellt die größte reglungs-technische Herausforderung und Innovation des Projektes dar und wird hier präsentiert.

1.2 Problematik: zunehmend Oberschwingungserzeuger

Die Verbreitung der Leistungselektronik in der Unterhaltungs- und Computertechnik seit den 2000er Jahren ließ den Anteil an nichtlinearer Verbraucher weiter steigen. Moderne kleine Schaltnetzteile für Haus- und Bürogeräte sind heute die bekanntesten Oberschwingungserzeuger. Die Vielfalt dieser Schaltnetzteile führt aber auch zu einer vorteilhaften natürlichen Auslöschung^[2] von Oberschwingungsströmen im Niederspannungsnetz, sodass nur eine mäßige Verzerrung der Netzspannung entsteht. Diese nichtlinearen Lasten sind überall im Niederspannungsnetz verteilt und stellen deshalb unidentifizierte Oberschwingungsquellen dar. Die Kompensation der einzelnen Quellen ist unwirtschaftlich, so dass Strategien für die gemeinschaftliche Kompensation dieser vielen Quellen erforderlich sind. Die herkömmliche Kompensationsmaßnahme besteht aus verteilten Aktivfiltern im Niederspannungsnetz, die eine kooperative Kompensation der Spannungsüberschwingungen realisieren. Eine solche Kompensationsstrategie wurde im Forschungsprojekt entwickelt und erweitert.

2 Kompensation der Oberschwingungen der Netzspannung

2.1 Stand der Technik

Es wurden seitdem es Oberschwingungsprobleme gibt, viele verschiedene Kompensationsstrategien entwickelt und erfolgreich angewendet ^{[3][4]}. Die Ziele die mit der Oberschwingungskompensation verfolgt werden sind, die Stromoberschwingungen einer nichtlinearen Last oder die Spannungsoberschwingungen des Netzes unter die gesetzlichen Grenzwerte zu reduzieren. Für die Kompensation der Spannungsoberschwingungen werden parallele Spannungsfilter verwendet. Die Ladesäule als paralleles Spannungsfilter kann gleichzeitig mehrere unidentifizierte nichtlineare Verbraucher kompensieren (Abbildung 2).

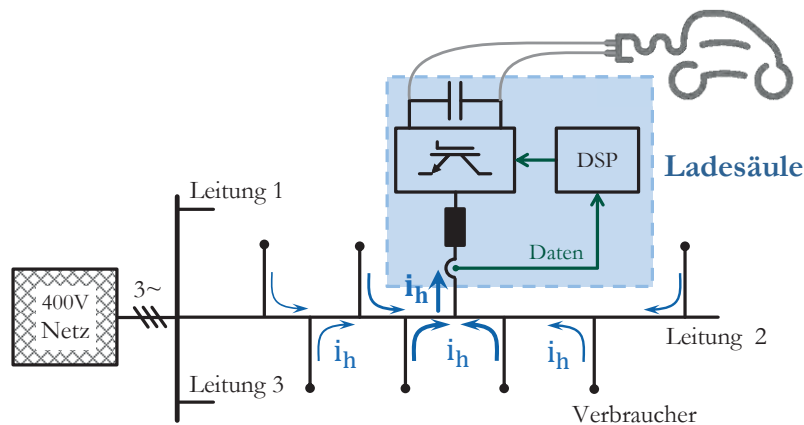


Abbildung 2: Die intelligente Ladesäule als paralleles Aktivfilter

Die ersten Spannungsfilter^[5] der 1990 Jahre wurden als eine Art ohmsche Oberschwingungsverbraucher entwickelt. Der Nachteil war eine Verstärkung der kleineren Oberschwingungen. Durch die Anwendung von Filterbänken wurde es möglich, jede Oberschwingung separat zu kompensieren^[6]. Das Verstärkungsproblem wurde somit beseitigt und die Effizienz verbessert. Die intelligente Ladesäule ist ein aktiver Filter der sich an verschiedene Frequenzen anpassen lässt, basierend auf der Fourier Transformation werden erst die einzelnen Oberschwingungsfrequenzen gemessen und anschließend kompensiert. Durch diese Selektivität werden nur ausgewählte Oberschwingungen, die über den gesetzlichen Grenzwerten liegen, gezielt kompensiert und somit eine Einhaltung der Verträglichkeitspegel laut EMV-Normen im Niederspannungsnetz gewährleistet.

2.2 Kompensation der Oberschwingungen mit der intelligente Ladesäule

2.2.1 phasengeregelte Oberschwingungskompensation der Netzspannung

In Folge der Auswertung jeder Oberschwingung mit dem gleitenden diskreten Fourier Transformation (GDFT), werden einzelne Oberschwingungsfrequenzen mit der Ladesäule selektiv kompensiert. In einem Niederspannungsnetz mit Spannungsoberschwingungen kann ein Oberschwingungsverbraucher die Oberschwingungsströme der nichtlinearen Lasten

aufnehmen und führt somit zu einer Reduktion der Spannungsüberschwingungen. Diese Erkenntnisse stellen die Grundlage der Oberschwingungskompensation dar. Die Ladesäule prägt einen Kompensationsstrom so ein, dass sie die Oberschwingungsströme des Netzes aufnimmt und einen Spannungsabfall, d.h. eine Reduktion der Oberschwingungsspannung bewirkt. Übliche Spannungsfilter werden als ohmsche Oberschwingungsverbraucher geregelt, indem der Kompensationsstrom und die Spannungsüberschwingung gleichphasig sind. Diese ohmsche Kompensationsart ist wirkungsvoll, verwendet aber oft mehr Kompensationsstrom als notwendig. Für eine effizientere Kompensation der Spannungsüberschwingung mit der intelligenten Ladesäule, wurde eine zusätzliche Phasenregelung des Kompensationsstromes entwickelt. Die Einstellung eines optimalen Phasenwinkels des Kompensationsstromes verbessert die Wirkung des Kompensationsstromes wie es in Abbildung 3 dargestellt ist.

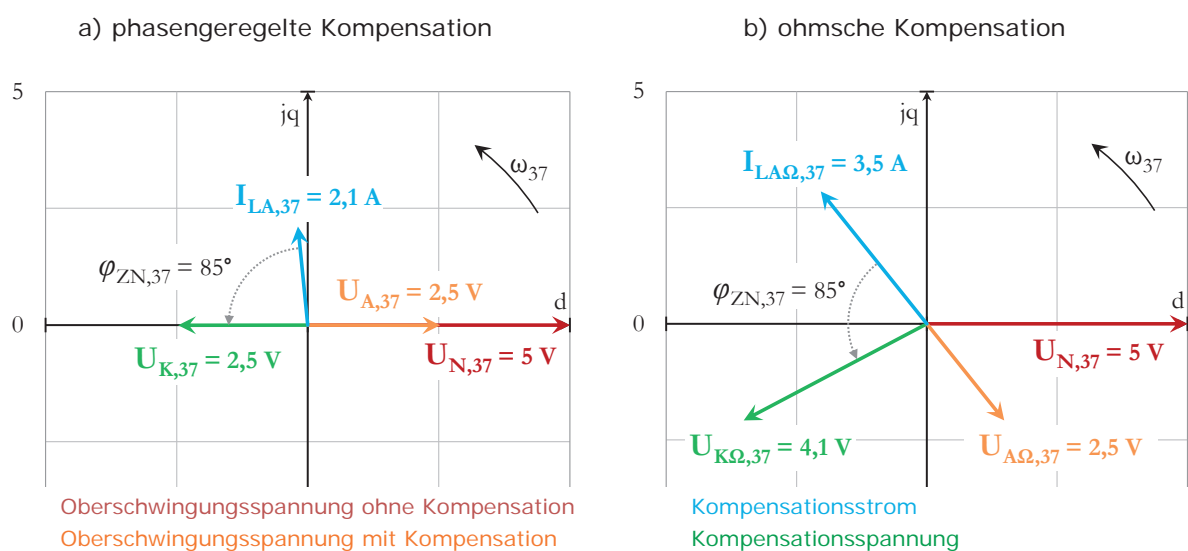


Abbildung 3: Vergleich der Kompensationsstrategie

Die Spannungsüberschwingung ist vor der Kompensation mit dem roten Zeiger $U_{N,37} = 5V$ und nach der Kompensation mit dem orangenen Zeiger $U_{A,37} = 2,5V$ in a) und b) dargestellt. Für diese Teilkompensation der 37. Spannungsüberschwingung auf den Verträglichkeitspegel von 2,5V benötigt die phasengeregelte Kompensation 40 % weniger Kompensationsstrom mit $I_{LA,37} = 2,1A$, als die ohmsche Kompensation mit $I_{LA\Omega,37} = 3,5A$. Der Vorteil einer solchen phasengeregelten $\varphi_{ZN,37}$ Kompensation erfordert die Parameter der Netzimpedanz, da sie in der Regel unbekannt ist, übernimmt an der Ladesäule ein Extremwertregler die Suche nach dem optimalen Phasenwinkel des Kompensationsstromes. Der Extremwertregler moduliert ein kleines Störsignal auf den Kompensationsstrom, um so die Netzimpedanz zu messen. Die Verwendung mehrerer Störsignale auf verschiedenen Frequenzbändern, würde eine kooperative Kompensation der Oberschwingungen mit mehreren Extremwertreglern und Ladesäulen ermöglichen.

2.2.2 Prototyp der intelligenten Ladesäule

Der Betrieb eines 10kVA Prototyps der intelligenten Ladesäule mit der vorgeschlagenen Regelungsstrategie wurde mit dem Testnetzwerk in Abbildung 4 im Labor verifiziert.

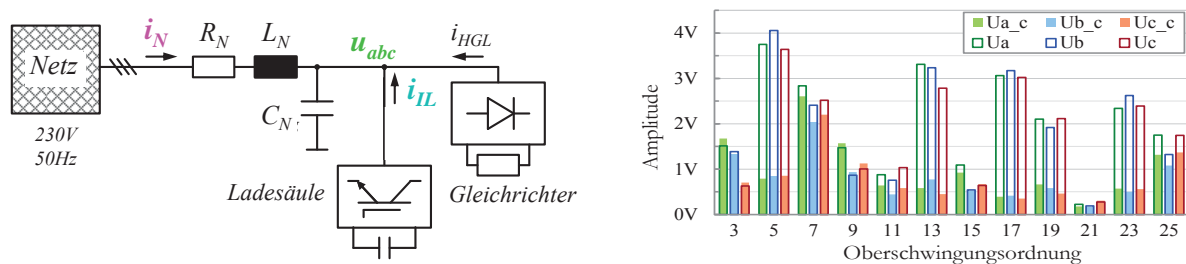


Abbildung 4: Testnetzwerk und Messergebnisse

Die Spannungsüberschwingungen des Gleichrichters (Abbildung 4) werden durch die Netzimpedanz (R_N, L_N, C_N) verstärkt. Demzufolge zeigt der Netzstrom i_N vor der Kompensation in Abbildung 5 (links) eine Verzerrung $THDi=28\%$ welche zu beachtlichen Spannungsüberschwingungen $u_{a,b,c}$ am Anschlusspunkt der Ladesäule führt (Abbildung 4, umrahmte Balken).

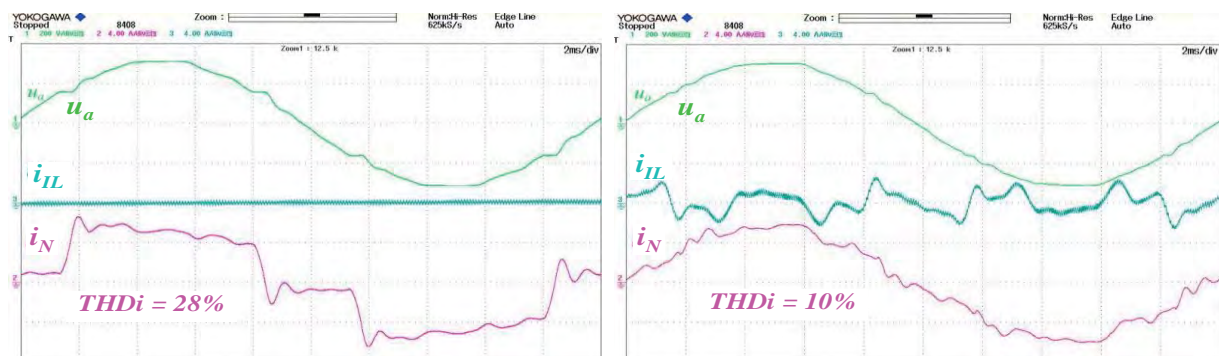


Abbildung 5: Messergebnisse vor und nach der Oberschwingungskompensation

Der Kompensationsstrom i_{LL} in Abbildung 5 (rechts) prägt die 5. 11. 13. 17. 19. 23. und 25. Oberschwingung ins Netz ein und führt dadurch zu einem sinusförmigeren Netzstrom i_N mit weniger Verzerrung $THDi = 10\%$. Das Ergebnis nach der Kompensation der Spannungsüberschwingungen ist in Abbildung 4 (volle Balken) deutlich zu erkennen. Die DC-Ladesäule arbeitet selektiv, kann also bestimmte Oberschwingungen kompensieren, ohne dass andere Oberschwingungen sich dabei verändern.

3 Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt der netzdienlichen DC Ladesäule an der Hochschule Mittweida zielt auf die Synergie zwischen dem Smart Grid und der Elektromobilität. Als Schnittstelle zwischen dem Niederspannungsnetz und der Fahrzeugbatterie soll die DC Ladesäule die Anforderungen beider Seiten sinnvoll kombinieren. Einerseits bietet die DC Ladung kurze Ladezeiten für Batterien größerer Kapazität und ermöglicht somit eine Erweiterung der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Andererseits können mit dem Inverter der DC Ladesäule

Netzdienstleistungen angeboten werden. Durch die Einspeisung von Blindleistung, die Kompensation von Oberschwingungen und die Symmetrierung der Leiterspannungen wird die intelligente Ladesäule zum dezentralen Stellglied für die Regelung der Spannungsqualität und kann zur Effizienzsteigerung des Netzes beitragen. Ziel der weiteren Forschung ist eine autonome und dezentrale Regelung des Niederspannungsnetzes, bestehend aus intelligenten Netzteilnehmern.

Literaturverzeichnis

- [1] DENA Studie „Ausbau- und Innovationsbedarf in den Stromverteilnetzen in Deutschland bis 2030
- [2] L. Kütt, E. Saarijärvi, M. Lehtonen, H. Mölder and J. Niitsoo, "Current harmonics of EV chargers and effects of diversity to charging load current distortions in distribution networks," 2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Las Vegas, NV, 2013, pp. 726-731
- [3] B. Singh, K. Al-Haddad and A. Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 46, no. 5, pp. 960-971, Oct 1999.
- [4] H. Akagi, "The state-of-the-art of active filters for power conditioning," Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on, Dresden, 2005, pp. 15 pp.-P.15.
- [5] P. Jintakosonwit, H. Akagi, H. Fujita and S. Ogasawara, "Implementation and performance of automatic gain adjustment in a shunt-active filter for harmonic damping throughout a power distribution system," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 17, no. 3, pp. 438-447, May 2002.
- [6] Tzung-Lin Lee, Jian-Cheng Li, Po-Tai Cheng. „Discrete Frequency Tuning Active Filter for Power System Harmonic“ IEEE Trans. Power Electron, 2009, vol. 24, no. 5, pp. 1209-1217, 2009.

Laser-Strukturierung von Perowskit-Solarzellen

Christof Schultz^{1,*}, Felix Schneider^{1,2}, Steve Albrecht³, Rutger Schlatmann^{1,2}, Bert Stegemann¹

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin, Wilhelminenhofstr. 75A, 12459 Berlin

² Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, PVcomB, Schwarzschildstr. 3, 12489 Berlin

³ Helmholtz-Zentrum Berlin, Institut für Silizium-Photovoltaik, Kekuléstraße 5, 12489 Berlin

*schultz@htw-berlin.de

Abstract: Die Fertigung neuartiger Perowskit-Solarmodule erfordert eine elektrische Serienschaltung und damit die präzise und selektive Strukturierung der einzelnen funktionalen Schichten. Hier demonstrieren wir die vollständige Strukturierung (P1 – P3) unter Verwendung von ns- und ps-Laser-Pulsen. Geeignete Prozessfenster wurden durch systematische Variation der Pulsenergie und anschließender umfassender Charakterisierung der morphologischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften qualifiziert.

1 Motivation und Hintergrund

Der weltweite Kostendruck in der Photovoltaik erfordert eine deutliche Verringerung der Herstellungskosten von Solarmodulen bei gleichzeitig hohen Wirkungsgraden. Seit einigen Jahren sind organisch-anorganische Hybridsolarzellen mit einer Perowskit-Absorberschicht, wie $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, Gegenstand der Forschung und Entwicklung, als kostengünstige Alternative zu herkömmlichen Silizium-basierten Solarzellen sowie als Ergänzung in Tandemstrukturen. Innerhalb kürzester Zeit ist es gelungen, die Effizienz derartiger Perowskit-Solarzellen von 3.8 % auf über 22 %, und damit in den Bereich etablierter Technologien, zu steigern^{1,2}. Gegenwärtig werden die Zellen noch im Labormaßstab hergestellt um die Zelleigenschaften selbst zu optimieren und sind daher mit einer Fläche von typischerweise unter 1 cm^2 noch sehr klein. Das bevorstehende Skalieren auf industrierelevanten Größen (ca. 1 m^2) erfordert jedoch eine Strukturierung der Schichten zur seriellen elektrischen Verschaltung. Dies ist notwendig, um die Spannung zu erhöhen, den Strom zu begrenzen und damit die elektrischen Verluste zu minimieren.

Ähnlich den bekannten Dünnschicht-Solarzellen, wie z.B. CIGSe, bestehen Perowskit-Solarzellen typischerweise aus einer Abfolge dünner Schichten, die auf einem Trägermaterial, wie Glas oder Folie, abgeschieden werden. So wie in Abbildung 1 dargestellt, besteht dieser Schichtstapel prinzipiell aus der photoaktiven Perowskitschicht, die in selektive Kontaktschichten (hier PCBM und PTAA) sowie zwei elektrisch leitende Schichten, hier Indium-Zinnoxid (ITO) und Silber, eingebettet ist.

Die elektrische Verschaltung beinhaltet eine Strukturierung dieser Schichten in eine Serie von Zellen. Dabei erfolgt ein selektives Abtragen von sehr feinen Linien in den dünnen Schichten, so dass zum einen geöffnete Bereiche entstehen, die eine leitfähige Verbindungen zwischen

Front- und Rückkontakt ermöglichen und zum anderen die bei der Strukturierung entstandenen einzelnen Solarzellenstreifen elektrisch voneinander isolieren. Dazu sind typischerweise drei Strukturierungsschritte, bezeichnet mit P1, P2 und P3 im Wechsel mit der Schichtabscheidung notwendig, um die Solarzellen zu trennen und die sogenannte monolithische Serienschaltung durchzuführen (siehe Abb. 1).

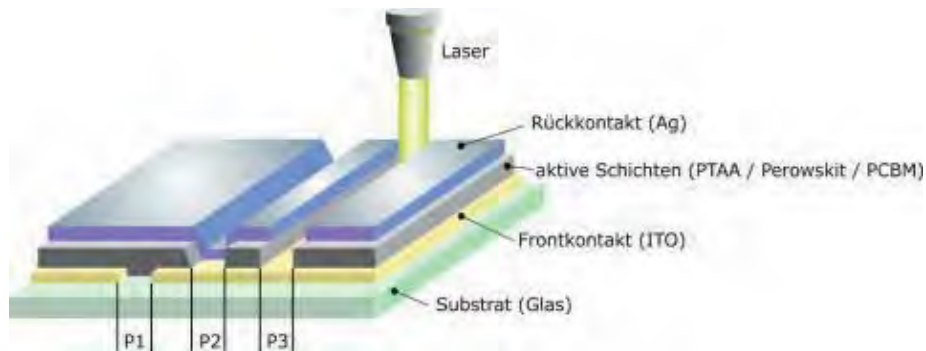


Abbildung 1: Schichtaufbau und Verschaltungsschema von Perowskit-Solarzellen

Neben der konventionellen Strukturierung durch Ritzen unter Verwendung von Nadeln, etablieren sich zunehmend Laser in der industriellen Fertigung zur selektiven Strukturierung dünner Schichten. Laser-Strahlung zeichnet sich durch sehr hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, gute Fokussierbarkeit und Variabilität aus, wodurch sehr schmale Linien präzise geschnitten werden können. Dadurch können bisher verwendete mechanische Werkzeuge durch kontaktlose Laser-Bearbeitung ersetzt und so eine höhere Präzision, höhere Produktionsgeschwindigkeiten und Effizienz realisiert werden. In vorangegangenen eigenen Arbeiten wurden bereits systematisch Laser-basierte Strukturierungsprozesse und verschiedene Verschaltungskonzepte für unterschiedliche Arten von Dünnschichtsolarzellen, wie CIGSe und Si entwickelt und der Funktionsnachweis erbracht werden^{3,4}. Daran anknüpfend geht es in diesem Beitrag um die Entwicklung und Etablierung von Laser-basierten Strukturierungsschritten für die Herstellung von Perowskit-Solarmodulen.

2 Experimentelles

Das in dieser Arbeit verwendete Laser-System ist mit einem hochpräzisen, linearmotorgetriebenen Achssystem zur Probentranslation sowie einer Nanosekunden- und einer Pikosekunden-Laser-Quelle ausgestattet. Beide Laser-Quellen sind Dioden-gepumpte Festkörper-Laser (ps: Time Bandwidth, Star Pico; ns: Rofin, SL3PV). Für die P1-Strukturierung (ITO) wurde die ps-Laser-Quelle bei einer Wellenlänge von 1064 nm verwendet, die P2- und P3-Strukturierung erfolgte mit der ns-Laser-Quelle bei einer Wellenlänge von 532 nm. Aufgrund der Sensitivität der Perowskit-Schicht gegenüber Luftfeuchtigkeit wurde die Strukturierung unter Schutzatmosphäre (N_2) durchgeführt.

Zur Charakterisierung der Morphologie der P1, P2 und P3-Schnitte wurde ein Rasterelektronenmikroskop (REM, SEM Hitachi S4100) eingesetzt. Die elektrische Funktionalität des P1-Schnitts wurde mittels Widerstandsmessung anhand des Isolationswiderstandes über die Grabenstruktur bewertet. Für den P2-Schnitt, der anhand von c-AFM-Messungen (Leitfähigkeitsrasterkraftmikroskopie, NT-MDT NTEGRA) ermittelt wurde, wurde die vertikale Leitfähigkeit bei einer Bias-Spannung von 1 V als Maß für die Leitfähigkeit zum Frontkontakt verwendet. Die Funktionalität des P3-Schnittes, der benachbarte Zellen voneinander elektrisch trennen soll, wurde aus EDX-Messungen (energiedispersive Röntgenspektroskopie) abgeleitet. Die Auswertung der Röntgenspektren ermöglicht es, die Elementzusammensetzung des Schnittes über die Intensität zu quantifizieren und damit den Nachweis des vollständigen Abtrags der Rückkontakt- und Absorberschicht zu erhalten.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1. P1-Strukturierung

Die Messung des elektrischen Widerstandes senkrecht zum P1 Laser-Graben, der das ITO trennt, diente zur Qualifikation der Güte des Schnittes. Dazu wurde die ITO-Schicht in 10 mm Abständen mit unterschiedlichen Laser-Pulsenergien und hohem Puls-zu-Puls-Überlapp (~99%) strukturiert. Der elektrische Widerstand über die P1-Struktur wurde dann über eine Schnittlänge von 10 mm mit einer Widerstandsmessung ermittelt. Neben der elektrischen Isolation der P1-Strukturen müssen die Schnitte auch noch frei von (hochstehender) Debris sein, welche die nachfolgend deponierte Schicht kurzschließen würde. Daher wurde die Strukturierung des ITO von der Schichtseite aus durchgeführt.

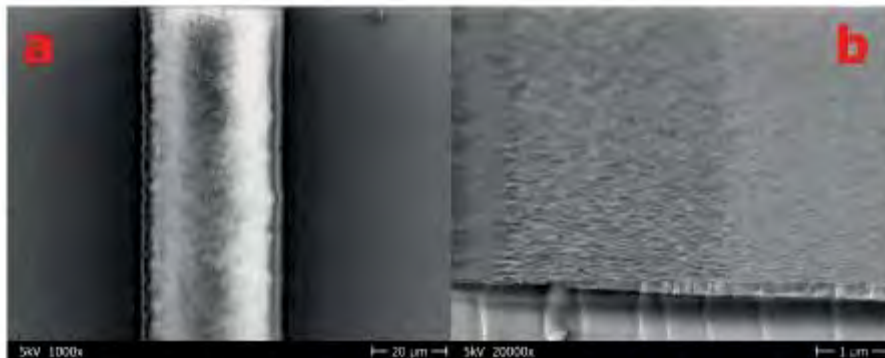


Abbildung 2: REM-Aufnahmen des schichtseitigen Bearbeitungsergebnisses für den P1-Schnitt. Die Abbildungen zeigen die ITO-Schicht (a) in der Draufsicht bei 1000facher Vergrößerung und (b) als Profilansicht bei 20000facher Vergrößerung (b). Beide Aufnahmen wurden bei 5 kV Anregungsspannung aufgenommen.

Abbildung 2 stellt das Bearbeitungsergebnis der ITO-Strukturierung dar. Es ist zu erkennen, dass die P1-Struktur an den Rändern frei von hochstehender Debris ist, eine homogene Schnittqualität aufweist und somit für die Herstellung eines Moduls prinzipiell geeignet ist. Abbildung 3 stellt den gemessenen Isolationswiderstand als Funktion der Laser-Pulsenergie

für die schichtseitige Bearbeitung dar. Der maximale Widerstand von 40 M Ω entspricht der Messbereichsgrenze des Messgeräts. Es ist zu erkennen, dass eine minimale Pulsenergie von > 40 μ J für den vollständigen Materialabtrag notwendig ist um die Frontkontaktschicht elektrisch zu trennen.

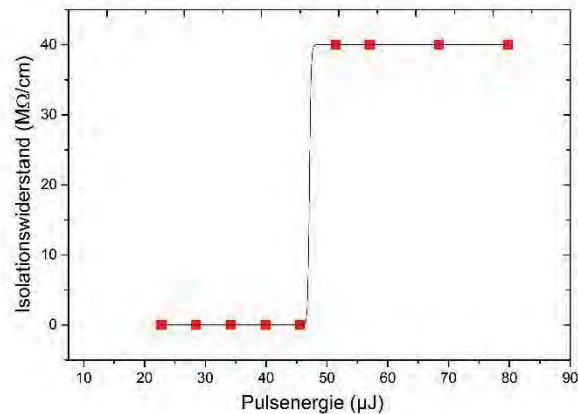


Abbildung 3: Verlauf des Isolationswiderstandes als Funktion der Laser-Pulsenergie für die schichtseitige Bearbeitung.

3.2. P2-Strukturierung

Die P2-Strukturierung wurde ebenso durch systematische Variation der Laser-Pulsenergie untersucht. Die elektrische Bewertung der P2-Schnitte erfolgte durch Bestimmung der vertikalen Leitfähigkeit mittels c-AFM. Dabei überfährt eine sehr feine Nadel die Probenoberfläche und misst den Strom zwischen Nadelspitze und Substrat. Der gemessene Strom dient als Maß für die lokale Leitfähigkeit.

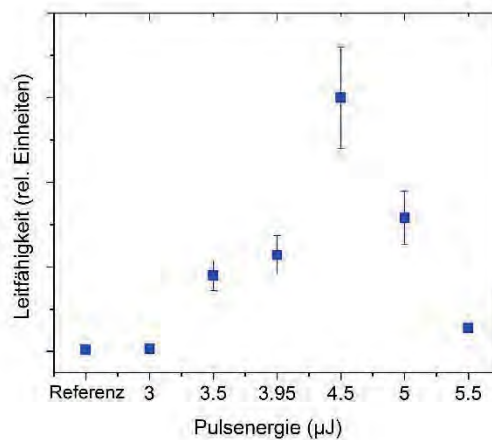


Abbildung 4: Darstellung des c-AFMs-Messsignals als Maß für die lokale Leitfähigkeit als Funktion der Laser-Pulsenergie. Die Referenz entspricht der unbearbeiteten Schicht.

In Abbildung 4 ist der gemessene Strom als Funktion der angewendeten Laser-Pulsenergie dargestellt. Als Referenz ist der Wert für das unstrukturierte Perowskit-Material angegeben. Der Verlauf der lokalen Leitfähigkeit zeigt, dass erst eine Mindestenergie von ca. 3 μJ aufgewendet werden muss, um eine Leitfähigkeit zum ITO herzustellen. Diese steigt kontinuierlich bis auf ein Maximum bei ca. 4,5 μJ an und nimmt anschließend wieder ab. Die Abnahme der Leitfähigkeit nach dem Maximum könnten auf vermehrt auftretende (PbI_2)-Rückstände auf dem Grund der P2-Struktur hin deuten, die aufgrund der zunehmend energiereichen Pulsflanken das Material bei der Strukturierung zum Schmelzen, jedoch nicht zur Ablation bringen⁵.

3.3. P3-Strukturierung

Der P3-Schnitt strukturiert selektiv die Perowskit- und Rückkontaktschicht, so dass die benachbarten Zellen im Front- und Rückkontakt elektrisch voneinander getrennt sind. Die Qualifizierung des P3-Schnitts erfolgte durch Quantifizierung der Elementzusammensetzung innerhalb des Laser-Schnittes aus EDX-Messungen. Da der Durchmesser der Röntgen-Anregungsbirne (ca. 1 μm) deutlich größer als die gesamte Dicke des Schichtstapels ist, ist es sinnvoll die Veränderung der Intensität eines repräsentativen Elements jeder relevanten Schicht (d.h. Perowskit, ITO, Glas) während des Laser-Abtrags zu verfolgen. Die Häufigkeiten der entsprechend gewählten Elemente Pb, In und Si sind in Abbildung 5 als Funktion der Laser-Pulsenergie dargestellt.

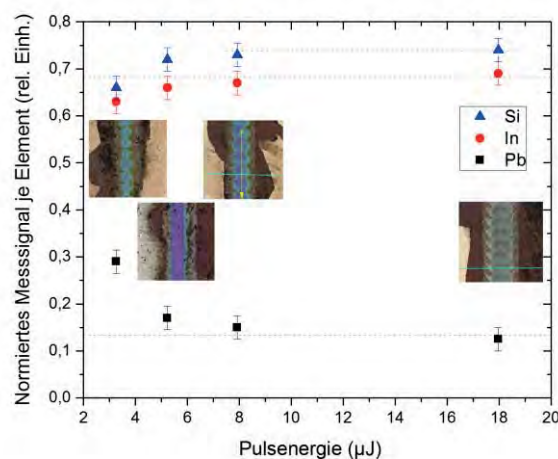


Abbildung 5: Elementzusammensetzung als Funktion der Laser-Pulsenergie, bestimmt mittels EDX. Die Insets zeigen die zugehörigen P3-Schnitte (50fache Vergrößerung, Auflicht).

Das Si-Signal diente dabei als Maß für die Schädigung des Glases. Ein ansteigendes Si-Signal bei gleichzeitig abnehmendem In-Signal deutet auf den beginnenden Abtrag der ITO-Schicht hin. Ein stabiles, gleichbleibendes In-Signal bei minimalen Pb-Signal stellt das gewünschte Prozessfenster dar, in dem die photoaktive Perowskit-Schicht samt Rückkontakt abgetragen und der Frontkontakt (ITO) freigelegt ist. Es ist zu erkennen, dass bei höheren Pulsenergien (> 8 μJ) die untersuchten Elemente in einem stabilen Verhältnis zueinander vorliegen, dort ist

daher von einem sauberen Abtrag des Perowskit-Materials auszugehen. Für eine erfolgreiche P3-Strukturierung sind demnach Pulsenergien $> 8 \mu\text{J}$ notwendig. Die in Abbildung 5 eingefügten Mikroskop-Aufnahmen bilden die zugehörigen P3-Strukturen ab. Es ist zu erkennen, dass neben den Strukturierungsschnitten der Rückkontakt großflächig abgelöst wurde. Dieses Ablösen des Rückkontaktes von der Zelle ist auf die unzureichende Haftung zurückzuführen⁶. Die Optimierung der Hafteigenschaften des Rückkontaktes ist Gegenstand gegenwärtiger Forschung.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde die vollständige Laser-Strukturierung (P1-P3) für die monolithische Serienschaltung von Perowskit-Solarzellen gezeigt. Für die Strukturierung der Frontkontaktschicht wurden bereits etablierte Prozessfenster an die aktuell verwendete ITO-Schicht angepasst. Die strukturierten Frontkontaktschichten weisen eine homogene Linienbreite und Abtragqualität auf. Es wurden geeignete Prozessfenster für die P2- und P3-Strukturierung qualifiziert. Die erfolgreiche selektive Öffnung der Perowskit-Schicht und damit schadungsfreie Freilegung des Frontkontaktes wurde anhand von c-AFM-Messungen nachgewiesen. Mittels quantitativer Röntgenspektroskopie (EDX) wurde die Materialzusammensetzung in der P3-Struktur untersucht, und damit das geeignete Prozessfenster für die Laser-Strukturierung gefunden. Neben der Optimierung der Hafteigenschaften der Ag-Rückkontaktschicht ist die Optimierung der gesamten Prozesskette zur Fertigung eines Moduls und die elektrische Bewertung der P1-P3 Strukturen Gegenstand der aktuellen Arbeiten.

Literaturverzeichnis

- 1 H. Zhou et al., Interface engineering of highly efficient perovskite solar cells, *Science*, 2014, 345, 542-546.
- 2 N.-G. Park Methodologies for high efficiency perovskite solar cells, *Nano Convergence*, 2016, 3, 15, 2-13
- 3 C. Schultz et al., Laser-induced local phase transformation of CIGSe for monolithical serial interconnection: Analysis of the material properties, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2016, 157, 636-643
- 4 B. Stegemann et al., Electrical and structural functionality of CIGSe solar cells patterned with picosecond laser pulses of different wavelengths, *Proc. 42nd IEEE* 2015, 14-19.
- 5 D. Bäuerle, *Laser Processing and Chemistry*, Springer-Verlag, Berlin.
- 6 N. Kaiser, Review of fundamentals of thin-film growth, *Appl. Opt.* 2002, 41, 3053-3060.

Automatische Ermittlung der Rückzugzeit bei der Koloskopie mit Methoden des maschinellen Lernens

Tina Geweniger

Hochschule Mittweida

Fakultät Angewandte Computer und Biowissenschaften

tgewenig@hs-mittweida.de

Abstract: Bei endoskopischen Darmuntersuchungen sollen zukünftig bestimmte Zeitpunkte während der Untersuchung erfasst werden. In diesem Artikel wird ein Verfahren vorgestellt, welches basierend auf Videomitschnitten endoskopischer Untersuchungen und mit Hilfe von Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens die automatische Erkennung dieser Zeitpunkte in Echtzeit ermöglicht. Hierbei handelt es sich um einen theoretischen Ansatz. Verifizierte Ergebnisse liegen noch nicht vor.

1. Einleitung und Motivation

Bei der Koloskopie handelt es sich um eine medizinische Untersuchung des menschlichen Darm-Traktes. Dabei wird ein flexibles Endoskop, ausgestattet mit Lichtquelle und Kamera, in den Darm eingeführt. Die Bilder werden in Echtzeit auf einen Monitor und üblicherweise zusätzlich in ein Bildarchivierungs- und Befundungssystem übertragen.

Zur Wahrung der Qualität bei endoskopischen Untersuchungen wurde von der DGVS (Deutsche Gesellschaft für Gastroenterologie, Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten) eine Leitlinie veröffentlicht [1]. Diese enthält eine Reihe von Empfehlungen zu allen Aspekten bzgl. endoskopischer Prozeduren wie z. B. technische, räumliche und personelle Ausstattung von Endoskopieeinheiten, Empfehlungen zur Patientenvorbereitung und Dokumentation zu Zeiterfassung, Hygiene und Nachsorge.

Für das integrierte Befundungssystem sind vor allem die Empfehlungen zur Dokumentation relevant. Wörtlich heißt es im Leitfaden [1]: „Eine Zeitdokumentation innerhalb der Befundungssoftware ist ... wünschenswert.“ und es folgt eine Aufzählung der zu erfassenden Zeitpunkte:

- a) Patient betritt den Untersuchungsraum
- b) Endoskop wird eingeführt (Beginn der Endoskopie)
- c) Beginn des Rückzuges des Endoskops vom Zökopol
- d) Endoskop wird aus dem Patienten entfernt (Ende der Endoskopie)
- e) Patient verlässt den Untersuchungsraum
- f) Patient verlässt die Endoskopieabteilung (Aufwachraum)

Die Hersteller der Befundungssoftware sind somit angehalten, eine Möglichkeit zur einfachen Erfassung dieser Zeitpunkte bereitzustellen. Aktuell werden diese Zeitpunkte manuell eingegeben bzw. durch einen Trigger gesetzt. Gegenstand der aktuellen Studie ist die Untersuchung, inwiefern es möglich ist, die Zeitpunkte b-d auch automatisch zu detektieren.

Schwerpunkt des vorgestellten Verfahrens ist die Erkennung der Bewegungsrichtung des Endoskopes im Darm. Dabei kommen Methoden des maschinellen Lernens zum Einsatz, welche in der Produktivphase sehr zeiteffizient arbeiten. Diese Methoden setzen jedoch die Erstellung eines Modells voraus, was unter Umständen zeitaufwendig und teuer ist. So müssen erst entsprechende Trainingsdaten zur Verfügung gestellt werden, da die Algorithmen anhand von Beispielen und vorgegebenen Lösungen ein Modell *lernen*. Für die Erstellung der Trainingsdaten ist Expertenwissen notwendig. Auf die genauen Details wird weiter hinten in Abschnitt 2.3 genauer eingegangen.

2. Verfahren

Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, welches auf der Analyse des Videomitschnittes einer Koloskopie beruht.

Die Zeitpunkte b und d, also Einführung und Entfernung des Endoskopes in bzw. aus dem Darm, sind eindeutig und auch für einen Laien problemlos zu erkennen. Die technische Realisierung der Detektion ist trivial und soll an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

Die Erkennung des Rückzugzeitraumes ist jedoch wesentlich anspruchsvoller. Zum Verständnis der Problematik ist an dieser Stelle anzumerken, dass die eigentliche Untersuchung während des Herausziehens des Endoskopes stattfindet und mindestens sechs Minuten dauern sollte [3] ¹. Der Rückzug beginnt mit Erreichen des Zökums (Blinddarms). Eine automatische Erkennung dieser besonderen anatomischen Struktur ist jedoch sehr schwierig. Einfacher ist die Analyse der Bewegungsrichtung des Instrumentes während der gesamten Untersuchung.

Im Wesentlichen kann das Verfahren wie in Abb. 1 graphisch dargestellt mit vier hauptsächlichen Arbeitsschritten beschrieben werden:

1. Extraktion von Einzelbildern aus der Gesamtsequenz der Untersuchung
2. Ermittlung des optischen Flusses (Vektorfelder) basierend auf je zwei aufeinanderfolgenden Einzelbildern
3. Analyse und Klassifikation der Vektorfelder mit Methoden des maschinellen Lernens
4. Ermittlung der Rückzugzeit

Zusammengefasst ergeben diese vier Komponenten eine zeitnahe Analyse des Videomaterials der Untersuchung.

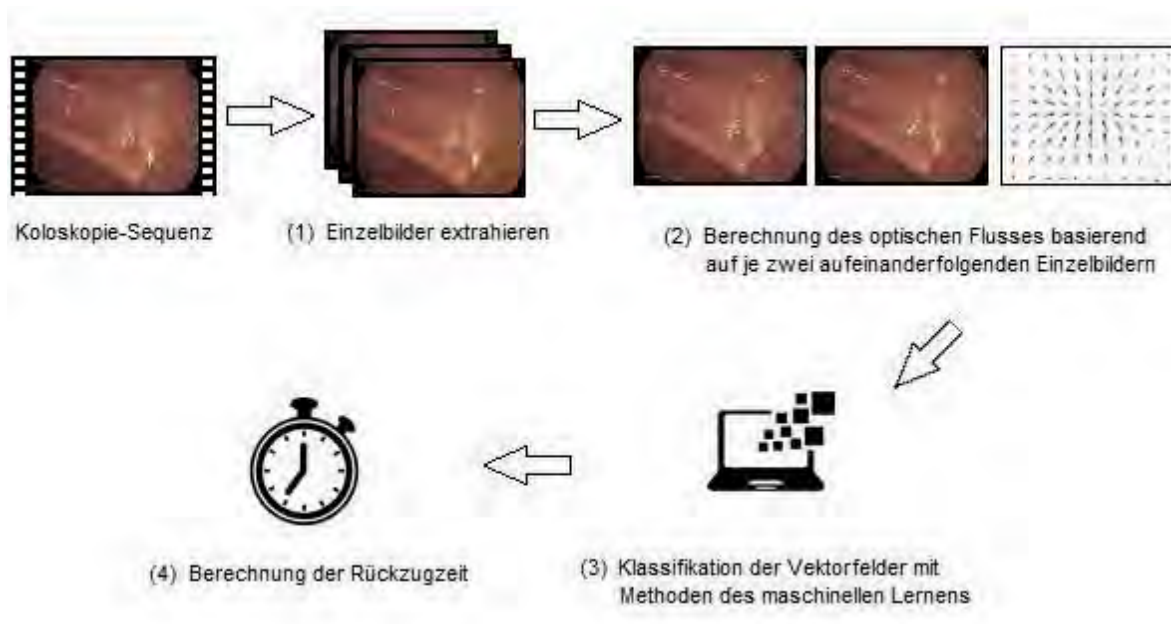


Abbildung 1 Darstellung des geplanten Workflows bestehend aus vier Arbeitsschritten

2.1 Extraktion von Einzelbildern

Um aus Endoskopie-Sequenzen Einzelbilder zu extrahieren stehen verschiedene etablierte Methoden zur Verfügung. An dieser Stelle soll daher nicht weiter auf die technischen Details eingegangen werden. Oftmals sind entsprechende Funktionen auch schon Bestandteil der Dokumentationssoftware, so dass die Einzelbilder bereits zur Verfügung stehen. Es ist ausreichend pro Sekunde 2-4 Bilder auszuwählen [2]. Wichtiger als Quantität ist eine gute Qualität bzgl. der Schärfe der Bilder, was sich positiv auf den nächsten Schritt der Berechnung des optischen Flusses auswirkt.

2.2 Berechnung des optischen Flusses

Bei der Berechnung des optischen Flusses, welcher Informationen über die Bewegungsrichtung einzelner Bildpunkte enthält, werden jeweils zwei aufeinanderfolgende Einzelbilder (Frames) betrachtet. Dafür stehen verschiedene Softwarebibliotheken zur Verfügung. Das resultierende Vektorfeld, bei welchem jedem Bildpunkt $x \in \mathbb{R}$ ein Richtungsvektor $v(x) \in \mathbb{R}^2$ zugewiesen wird, erlaubt damit Rückschlüsse auf die Bewegungsrichtung des Endoskops. Abb. 2 stellt das Vektorfeld während des Einführvorgangs dem des Herausziehvorgangs gegenüber.

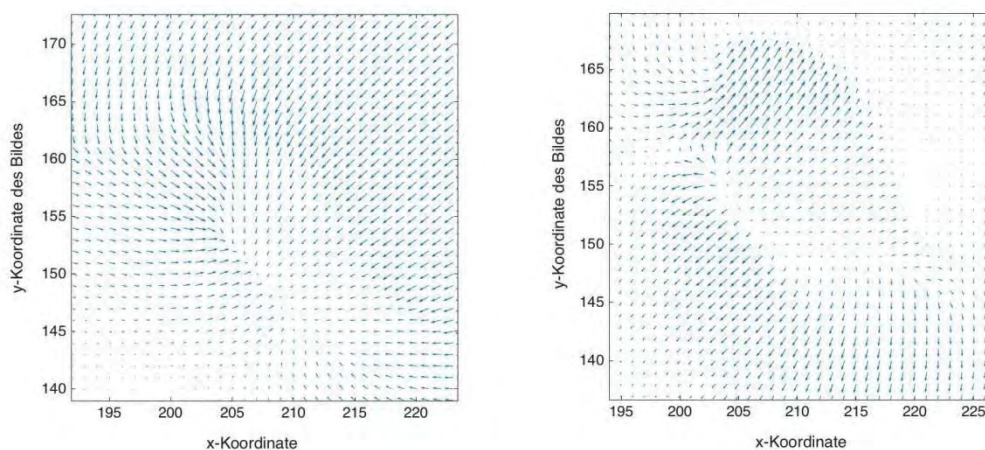


Abbildung 2 Darstellung des optischen Flusses als Vektorfeld. Jedem Bildpunkt wird ein Richtungsvektor zugeordnet. Die Länge der Pfeile entspricht dem Betrag des jeweiligen Richtungsvektors. Dargestellt sind Ausschnitte eines typischen Vektorfeldes bei der Vorwärtsbewegung (links) und dem Rückzug (rechts).

Es hat sich gezeigt, dass eine geringe Größe der Originalbilder ausreicht, da die Bewegungsrichtung des gesamten Bildes einheitlich ist. Es gibt keine einzelnen Objekte, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten oder in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Allerdings sollten Bilder, welche definitiv keine sinnvollen Strukturen enthalten (Abb. 3), von vornherein aussortiert werden [2].

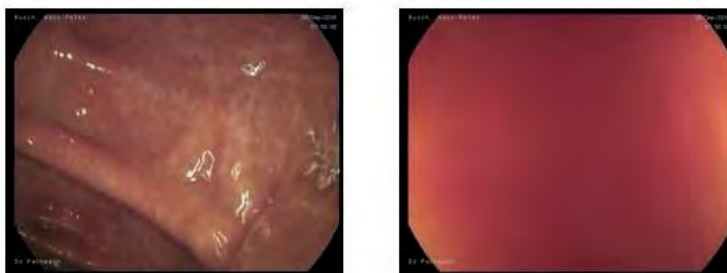


Abbildung 3 Gegenüberstellung eines typischen Koloskopie-Einzelbildes (links) und einer Aufnahme ohne sinnvollen Inhalt (rechts). Diese Bilder sind für das vorgeschlagene Verfahren nutzlos.

2.3 Ermittlung der Bewegungsrichtung mit Methoden des maschinellen Lernens

Die Bestimmung der Bewegungsrichtung basierend auf den Vektorfeldern des optischen Flusses ist ein einfaches zwei-Klassen-Problem. Im Bereich des maschinellen Lernens stehen dafür eine Reihe von Methoden zur Verfügung, wie z. B. Lernende Vektorquantisierung (LVQ) [4,5] und Support Vector Machines (SVM) [6]. Bei diesen vektorbasierten Methoden werden mit Hilfe von Trainingsdaten Modelle erstellt, welche in der Produktivphase schnelle Entscheidungen ermöglichen.

Zur Erzeugung eines solchen Klassifikationsmodells werden Trainingsdaten mit bekannten Klassenzugehörigkeiten benötigt. Im aktuellen Anwendungsbeispiel entspricht jedes Vektorfeld einem einzelnen Datum. Zur Umwandlung dieser Vektorfelder in einen einzeiligen Vektor werden einfach alle Richtungsvektoren hintereinander angeordnet. So ergibt sich ein

hochdimensionaler Vektor mit $b * h * 2$ Dimensionen, wobei b und h den Dimensionen des Vektorfeldes entsprechen.

Zur Ermittlung der Trainingsdaten und deren Klassenzugehörigkeiten stehen mehrere Stunden koloskopischer Videomitschnitte zur Verfügung. Diese werden manuell analysiert und einzelne Sequenzen den Klassen „Einführung“ und „Rückzug“ zugeordnet. Naturgemäß ist der Anteil der Daten zum Rückzug wesentlich höher, da die eigentliche Untersuchung beim Rückzug erfolgt und damit wesentlich länger dauert und mehr Videomaterial zur Verfügung steht als bei Einführen. Zur Lernen der Modelle sollen zufällig gleich viele Datensätze aus beiden Klassen ausgewählt werden. Datensätze, die nicht zum Lernen verwendet werden, können für Tests eingesetzt werden.

2.4 Bestimmung der Rückzugsdauer

Erste Studien legen nahe, dass die Modelle relativ zuverlässig funktionieren und die Erkennung der Bewegungsrichtung kein Problem darstellt. Basierend auf Beobachtungen wird jedoch auch festgestellt, dass die Bewegung des Endoskops kein kontinuierlicher Prozess ist. Bedingt durch Schwierigkeiten beim Einführen, genaueres Nachschauen beim Rückzug und die normale Peristaltik des Darmes scheinen sich Vorwärts- und Rückwärtsbewegung sporadisch abzuwechseln. Es ist jedoch eine allgemeine Tendenz erkennbar. Es ist geplant, die Bewegungsrichtung über eine bestimmte Zeiteinheit zu mitteln. Angedacht ist, dass z. B. bei 10 Sekunden kontinuierlicher Rückwärtsbewegung davon ausgegangen werden kann, dass der Rückzug begonnen hat und alle nachfolgenden, zeitlich kurzen Vorwärtsbewegungen Bestandteil der Untersuchung sind. Genaueres muss sich erst noch in der Praxis zeigen und ist wahrscheinlich auch vom Untersuchungsverhalten und den anatomischen Gegebenheiten abhängig.

3. Diskussion und Ausblick

Im vorliegenden Artikel wurde eine Möglichkeit beschrieben, wie die Rückzugzeit bei der Koloskopie automatisch ermittelt werden kann. Dazu werden basierend auf Vektorfeldern, welchen den optischen Fluss repräsentieren, verschiedene Modelle aus dem Bereich des maschinellen Lernens erstellt. Aktuell handelt es sich noch um eine Machbarkeitsstudie. Bei Erfolg sollen alle Einzelschritte in ein bestehendes Softwaretool integriert und für endoskopische Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden. Bisherige Zwischenergebnisse deuten auf ein positives Resultat hin.

Literatur

- [1] U. Denzer et al., *S2k-Leitlinie Qualitätsanforderungen in der gastro-intestinalen Endoskopie*, AWMF Register Nr. 021-022, Erstauflage 2015.
- [2] S. Gross et al., *Echtzeitfähige Extraktion scharfer Standbilder in der Video-Koloskopie*, in *Bildverarbeitung für die Medizin*, Springer, S. 206-210, 2010.

- [3] D. A. Corley et al., *Adenoma Detection Rate and Risk of Colorectal Cancer and Death*, in *New England Journal of Medicine*, Vol. 370, No. 14, S. 1298-1306, 2014.
- [4] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, in *Springer Series in Information Sciences*, Vol. 30, 1995. (Second Extended Edition 1997).
- [5] A. S. Sato und K. Yamada, *Generalized learning vector quantization*, In *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 7, S. 423-429, MIT Press, 1995.
- [6] B. Schölkopf und A. Smola, *Learning with Kernels*, MIT Press, 2002.

Fußnoten

- ¹ In mehreren Studien, z. B. [3], konnte gezeigt werden, dass zwischen Dauer der Untersuchung und der Adenomdetektionsrate ein direkter Zusammenhang besteht. Adenome sind gutartige Geschwulste aus Schleimhaut oder Drüsengewebe und kommen häufig im Magen-Darm-Trakt als Polypen vor. Die Studie [3] belegt, dass die Adenomdetektionsrate mit der Entdeckung von Karzinomen (Krebsgeschwulsten) korreliert. Untersuchungszeiten von mindestens sechs Minuten sollen sich positiv auf die Adenomdetektionsrate auswirken.

Verschleißfeste Iridiumschichten für elektrische Kontakte

Johannes Näther, Frank Köster

Hochschule Mittweida University of Applied Sciences

Fakultät Ingenieurwissenschaften Fachgruppe Fertigungstechnik / Werkstofftechnik

naether@hs-mittweida.de

Abstract: Aus den positiven chemischen und physikalischen Eigenschaften von Iridium ergeben sich große Anwendungspotential für die Verwendung als Endoberfläche von Kontaktierungen. Besonders für verschleißbeanspruchte Kontakte bietet Iridium eine mögliche Alternative zu Hartgoldschichten oder Rhodium und Ruthenium. Um das Element für die Elektroindustrie als Werkstoff nutzbar zu machen, werden unterschiedliche Elektrolyte für die Abscheidung untersucht und die optimalen Prozessparameter ermittelt.

1. Motivation

Kontakte für die Übertragung geringer elektrischer Leistungen und Signale müssen besonders korrosionsbeständig sein, da die Ausbildung von Passivschichten zu einer starken Erhöhung des Übergangswiderstandes und damit zum Ausfall des Kontaktes führen kann. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigeren Nutzung vorhandener Ressourcen sind zuverlässige Kontaktverbindungen über lange Zeiträume zu gewährleisten, um einen vorzeitigen Ausfall von Geräten und Bauteilen zu verhindern. Zur Vermeidung von Korrosion und Deckschichtbildung kommen Edelmetalle als Endoberflächen zum Einsatz. Am häufigsten werden Gold- bzw. Goldlegierungsschichten eingesetzt. Da Gold ein vergleichsweise weicher Werkstoff ist, eignet es sich nur bedingt für verschleißbeanspruchte Kontaktanwendungen und muss mit hohen Schichtdicken aufgetragen werden, um eine langlebige Kontaktierung herzustellen. Goldschichten für Kontaktierungen müssen bis zu 20mal dicker sein als Goldschichten für dekorative Anwendungen, wodurch enorme Kosten für die Herstellung entstehen. Für die Beschichtung von hochverschleißbeanspruchten Bauteilen, wie etwa Schleifkontakten kommen die Platinmetalle Rhodium, Ruthenium und Platin bereits zum Einsatz. Diese Metalle verfügen ebenfalls über eine gute chemische Beständigkeit, bei wesentlich höheren Schichthärten, wodurch geringere Schichtdicken realisiert werden können. Nachteilig wirken sich allerdings auch hier die hohen Kosten für die Edelmetalle aus.¹

Iridium gehört ebenfalls zur Gruppe der Platinmetalle und zeichnet sich besonders durch eine gute Leitfähigkeit für elektrischen Strom, enorme chemische Beständigkeit und hohe Härte aus. Durch diese Eigenschaften und die geringeren Rohstoffkosten im Vergleich mit Gold, ergeben sich große Potentiale für die Verwendung von Iridium als Kontaktwerkstoff für die Elektroindustrie. Nach aktuellem Stand der Technik werden Iridiumschichten lediglich in Dünnschichttechnologie durch PVD oder CVD Verfahren aufgebracht. Kontakte werden

allerdings fast ausschließlich durch galvanische Metallabscheidung beschichtet. Ein kommerzieller Elektrolyt für die Iridiumabscheidung ist derzeit nicht erhältlich.

Die aktuellen Untersuchungen zielen auf die Entwicklung eines Elektrolyten, der die galvanische Abscheidung aus wässrigen Systemen erlaubt. Erste Untersuchungen dazu wurden bereits in den 1960er Jahren von MacNamara, Tyrell und Conn durchgeführt.²⁻⁴ Dabei sind besonders die Untersuchungen von Tyrell interessant, da ein breites Spektrum möglicher Elektrolytverbindungen untersucht wurde. Bei diesen Screeningversuchen konnte nur aus einem stark sauren, bromhaltigen Elektrolyten abgeschieden werden. Das aktuelle Projekt knüpft an diese Untersuchungen an. Dabei werden neben verschiedenen Komplexbildnern auch die Einflüsse der zentralen Badparameter pH-Wert, Temperatur und Stromdichte auf die Schichtbildung untersucht.

2. Experimentelles

Für die Versuche wurden vier verschiedene Ausgangssalze verwendet. Da bereits MacNamara einen Einfluss der Oxidationsstufe auf die Abscheidung vermutet hat, wurden III- und IVwertige Verbindungen gewählt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Iridiumsalze.

Tabelle 1 Übersicht der Verwendeten Iridiumverbindungen

Bezeichnung	Formel	Wertigkeit	Lieferant
Iridiumchlorid	IrCl_3	(III)	Alfa Aesar
Iridiumacetat	$\text{Ir}(\text{COOH})_3$	(III)	Heraeus
Hexachloroiridiumsäure	$\text{H}_2[\text{IrCl}_6]$	(IV)	METAKEM
Natriumhexabromoiridate	$\text{Na}_2[\text{IrBr}_6]$	(IV)	METAKEM

Die Iridiumkonzentration in den Elektrolyten betrug jeweils 5g/l. Um den Chemikalienverbrauch in Grenzen zu halten, wurden die Versuche mit 30ml Elektrolytvolumen in 50ml Bechergläsern durchgeführt. Um Verdampfungsverluste bei hohen Prozesstemperaturen zu verringern und einen definierten Abstand zwischen den Elektroden zu gewährleisten, wurden die Anoden und die Substrate in einem Deckel fixiert (siehe Abbildung 1).

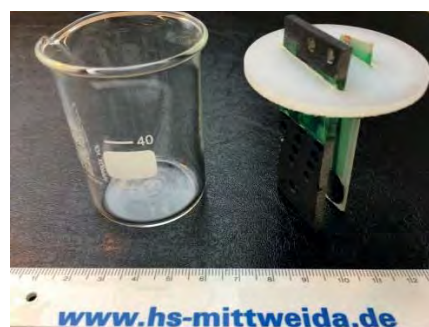


Abbildung 1 Versuchsaufbau für die Beschichtungsversuche

Als Anoden kamen inerte Iridiummischoxidanoden mit einer Fläche von 4cm² zum Einsatz. Die Substratoberfläche betrug 1cm². Als Substrate kamen einseitig-strukturierte Leiterplatten mit einer 15µm Nickel- und 1µm Goldbeschichtung zum Einsatz. Die galvanisch erzeugten Nickel- und Goldschichten wurden aufgebracht, um einen Substratangriff in stark sauren Elektrolyten zu verhindern. Aufgrund der geringen Substratoberflächen mussten sehr geringe Ströme über längere Zeiträume konstant gehalten werden. Dafür kam ein Potentiostat des Unternehmens Sensortechnik Meinsberg GmbH zum Einsatz. Badbewegung und Temperierung wurden durch Heizplatten mit Magnetrührwerk sichergestellt.

Tabelle 2 Übersicht zum untersuchten Parameterraum

Parameter	untere Grenze	obere Grenze	Intervalle
Temperatur	20°C	80°C	20°C
pH-Wert	pH=2	pH=8	pH2
kath. Stromdichte	3mA/cm ²	21mA/cm ²	9mA/cm ²

Zunächst wurden Screeningversuche mit den jeweiligen Iridiumsalzen durchgeführt, um die prinzipielle Eignung der jeweiligen Verbindung für die galvanische Abscheidung festzustellen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den untersuchten Parameterraum. Die Beschichtungszeit für die Screeningversuche betrug jeweils 15 min. Zusätzlich zur Variation der zentralen Badparameter wurde der Einfluss verschiedener Additive auf das Elektrolytverhalten und die Schichtcharakteristik untersucht. Da der tatsächliche Wirkmechanismus der jeweiligen Additive nicht im Detail bekannt ist, erfolgte eine praxisnahe Auswahl der untersuchten Badzusätze in Anlehnung an Elektrolyte für andere Platinmetalle wie Rhodium und Ruthenium.⁵ Die jeweiligen Additive sind in Tabelle 3 aufgeführt. Elektrolyte, bei denen nach 15 min eine geschlossene Iridiumschicht beobachtet wurde, wurden hinsichtlich der Badstabilität über längere Zeiträume untersucht.

Tabelle 3 Übersicht über die verwendeten Additive und deren Konzentrationsbereiche

Bezeichnung	Formel	Konzentrationsbereich [g/l]
Amidosulfonsäure	H ₂ NSO ₃ H	5 - 40
Oxalsäure	C ₂ H ₂ O ₄	0,5 - 5
Salpetersäure	HNO ₃	0,2 - 2
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	0,2 - 2

Aufgrund der geringen Substratfläche und wegen der dünnen Schichten konnte die Schichtdicke nicht mithilfe der Differenzwägung ermittelt werden. Die Schichtdicken wurden durch Röntgenfluoreszenzanalyse anhand der jeweiligen Iridiumintensitäten bestimmt. Diese Messungen wurden durch Schliffbildanalysen validiert. Die kathodischen Stromausbeuten wurden aus dem Verhältnis dieser Schichtdicken zur mittleren theoretischen Schichtdicke

nach dem Faraday'schen Gesetz ermittelt. Die Zusammensetzung der Schichten wurde ebenfalls mithilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse bzw. durch Energiedispersive Röntgenspektroskopie ermittelt. Die Untersuchung der Oberfläche auf Poren und Risse erfolgte licht- und rasterelektronenmikroskopisch. Die Schichthärte wurde aufgrund der geringen Schichtdicken mit einem Nanointender Fischer H100c untersucht. Die Prüfkraft wurde über 10 s aufgebracht und betrug 30 mN, bei einer Haltezeit von 10 s, bevor die Kraft über weitere 10s zurückgenommen wurde.

3. Ergebnisse

3.1. Iridiumchlorid

Aus der reinen, orangefarbenen Lösung konnte im untersuchten Parameterraum keine Schicht abgeschieden werden. Durch Zugabe von Amidosulfonsäure wurde bei 80°C eine sehr dünne irisierende Schicht erzeugt. Dieses Ergebnis bestätigt zumindest im Ansatz die Untersuchungen von Conn, wenngleich die Abscheidung einer geschlossenen Metallschicht aus diesem Elektrolyten nicht gelang. Für pH-Werte größer als pH=4 bildete sich ein schwarzer Niederschlag an der Anode. Dieser Effekt wurde durch die Erhöhung der Stromdichte verstärkt.

3.2. Iridiumacetat

Die reine Lösung zeigte einen sehr hohen Elektrolytwiderstand, sodass durch Zugabe von Schwefelsäure zunächst eine ausreichende Leitfähigkeit erzeugt werden konnte. Analog zu den Versuchen mit Iridiumchlorid konnten durch Zugabe von Amidosulfonsäure sehr dünne Schichten bei hohen Elektrolyttemperaturen erzeugt werden, ohne dass ein Aufbau zu geschlossenen, dickeren Schichten erfolgte. Analog zu den Versuchen mit Iridiumchlorid wurden bei höheren pH-Werten schwarze Niederschläge an den Anoden festgestellt.

3.3. Iridiumhexachlorosäure

Die reine Lösung führte zu schwarz-braunen, pulvrigen Abscheidungen bei hohen Temperaturen und Stromdichten. Durch Zugabe der anorganischen Säuren konnten matte Iridiumschichten erzeugt werden, wobei der Abscheideprozess nach 30min zusammenbrach. Die Zugabe von Amidosulfon- und Oxalsäure führte zu keinem positiven Effekt.

3.4. Natriumhexabromoiridat

Analog zu den Versuchen von Tyrell konnten mit dem bromhaltigen Elektrolyten geschlossene Iridiumschichten erzeugt werden. Bei pH=2, 80°C und Stromdichten von 3 mA/cm² und 12 mA/cm² konnten geschlossene glänzende Iridiumschichten erzeugt werden. Eine Erhöhung der anodischen Stromdichte führte zu schwarzen Niederschlägen an den Anoden. Die kathodischen Stromausbeuten für Abscheidungen aus der reinen Lösung (ohne Additive) bei 3 mA/cm² Stromdichte liegen bei ca. 40 % zu Beginn des Abscheideprozesses. Mit

zunehmenden Badalter fällt die Stromausbeute deutlich ab. Eine Verbesserung der Stromausbeute auf über 60% zu Beginn des Abscheideprozesses konnte bei identischen Parametern durch die Zugabe von 0,5g/l Oxalsäure erreicht werden. Allerdings konnte dieser Effekt nicht dauerhaft aufrechterhalten werden. Nach einer Prozesszeit von 3h entsprach die Stromausbeute in etwa der, der reinen Iridiumsalslösung nach 3h (siehe Abbildung 2).

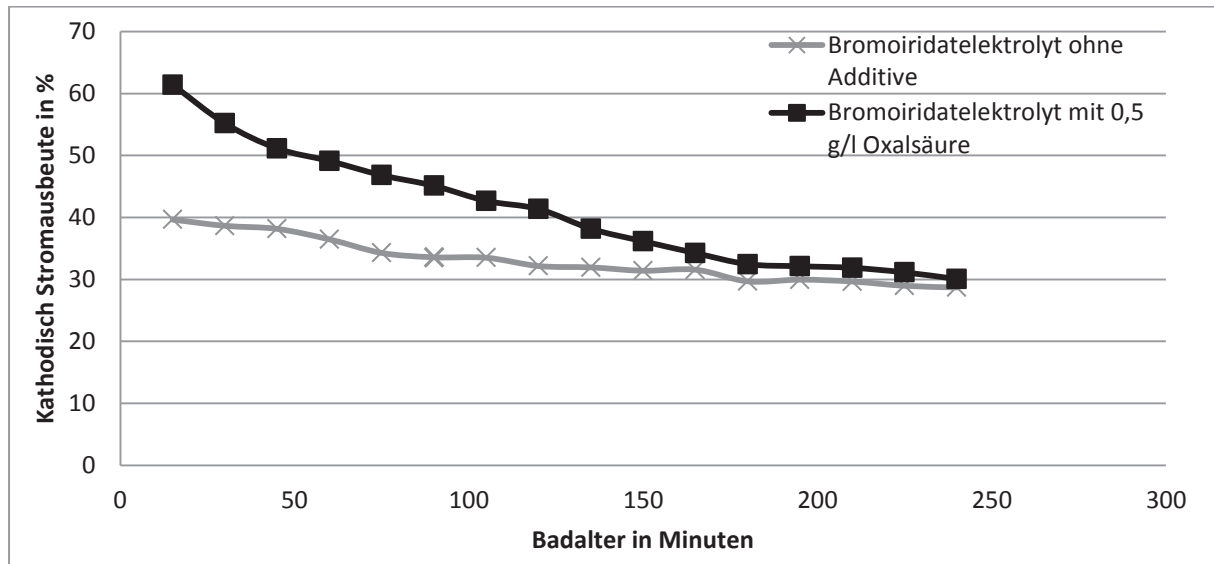
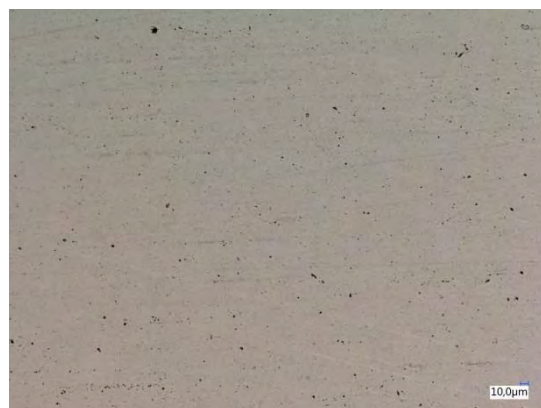


Abbildung 2 Einfluss der Oxalsäure auf die Stromausbeute

Die maximale Schichtdicke betrug unabhängig von der Elektrolytzusammensetzung 2µm. Ein weiterer Aufbau der Schichten führte in der Folge zu Makorissen und Ablätzungen von Substrat. Die Härte der Schichten wurde mittels Nanointender ermittelt und betrug 600 HV. Bei der Rissbildung konnte ein klarer Zusammenhang zwischen der kathodischen Stromdichte und der Rissneigung festgestellt werden. Mit zunehmender Stromdichte traten die Risse bereits bei geringeren Schichtdicken auf. Abbildung 3 zeigt vergleichend den Zusammenhang.



21 mA/cm² - Schichtdicke 1µm



3mA/cm² - Schichtdicke 1µm

Abbildung 3 Einfluss der Stromstärke auf die Rissbildung

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der einzige Elektrolyt mit dem über längere Zeiträume glänzende Iridiumsichten erzeugt werden konnten basiert auf der Natriumhexabromoiridatlösung. Die Vermutungen von MacNamara und Tyrell, die eine Abscheidung aus dem IV-wertigen Zustand annahmen, konnten durch die Versuche bestätigt werden, wenngleich keine genaue Erklärung des Abscheidemechanismus gegeben werden kann. Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die Abscheidung nicht direkt von $\text{Ir}^{\text{IV}+}$ zum Ir^0 , sondern über eine Zwischenstufe erfolgt. Da aus (III)-wertigen Verbindungen keine Iridiumsichten hergestellt werden konnten, wird vermutet, dass die Reduktion über $\text{Ir}^{\text{II}+}$ oder $\text{Ir}^{\text{I}+}$ verläuft. Eine Rückreaktion von diesen instabilen Oxidationszuständen zu $\text{Ir}^{\text{III}+}$, welches einen für die elektrochemische Reduktion ungünstigen Komplex bildet, könnte die sinkenden Stromausbeuten während der Elektrolytalterung erklären.

Als wichtigster Parameter für die Abscheidung von Iridium wurde eine hohe Elektrolyttemperatur von mindestens 60°C identifiziert. Außerdem spielt der pH-Wert eine entscheidende Rolle für die Abscheidung. Generell wurden bei stark sauren pH-Werten bessere Schichtenqualitäten und höhere Stromausbeuten erzielt. Aus praktischen Gesichtspunkten erscheint ein pH-Wert kleiner 2 allerdings wenig sinnvoll, da es trotz der Vergoldung zum Teil zu sehr starken Substratangriffen kam, die den Elektrolyten mit Fremdmetallen verunreinigen und einer weiteren Abscheidung entgegenstehen.

Die erreichten Schichtdicken von $2\mu\text{m}$ entsprechen den üblichen Schichtdicken für derzeit eingesetzte Kontaktwerkstoffe. Die ermittelten Schichthärten von 600HV für reine Iridiumsichten stellen ebenfalls ein vielversprechendes Ergebnis für den Einsatz der Schichten für stark verschleißbeanspruchte Kontaktflächen dar.

Danksagung

Die Forschungsarbeit wurde im Rahmen des Projektes „Elektrolyt und Prozessentwicklung, sowie Charakterisierung von Iridium- und Iridiumlegierungsschichten für Kontaktanwendungen“ aus Haushaltsmitteln des BMWi durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) unter dem Förderkennzeichen 18543BG finanziert.

¹ A.F. Bogenschütz, Oberflächentechnik und Galvanotechnik in der Elektronik 1971 – E. G. Leuze Verlag Bad Saulgau S. 280ff

² E.L. MacNamara, The Electrodeposition of Iridium. Journal of the Electrochemical Society, 109 (1962) S.61-63

³ C.J. Tyrell, The Electrodeposition of Iridium. Transaction of the Institute of Metal Finishing, 43 (1965) S.161-166

⁴ G.A. Conn, Iridium Plating. Plating (Dez. 1965), S.1258-1261

⁵ T. Jones, Electrodeposition of the precious metals 2005 – Finish Publication Ltd. S. 9ff und S. 69ff

Kamera-basierte Messung von Laufzeitunterschieden zwischen rPPG-Signalen in unterschiedlichen Gesichtsbereichen

Bianca Reichard, Juliane Bauer, Fabian Schruppf, Mirco Fuchs

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Laboratory for Biosignal Processing

biancareichard@googlemail.com

Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit der Kamera-basierten Messung von Laufzeitunterschieden im Gesichtsbereich. Die Laufzeitdifferenz stellt einen wichtigen Parameter des Herz-Kreislauf-Systems dar und dient der Schätzung des Blutdrucks. In einer kurzen Studie wird die optische Detektion der Pulswellenlaufzeit (engl. Pulse Transition Time (PTT)) erläutert und dargelegt. Dazu wird ein Hochgeschwindigkeitskamarasystem genutzt. Dieses zeichnet das Photoplethysmogramm (PPG) in den Videobildern auf.

1. Motivation

Im Bereich der Medizin ist der Blutdruck ein aussagekräftiger Parameter. Gerade Bluthochdruck ist eine häufig auftretende Krankheit. Die möglichen Folgeerkrankungen wie Schlaganfall und Herzinfarkt können gravierende Schäden verursachen und bringen oft Operationen und eine lange Rehabilitationsphase mit sich.

Einige aktuelle Forschungsarbeiten haben bereits dargestellt, dass es möglich ist, den Blutdruck eines Menschen über die sogenannte Pulswellenlaufzeit zu schätzen¹. Die PTT gibt an, wie viel Zeit eine Pulswelle benötigt, um von einem definierten Punkt in einer Arterie zu einem zweiten zu gelangen. Um diese Dauer zu berechnen, wird im Normalfall die Blutvolumenkurve eines Patienten aufgezeichnet. Dies geschieht mittels Photoplethysmogramm².

Nimmt man dieses PPG nun an zwei verschiedenen Orten des menschlichen Körpers auf, kann man eine Zeitdifferenz feststellen, die PTT³. Es werden hierfür das PPG der rechten Hand bzw. des rechten Mittelfingers und das Elektrokardiogramm (EKG) des Herzens genutzt. Vereinfacht dargestellt verwendet man die Differenz zwischen dem Zeitpunkt, in dem das Herz kontrahiert und dem Moment, in dem die Pulswelle den Finger erreicht. Dabei handelt es sich um die sogenannte R-Zacke, welche die maximale Amplitude der Herzmuskelaktivität darstellt. Eine Studie hat jedoch bereits gezeigt, dass es möglich ist die Messung zwischen Hand und Stirn optisch, mit einem Kamerasystem durchzuführen⁴. Genau das ist das Ziel dieser Arbeit. Die Kamera-basierte Detektion wird jedoch auf den Gesichtsbereich beschränkt.

2. Messmittel, Setup und Messvorgang

2.1 Messmittel

Unter den Messmitteln befand sich eine Hochgeschwindigkeitskamera der Firma Allied. Die wichtigsten Parameter stellten die Abtastrate von 450 Bildern pro Minute (engl. Frames per Second (fps)), die Belichtungszeit von 2 ms und die Auflösung von 256x136 Pixeln dar. Die Belichtung des Messaufbaus erfolgte in Form einer Flächenleuchte der Firma NANGUANG. Diese Leuchte verfügt über vier separat angesteuerte Tageslichtlampen, Spiegel an den Rändern zur gleichmäßigen Ausleuchtung des Aufbaus und eine Höhenverstellung. Für die Messung des Referenzblutdrucks mittels Oberarmmanschette wurde ein Patientenmonitor der Firma EDAN verwendet. Außerdem wurde eine Sensor-basierte Messung mittels BioSignals-PLUX und zugehöriger Software vorgenommen. Das Messsystem wurde für die Aufnahme der Blutvolumenkurve bzw. des PPGs benötigt, welche ebenso als Referenz dient.

2.2 Setup und Messvorgang

Für diese Studie stellten sich insgesamt 33 Probanden zur Verfügung. Die Versuchspersonen befanden sich im Alter zwischen 21 und 49 Jahren. Abbildung 1 stellt den Messaufbau dar.



Abbildung 1: Darstellung des Messaufbaus der Machbarkeitsstudie. Der Proband befindet sich während der Messung auf der Liege. Zeitgleich findet die Datenaufnahme am PC statt.

Pro Testperson wurden zwei Videos mit einer Dauer von 5 Minuten aufgenommen. Die Messprozedur ist in Abbildung 2 zum besseren Verständnis dargestellt.

Blutdruck-Referenz Messung Manschette	Ruhelage (liegend)	Blutdruck-Referenz Messung Manschette	Belastung (Kniebeugen)	Blutdruck-Referenz Messung Manschette	Ruhelage (liegend)	Blutdruck-Referenz Messung Manschette
Biosignalsplux Messung						
Ca. 20-45 Sekunden		Ca. 20-45 Sekunden	3 Minuten	Ca. 20-45 Sekunden		Ca. 20-45 Sekunden
5 min. Videoaufnahmen			Frei	5 min. Videoaufnahmen		

Abbildung 2: Schema zur Messprozedur. Die Dauer beträgt insgesamt etwa 13 Minuten. Die beiden Kameramessungen betragen jeweils fünf Minuten. Die erste Aufnahme findet vor der Belastung statt und die zweite danach.

Die erste Messung erfolgte aus dem Ruhezustand heraus. Darauf folgte ein 3-minütiges Belastungsintervall in Form von Kniebeugen, welches den Blutdruck merklich in die Höhe treiben sollte. Nach der körperlichen Übung wurde ein weiteres Video aufgenommen. Während des gesamten Messvorgangs wurde das PPG des Teilnehmers kontinuierlich detektiert. Ebenso wurden insgesamt vier Blutdruckmessungen vorgenommen. Diese fanden in gleicher Abfolge während jeder Kameraaufnahme statt. Die erste Messung wurde gleich zu Beginn des Videos getätigt und die zweite ca. 45 Sekunden vor Ende der Aufzeichnung. Durch die Aufnahme aus der Ruhe heraus und dann nach der Belastung müssten sich deutliche Veränderungen der Laufzeitunterschiede abzeichnen. Die These lautet, je höher der Blutdruck ist, desto niedriger sollte die image-based PTT (iPTT) sein.

Wie Abbildung 1 zu sehen, wurden die Messaufnahmen während der Ruhephase im Liegen getätigt. Es wurde hier ganz bewusst eine waagrechte Messposition bevorzugt da so Bewegungsartefakten vorgebeugt werden sollte. Da das PPG im Gesichtsbereich aufgenommen wurde, war es wichtig, dass sich der Kopf konstant an einer Stelle befindet. Hierfür wurde ein Nackenkissen verwendet, welches die Videomessung komfortabler für die Testperson gestalten sollte.

3. Schätzung der Laufzeitunterschiede zwischen Hals und Stirn

3.1 Einlesen der Daten

Die Videos wurden mittels Industriekamera und der Software LaBP-Videorecorder aufgenommen, welche eigens für diese Kameras geschrieben wurde. Nach der Aufnahme wurden die Daten mit einer dafür bereitstehenden Funktion in MATLAB eingelesen. Dort stehen sie dann als raw-Dateien zur Verfügung. Daraufhin werden wie in Abbildung 3 zu sehen zwei ROIs im Stirn- und im Halsbereich festgelegt. Die Größe und Position variieren von

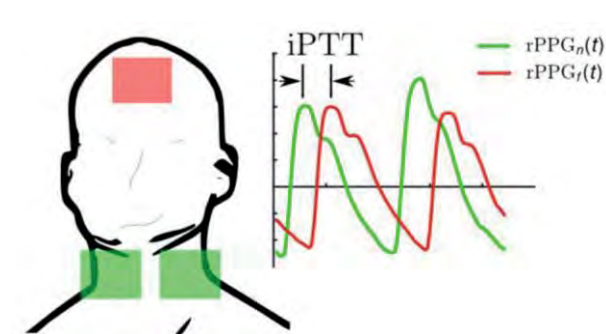


Abbildung 3: Idee: Die iPTT kann mittels Phasenversatz zwischen dem rPPG-Signal des Halses, i.e. $rPPG_n(t)$, und der Stirn, i.e. $rPPG_f(t)$ geschätzt werden.

Rauschsignal. Bildet man nun die Differenz aus grünem und rotem Kanal, erhält man bereits ein störärmeres Signal als Zwischenergebnis.

Aufnahmen zu Aufnahme und deren Festlegung wird für jedes Video manuell vorgenommen. Das RGB-Bild wird als dreidimensionales Array verstanden. Dabei legt jede Dimension wiederum die Farbkanäle rot, grün und blau fest. Hierbei wird ein Differenzsignal aus grünem und rotem Kanal gebildet. Grund dafür ist, dass in den grünen Farbdaten die eigentliche Information von einem zusätzlichen Rauschen, rot beinhaltet hingegen nur ein

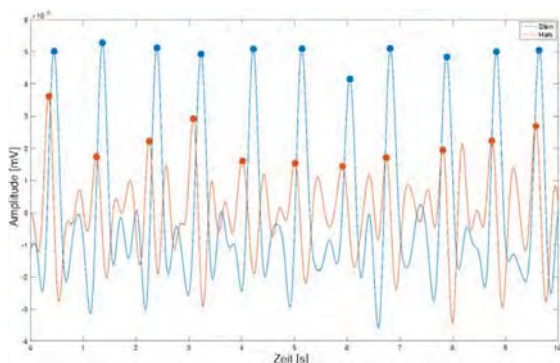
3.2 Verarbeitung der Daten mittels Kreuzkorrelation

Zur Ermittlung der Laufzeitdifferenz wird ein Algorithmus auf Basis der Kreuzkorrelation⁵ verwendet. Die Kreuzkorrelation beschreibt die Ähnlichkeit eines Signals mit einer zeitlich verschobenen Version seiner selbst. Angewandt auf die mittels Kamera erfassten Pulswellensignale in den unterschiedlichen ROIs ergeben sich Maxima in der Kreuzkorrelationsfunktion bei Zeitverschiebungen, die der Pulswellenlaufzeit zwischen den ROIs entsprechen. Die Kreuzkorrelation wird in 10-Sekunden-Fenstern fließend jede Sekunde durchgeführt. Dadurch erhält man über den Aufnahmezeitraum von 5 Minuten 290 Werte für die iPTT.

4 Ergebnisse, Diskussion und Ausblick

4.1 Ergebnisse

Laufzeitunterschiede zwischen Hals und Stirn sind prinzipiell detektierbar. Der Zeitversatz ist bereits optisch in einem 10-Sekunden-Abschnitt erkennbar. Abbildung 4 stellt einen solchen



Ausschnitt dar. Hierbei handelt es sich um die rechte Seite des Halses (rote Kennlinie), welche mit dem Stirnsignal (blaue Kennlinie) dargestellt ist. Die linke Halsseite wird für die Auswertung der Pulswellenlaufzeiten ausgeschlossen, da dort die Signalqualität um Einiges geringer ist als rechts. In Abbildung 4 ist erkennbar, dass das Halssignal wesentlich mehr Störungen aufweist als das der Stirn. Es sind beispielsweise im Bild schon einige fehlerhafte zusätzliche Peaks erkennbar. Diese sind auf die Atmung des Probanden, Schlucken oder Bewegung im Bereich des Oberkörpers zurückzuführen.

Messung	Durchschn. Verschiebung [ms]	Blutdruck [mmHg]
ptt001a01	104,4	105/60
ptt001a02	47,8	146/80
ptt002a01	80,0	117/64
ptt002a02	6,7	126/82
ptt003a01	60,0	152/92
ptt003a02	37,8	191/97
ptt004a01	28,9	110/61
ptt004a02	20,0	137/73
ptt005a01	44,4	115/75
ptt005a02	54,4	133/77

Tabelle 1: Überblick über die Messwerte der iPTT und des Blutdrucks, vor der Belastung (grau) und nach der Belastung (weiß)

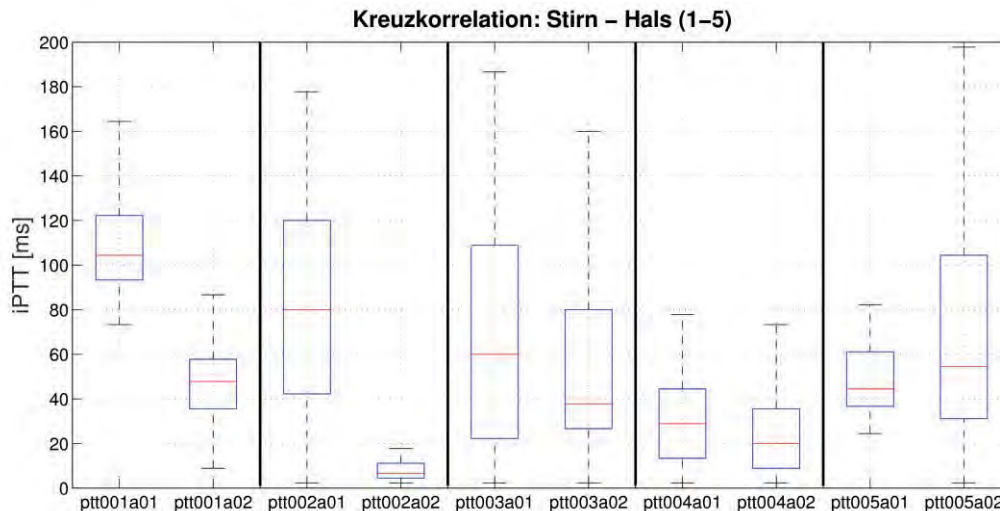


Abbildung 5: Boxplot der iPTT der Probanden 1 bis 5. Es gilt jeweils: Box 1 = 1. Messung (vor der Belastung), Box 2 = 2. Messung (nach der Belastung).

In Abbildung 5 sind die iPTT-Werte zwischen Stirn und Hals für 5 Probanden dargestellt. Bei den Probanden 1 bis 4 ist eine niedrigere iPTT während der 2. Messung (nach der Belastungsphase) erkennbar. Die Laufzeitdifferenzen liegen insgesamt für die 1. Messung aus dem Ruhezustand heraus zwischen 6,7 ms und 104,4 ms. Für die 2. Messung nach der Belastung ergeben sich Laufzeitunterschiede von 4,4 ms bis 62,2 ms. Es ist mit den höheren Blutdruckwerten der Detektion nach den Kniebeugen eine niedrigere iPTT erkennbar. Bei der Aufnahme aus dem Ruhezustand heraus ist die zeitliche Verschiebung zwischen Hals- und Stirnsignal um Einiges höher.

Wie zu sehen, ist es prinzipiell möglich, Laufzeitunterschiede im Bereich des Gesichts zu detektieren. Es werden genügend iPTT-Werte errechnet. Verstärkt kommen diese in einem bestimmten zeitlichen Bereich vor (siehe Abbildung). Sieht man sich die mittlere Standardabweichung der Kreuzkorrelation an, ergibt sich für die 1. Messung 25,6 ms und für die 2. Messung 15,5 ms. Diese relativ geringe Verteilung ist auch in den Boxplots erkennbar. Allgemein zeigt sich der verwendete Algorithmus als gut geeignet für verrauschte Signale. Als Anwendung für die Detektion Kamera-basierter PTT-Signale findet er genügend und zufriedenstellende Werte. Dadurch, dass die Korrelation gefenstert und fließend stattfindet, werden viele nutzbare Daten gefunden. Es werden durchaus auch falsche Werte detektiert, diese werden jedoch durch eine hohe Menge an plausiblen Pulswellenlaufzeiten wieder ausgeglichen.

4.2 Diskussion zu den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie

Am Ende wird deutlich, dass es möglich ist, Kamera-basierte Laufzeitdifferenzen zwischen Hals und Stirn zu detektieren. Der Zusammenhang von Blutdruck und Laufzeitunterschieden ist in vielen Messergebnissen ebenso erkennbar. Steigt der Blutdruck, sollten die

Laufzeitdifferenzen niedriger werden. Das geschieht bei dem Großteil der Messungen und ist in Abbildung 4 bei den Probanden 1 bis 4 deutlich erkennbar. Einzelne Messungen, wie z.B. die der 5. Versuchsperson, zeigen, dass genau das Gegenteil der Fall ist. Eine Erklärung hierfür ist, dass die Probanden vor der ersten Aufnahme den Versuchsort erst einmal erreichen müssen. Das erfolgt bei den meisten der 33 Probanden zu Fuß oder mit dem Fahrrad, was den Blutdruck schon vor der Messung in die Höhe treibt. Außerdem muss jeder Proband direkt vor der Messung eine Treppe emporsteigen, was eine weitere physiologische Belastung ist und den Blutdruck abermals steigen lässt. Eine andere Möglichkeit ist die Aufregung der Probanden. Ein Großteil der Versuchsteilnehmer hat vorher noch nie an einer vergleichbaren Studie teilgenommen und zeigt sich sichtlich nervös. Auch auf Nachfrage antworten fast alle, dass sie etwas aufgeregt seien. Beides können plausible Gründe für den Anstieg der iPTT sein, welche für weitere Messungen eventuell vermieden werden müssen. Ein dritter Grund für die steigenden Laufzeitunterschiede ist die körperliche Verfassung der einzelnen Probanden. Ist jemand beispielsweise besonders sportlich und an physiologische Anstrengungen gewöhnt, kann es sein, dass sich der Blutdruck schneller normalisiert. Dadurch würde die PTT wieder schneller ansteigen und den Ursprungswert annehmen als bei den anderen Testpersonen. Da die Messdauer insgesamt fünf Minuten beträgt und insgesamt 290 Werte für die Schätzung der iPTT gemittelt werden, würde ein schnelleres Ansteigen dieser höher ins Gewicht fallen. Damit wären auch die Durchschnittswerte der Pulswellenlaufzeit für die 2. Messung höher.

4.3 Ausblick

Ein kleiner Schritt zur Kamera-basierten Blutdruckmessung ist hiermit also getan. Es wird aufgezeigt, dass sowohl die Detektion der iPTT mittels Hochgeschwindigkeitskamera, möglich ist und sich diese Messung auf den Gesichtsbereich beschränken lässt. Daher ist es also absolut von Bedeutung, dass weiter in diese Richtung geforscht wird und weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Wenn dies der Fall ist, könnte es zukünftig vielleicht möglich sein, Patienten den Aufenthalt im Krankenhaus zu verkürzen. Als einziges Messmittel für den Puls und den Blutdruck würde eine Klinik dann nur noch ein Hochgeschwindigkeitskamerasystem benötigen. Die dadurch gewonnenen Bioparameter Puls und Blutdruck könnten in Echtzeit an das behandelnde medizinische Personal übermittelt werden, wodurch dieses im Notfall schneller handeln könnte. Damit sind sowohl der Patient als auch die klinischen Mitarbeiter entlastet. Die Kosten der Behandlung und Überwachung würden langfristig enorm sinken. Die Rehabilitation der Erkrankten wird dadurch ebenfalls beschleunigt und erleichtert, was im Interesse aller Beteiligten ist. Die weitere Erforschung dieses Feldes wäre also ein wichtiger und relevanter Schritt in Richtung einer zukünftig noch besseren Medizintechnik.

Danksagung

Die Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (FKZ 03FH0321X5)

Literatur

- ¹ Dipl.-Ing. Achim Wack (2006). Nichtinvasive Blutdruckmessung unter Ergometriebedingungen. Technische Universität München - Elektrotechnik und Informationstechnik
- ² Ralf Schüler (1998). Apparative Gefäßdiagnostik - Untersuchungsmethoden und deren Anwendung. ISLE Verlag Ilmenau
- ³ Jan Dvorak, Jan Havlik (2013). Pulse Transition Time in hemodynamic measurement - methods, problems, hardware equipment and first results. Faculty of Electrical Engineering Czech Technical University in Prague
- ⁴ Jeong, In Cheol and Finkelstein, Joseph (2016). Introducing Contactless Blood Pressure Assessment Using a High Speed Video Camera. J. Med. Syst.. Plenum Press
- ⁵ Martin Meyer (2014). Signalverarbeitung - Analoge und digitale Signale, Systeme und Filter}. 7., verbesserte Auflage. Springer Vieweg

Acceleration accumulation during cyclic loading of dry sand in small scaled experiments.

Alexander Knut*, Holger Pankrath, Rosa Elena Ocaña Atencio, Ralf Thiele
HTWK Leipzig University of Applied Sciences, Department of Civil Engineering
G² Gruppe Geotechnik

*corresponding author: alexander.knut@htwk-leipzig.de

Abstract

Our aim is the prediction of soil densification during different forms of impact compaction. Therefore we investigate the interdependency of soil and compactor in a small scaled experimental setup in the field of gravity (so called 1g-test). The behaviour of the soil specimen is observed with a high speed camera and quantified by the PIV/DIC-Method. The acceleration of the falling weight is measured also. We found that the peak of the acceleration increases related to a simple function.

1 Introduction

The behaviour of soil subjected to impact loads is still a recent topic of research because of its nowadays more and more practical relevance due to the development of new compaction technologies. Soil is heterogeneous and can be described by different amounts of water, air and solid (Figure 1). Within this model the void ratio is $e = V_V/V_S$ and compaction can be understood as reduction of the void ratio. The stiffness and the friction angle of the material increases by the compaction.

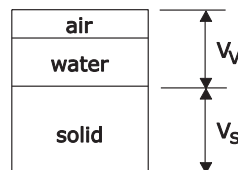


Figure 1 Model of soil consisting of solids, water and air

Generally, one can distinguish *static*, *harmonic dynamic* and *transient dynamic* forms of soil compaction technologies. The distinction between static and dynamic methods is not obvious. As related by Wichtmannⁱ the frequency of the soil reaction must hold the condition

$$\hat{u} (2 \pi f_s)^2 \ll g$$

for static or quasi-static loading forms. Otherwise inertial forces are relevant regarding the behaviour of the system. Because the Parameter \hat{u} and f_s depend on the compaction technology and the soil no strict loading frequency can be defined to separate static and dynamic loading. Irrespective of this fact a common frequency threshold is 5 Hz.

The harmonic dynamic and transient dynamic types of soil compactors are of interest for this work and will be briefly described. Harmonic dynamic working technologies are e.g. dynamic drum rollers. The drum is usually excited by an adjustable directed vibrator. The quality of the compaction is measured online with systems depending on the manufacturer. The transient dynamic systems usually work with impact loads, e.g. the dynamic compaction or the impact compaction.

As already mentioned harmonic dynamic soil compactors can monitor the densification while the compaction is in process. Transient dynamic soil compaction technologies have a lack of such systems especially because there is no satisfying correlation between the degree of compaction measured with field methods (e.g. CPT) and relevant parameters measured on the compaction machine. Within this Paper we want to show the interaction of dry sandy soil and an impact compactor in a small scaled experimental setup. The understanding of this interaction and its interdependency could be a first step towards a process-accompanying compaction monitoring system for transient dynamic soil compactors.

2 Experiments with transient dynamic soil compactors

2.1 Experimental setup, instrumentation and test design

The experimental setup used in this study is shown in Figure 2 schematically. A regional dry Sand was used for this study. The soil specimen is prepared by air raining with an initial density of $\rho_0 = 1,62 \text{ kg/m}^3$. The specimen has a dimension of 880 x 620 x 400 mm (L x H x D). The used raining method is presented more into detail in^{iii,iv)} A thick sheet of Perspex on one side of the container caring the specimen allows an insight into the soil during impact loading. The loads are applied by a guided and halved weight falling close to the Perspex. Thus we assume axial symmetric loading under gravity in our experiment. Other so called 1g-experiments with impact loads are reported e.g. in^{v)}. With our setup we can change the initial density of the soil, the weight, the falling height, the diameter and the acceleration of the falling weight.

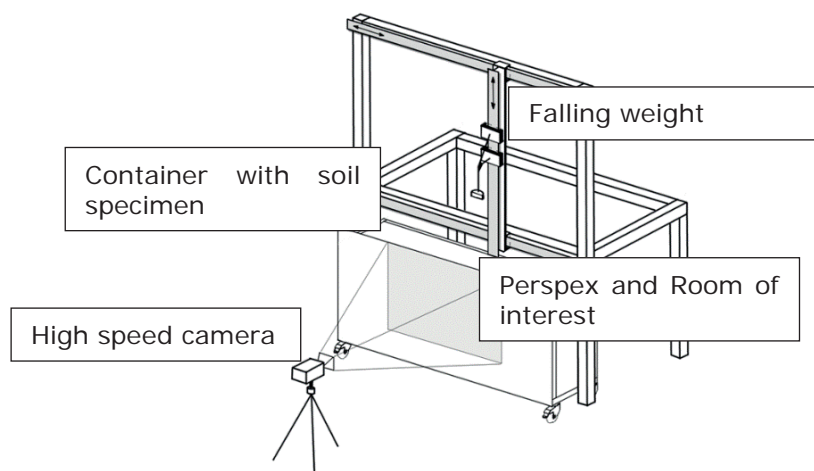


Figure 2 Experimental setup and its components

Table 1 Configurations investigated during the experiments.

no.	m [kg]	h [m]	d [m]	N	R	identifier
01	4,500	0,80	0,100	12	4	m4_5-h0_8-D100_N101 ... *_N412
02	4,500	1,00	0,100	12	4	m4_5-h1_0-D100_N101 ... *_N412
03	4,500	1,20	0,100	12	4	m4_5-h1_2-D100_N101 ... *_N412
04	5,625	0,64	0,100	12	4	m5_625-h0_64-D100_N101 ... *_N412
05	6,750	0,53	0,100	12	4	m6_75-h0_53-D100_N101 ... *_N412
06	4,800	1,20	0,150	24	1	m4_8-h1_2-D150_N101 ... *_N124
07	7,090	1,01	0,125	24	1	m7_09-h1_01-D125_N101 ... *_N124
08	47,38	0,34	0,300	12	2	m47_38-h0_34-D300_N101 ... *_N212
09	47,38	0,34	0,435	12	2	m47_38-h0_34-D435_N101 ... *_N212
10	47,38	0,46	0,300	12	2	m47_38-h0_46-D300_N101...*_N212
11	47,38	0,91	0,300	12	2	m47_38-h0_91-D300_N101 ... *_N212

- m ... mass of the falling weight
- h ... falling height
- d ... diameter of the falling weight
- N ... impacts bevor sample reconstitution
- R ... reruns

The reaction of the soil specimen during the applied loading condition is captured by a high speed camera recording at 1600 fps. The images are then processed with the PIV/DIC-Method (Particle Image Velocimetry / Digital Image Correlation). This method calculates the field of displacement by a cross-correlation algorithm which compares discrete regions of the picture pair-by-pair. An acceleration transducer measuring in three axis gather the behaviour of the falling weight during and post impact. Because we capture both the soil and the compactor behaviour we are able to investigate its interdependency.

As already mentioned several parameters of the setup can be modified. Varying these parameters in 11 different configurations we observed over 384 impacts. As shown in Table 1 we rerun various configurations to show the variance of the results.

2.2 experimental data

The contour line plots shown in section 3 represents the depth of improvement 0,125 s after the impact occurred. This depth of improvement (DOI) is the lower boundary which holds the condition:

$$u_y > -4,5mm$$

The x- and y-coordinate of the diagrams are related to the diameter of the falling weight to minimize the so called 'scaling effect' of 1g-model tests^{vi}. To assess the acceleration data the signal was low-pass filtered with a cut off frequency of 100 Hz.

3 Results

Figure 3 shows the depth of improvement of series no. 01 (see Table 1) in the above mentioned manner. The maximum depth of improvement for the rerun series N301-N312 is shown in Figure 3 alongside. The biggest deviation along these maximum values is 7,7 % related to series N101-N112.

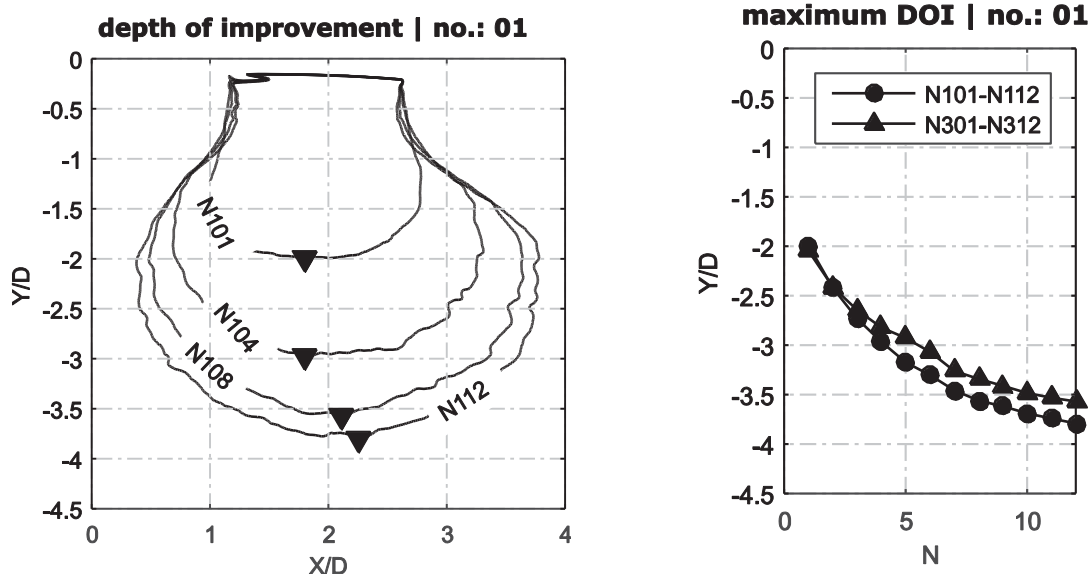


Figure 3 Depth of improvement and maximum depth of improvement of configuration no.: 01

The acceleration in multiples of the gravity ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) is shown in Figure 4. The mean deviation of the maximum acceleration is 2,7% compared to the rerun series N301-N312 (without concerning the first impact) as shown in Figure 4 alongside.

The signal of acceleration investigated shows good compliance with recent field investigations presented by Adam^{vii} or Kirstein^{viii}. Thus we can investigate the interdependencies between

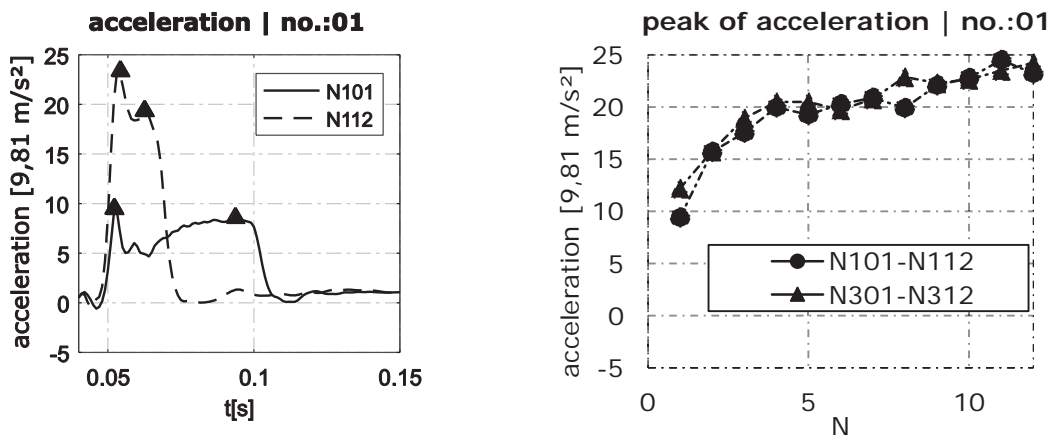


Figure 4 Curve of the acceleration and maximum values of acceleration compared to the rerun

the soil and a compactor applying impact loads in laboratory environment with our setup at least in a qualitative manner.

With increasing densification we recognised an increase in the peak of acceleration, which is in good compliance with the experimental work of Poran^{vi}. Other authors^{ix,vii} propose the use of a simple viscoelastic material model to assume the soil behaviour. The viscoelastic model predicts a constant damping factor which holds the condition: $\hat{a}_n/\hat{a}_{n+1} = const$. Actually the behaviour of the system is strongly non-linear. As shown in Figure 4 we can not endorse this condition with our experiments. Obvious there is no clear convergence for this condition.

It is well established that dynamic soil properties (shear module and material damping) strongly depend on the applied shear strain and various soil properties^x. Furthermore an accumulation of plastic strainⁱ can be observed during cyclic loading, which is obvious eminent in our experiment (see Figure 4 right). This effect is known as ratcheting and functionally described in several forms of the type $\epsilon_p \propto \ln(N)^i$. We can show that during a ratcheting failure the peak of the acceleration also shows this behaviour. A good fit of the acceleration peak can be found with the function:

$$\hat{a} = m \ln(N) + n$$

As shown in Figure 5 we could fit the acceleration peak of conf. no. 06 with $R^2 = 99,2\%$. A more promising approach to describe the soil behaviour under impact loading should be possible with these both theories in mind.

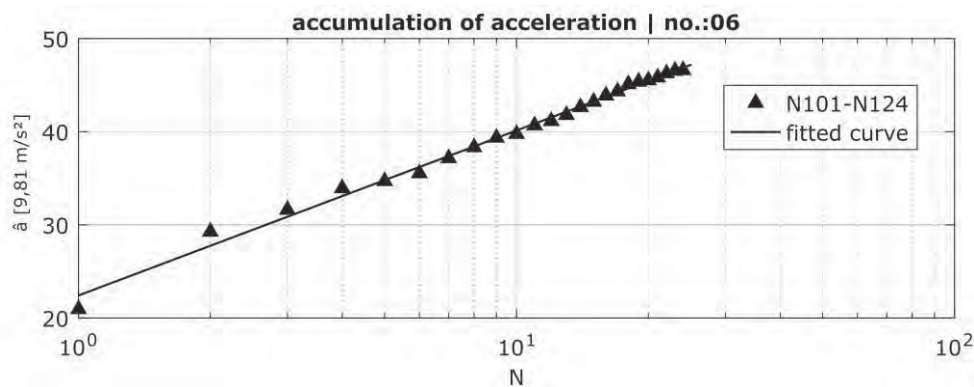


Figure 5 Accumulation of acceleration in dry sandy soil during cyclic impact loading

4 Conclusion

Small scaled experiments can be a good springboard to entrench new technologies or methods for soil compaction. Nevertheless there are boundaries. Especially the small stress level within the 1g environment is a limiting factor. The proposed dependencies must be validated in field tests. But besides that, small scaled experiments are low cost, reproducible and quickly done. That is why they are a major element in the establishment of modern compaction technologies and methods. Regarding our small scaled experiments we can summarize the following:

- a) The experimental method is reproducible.
- b) The acceleration measured on the falling weight shows good compliance with field tests.
- c) The progression of the peak of acceleration proves the experiments made by Poran^{vi}
- d) We object the simplification of the viscoelastic model
- e) The well-known ratcheting behaviour seems to be true for the peak of acceleration too

The improvement of the found dependency shown in section 3, especially regarding the units of the coefficients of fitting (m, n) and its reliance on soil and system parameters is of interest for further research.

5 Acknowledgement

The research reported in the paper was funded by the BMWi (MF150157) and the authors doctoral studies grant funded by the ESF.

ⁱ Wichtmann, T. "Explicit accumulation model for non-cohesive soils under cyclic loading." Diss., Ruhr-University Bochum, *Publications of the Institute of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2005.

ⁱⁱ Mooney, M. A.; Rinehart, R. V.; Facas, N. W.; White, D. J.; Vennapusa, P. K. "Intelligent Soil Compaction Systems.;" *NCHRP report 676*; Transportation Research Board: Washington, D.C., 2010.

ⁱⁱⁱ Knut, A.; Pankrath, H.; Ocaña Atencio, R. E.; Thiele, R. „Modellversuche zur Eingrenzung von Verdichtungsindikatoren bei impulsartig wirkenden Bodenverdichtungstechnologien.“ In *11. Österreichische Geotechniktagung*; ÖIAV, Ed., 2017; pp 251–261.

^{iv} Trudeep, N. D.; Dasaka, S. M. "Assessment of portable traveling pluviator to prepare reconstituted sand specimens." In *Geomechanics and Engineering 2012*, vol. 4(2), 79-90.

^v Hajjalilue-Bonab, M.; Rezaei, A. "Physical Modelling of Low-Energy Dynamic Compaction." In *IJPMG-International Journal of Physical Modelling in Geotechnics* 2009, vol. 3, 21–32

^{vi} Poran, C. J.; Heh, K.-S.; Rodriguez, J. A. "Impact Behaviour of Sand". In *Soils and Foundations* 1992, 32 (4), 81–92.

^{vii} Adam, D.; Paulmichl, I.; Kopf, F.; Erdmann, P. "Integrierte Verdichtungskontrollen bei dynamischen Verdichtungsverfahren." In *Baugrundverbesserung in der Geotechnik*; Adam, D., Herrmann, R. A., Eds, Siegen, 2011; 135–159.

^{viii} Kirstein, J.; Grabe, J.; Chmelnizkij, A. „Numerische Berechnungen und messtechnische Begleitung zur Dynamischen Intensivverdichtung.“ In *34. Baugrundtagung* 2016; DGGT, Ed., 2016; 297-304.

^{ix} Kopf, F.; Paulmichl, I. „Die dynamische Intensivverdichtung (DYNIV) - Verdichtungskontrolle mittels dynamischer Messungen.“ In *ÖIAZ* 2005, 150 (4-5), 149-159.

^x Zhang, J.; Andrus, R. D.; Juang, C. H. "Normalized shear modulus and material damping ratio relationships." In *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 2005, 131 (4), 453-464.

Fertigungskonzeption 4.0 – Adaptive Automation für die Fertigung mit Mensch und Anlage

Kathrin Bothe, Leif Goldhahn, Alexander Winkler

Hochschule Mittweida

Fakultät Ingenieurwissenschaften

bothe@hs-mittweida.de

Abstract

Die Anforderungen an die Produktion bezüglich Produktvielfalt, Produktionsgeschwindigkeit und Qualität steigen zunehmend. Ausgehend davon, besteht die Notwendigkeit Methoden und Technologien zur Handhabung dieser Komplexität zu entwickeln und zu integrieren. Durch die Entwicklung adaptiver Automation ergeben sich neue Gestaltungsmöglichkeiten von Fertigungskonzepten. Im folgenden Beitrag sollen dazu aktuelle Problemstellungen und Lösungsansätze vorgestellt werden.

1. Einleitung

Im Zuge der 3. industriellen Revolution hielt die Automatisierung und damit verbunden der Einsatz von Robotern, Einzug in die weltweite Produktion. Entsprechend den technischen Gegebenheiten war es möglich die Produktionsmenge erheblich zu steigern. Doch führte dies in vielen Bereichen zum Verlust der Flexibilität in der Produktion. Die neu entstandenen Betätigungsfelder des Menschen liegen primär in den Bereichen Planung und Überwachung. Im Störfall kann dies jedoch zu erheblichen Problemen führen [1]. Damit die Vorteile der Automatisierung weiterhin gewinnbringend genutzt werden können, ist es wichtig Lösungen für die entstandenen Probleme zu entwickeln. Dafür ist es zunächst notwendig, die gewünschten Aufgaben und Eigenschaften von Mensch und Maschine bezüglich ihrer jeweiligen Stärken und Schwächen klar zu definieren. Der Mensch ist mit seinen Eigenschaften wie Flexibilität, Anpassungs- und Lernfähigkeit in der Lage, Situation zu analysieren, Rückschlüsse zu ziehen und komplexe, variierende Aufgaben zu übernehmen. Die Maschine hingegen kann aufgrund sehr hoher Prozessgenauigkeit und Schnelligkeit nahezu ermüdungsfrei klar definierte Aufgaben ausführen [2].

Die nunmehr steigenden Anforderungen an die Flexibilität der Produktion bedingen die Weiterentwicklung von Robotern und Maschinen in diesem Bereich. Gleichzeitig müssen jedoch Technologien entwickelt werden, die eine Koexistenz von Robotern und Menschen unter Einhaltung der geforderten Sicherheitsvorschriften ermöglichen [3]. Auch die intuitive Zusammenarbeit von Menschen und Robotern spielt zukünftig eine wesentliche Rolle. Ziel ist es, die kontinuierliche Arbeitsweise eines Roboters mit der Kreativität und Flexibilität eines Menschen zu vereinen und gleichzeitig auf komplizierte Programmänderungen oder manuelle Bedienung des Roboters zu verzichten [4].

2. Fertigungskonzeption 4.0

Die Erstellung von Fertigungskonzepten bildet den Grundstein in der Fertigung. Zielsetzung ist dabei die technische Herstellbarkeit des Produktes zu bestätigen und gleichzeitig den Kundenwünschen sowie den eigenen Unternehmensinteressen gerecht zu werden.

2.1 Wesentliche Bestandteile der Fertigungskonzeption 4.0

Ein Fertigungskonzept (Abbildung 1) integriert einzelne Fertigungssysteme, die in ihrer Anzahl je nach Komplexität des zu fertigenden Bauteils variieren, Elemente und Methoden des verwendeten Produktionssystems sowie Anforderungen und Rahmenbedingungen, die durch den Kunden bzw. das Produkt vorgegeben werden. Im Zuge der industriellen Entwicklung steigen jedoch die Anforderungen an ein Fertigungskonzept sowohl aus Sicht des Kunden als auch aus Sicht des produzierenden Unternehmens weiter an [5].

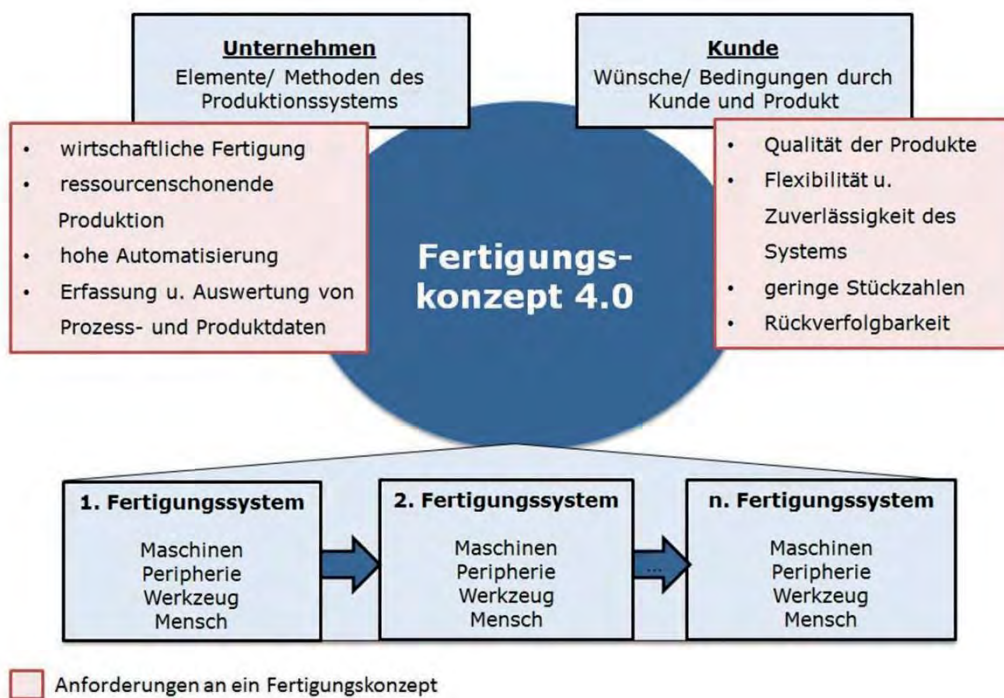


Abbildung 1: Inhalte und Einflussfaktoren eines Fertigungskonzeptes (in Anlehnung an [5])

Wichtige Faktoren sind hierbei die wirtschaftliche Produktion nicht nur von Großserien sondern auch von Kleinserien und Einzelteilen bei einem hohen Automatisierungsgrad sowie eine ressourcenschonende Produktion. Weiterhin ist die Erfassung und Auswertung von Prozess- und Produktdaten zur kontinuierlichen Verbesserung des angewendeten Fertigungskonzeptes unabdingbar. Denn nur auf diesem Weg ist es möglich, hohe Anforderungen an die Qualität des Produktes, die Flexibilität und Zuverlässigkeit des Systems sowie die Rückverfolgbarkeit der Produkte sicherzustellen.

2.2 Allgemeiner Ablauf bei der Erstellung von Fertigungskonzepten

Für die Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Zum einen entwickelte REFA ein 6-Stufen-Modell zur Planung von Projekten bei gleichzeitiger Analyse einzelner Arbeitsabläufe. Dabei werden zunächst die drei Komponenten Eingabe, Fertigungssysteme und Ausgabe eines Systems unterschieden [6].

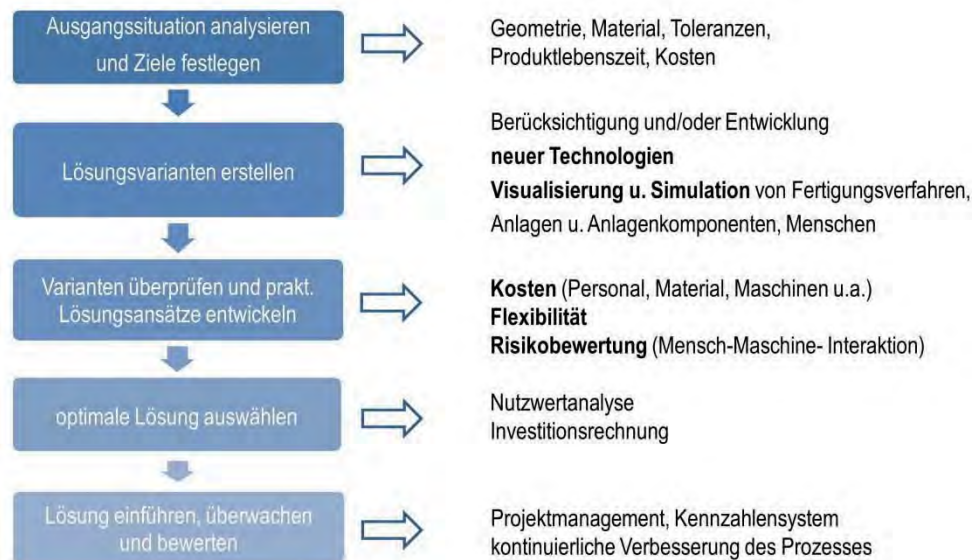


Abbildung 2: Vorgehensweise zur Erstellung von Fertigungskonzepten (in Anlehnung an [6])

In der vorliegenden Arbeit wurde nach dem in Abbildung 2 dargestellten Schema zur Erstellung eines Fertigungskonzeptes vorgegangen. Hierbei wurden die ersten zwei Stufen des REFA-Modells zusammengefasst. Das Hauptaugenmerk liegt dabei in den Bereichen „Lösungsvarianten erstellen“ und „Varianten überprüfen und praktische Lösungsansätze entwickeln“. Auf Basis dieser Analyse erfolgt die Zusammenstellung unterschiedlicher Lösungsvarianten unter der Berücksichtigung und/ oder Entwicklung neuer Technologien sowie die Visualisierung und Simulation von Fertigungsverfahren, Anlagen, Anlagenkomponenten in Kooperation mit dem Menschen. Anschließend wird eine nähere Betrachtung dieser Varianten mit Blick auf die zu erfüllenden Anforderungen durchgeführt. Dabei ist es möglich, mittels Risikobewertung, neu entwickelte aber auch bestehende Technologien insbesondere in Bezug auf die Mensch-Maschine-Interaktion eingehend zu untersuchen und zu bewerten.

2.3 Erstellung unterschiedlicher Lösungsvarianten

Im Rahmen des Projekts wurde eine Fertigungskonzeption, bestehend aus zwei Fertigungssystemen als Referenz betrachtet. Das erste Fertigungssystem dient der Materialbearbeitung mittels Laserschneiden und das Zweite der Umformung durch Biegen. Damit die gewünschte Prozessabfolge umgesetzt werden kann, ist es notwendig alle Fertigungsschritte zu gliedern und Realisierungsmöglichkeiten zu definieren (Abb. 3). Als manuell wird dabei die Handhabung von Materialien bzw. das Ausführen einer Tätigkeit durch den Menschen angesehen. Die Darstellung erfolgt in Form einer spezifisch entwickelten, prozessorientierten morphologischen

Matrix. Es ist zu erkennen, dass die Vielfalt der Umsetzungsmöglichkeiten sehr groß sein kann. Die Lösungsvarianten 1 bis 4 bilden dabei Lösungen mit einer klar definierten Handhabung ab. Aufgrund steigender Anforderungen bezüglich der Flexibilität eines Prozesses, insbesondere bezogen auf die Typenvielfalt und Losgröße, kann eine Kombination verschiedener Lösungsvarianten (Variante 5) als effektivste Lösung angesehen werden.

Fertigungsschritt		Varianten				
Input	Blech	1	5	2 geordnet	3	4
Handling	Fördern zum Fertigungsprozess 1	manuell	Gabelstapler/Hubwagen	Autonom Lasernavigation	autonom Leiterbahnen	
	Blech aufnehmen, einlegen	manuell	Roboter	autom. Be- und Entladeeinheit		
Fertigungsprozess 1	Auftragsdaten übermitteln	Laufzettel	RFID am Transportbehälter	2D Code auf dem Blech	2D-Code Transportbehälter	
	Maschine einrichten		manuell	integrierter WZ-Wechsler		
	Laserschneiden			voll automatisiert		
Output	Rohteil		geordnet		ungeordnet	
Handling	Rohteil entnehmen, ablegen	manuell	Roboter	autom. Be- und Entladeeinheit		
	Fördern zum Fertigungsprozess 2	manuell	Gabelstapler/Hubwagen	Autonom Lasernavigation	autonom Leiterbahnen	
Fertigungsprozess 2	Rohteil aufnehmen, einlegen		manuell	Roboter		
	Auftragsdaten übermitteln	Laufzettel	RFID am Rohteil	2D Code auf dem Blech	2D-Code Transportsystem	
	Maschine einrichten	manuell	externer WZ-Wechsler	interner WZ-Wechsler		
	Biegen		manuell	Roboter		
Output	Fertigteil		geordnet		ungeordnet	
Handling	Fertigteil entnehmen, anlegen		manuell	Roboter		
	Fördern zum Lager/ Verpackung	manuell	Gabelstapler/Hubwagen	Autonom Lasernavigation	autonom Leiterbahnen	

Abbildung 3: Prozessorientierte morphologische Matrix zur Erarbeitung eines Fertigungskonzeptes

Folglich ist es ein Ziel, Technologien zu entwickeln, die der Gewährleistung der Prozessflexibilität dienen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Prozessschritten Greifen, Datenübermittlung sowie das Einrichten der Maschinen. Daraus ergeben sich folgende Forschungsschwerpunkte:

- Lage- und Positionsbestimmung von ungeordneten Bauteilen zur produktgenauen Entnahme durch Mensch und Roboter
- Kooperation von Mensch und Roboter.

3. Adaptive Automation

Mittels adaptiver Technologien sollen sich selbständig anpassende und optimierende Fertigungsprozesse und Prozessketten gestaltet werden. Zur Realisierung dienen intelligente Regelungssysteme und Sensorik, sowie die Vernetzung von Anlagen und Softwaresystemen [7]. In einem Fertigungssystem bedeutet dies beispielweise das Einführen von intelligenten Produkten oder auch Maschinen. Mittels 2D-Code oder RFID-Transpondern können Produkte und Werkzeuge gekennzeichnet und prozessrelevante Daten hinterlegt werden. Dies ermöglicht neben einer auftragspezifischen Produktion auch die Rückverfolgbarkeit der hergestellten Produkte [8]. In Abbildung 4 ist ein Konzept zur auftragspezifischen Produktion von Kleinserien dargestellt. Hierbei wird dem Bediener über eine Informationsanzeige die Reihenfolge der

zu fertigenden Bauteile sowie die Lage dieser Teile übermittelt. Kriterien zur Festlegung einer Reihenfolge können beispielsweise der Liefertermin, die Fertigungszeit sowie die Maschinenauslastung sein. Eine große Produktvielfalt kann jedoch die manuelle Entnahme des gewünschten Bauteils zur Weiterbearbeitung erschweren. Aus diesem Grund sollen RFID-Transponder zur Lagebestimmung eines Bauteils herangezogen werden. Folglich würde nicht nur die manuelle Entnahme erleichtert sondern auch eine Automatisierung des Prozesses ermöglicht werden.

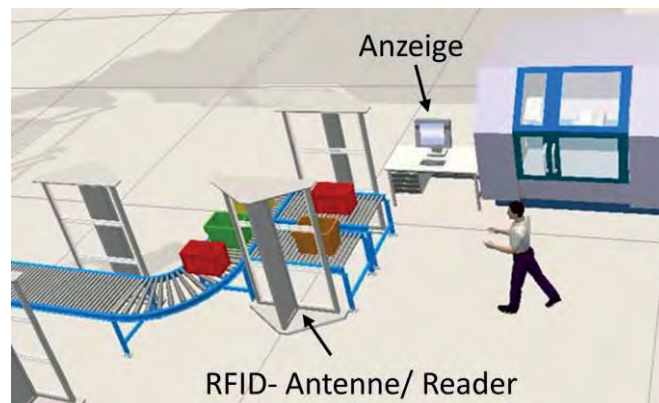


Abbildung 4: Konzept zur Informationsanzeige der Reihenfolge und Lage zu fertigender Bauteile

Der Einsatz von Sensoren zur Maschinenüberwachung dient der Erfassung des Betriebszustandes sowie der Prozessdaten. Die Auswertung dieser Daten lässt es zu, Vorhersagen über das Prozess- und Maschinenverhalten zu treffen. Demzufolge können Fehler in der Produktion und deren Ursachen frühzeitig erkannt und behoben werden [9].

Adaptive Technologien können jedoch auch im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration integriert werden. Dabei spielt es eine wichtige Rolle, die Beanspruchung des Menschen so hoch aber gleichzeitig auch so gering wie notwendig zu halten, um einer Überlastung bei körperlich schweren und einer Unterforderung bei eintönigen Tätigkeiten entgegenzuwirken. Neben der unterstützenden Wirkung sollen es neue Technologien jedoch ermöglichen, dass Mensch und Maschine befähigt sind, Situationen zu analysieren und Aufgabenumverteilungen zu veranlassen. Dies setzt jedoch voraus, die Eigenschaften und Zustände des Menschen zu erfassen und auszuwerten [10].

4. Fazit und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden Herausforderungen bei der Gestaltung von Fertigungskonzepten erläutert. Aktuell wird an einer Möglichkeit zur Lage- und Positionsbestimmung von ungeordneten Bauteilen zur produktgenauen Entnahme durch Mensch und Roboter mittels RFID-Transpondern untersucht.

In einem weiteren Schritt soll ein Demonstrator für die Mensch-Roboter-Kollaboration bei der Bauteilbearbeitung entwickelt werden. Wobei Eigenschaften und Zustände des Menschen erfasst und verarbeitet werden. Die Auswertung dieser Daten, soll den verwendeten Roboter

befähigen, Arbeitsabläufe selbstständig zu unterbrechen oder zu verändern. Generelle Informationen zur Entwicklung eines Bedienkonzeptes für automatisierte Anlagen finden sich in [11]. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird die Entwicklung eines Bedienkonzeptes für Systeme mit adaptiver Automation ein lohnenswerter Forschungsgegenstand sein.

Literatur

- [1] Gneuss M.: *Industrie 4.0- Die vierte industrielle Revolution*. In: Handelsblatt, Berlin: Reflex Verlag GmbH, 2014
- [2] Zühlke D.: *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen: Useware-Engineering für technische Systeme*. 2. Aufl., Heidelberg: Springer Verlag, ISBN 978-3-642-22073-9, 2011
- [3] Elkmann N.; Berndt D.; Leye S.; Richter K.; Mecke R.: *Arbeitssysteme der Zukunft*. In: Schenk M. (Hrsg.): *Produktion und Logistik mit Zukunft*, Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, ISBN 978-3-662-48265-0, 2015, S. 49-149
- [4] Franken S.: *Führen in der Arbeitswelt der Zukunft – Instrumente, Techniken und Best-Practice-Beispiele*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, ISBN 978-3-658-11612-5, 2016
- [5] Pohl S.: *Auswahl von Fertigungskonzepten für kundenspezifische Kunststoff-Metall-Bauteile durch ganzheitliche Modellbetrachtung*. Dissertation Universität Duisburg-Essen, 2012
- [6] REFA- Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.: *Methodenlehre der Betriebsorganisation - Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme*. 2. Aufl., München: Carl Hanser Verlag, ISBN 3-446-15967-3, 1990
- [7] Fraunhofer- Institut für Produktionstechnologie IPT: *Industrie 4.0 – Vernetzte, adaptive Produktion*. <http://www.ipt.fraunhofer.de/content/dam/ipt/de/documents/Broschueren/Industrie%2040-Vernetzte%20adaptive%20Produktion.pdf> [PDF Datei]
- [8] Schlick J.; Stephan P.; Loskyll M.; Lappe D.: *Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung*. In: Vogel-Heuser et. al. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, Springer Reference Technik, ISBN 978-3-662-53247-8, 2017, S. 3-29
- [9] Gausemeier J.; Hahn A.; Kespohl H. D.; Seifert L.: *Vernetzte Produktentwicklung – Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking*. München, Wien: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG; ISBN-10: 3-446-22725-3, 2006
- [10] Badke-Schaub P.; Hofinger G.; Lauche K. (Hrsg.): *Human Factors – Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, ISBN 978-3-540-72320-2, 2008
- [11] Goldhahn L.: *Entwicklung eines lebenszyklusorientierten Bedienkonzeptes für automatische Montageanlagen*. In: GfA- Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V. (Hrsg.): *Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?!* Dortmund: GfA Press, ISBN 978-3-936804-20-1, 2016, A.4.6 S.1-6

Bestimmung von Schichtdicke und Brechungsindex dünner Filme mittels Fitanalyse

Marco Preuß^{a,b}, Bryan Nelsen^a, Christopher Taudt^{a,b}, Peter Hartmann^{a,b}

^aWestsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichsring 2a, Zwickau

^bFraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien, Keoplerstraße 2, Zwickau

Marco.Preuss.0q3@fh-zwickau.de

Abstract

In der vorliegenden Arbeit werden komplexer Brechungsindex und Schichtdicke dünner Indium-Zinn-Oxid (ITO) Filme bestimmt. Dazu wurden Transmissions- und Reflexionsmessungen mit Hilfe eines Spektrophotometers durchgeführt. Die aufgenommenen Daten wurden mittels eines Multiparameter-Kurven-Fits analysiert.

1. Einleitung

Durch Schichtdicken im Nano- bzw. Mikrometerbereich¹ und den damit einhergehenden besonderen Eigenschaften besitzen dünne Filme eine enorme Bedeutung für viele technische Applikationen. Aufgrund seiner herausragenden Eigenschaften, wie ein hohes Transmissionsvermögen und geringen elektrischen Widerstand², wird ITO besonders häufig verwendet, z. B. als leitfähige, transparente Elektroden für OLED-Displays³. Die optischen Eigenschaften sind dabei sehr eng mit den elektrischen verknüpft. Das heißt die elektrischen Eigenschaften können aus den optischen abgeleitet werden. Das erklärt die Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit der Bestimmung optischer Charakteristika beschäftigen.

2. Experimentelle Details

Spektrophotometer eignen sich hervorragend um quantitative Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Materialien zu bestimmen. Die Analyse ist gegenüber vergleichbaren Messtechniken sehr schnell⁴. Spektrophotometer messen die Intensität des transmittierten Lichtes als Funktion der Wellenlänge. Beim Passieren eines Monochromators werden aus dem breitbandigen Spektrum der Lichtquelle einzelne Wellenlängen extrahiert. Das Licht passiert anschließend die Probe. Das Transmissionsverhalten ist direkt mit den Charakteristika der Probe verbunden. Bei dem, in dieser Arbeit verwendeten, Spektrophotometer der Firma Jasco handelt es sich um ein Zweistrahl-Spektrophotometer. Diese Konfiguration ist besonders vorteilhaft, da die Messung einer Referenz im zweiten Strahlengang den Drift der Lichtquelle kompensiert. Das hier verwendete Spektrophotometer

bietet außerdem die Möglichkeit die Reflexion zusätzlich zu Transmission zu messen. Die Verwendung beider Messungen erhöht die Genauigkeit des Kurven-Fits, besonders was den imaginären Anteil des Brechungsindexes betrifft⁵. Die verwendete Messtechnik nutzt zwei Lichtquellen, eine Halogen- und Deuteriumlampe. Damit ist es möglich einen Spektralbereich zwischen 280 und 2200 nm mit einer Schrittweite von 1 nm zu untersuchen.

Bei den Proben handelt es sich um, mit ITO beschichtete, Glassubstrate. Das Substrat ist bei der Firma Zencatec erworben wurden und besitzt eine Dicke von 1.10 ± 0.03 mm. Die ITO-Beschichtung wurde von der Firma Merk durch einen Sputterprozess aufgebracht. Die Schichtdicken des ITO-Films liegt zwischen 110nm und 140nm laut Hersteller.

3. Optisches Modell

Die optischen Eigenschaften des Dünnsfilms können durch den komplexen Brechungsindex beschrieben werden $\tilde{n} = n - ik$. Der komplexe Brechungsindex ist durch die Maxwell-Relation, $\tilde{n} = \varepsilon^2$, mit der dielektrischen Funktion verknüpft. Der Brechungsindex ist dabei von der Photonenenergie des Lichtes, das heißt seiner Wellenlänge, abhängig. Dieses Verhalten wird allgemein als Dispersionsrelation bezeichnet. Methoden, welche Dispersionsmodelle zur Analyse verwenden, sind relativ unsensibel gegen zufällige Messfehler, was zu genaueren Ergebnissen führt⁶. Alle Dispersionsmodelle eignen sich nur für ausgewählte Materialien und beschreiben nur bestimmte Teile des Real- oder Imaginärteils des Brechungsindex. Daher ist die Wahl des richtigen Modells entscheidend für präzise Ergebnisse. Das "Drude-Modell", 1900 von Paul Drude⁷ postuliert, beschreibt die Transporteigenschaften von Elektronen in Materialien, vor allem dann wenn freie Elektronen eine signifikante Rolle für die optischen Eigenschaften spielen. Das klassische Drude-Modell kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\varepsilon_D = \frac{\omega_p^2}{-\omega^2 + i\tau_D\omega} \quad (1)$$

Untersuchungen haben gezeigt, dass das Drude-Modell sehr gut für ITO funktioniert⁸. Der Drude Term repräsentiert die Bandlücke des ITO und die Präsenz freier Elektronen im Film⁹. Für die Bestimmung der optischen Eigenschaften des Substrates muss das Drude-Modell erweitert werden. Durch die Modellierung der dielektrischen Funktion des Glases mit einem Lorentzoszillator können die optischen Eigenschaften des Substrates berücksichtigt werden. Deshalb wird in der vorgestellten Fit-Analyse in dieser Arbeit das Drude-Modell mit einem Lorentzoszillator kombiniert. Die dielektrische Funktion ergibt sich dann zu:

$$\varepsilon = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)\omega_t^2}{\omega_t^2 - \omega^2 + i\tau_0\omega} + \frac{\omega_p^2}{-\omega^2 + i\tau_D\omega} \quad (2)$$

Dabei ist ω_t die Resonanzfrequenz der Bandlücke und ω_p die Plasmafrequenz. τ_0 und τ_D sind hierbei die zugehörigen Dämpfungsfaktoren. Alle Variablen aus Gleichung (2) und die Schichtdicke des Filmes werden als Fit-Parameter verwendet.

4. Datenanalyse durch Multiparameter-Kurven-Fit

Die experimentellen Daten werden mit der "Methode der kleinsten Quadrate" gefittet um die gesuchten Parameter zu bestimmen. Diese Methode bestimmt die abzuschätzenden Parameter mit der höchsten Wahrscheinlichkeit korrekt zu sein, unter Angabe von wichtigen Randbedingungen für den vorliegenden physikalischen Prozess. Mit dem im vorherigen Kapitel beschriebenen Modell (Gleichung 2) ergeben sich für den Kurven-Fit sieben Parameter, welche abgeschätzt werden müssen (Multiparameter-Fit). Des Weiteren bedarf es eines Transfer-Matrix-Formalismus für die Kalkulation der Transmission und letztlich der gesuchten Werte. Das bedeutet, dass für jede Wellenlänge und jeden einzelnen Schichtübergang das Transmissions- und Reflexionsverhalten berechnet wird. Abb. 1 zeigt zur Veranschaulichung ein solches Mehrschicht-System.

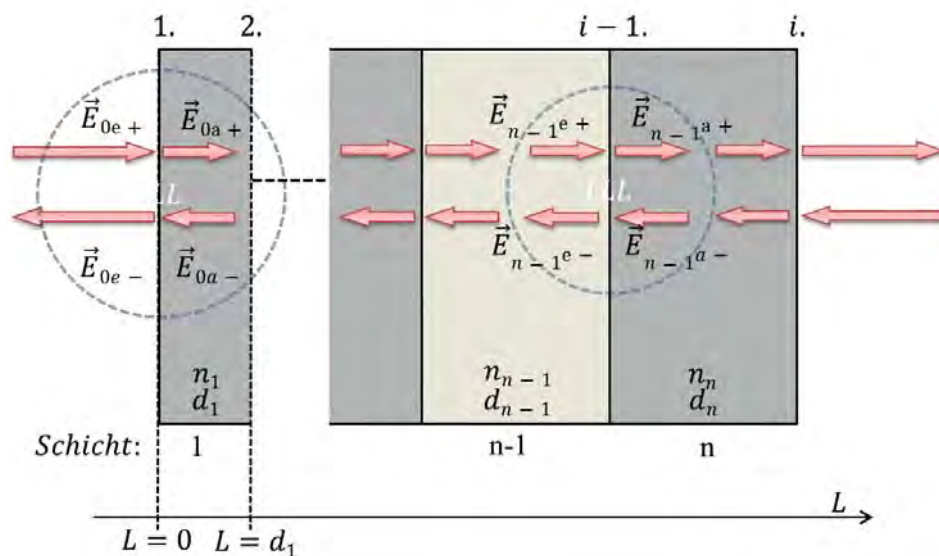


Abb. 1: Mehrschicht-Systems mit n Schichten und i Schichtübergängen. Die Indizes e und a stehen für einfallende und ausgehende Welle. Plus- und Minussymbol indizieren die Bewegungsrichtung an der Grenzschicht.

Aus jeder Transfermatrix wird eine Gesamttransfer-Matrix berechnet. Mit Hilfe dieser werden die komplexen Amplituden-Reflexionskoeffizienten und schließlich Reflexion und Transmission ermittelt. Für eine genaue Analyse der optischen Parameter ist es äußerst wichtig, die durch Mehrfachreflexion im Inneren einer Schicht verursachten, Interferenzerscheinungen mit einzukalkulieren. In experimentell bestimmten Werten ist jedoch keine Interferenz zu sehen. Das liegt daran, dass sich die Phase der elektro-magnetischen Welle zeitlich sehr schnell ändert. Sie ändert sich sehr viel schneller als das Ansprechverhalten eines jeden Detektors,

weshalb ein über die Zeit gemitteltes Signal detektiert wird. Im Gegensatz dazu zeigen die aus dem Kurven-Fit errechneten Werte die Interferenzen (Abb: 2, blauer Graph).

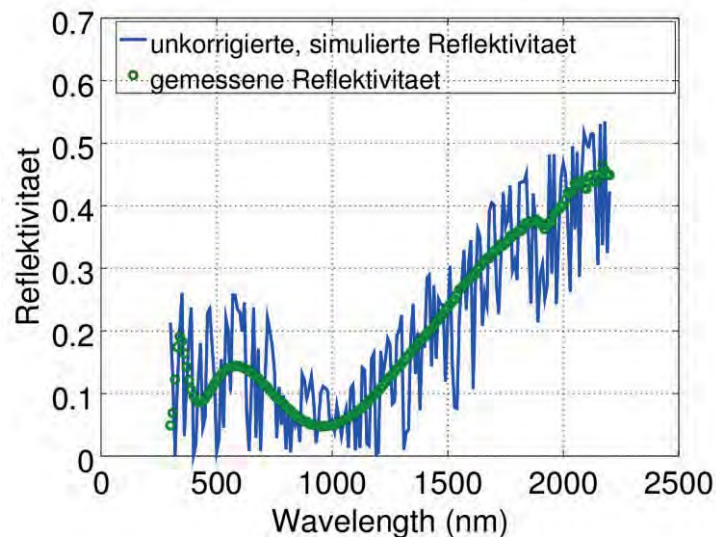


Abb. 2: Vergleich von gemessener Reflexion und unkorrigierter, simulierten Reflexion

Weil derartige Werte keinen aussagekräftigen Fit zulassen ist es das Ziel, die gemittelten Werte zu berechnen. Dies wurde durch die Mittelung drei verschiedener, äquidistanter Phasen erreicht. In Abb. 3 ist das Ergebnis der Mittelung (blauer Graph) mit $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 120^\circ$ und $\varphi_3 = 240^\circ$ zu sehen. Abb. 3 zeigt außerdem das Resultat des Kurven-Fits. Bis auf kleinere Abweichungen in niedrigen Spektralbereichen, zeigt der Kurven-Fit eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentell bestimmten Daten (RMSE=0,0971).

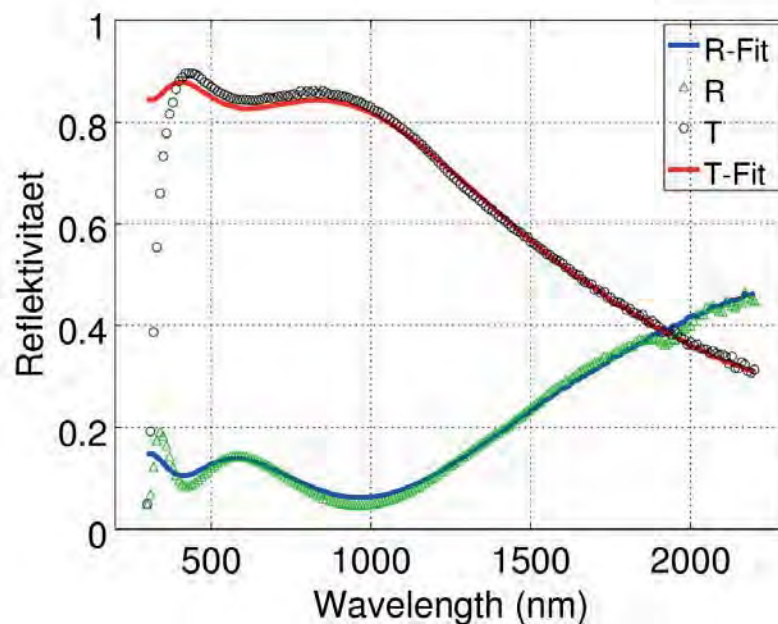


Abb. 3: Kurven-Fit für Transmission und Reflexion mit korrigierten, simulierten Daten

Die Schichtdicke des ITO-Films wurde durch den Fit zu $135.1 \text{ nm} \pm 7.6 \text{ nm}$ bestimmt. Der kalkulierte Brechungsindex und Extinktionskoeffizient sind in Abb. 4 zu sehen.

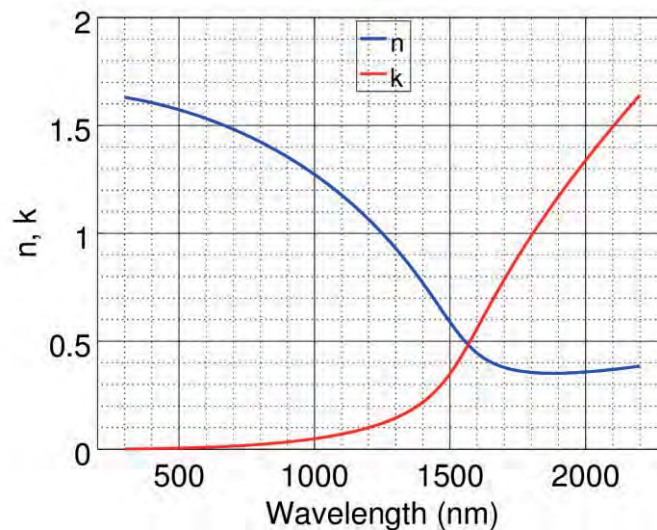


Abb. 4: Brechungsindex und Extinktionskoeffizient des ITO-Films als Funktion der Wellenlänge

6. Zusammenfassung/Ausblick

Es wurde ein Fit-Algorithmus entwickelt um Schichtdicke und komplexen Brechungsindex eines dünnen ITO-Films zu bestimmen. Der Algorithmus nutzt zur Kalkulation des Transmissions- und Reflexionsverhaltens einen Transfermatrix-Formalismus. Durch eine Mittelung von verschiedenen Phasen wurden störende Interferenzen von den simulierten Daten entfernt. Der Kurven-Fit zeigt eine gute Übereinstimmung mit den experimentell aufgenommenen Daten über einen weiten Spektralbereich.

Für ein zukünftiges Projekt soll der Algorithmus an einer Vielzahl von Proben getestet werden um verschiedene Beschichtungsverfahren zu evaluieren. Dabei soll der Kurven-Fit weiter verbessert werden. Hierbei geht es vor allem um eine Erhöhung der Geschwindigkeit. Dies ist notwendig, weil der Algorithmus letztlich in einer Messtechnik zur Charakterisierung dünner Schichten bei Rolle-zu-Rolle-Verfahren implementiert und eingesetzt werden soll.

7. Danksagung

Der Dank des Autors richtet sich vor allem an Christopher Taudt und Bryan Nelsen für die anregenden und konstruktiven Diskussion. Des Weiteren wird allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Optische Technologien um Peter Hartmann an der Westsächsischen Hochschule Zwickau gedankt.

Quellen

1. Olaf Stenzel: The Physics of thin film optical spectra, Springer, 2005
2. Geyer et al.: Large-scale patterning of indium tin oxide electrodes for guided mode extraction from organic light-emitting diodes
3. Huby et al: Injection and transport processes in organic light emitting diodes based on a silole derivative
4. Dr.Ing. Adrian Eugen Cioabla: Spectrophotometric Principle and Applications, 2013
5. Tikhonravov et al: Influence of small inhomogeneities on the spectral characteristics of single thin films
6. Gao et al: Comparison of different dispersion models for single layer optical thin film index determination
7. Paul Drude: Zur Elektronentheorie der Metalle
8. Ederth et al: Electrical and optical properties of thin films consisting of tin-doped indium oxide nanoparticles
9. Baum et al: Determination of the effective refractive index of nanoparticulate ITO layers

Entwicklung eines Versuchsstandes zur Untersuchung von instationären Strömungsvorgänge in Regelarmaturen von Kraftwerken

Franz Thiele, Jens Meinert, Karel Frana

Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Maschinenwesen, Fachgruppe Energietechnik

Franz.Thiele@hszg.de, J.Meinert@hszg.de, Karel.Frana@hszg.de

Abstract:

Das vorliegende Paper beschäftigt sich mit der phänomenologischen Betrachtung von Strömungen in Regelventilen. Es erfolgt eine Zusammenfassung der Effekte, die über strömungsmechanische Instabilitäten Schallquellen erzeugen, daraus wird das Konzept für einen Versuchsstand abgeleitet. Dieser soll der systematischen experimentellen Untersuchung der Strömung in Regelventilen dienen.

1. Einleitung und Relevanz für die praxisorientierte Forschung

Der ständig ansteigende Anteil erneuerbarer Energiequellen zur Deckung des Energiebedarfes stellt die Akteure des Energieversorgungssystems vor steigende Herausforderungen. Der wachsende Anteil volatil einspeisender Energieumwandlungsanlagen erfordert zur Deckung der Residuallast eine Flexibilisierung des thermischen Kraftwerksparks. Nur so können die immer häufiger auftretenden Lastgradienten in den Übertragungsnetzen - sowohl in der Übergangszeit als auch in einem ressourcenneutralen Versorgungssystem - ausgleichen werden.¹

Da die Feuerungen in Großkraftwerken sehr träge auf Leistungsanpassungen reagieren, erfolgt die Regelung der Kraftwerksleistung mit Hilfe des Regelventils. Das Design dieser Drosselstellen erfolgt für fest definierte Betriebspunkte und hat zum Ziel, die Strömungsführung so ideal wie möglich zu gestalten. Bei der Leistungsregelung werden die Ventile aus ihrer optimalen Position gefahren, wodurch eine zusätzliche Störung der Strömung verursacht wird. Mögliche Folge sind Strömungsinstabilitäten, welche mit erheblichen Lärmbelastigungen und im Extremfall mit schwingungsbedingtem Bauteilversagen einhergehen.² Auf Grund der Tatsache, dass Regelventile intensive Lärmquellen sind, hat es in der Vergangenheit verschiedenen Untersuchungen gegeben, welche zur Ableitung von Normen geführt haben.³ Für Regelventile in Dampfturbinenanlagen ergaben die Berechnungsgrundlagen in diesen Normen allerdings erhebliche Abweichungen von tatsächlichen Schallemissionen bestehender Anlagen.⁴

Im Teilprojekt „Instationäre Strömungen in Komponenten von Energieumwandlungsanlagen“ des ESF-finanzierten Graduiertenkollegs „Neue Systeme zur Ressourcenschonung“ der HSZG ist die Analyse dieser Instabilitäten thematisiert. Deren genaue Ursachen und Ausprägungen im Bereich der Drosselstelle zwischen Ventilsitz und Ventilkegel sind noch unbekannt. Im vorliegenden Paper wird ein Überblick dazu gegeben und der entwickelte Versuchstand zur systematischen Untersuchung von möglichen Einflussparametern vorgestellt.

2. Instationäre Strömungszustände in Regelventilen

Hauptbestandteile eines Ventils sind das Ventilgehäuse sowie der Ventilkegel und Ventilsitz. Die Positionierung des Ventilkegels relativ zum Ventilsitz verursacht eine gezielte Drosselwirkung und damit eine fest definierbare Druckdifferenz. Dieser Druckverlust wird im Wesentlichen durch die Einschnürung und Expansion der Hauptströmung sowie durch Ablöseerscheinungen und Sekundärströmungen hervorgerufen. Darüber hinaus treten eine Reihe zusätzlicher negativer Effekte auf, dazu gehören Druckschwankungen, Pulsationen und Resonanzen. Deren Art und Intensität sind von der Ventilbetriebsart abhängig. Als Unterscheidungskriterium dient hierfür die in der Abbildung 1 dargestellte Relation zwischen Strömungs- und Öffnungsrichtung des Ventilkegels.

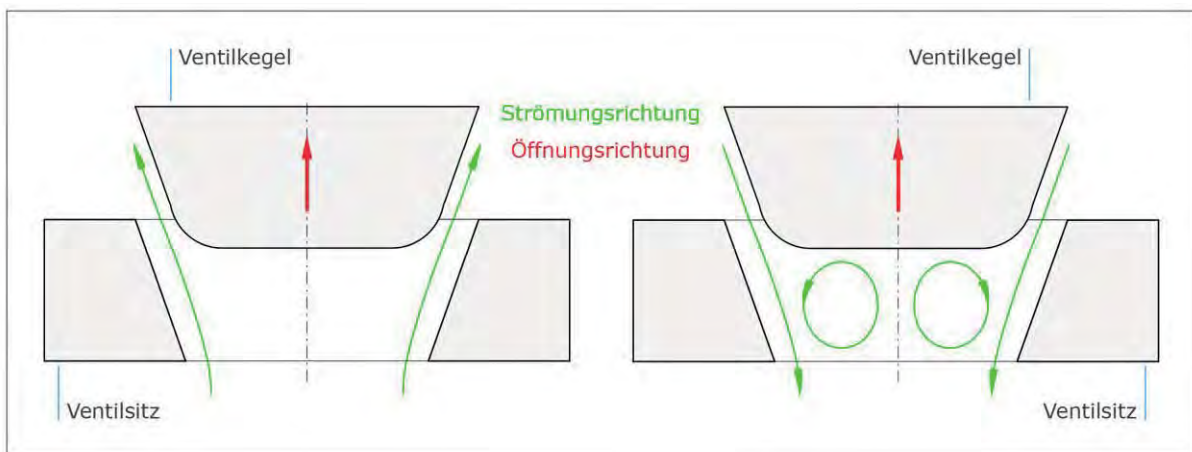


Abb. 1: Ventilbetriebsarten, li.: "flow-to-open", re.: "flow-to-close",

Quelle: Eigene Abbildung.

Entspricht die Orientierung der Strömung der Öffnungsrichtung erfolgt eine strömungsunterstützte Öffnung des Ventils ("flow-to-open"-Betriebsweise). Diese Art findet bei Regel- und Absperrventilen mit untergeordneten Sicherheitsaspekten Anwendung. Bei der "flow-to-close"-Betriebsweise wird hingegen das Ventil strömungsbedingt in die Schließstellung gedrängt. Da infolgedessen ein inhärent sicheres Schließen des Ventils möglich ist, wird diese Betriebsweise bei Schnellschluss- und Regelventilen für Dampfturbinen verwendet.

Vorangegangene Experimente zeigen, dass zusätzlich zum stationären Strömungszustand im Ventilkennpunkt fünf weitere instationäre Strömungsmuster auftreten können.⁵ Diese Strömungsmodi untergliedern sich in drei Druckschwankungszustände und zwei zusätzliche Strömungscharakteristiken. Modus I und II zeigen zeitlich zufällig auftretende Druckschwankungen und sich stoßartig ausbreitende Wellenfronten. Dabei stellt sich im Modus I die maximalen Druckbelastungen am Ventilsitz und im Modul II am Ventilkegel ein. Im Modus III tritt eine periodische und symmetrisch im Querschnitt auftretende Druckschwingung auf. Diese ist auf eine akustische Resonanz der stromab vom Ventil stattfindenden Rohrströmung zurückzuführen. In den Modi IV und V treten ebenfalls periodische, jedoch unsymmetrisch über den Strömungsquerschnitt verteilte

Druckschwingungen auf. Modus IV kennzeichnet sich durch eine Phasenverschiebung von 90° zwischen in Umfangsrichtung angeordneten Messstellen, was zu einer rotierenden Drallströmung führt. Im Modus V schwankt der Druck zwischen den beiden Hälften des kreisförmigen Strömungsquerschnittes. Dies lässt auf die Resonanz aus der Materialeigenfrequenz und der akustischen Schwingung der sich anschließenden Rohrströmung schlussfolgern.

3. Untersuchung der Strömungszustände

Um die aufgeführten Effekte und die eingangs formulierte Forschungsfrage zu beantworten, bedarf es einer systematischen Untersuchung. Basis bilden sowohl analytische, experimentelle als auch numerische Betrachtungen. Unter Einhaltung charakteristischer dimensionsloser Kennzahlen können die gewonnenen Erkenntnisse auf den Kraftwerksbetrieb übertragen werden. Um die unterschiedlichen Bauformen der Regelventile und die verschiedenen Betriebsbereiche systematisieren zu können, haben sich zwei ventilspezifische Kennzahlen herauskristallisiert. Das Druckverhältnis als dimensionsloses Maß für den untersuchten Betriebspunkt sowie das Ventilöffnungsverhältnis als dimensionslose Ventilstellung.

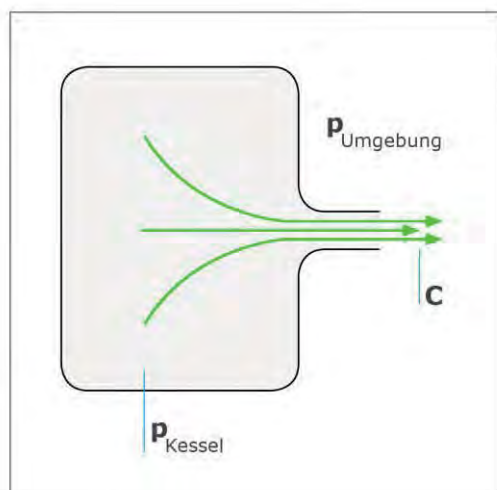


Abb. 2: Druckdefinitionen einer Kesselausströmung, Quelle: Eigene Abbildung.

Basis einer zuverlässigen numerischen Simulation sind Messergebnisse, mit denen die numerisch erzielten Ergebnisse validiert werden können. Hierfür soll eine Versuchsstrecke errichtet werden. Grundlage für deren Dimensionierung bildet das Modell einer Kesselausströmung in die Umgebung (siehe Abbildung 2) sowie die Stoffeigenschaften des gewählten Strömungsmediums Luft. Ziel ist es, eine reale überkritische Strömung (MACH-Zahl $Ma \geq 1,0$ im engsten Querschnitt des Ventils) nachzubilden.

Ob eine Überschallströmung erzielt wird, hängt vom erreichbaren Druckverhältnis $\pi = \frac{p_{\text{Gegen}}}{p_{\text{Kessel}}}$ ab. Dabei beschreibt das kritische Druckverhältnis π_{krit} den Wert, bei dem exakt die Schallgeschwindigkeit erreicht wird:⁶

$$\pi_{krit} = \frac{p_{Gegen}}{p_{Kessel}} = \frac{p_{Umgebung}}{p_{Kessel}} = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

Der Versuchsstand muss demnach ein kritisches Druckverhältnis $\pi_{krit} = 0,528$ aufweisen. Auf dieser Basis lässt sich der sich einstellende Volumenstrom berechnen. Hierfür wird die maximal mögliche Strömungsgeschwindigkeit mittels der Ausflussformel von DE SAINT-VENANT und WANTZEL

$$c^2 = \frac{2\kappa}{(\kappa - 1)} \frac{p_{Umgebung}}{\rho_{Kessel}} \left[1 - \left(\frac{p_{Umgebung}}{p_{Kessel}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]$$

bestimmt. Die real auftretenden Druckverluste müssen durch einen höheren Kesseldruck ausgeglichen werden.

Die Abbildung 3 zeigt das entwickelte Fließschema des gesamten Versuchsstandes. Die Komponenten des Versuchstandes und deren Hauptfunktionen werden darin ebenfalls kurz erläutert.

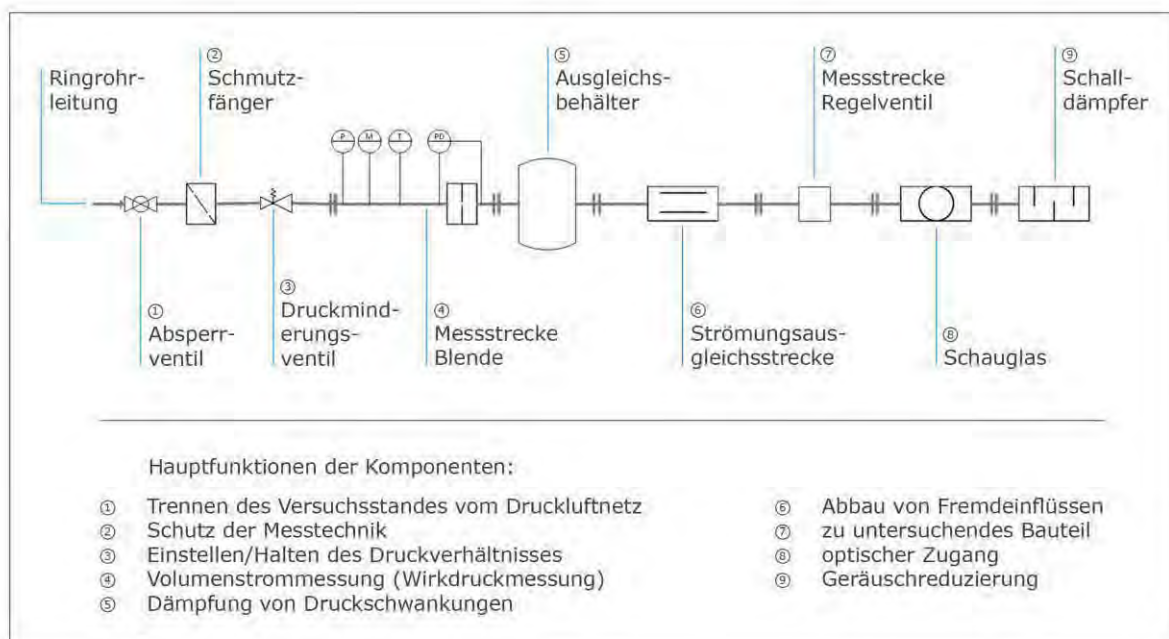


Abb. 3: Fließschema und Erläuterung der Versuchsstrecke mit Schalldämpfer, Quelle: Eigene Abbildung.

Ziel ist es das Strömungsverhalten experimentell zu erfassen. Die Erfassung von Instabilitäten und deren Ursachen bedarf der Messung der Wechseldrücke direkt am und im Ventil. Des Weiteren wird am Versuchsstand die Möglichkeit geschaffen, Ringfreistrahlerstrukturen zu untersuchen. Hintergrund ist die sich ausbildende ringförmige Strömungsstruktur beim Umströmen des Ventiltellers. Hierfür wird anstelle des Schalldämpfers eine Düse angeordnet (Abbildung 4).

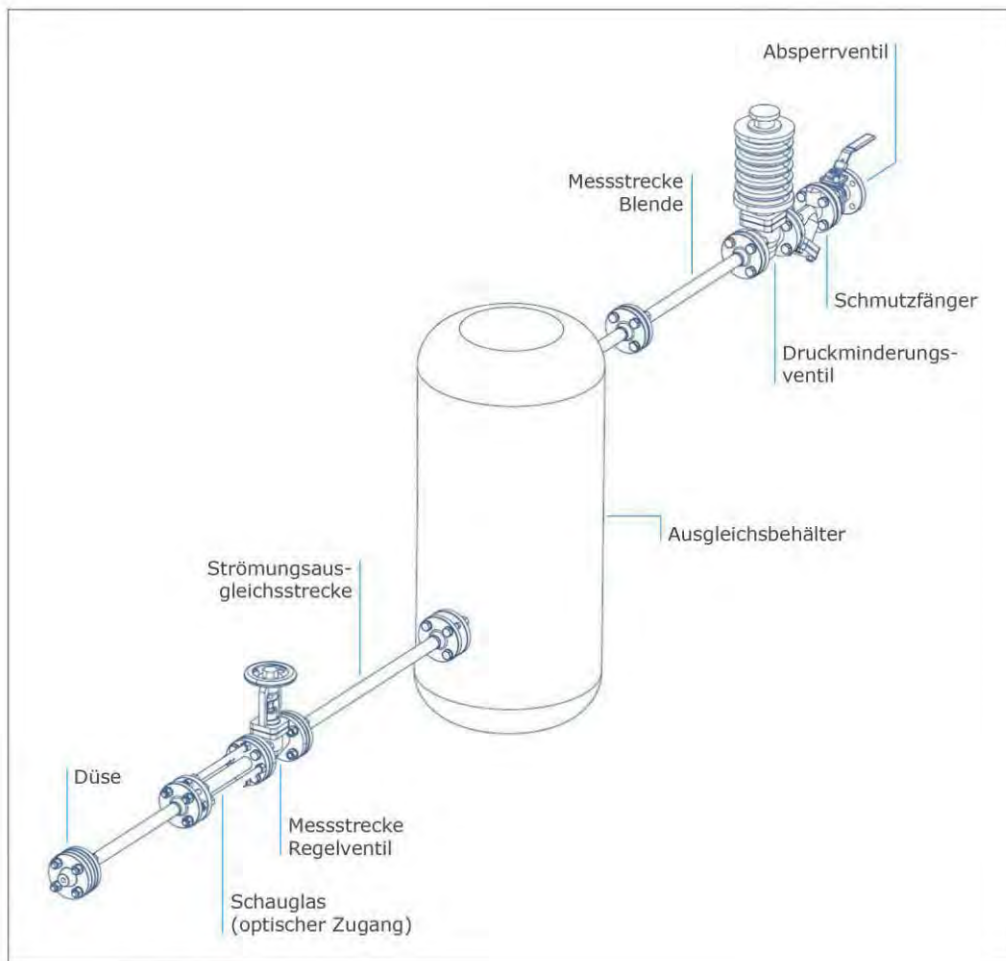


Abb. 4: Bestandteile Versuchsstand mit Düse, Quelle: Eigene Abbildung.

4. Ausblick

Mittels des realisierten Versuchsstandes werden zwei wesentliche Aufgabenstellungen bearbeitet. Zunächst sollen durch akustische Vorversuche schalltechnisch relevante Bereiche, in denen Instabilitäten auftreten, herausgefunden werden. Darauf aufbauend wird die notwendige Datengrundlage für numerische Untersuchungen geschaffen. Ungeklärt ist, unter welchen genauen Bedingungen die einzelnen Modi der Instabilitäten auftreten. Aller Wahrscheinlichkeit nach hängt dies von der geometrischen Grundabmessung und dem Betriebsbereich des Ventils ab.

Durch die Untersuchung von Ringfreistrahlen soll eine mögliche Analogie zum einfachen Freistrahler ermittelt werden. Es ist Ziel auf Basis des Ansatzes von LIGHTHILL zur Bestimmung der Schallentwicklung von Freistrahlen auch die Geräuschentwicklung in Ventilen abschätzen zu können.

5. Literaturverzeichnis

- ¹ Hg. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.: Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050, URL: <http://d-nb.info/1106147642>.
- ² Rudolf Förster et al.: Zustandsdiagnosen von Hochdruckregelventilen großer Dampfturbinen, Energietechnik Vol. 35, Heft 7, 1985. Rudolf Förster et al.: Zustandsdiagnosen von Hochdruckregelventilen großer Dampfturbinen, Energietechnik Vol. 35, Heft 7, 1985.
- ³ DIN EN60534-8-3 (2010) Stellventile für die Prozessregelung, Teil 8-3: Geräuschbetrachtungen - Berechnungsverfahren zur Vorhersage der aerodynamischen Geräusche von Stellventilen. Oktober 2010.
- ⁴ Weise, Volkmar; Rothe, Felix: Untersuchungen zur Schallemission von Industrie-Dampfturbinenanlagen und deren Komponenten/Hochschule Zittau/Görlitz. 20.8.2010. – Forschungsbericht.
- ⁵ Koichi Younezawa et al.: An Experimental Study of Unsteady Transonic Flow in a Steam Control Valve with Simple Model, Journal of Environment and Engineering Vol. 5, No. 1, 2010.
- ⁶ Dominik Surek, Silke Stempin, Angewandte Strömungsmechanik für Praxis und Studium. Teubner Verlag, 2007.

Implementierung des hypoplastischen Stoffgesetzes in ABAQUS zur Anwendung bei dynamischer Bodenverdichtung

Rosa Elena Ocaña Atencio, Holger Pankrath, Alexander Knut, Ralf Thiele
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Fakultät Bauwesen
rosa.ocana@htwk-leipzig.de

Abstract

Im Rahmen des Projektes DynIm der G² Gruppe Geotechnik der HTWK Leipzig wird die Weiterentwicklung von Verfahren zur Baugrundverdichtung angestrebt. Dazu sind numerische Simulationen von Verdichtungsverfahren notwendig. Hierfür wird das hypoplastische Stoffgesetz mit der Erweiterung der intergranularen Dehnungen in das Programm ABAQUS implementiert. Dies erfordert die Kalibrierung der Stoffparameter für das Bodenmaterial sowie die Validierung der Ergebnisse anhand von Modellversuchen im Labor.

1. Hintergrund und Motivation

Die Verdichtung von Böden kommt bei einer Vielzahl von Bauvorhaben als Maßnahme zur Baugrundverbesserung zum Einsatz. Dadurch wird ein Zusammendrücken von Boden verursacht, was zu einer Verringerung des Porenraums führt, und somit eine Erhöhung der Dichte und der Tragfähigkeit bringt.

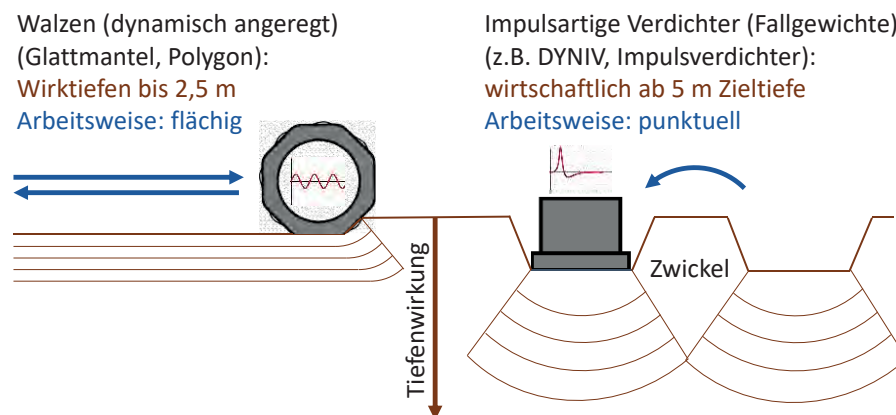


Abbildung 1: dynamische Verdichtung mit flächiger Arbeitsweise sowie impulsartige Verdichtung mit punktueller Arbeitsweise [Quelle: G² Gruppe Geotechnik]

Für Einzel- und Streifenfundamente von Gebäuden sowie Straßen und Dammbauwerke ist eine Verdichtung des Untergrundes bis in einer Tiefe von 5,0 m i.d.R. notwendig. Diese Verdichtung erfolgt meistens durch statische oder dynamisch angeregte Walzen bzw. der Kombination aus Walzenzug und Plattenverdichter. Dieses Verfahren erreicht durch seine Arbeitsweise eine hohe Flächenleistung, aber nur eine maximale Wirktiefe von 2,5 m^[1]. Andere Systeme, wie Impulsverdichter und dynamische Intensivverdichter, erreichen deutlich größere Wirktiefen^[2]. Bei diesen Verfahren wird ein Fallgewicht aus einer bestimmten Fallhöhe auf einen Verdichtungsfuß oder direkt auf den Boden fallen gelassen. Sie sind allerdings erst ab einer

Tiefe von ca. 5,0 m wirtschaftlich, da ihr Einsatz sehr kostenintensiv ist. Aktuell steht der Baupraxis kein Gerät oder Verfahren mit effektiver Arbeitsweise für die Verdichtung von Böden im Tiefenbereich von 2,0 bis 5,0 m zur Verfügung.

Die G² Gruppe Geotechnik der HTWK Leipzig beschäftigt sich seit Jahren mit dieser Problematik. Mit dem Ziel ein neues Verdichtungswerkzeug inklusive Ausführungsprinzip für den vorher erwähnten Tiefenbereich zu entwerfen, sind die Forschungsprojekte ECompact im Jahr 2012 und DynIm im Jahr 2016 entstanden. In einem interdisziplinären Arbeitsteam wurden drei Prüfwerkzeuge zur Untersuchung von bestehenden und perspektivischen Verdichtungssystemen entwickelt:

- Feldversuche an realen Geräten
- Modellversuche im Labor unter Begleitung von optischen Messmethoden
- numerische Simulationen mit dem Programm ABAQUS.

Durch ständige Prüfung und Validierung dieser Werkzeuge miteinander konnten die unterschiedlichen Verdichtungsverfahren präzise analysiert werden.

Der Focus des vorliegenden Beitrages liegt an die Weiterentwicklung der numerischen Simulationen. Sie ermöglichen eine genaue Analyse des Bodenverhaltens während eines Verdichtungs Vorganges. Die Flächen- bzw. Tiefenwirkung eines Systems kann dabei genauer bestimmt werden, als mit herkömmlichen Prüfverfahren im Feld. Außerdem können unterschiedliche Ergebnisgrößen erfasst werden, welche dem besseren Verständnis über die unterschiedlichen Mechanismen bei einem Verdichtungs Vorgang dienen. Die Simulationsergebnisse erfordern eine ständige Nachprüfung und Validierung, um ihre Aussagekraft zu bewerten. Hierzu sind die oben genannten Prüfwerkzeuge von Nutzen.

Mit ABAQUS wurden mehrere Parameterstudien zu den unterschiedlichen Systemen durchgeführt. Die Simulationen erfolgten stets für nichtbindige Böden, u.a. für einen regional typischen Sand. Innerhalb des ECompact-Projektes wurde mit dem elastoplastischen Stoffgesetz nach Drucker-Prager mit der Erweiterung einer hydrostatischen Kappe gearbeitet. Dieses Stoffgesetz hat allerdings Nachteile bei der Abbildung von dynamischen Verdichtungs Vorgängen^[3].

Um das Bodenverhalten besser abzubilden, wurde entschieden, das hypoplastische Stoffgesetz mit der Erweiterung der intergranularen Dehnungen zu verwenden. Da es nicht im Programm enthalten ist, wurde es mittels einer Subroutine von der Website www.soilmodels.info^[4] in ABAQUS eingebunden.

2. Implementierung des hypoplastischen Stoffgesetzes

Die Implementierung des hypoplastischen Stoffgesetzes teilt sich in zwei Schritte:

- Kalibrierung der Stoffparameter des Versuchsmaterials
- Validierung der Ergebnisse der Kalibrierung

Die Kalibrierung der Stoffparameter erfolgte anhand von Elementversuchen in ABAQUS/Standard. Simulationen von Verdichtungs Vorgängen erfordern komplexe Modelle mit einer hohen Anzahl an Freiheitsgraden und Elementen. Bevor das neue Stoffgesetz dazu

verwendet wird, müssen die Ergebnisse der Kalibrierung an einem einfachen Modell geprüft werden. Dazu eignet sich ein im Projekt DynIm entwickelter Modellversuch im Labor.

2.1 Kalibrierung der Stoffparameter

Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Stoffparameter des Sandes wurden anhand von Laborversuchen und numerischen Simulationen in ABAQUS/Standard ermittelt.

Tabelle 1: Bestimmung der hypoplastischen Stoffparameter

<i>Parameter</i>	<i>Bestimmungsweise</i>
kritischer Reibungswinkel φ_C	Schüttkegelversuch
Granulathärte h_s und Exponent n	Ödometerversuch (lockere Probe) nach DIN 18135:2012-04
Porenzahl e_{d0} , e_{c0} und e_{i0}	Dichtebestimmung nach DIN 18126:1996-11
Exponent α	Triaxialversuch nach DIN 18137-2:2011-04
Exponent β	Ödometerversuch (dichte Probe) nach DIN 18135:2012-04
Erhöhungsfaktoren m_R und m_T Maximalwert der intergranularen Dehnungen R Exponenten β_r und χ	Abschätzung aus der Literatur

Der kritische Reibungswinkel und die Porenzahlen wurden direkt aus Laborversuchen bestimmt. Die Granulathärte und die Exponenten n , α und β wurden anhand von Simulationen der entsprechenden Laborversuche kalibriert. Die Versuche wurden mit nur einem axialsymmetrischen Element abgebildet.

Tabelle 2: Parameter des regionalen Sandes

φ_C	h_s	n	e_{d0}	e_{c0}	e_{i0}	α	β	m_R	m_T	R	β_r	χ
32,4	3300 MPa	0,26	0,4841	0,7502	0,8627	0,25	1,5	5	2	$1 \cdot 10^{-04}$	0,5	6

2.2 Validierung der Ergebnisse

Zur Validierung der Ergebnisse der Kalibrierung der Stoffparameter wurde ein bereits bestehender Modellversuch zur Durchführung von optischen Messungen am Boden ausgewählt. Der Versuchsrahmen wurde in rechteckiger Form gebaut (Abbildung 2). Eine behinderte Seitendehnung wird durch die starre Stahlkonstruktion gewährleistet. Die Probe kann durch die verschiebbare Kopfplatte zusammengedrückt werden. Die Acrylglasfront dient optional der Aufnahme von Bodenverschiebungen mit einer Kamera. Die Messwerte (Belastung und Verschiebung) wurden außerhalb der Probe durch die Prüfpresse und einen Wegaufnehmer aufgenommen.

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Bei der ersten Reihe wurden lockere Proben mit Lagerungsdichten (D) von 0,26 bis 0,28 eingebaut. Die zweite Versuchsreihe erfolgte an mitteldichten Proben mit Lagerungsdichten von 0,46 und 0,48. Die Belastung wurde

stufenweise (20, 40, 80, 160, 320, 640 und 1000 kN/m²) aufgebracht und jeweils 20 Minuten gehalten.

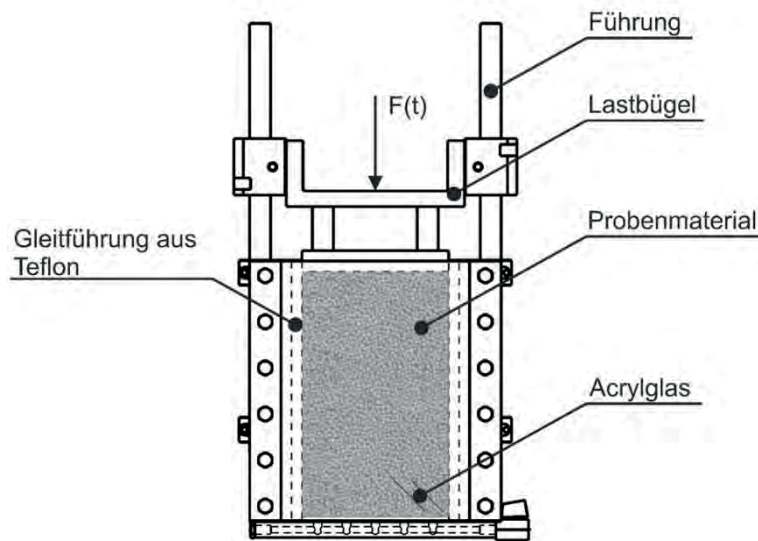


Abbildung 2: Skizze des Versuchsrahmens [Quelle: G² Gruppe Geotechnik]

Die Probe wurde in zwei Dimensionen und im ebenen Verzerrungszustand in ABAQUS/Standard nachgebildet. Beide Seiten des Modells wurden in horizontaler Richtung fixiert. Die untere Seite wurde in vertikaler Richtung unverschieblich gelagert. Nach einer Sensitivitätsanalyse bezüglich der Anzahl der verwendeten Elemente, wurde das Netz mit 943 CPE4-Elementen ausgewählt. Die Last wurde an die obere Seite des Modells angebracht.

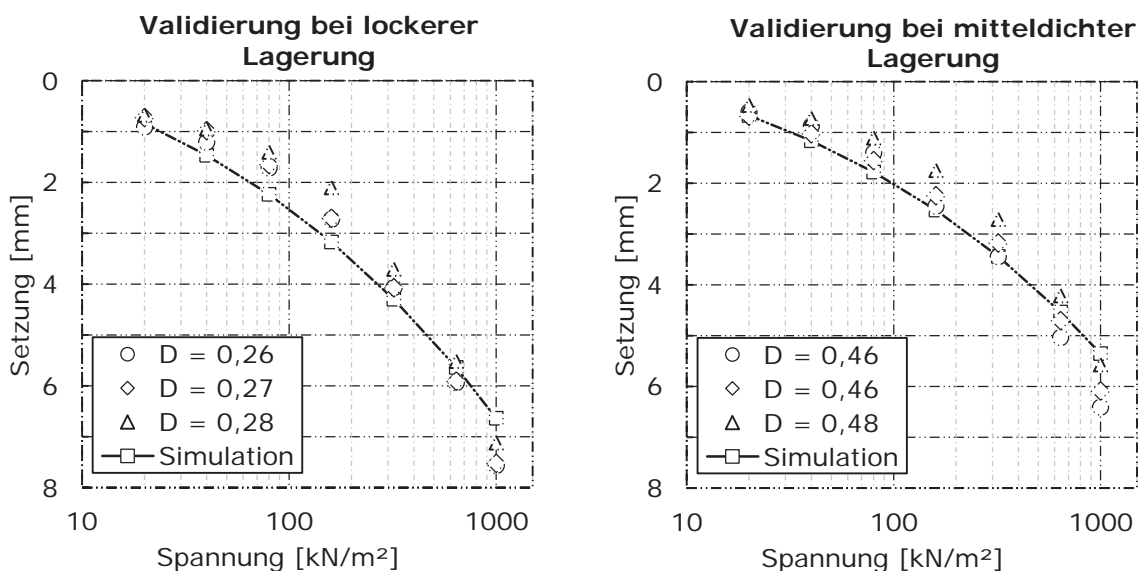


Abbildung 3: Vergleich der Messwerte mit den Ergebnissen aus der numerischen Simulation

Die Abbildung 3 zeigt die maximalen Setzungen am Ende jeder Laststufe. Die Ergebnisse der Simulation stimmen mit den Messwerten bei beiden Lagerungsdichten gut überein. Die Numerik zeigt größerer Setzungen als die Laborversuche bis 320 kN/m². Andererseits sind die berechneten Verschiebungen im oberen Spannungsbereich (640 – 1000 kN/m²) niedriger als die Messwerte. Diese Besonderheit ist bei beiden Lagerungsdichten zu sehen.

Unstimmigkeiten zwischen der Numerik und den Messwerten bedeuten nicht unbedingt, dass die Kalibrierung der Stoffparameter mangelhaft ist. Versuche mit kleiner Skalierung sind oft nicht fehlerfrei, beispielweise kann die Homogenität der Probe und die Glättung ihrer Oberfläche nicht zu 100 % gewährleistet werden. Reibungseffekte wurden in der Simulation nicht berücksichtigt, diese sind allerdings bei dem Laborversuch nicht ausgeschlossen. Sie könnten zu geringeren Setzungen im Labor führen. Allerdings ist dieser Effekt nicht über den gesamten Kurvenverlauf zu beobachten. Die höheren Setzungen bei 1000 kN/m² deuten auf eine nicht ausreichende Steifigkeit des Versuchsrahmens bei hohen Lasten hin. Dies könnte zu einer Aufweitung des Rahmens und dementsprechend zur größeren Verschiebungen führen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Simulationsergebnisse entsprechen annähernd den Messwerten. Ob ihre Unterschiede auf die Numerik oder auf den Versuchsaufbau bzw. –Durchführung zurückzuführen sind, muss noch geprüft werden. Dafür werden die Steifigkeit des Versuchsaufbaus sowie der Einfluss der Reibung zwischen Boden und Rahmen untersucht.

Weiterführend sollen dynamische Versuche für die Validierung durchgeführt und simuliert werden. Damit soll belegt werden, dass das hypoplastische Stoffgesetz für die Simulation von dynamischen Verfahren bzw. als Prüfwerkzeug geeignet ist. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Validierung, soll das Stoffgesetz bei Studien zu Verdichtungs Vorgängen verwendet werden.

Erklärung

Die verwendeten Daten für diesen Beitrag stammen aus dem Projekt DynIm (Mittelgeber: BMWi / MF150157).

Literaturverzeichnis

- [1] Thiele, R.; Kloubert, H-J: Erfahrungen im Einsatz eines Walzenzuges mit Polygonbandage zur Tiefenverdichtung, In: Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e.V. (FVB) [Hg.], 2006, Heft 34, S. 315–326
- [2] Adam, D.: Aktuelle Entwicklungen im Erd- und Grundbau für Straßen und Eisenbahnen, In: Tagungsband zur 9. Erdbaufachtagung Bauakademie Sachsen [Hg.], 2013, S.13-77
- [3] Pistor, Johannes, et al. 2012. Numerische Simulation zur Wirkungsweise verschiedener Bandagetypen bei der Verdichtung mit Walzen im Erdbau. [Hg.] Dietmar Adam und Richard A. Herrmann. 2. Symposium Baugrundverbesserung in der Geotechnik am 13. und 14. September 2012 an der TU Wien. Wien : Eigenverlag des Instituts für Geotechnik, TU Wien, 2012, S. 229-246. ISBN: 978-3-9501738-1-9
- [4] G. Gudehus, A. Amorosi, A. Gens, I. Herle, D. Kolymbas, D. Mašín, D. Muir Wood, R. Nova, A. Niemunis, M. Pastor, C. Tamagnini, and G. Viggiani. The soilmodels.info project. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 32(12): 1571-1572, 2008

Ultrakurzpuls laserbearbeitung von Stahl im Burst-Modus

Peter Lickschat, Steffen Weißmantel

Hochschule Mittweida, Fachbereich Ingenieurwissenschaften

lickscha@hs-mittweida.de

Abstract

Die Möglichkeit bei neuartigen MOPA-Lasersystemen nicht nur einzelne Pulse des Seed-Lasers sondern ganze Pulszüge (Bursts) zu verstärken und für die Bearbeitung zu nutzen, führt zu qualitativ hochwertigen Abtragsstrukturen bei der Lasermikrostrukturierung von Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen. Dabei treten verschiedene Effekte auf, die für das vollständige Verständnis des Ablationsprozesses untersucht werden müssen. Die Effekte werden in dieser Arbeit aufgezeigt und diskutiert.

1. Einführung

In mehreren Veröffentlichungen, die sich mit der Bearbeitung von Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen beschäftigten, wurde gezeigt, dass die Fluenz einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der erzeugten Lasermikrostruktur hat^{1,2}. Für qualitativ hochwertige Ergebnisse muss die Fluenz gering sein und sollte nur geringfügig über der Ablationsschwelle liegen. Des Weiteren sollte die Fluenz auch aufgrund der erzielbaren Abtrageeffizienz nicht zu hoch sein, da sich diese mit steigender Fluenz verringert³. Um aber nun Lasersysteme mit ultrakurzen Laserpulsen für die Industrie rentabel zu machen, ist es erforderlich, die gesamte mittlere Laserleistung des eingesetzten Systems vollständig auf dem Werkstück umzusetzen. Dafür sind unterschiedliche Lösungsansätze denkbar, wie zum Beispiel der Einsatz schneller Strahlablenkungssysteme bei dem Einsatz von hochrepetierenden Lasersystemen⁴ oder die Verwendung von Strahlteilern für die parallele Bearbeitung an mehreren Bearbeitungsstellen bei Laserpulsen mit einer hohen Pulsenergie⁵. Eine neuartige Herangehensweise ist die Bearbeitung im Burst-Modus, bei dem nicht mit einzelnen Laserpulsen sondern mit Pulszügen (Bursts) bestehend aus mehreren Laserpulsen geringer Energie gearbeitet wird. Erste Abtragsuntersuchungen zeigten^{6,7}, dass bei der Bearbeitung im Burst-Modus hohe mittlere Laserleistungen umgesetzt werden können und dabei Ergebnisse mit einer guten Oberflächenqualität erzielt werden obwohl nur konventionelle Galvanometerscanner zum Einsatz kamen. Weiterhin konnten in diesen Untersuchungen neuartige, sehr glatte Oberflächenstrukturen beobachtet werden, die bei bisherigen Ultrakurzpuls-Laserbearbeitungen nicht nachweisbar waren. In der hier vorliegenden Veröffentlichung werden Ergebnisse präsentiert, die sich mit der Bearbeitung von Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen im Burst-Modus beschäftigen. Es wurden hierfür Versuche durchgeführt, die das Wirken von neuen Effekten der Laser-Materie-Wechselwirkung aufzeigen, wie sie infolge der kurzen zeitlichen Puls-zu-Pulsabstände im Burst-Modus entstehen.

2. Experimentelles Setup

Für die Untersuchungen stand ein Pikosekundenlaser vom Typ Fuego der Firma Lumentum Operation LLC zur Verfügung. Die Pulsdauer der einzelnen Laserpulse betrug 10 ps bei einer Wellenlänge von 1064 nm. Im Burst-Modus des Lasers konnten Pulsfolgen erzeugt werden, die aus bis zu acht Pulsen bestehen. Der zeitliche Abstand der Einzelpulse im Burst betrug 12,5 ns (Abbildung 1). Durch die variable Unterdrückung einzelner Pulse im Burst konnte der zeitliche Abstand zwischen zwei Pulsen beliebig um ein Vielfaches von 12,5 ns erhöht werden.

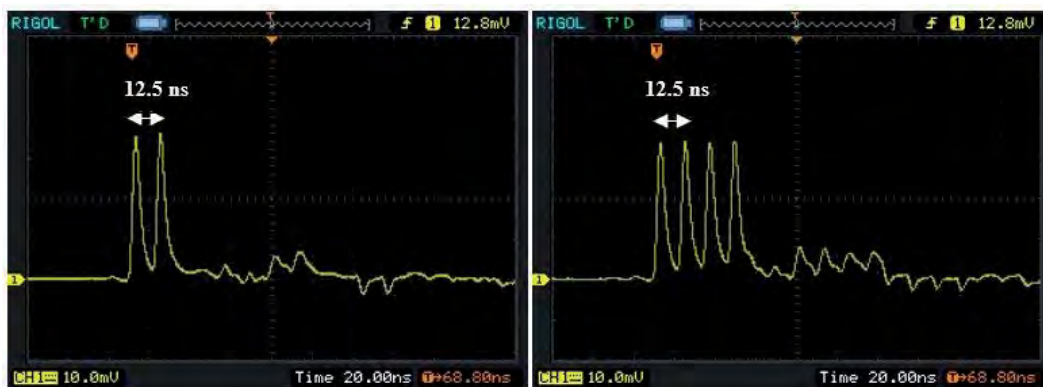


Abbildung 1: Oszilloskopaufnahmen von Bursts bestehend aus zwei bzw. vier Einzelpulsen.

Durch den Einsatz einer telezentrischen F-Theta-Optik wurde ein Fokusbereich von 26,4 μm realisiert. Bei den Versuchen kamen Fluenzen im Bereich von 0,65 J/cm^2 bis 2,60 J/cm^2 zum Einsatz. Es wurden Abträge auf polierten Stählen erzeugt, die mittels konfokaler Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie ausgewertet wurden.

3. Ergebnisse

Es fanden Abtragsuntersuchungen statt, bei denen die Anzahl der eingestrahlten Pulse pro Burst sukzessive von eins auf acht erhöht wurde. Das je Burst ablatierte Volumen wurde gemessen und daraus das je Einzelpuls ablatierte Volumen berechnet. Anhand der Abbildung 2 ist erkennbar, dass das Ablationsvolumen je Puls nicht konstant ist. Im Vergleich zum Abtrag mit nur einem Einzelpuls im Burst ablatieren die darauf folgenden Pulse weniger Material. Im Gegensatz dazu ist jedoch ab dem fünften Puls bei einer Fluenz von 1,95 J/cm^2 bzw. ab dem sechsten Puls bei einer Fluenz von 1,3 J/cm^2 ein höheres Ablationsvolumen im Vergleich zum Abtrag mit einem Einzelpuls im Burst beobachtbar. Die Reduzierung des ablatierten Volumens pro Puls bei dem zweiten bis vierten bzw. fünften Puls wird auf den Einfluss des erzeugten Plasmas zurückgeführt, das eine abschirmende Wirkung auf die Folgepulse hat⁸. Für die Steigerung des pro Puls ablatierten Volumens ab dem fünften bzw. sechsten Puls können unterschiedliche Effekte verantwortlich sein. Als Beispiel wäre hierbei der Effekt der Wärmeakkumulation⁹ zu nennen, der zu einem höheren Volumenabtrag führt. Auch kann das erzeugte Plasma zu einem gesteigertem Ablationsvolumen pro Puls führen, da

es nicht nur die Folgepulse abschirmt, sondern auch bei ausreichend starker Anregung des Plasmas den Ablationsprozess unterstützt.

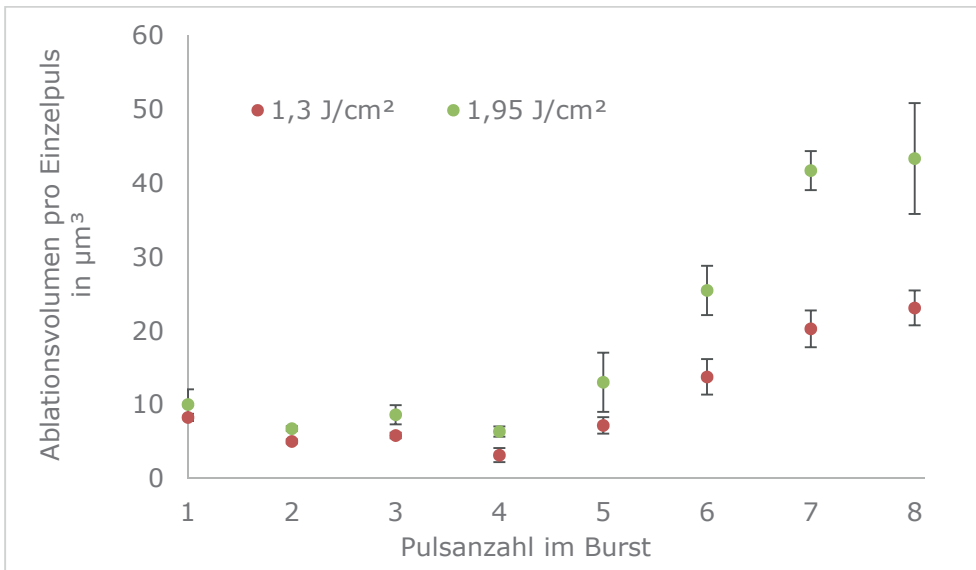


Abbildung 2: Ablationsvolumen pro Einzelpuls in Abhängigkeit der verwendeten Pulsanzahl im Burst.

Anhand von REM-Bildern der erzeugten Strukturen (Abbildung 3) ist erkennbar, dass sich bei ein bis drei Pulsen im Burst-Modus Ripple-Strukturen¹⁰ ausbilden. Bei steigender Anzahl von Pulsen im Burst verändert sich die Gestalt des Abtrages, ausgehend von der Mitte der Abtragsstruktur. Die Ripple-Strukturen verschwinden und es bildet sich eine gleichmäßige, glatte Oberfläche, die in ihrem Erscheinungsbild Schmelzstrukturen ähnelt. Bei sieben und acht Pulsen im Burst ist um die abgetragene Struktur Materialaufwurf erkennbar.

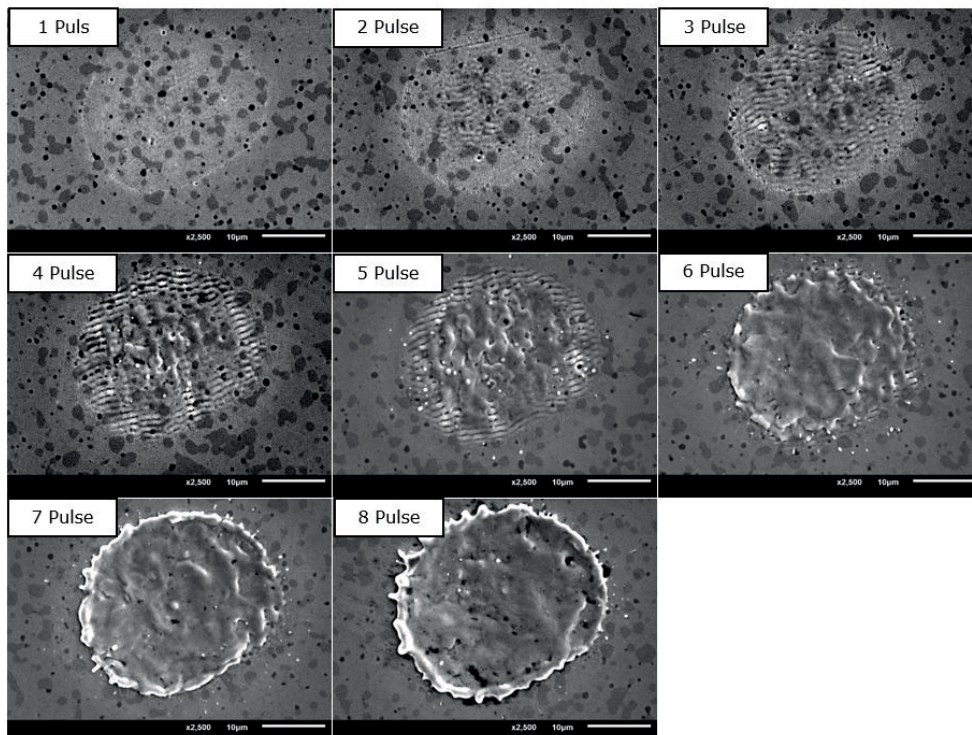


Abbildung 3: REM-Bilder der Abtragsgeometrien, die mit einer Fluenz von 1,95 J/cm² erzeugt wurden.

Um die Abschirmung der Folgepulse durch das Plasma und damit verbunden die Verringerung des Ablationsvolumens pro Puls genau zu untersuchen, wurden Experimente durchgeführt, bei denen zwei Pulse im Burst zum Einsatz kamen, die mit unterschiedlichen zeitlichen Abständen zueinander eingestrahlt wurden. In Abbildung 4 kann man erkennen, dass der Abschirmungseffekt des Plasmas sich unterschiedlich stark bei den verschiedenen Fluenzen auswirkt. Im Vergleich zum Abtragen mit einem Einzelpuls im Burst (Ablationsvolumen pro Puls bei 0 ns zeitlichem Abstand) ist bei einer Fluenz von 1,3 J/cm² eine Reduzierung des Ablationsvolumens pro Puls für alle untersuchten zeitlichen Pulsabstände von 12,5 ns bis 87,5 ns im Burst erkennbar. Im Gegensatz dazu erkennt man bei einer Fluenz von 1,95 J/cm², dass der Abschirmungseffekt nicht so stark ausgeprägt ist und mit zunehmendem zeitlichem Abstand der Pulse vernachlässigbar ist.

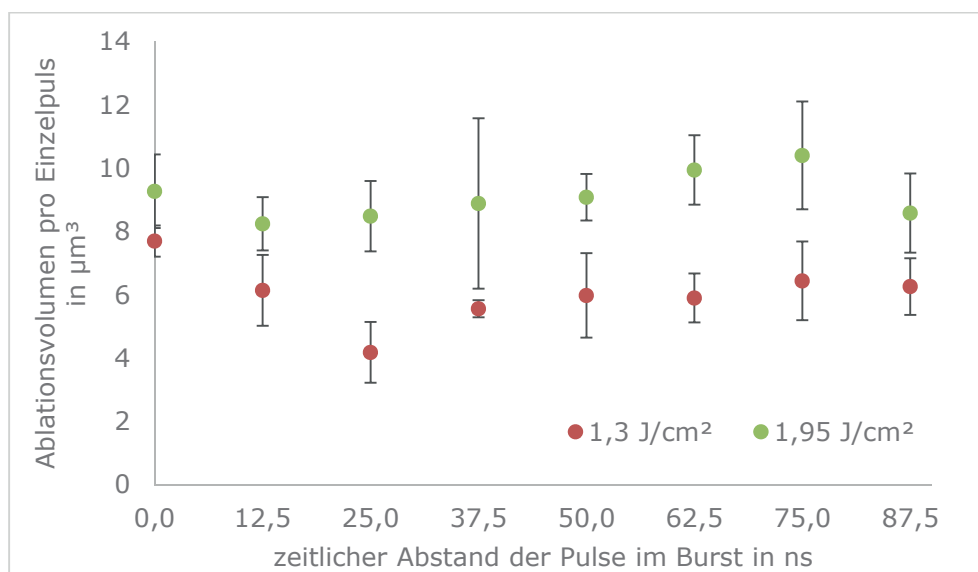


Abbildung 4: Ablationsvolumen pro Puls bei der Verwendung von zwei Pulsen im Burst mit unterschiedlichem zeitlichem Abstand.

4. Ausblick

Erste Untersuchungen des Abtrages von Stahl mit Pikosekundenlaserpulsen im Burst-Modus zeigten verschiedene Effekte auf, die sich unterschiedlich im Abtragsergebnis widerspiegeln. Für ein genaueres physikalisches Verständnis aller auftretenden Effekte müssen weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Der Einfluss des Plasmas, sowohl als abschirmendes als auch ablationsunterstützendes Element muss untersucht werden. Hierbei könnte mit dem Einsatz von Hochgeschwindigkeitskameras und Emissionsspektrometern die Ausbildung des Plasmas aufgezeichnet werden. Simulationen der Wärmeentwicklung im Werkstück können Rückschlüsse auf den Einfluss der Wärmeakkumulation liefern.

5. Danksagung

Die Autoren danken dem Europäischen Sozialfond für Deutschland (ESF) für die Finanzierung der Nachwuchsforschergruppe UltraLas (Projektnummer: 8231016).

6. Literaturangaben

- [1] P. Lickschat, J. Schille, R. Ebert, H. Exner, S. Weissmantel, Comparative study on microstructuring of steel using pico- and femtosecond laser pulses, Proceedings of ICALEO - 31st International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics Anaheim, Ca. (USA), (2012), 1261-1268.
- [2] J. Schille, L. Schneider, U. Loeschner, Process optimization in high-average-power ultrashort pulse laser microfabrication: how laser process parameters influence efficiency, throughput and quality, Appl. Phys. A, (2015), 120:847–855.
- [3] B. Neuenschwander, B. Jaeggi, M. Schmid, G. Henning, Surface structuring with ultra-short laser pulses: Basics, limitations and needs for high throughput, Physics Procedia 56, (2014), 1047-1058
- [4] U. Löschner, J. Schille, A. Streek, T. Knebel, L. Hartwig, R. Hillmann, C. Endisch, High-rate laser microprocessing using a polygon scanner system, J. Laser Appl. 27, (2015), S29303.
- [5] Z. Kuang, W. Perrie, J. Leach, M. Sharp, S. P. Edwardson, M. Padgett, G. Dearden, K. G. Watkins, High throughput diffractive multi-beam femtosecond laser processing using, Applied Surface Science 255, (2008), 2284–2289.
- [6] P. Lickschat, J. Schille, G. Reisse, S. Weissmantel, Ultrakurzpuls-Laser-Mikrobearbeitung von Metallen - Verwendung von Pikosekunden-Laserpulsen für die Bearbeitung von Stahl, Innovative Fertigung durch Lasersysteme neuester Generation, DVS-Berichte Band 307. Düsseldorf, DVS Media, (2014), 135-143.
- [7] P. Lickschat, S. Weissmantel, Mikrostrukturierung von Stahl mit Pikosekundenlaserpulsen im Burst-Modus, Scientific Reports, Journal of the University of Applied Sciences Mittweida, (2015), 192-195.
- [8] J. Koenig, S. Nolte, A. Tuennermann, Plasma evolution during metal ablation with ultrashort laser pulses. Opt. Exp. 13, (2005), 10597–10607.

- [9] D.V. Tran, Y.C. Lam, H.Y. Zheng, B.S. Wong, D.E. Hardt, Direct observation of the temperature field during ablation of materials by multiple femtosecond laser pulses, *Applied Surface Science* 253, (2007), 7290-7294.
- [10] M. Pfeifer, A. Engel, H. Gruettner, K. Guenther, F. Marquardt, G. Reisse, S. Weissmantel, Ripple formation in various metals and super-hard tetrahedral amorphous carbon films in consequence of femtosecond laser irradiation, *Appl. Phys. A*, (2013), 110:655–659.

Substitution von Hartchromschichten auf Basis von Nickel-Bor-Dispersionsschichten

Michael Markus, Frank Köster

Hochschule Mittweida University of Applied Sciences

Fakultät Ingenieurwissenschaften Fachgruppe Fertigungstechnik/Werkstofftechnik

markus@hs-mittweida.de

Abstract: Als Reaktion auf die durch REACH erfolgte starke Reglementierung der Produktion von Hartchromschichten werden immer noch Alternativen gesucht. Dieser Beitrag befasst sich daher mit der Machbarkeit der nasschemischen Abscheidung von Nickel-Bor-Dispersionsschichten. Die Abscheidung konnte bei den Versuchen sowohl auf galvanischem als auch chemisch reduktivem Weg erfolgreich umgesetzt werden. Damit existiert eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen dieser Beschichtungen.

1. Motivation

Hartchromschichten werden vielseitig dort eingesetzt, wo besonders harte und verschleißbeständige Oberflächen benötigt werden. Die Anwendungen sind beispielsweise in den Bereichen Textilindustrie, Druckindustrie, Automobilindustrie und Maschinenbau zu finden. Hartchromschichten können nach momentanem Stand der Technik ausschließlich durch galvanische Abscheidung aus einem Elektrolyten mit VI-wertigen Chrom-Ionen (Cr^{6+}) erzeugt werden. Beim Elektrolytansatz werden die Chrom-Ionen in der Regel durch Lösen von Chromtrioxid dosiert. Seit dem 21. April 2013 steht die Verbindung Chromtrioxid sowie weitere VI-Wertige Chromverbindung im Anhang XIV der EU-Verordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals). Als Folge daraus dürfen diese Substanzen ab September 2017 ausschließlich von autorisierten Unternehmen genutzt werden. Die Frist zur Beantragung der Zulassung endete bereits März 2016.¹ Damit ist es schon heute für viele Firmen nötig die Beschichtung an autorisierte Unternehmen zu vergeben oder Alternativen zu suchen. Eine alternative Beschichtungsvariante, die den vielfältigen Ansprüchen aller Branchen gerecht werden gibt es jedoch noch nicht. In einigen Bereichen haben sich Inzellösungen zum Beispiel auf Basis chemisch abgeschiedener Nickel-Phosphorschichten, etabliert. Diese erreichen zwar nach einer Wärmebehandlung die gewünschten Härten von 1.000 HV, schneiden jedoch bei Verschleißtests meist wesentlich schlechter ab als die bewährten Hartchromschichten.² Der Bedarf an weiteren Beschichtungsverfahren ist damit gegeben. Durch die Versuche der hier vorgestellten Forschungsarbeit wird ein Konzept erarbeitet Schichten auf Basis von Nickel mit dispergierten Borpartikeln zu erzeugen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Partikel zu einer signifikanten Härtesteigerung der Nickelschicht führen³ und somit das Potenzial zu einer guten Hartchromalternative haben.

2 Zielsetzung

Die Härte und Verschleißbeständigkeit nasschemisch abgeschiedener Schichten kann auf verschiedene Weisen verändert werden. Ein erster Einfluss ergibt sich aus den Abscheidebedingungen Badtemperatur und Abscheidestromdichte. Weiterhin lassen sich die Härte sowie Verschleißresistenz durch verschiedene Additive im Elektrolyt sowie durch Zugabe von Legierungselementen beeinflussen. Diese Arbeit befasst sich, vor dem Hintergrund der möglichen Härtesteigerung durch Einbau von nichtmetallischen Nano- sowie Mikropartikeln in eine Metallmatrix³, mit der Machbarkeit der Erzeugung von Nickel-Bor-Dispersionsschichten. Diese sollen durch galvanische, sowie auch chemisch-reduktive-Abscheidung erzeugt werden können. Dafür ist es nötig, durch Experimente Elektrolyte zu finden, mit denen es möglich ist Nickel-Bor-Dispersionsschichten zuverlässig und reproduzierbar, abzuscheiden. Das bedeutet, dass sowohl die Partikelverteilung, als auch die Partikeleinbauraten und Partikelgrößenverteilung unabhängig vom Elektrolytalter in den Schichten konstant bleiben muss. Das ist nicht nur versuchstechnisch erforderlich sondern auch im Sinne einer späteren kommerziellen Nutzung.

3 Experimentelles

Die hier vorgestellten Versuche dienen als Grundlage für weitere Versuche und stellen damit nur einen Teil eines umfangreicheren Nachwuchsforscher-Projektes dar. Anhand der Experimente wird die Machbarkeit der Nickel-Bor-Dispersionsabscheidung geprüft. Weiterhin soll der Einfluss der Stromdichte sowie des pH-Wertes auf den Partikeleinbau herausgefunden werden. Aus der Betrachtung von Abscheidewirkungsgrad im Zusammenhang mit guter Partikeleinbauraten, Partikelverteilung und Partikelgrößenverteilung sollen später günstige Rahmenbedingungen für weitere Versuche abgeleitet werden können.

3.1 Galvanische Abscheidung

Als Ausgangselektrolyt wurde die im Folgenden beschriebene Zusammensetzung nach Watt gewählt und 20 g/l Borpartikel (Partikelgröße im Durchschnitt kleiner 1µm) zugegeben.

Nickelsulfat: $c(\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ g/l}$

Nickelchlorid: $c(\text{NiCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 50 \text{ g/l}$

Borsäure: $c(\text{H}_3\text{BO}_3) = 30 \text{ g/l}$

Nanopartikel: $c(B_{\text{Partikel}}) = 20 \text{ g/l}$

Für die Beschichtung wurde der Elektrolyt mithilfe eines beheizbaren Magnetrührers auf $52 \pm 2^\circ\text{C}$ aufgeheizt. Um die unlöslichen Partikel während des Prozesses in der Schwebe zu halten ist eine ausreichende Badbewegung unerlässlich. Dafür wurde das Rührwerk auf 300 U/min eingestellt. Weiterhin bestand der Versuchsaufbau aus einer löslichen Nickelanode

in einem Anodensack. Für die Stromversorgung kam der Potenziostat *PS 6* der Firma Sensortechnik Meinsberg zum Einsatz. Dieser wurde für die Versuche im Galvanostat-Modus betrieben.

Als Substrat für die ersten Versuche dienten 1 cm breite und 7,3 cm lange Blechstreifen aus Stahl. Diese lagen im Ausgangszustand zum Korrosionsschutz mit einer Zinkschicht versehen vor. Die Zinkschicht wurde unmittelbar vor der Beschichtung in konzentrierter Salzsäure $c(HCl) = 65\%$ entfernt. Nach dem Entschichten wurde das Substrat gründlich in DI-Wasser gespült und anschließend zur Neutralisation der Oberfläche für ca. 20 s in eine alkalischen Abkochentfettung ($T = 60^\circ C$) getaucht. Dem schloss sich ein weiterer Spülgang zur Verhinderung von Verschleppungen in die folgenden Bäder an. Der letzte Vorbehandlungsschritt bestand in der 20 s langen Dekapierung der Proben in verdünnter Schwefelsäure ($c(H_2SO_4) \approx 5\%$) und nochmaligem Spülen.

Nach der Vorbehandlung wurden die Proben „nass in nass“ zur Beschichtung ca. 5 cm in den Elektrolyt getaucht. Der pH-Wert des Elektrolyten resultierend aus der vorab beschriebenen Zusammensetzung beträgt 3,9 und wird vor jedem Versuch neu bestimmt bzw. nach Bedarf mit verdünnter Schwefelsäure oder Natriumhydroxidlösung eingestellt.

Die in der ersten Versuchsreihe geprüften Abscheideparameter sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 : Beschichtungsparameter

Versuch	Stromstärke	Fläche	Stromdichte	Beschichtungszeit	Badtemperatur	pH-Wert
V1	220,00 mA	12,00 cm ²	1,83 A/dm ²	10 min	52,5°C	3,9
V2	200,00 mA	10,00 cm ²	2,00 A/dm ²	60 min	52,5°C	4
V3	300,00 mA	10,00 cm ²	3,00 A/dm ²	30 min	52,5°C	4,1
V4	100,00 mA	10,00 cm ²	1,00 A/dm ²	30 min	52,5°C	4,2
V5	200,00 mA	4,30 cm ²	4,65 A/dm ²	30 min	52,5°C	2,08
V6	200,00 mA	5,10 cm ²	3,92 A/dm ²	30 min	52,5°C	3,63
V7	200,00 mA	5,83 cm ²	3,43 A/dm ²	30 min	35,0°C	4,03
V8	200,00 mA	4,70 cm ²	4,26 A/dm ²	30 min	52,5°C	6

In den Versuchen V1 bis V4 wurden die Bleche auf den Rückseiten nicht abgeklebt. Das führte zu nicht eindeutigen Abscheidebedingungen, da nur eine Anode zur Beschichtung genutzt wurde. Dafür konnte auf diese Weise die Streufähigkeit des Elektrolyten mit bewertet werden. Die bei den Versuchen V5 bis V8 variierenden Flächen sind das Resultat der unterschiedlichen Eintauchtiefen der Proben welche aufgrund des undurchsichtigen Elektrolyten vor der Beschichtung nur geschätzt und erst nach der Beschichtung gemessen werden konnte. Für die Auswertung wurden von den Proben anschließend metallographische Schliffe angefertigt.

3.2 Chemisch reduktive Abscheidung

Für diese Versuche kam der kommerzielle Elektrolyt DNC 520 zum Einsatz. Dieser enthält 5 g/l Nickelionen und arbeitet auf Basis des Reduktionsmittels Natriumhypophosphit. Auch diesem Elektrolyt wurden 20 g/l Borpartikel zugegeben. Für die Beschichtungen wurden Substrate und Vorbehandlung wie unter 3.1 beschrieben, genutzt. Die Elektrolyttemperatur betrug während der Beschichtung 90°C. Für ausreichende Badbewegung sorgte ein Magnetrührer mit 300 U/min. Der pH-Wert wurde vor jeder Abscheidung mit Ammoniak auf 5 eingestellt. Weitere Variationen von Parametern wurden zu diesem Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht durchgeführt. Diese sind jedoch nach dem in Abbildung 1 dargestellten Nachweis des Partikeleinbaus für den weiteren Verlauf der Untersuchungen geplant.

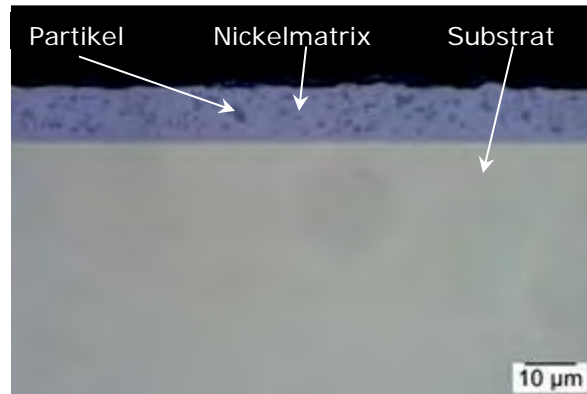


Abbildung 1: Schliffbild der Probe C1

4 Ergebnisse

Durch die Versuche zur galvanischen Abscheidung konnten wie in Abbildung 2 zu sehen matte geschlossene Nickel-Bor-Dispersionsschichten abgeschieden werden. Weiterhin konnte der Einbau der Partikel bzw. Partikelagglomerate anhand der Schliffbilder wie exemplarisch für Probe V2 in Abbildung 3 zu sehen, nachgewiesen werden. Die Einbaurate der Partikel zeigte bei allen Proben mit ca. $2,44 \pm 0,18\%$ (Vol.) keine signifikant von der Stromdichte abhängige Veränderung. Im linken Bild der Abbildung 3 ist zu erkennen, dass eine ungleichmäßige Verteilung der Partikel im Bereich von Kanten vorliegt. Da dieses Verhalten unabhängig von der Stromdichte bei allen Proben auftrat ist das vermutlich ein Resultat der durch die Badbewegung verursachten Strömung.

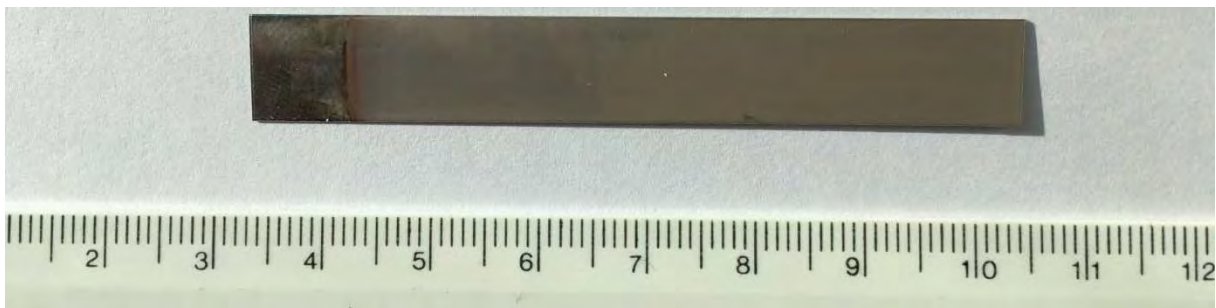


Abbildung 2: Probe V1

An den Schliffen der Proben V1-V4 ist nahezu kein Unterschied der Schichtdicke zwischen beiden Seiten (Anode ab- bzw. zugewandt) der Proben zu sehen. Das spricht für eine gute Streufähigkeit des Elektrolyten. Weiterhin wurde anhand der Schliffbilder die

Partikelgrößenverteilung in den Schichten untersucht. Diese ist im Diagramm in Abbildung 4 beispielhaft, für Probe V2 aus einer Gesamtmenge von 402 Partikeln im untersuchten Bereich mit einer Fläche von $32.486,3 \mu\text{m}^2$, dargestellt. Die Partikeldurchmesser wurden aus der ausgemessenen Partikelfläche unter der Annahme kugelförmiger Partikelgeometrie berechnet. Im Vergleich der Proben untereinander konnte gezeigt werden, dass in den ersten Versuchen kleinere Partikel eingebaut wurden als in späteren Versuchen. Das spricht für eine verstärkte Agglomeratbildung mit zunehmendem Badalter. Der Wirkungsgrad schwankt in Abhängigkeit des pH-Wertes zwischen 84 % (für V5 pH-Wert=2) und 99,5 % (für V7 pH-Wert=4). Das lässt sich durch eine verstärkte Wasserstoffproduktion bei höherer Protonenanzahl im Elektrolyt erklären. Die Stromdichte hatte im untersuchten Bereich ($1\text{A}/\text{dm}^2$ - $4\text{A}/\text{dm}^2$) keinen signifikanten Einfluss auf den Abscheidewirkungsgrad.

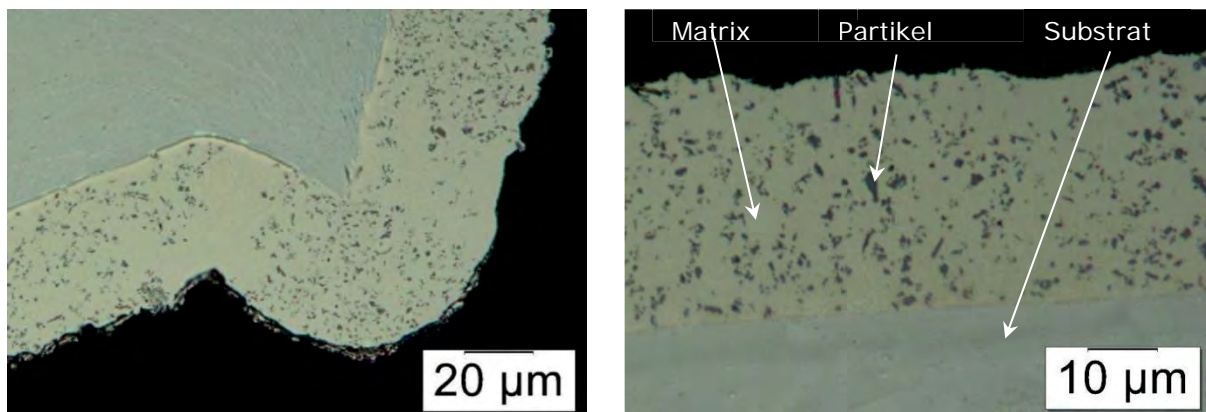


Abbildung 3: Schliffbild Probe V2 (links Kante, rechts Fläche)

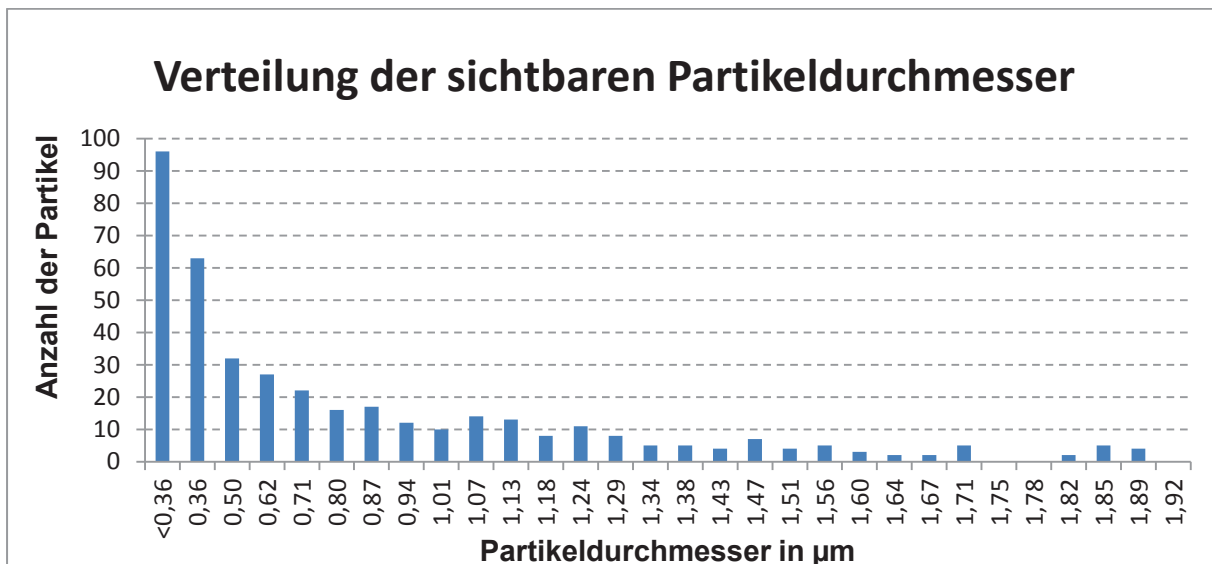


Abbildung 4: Partikelgrößenverteilung Probe V2

Aus den Versuchen zur chemisch reduktiven Beschichtung kann aufgrund der wenigen bisher ausgewerteten Proben nur auf die Machbarkeit der Dispersionsabscheidung mit Borpartikeln geschlossen werden. Für die Bestimmung von optimalen Arbeitsparametern müssen weitere Versuche folgen.

5. Zusammenfassung

Die Abscheidung von Nickel-Bor-Dispersionsschichten ist auf nasschemischem Wege durchführbar. Anhand der hier vorgestellten Versuche konnte nachgewiesen werden, dass sowohl der Elektrolyt nach Watt für die galvanische Abscheidung als auch der Elektrolyt DNC 520 für die chemisch-reduktive Abscheidung von Dispersionsschichten mit Borpartikeln geeignet ist. Durch die Untersuchung der Partikelverteilung steht eine Methode zur Überprüfung der Partikelstabilität im Elektrolyt zur Verfügung welche zeigt, dass Schritte zur Partikelstabilisierung notwendig sind. Versuche zur Verminderung der Agglomeratbildung durch Ultraschall wurden durchgeführt. Diese Ergebnisse stehen noch aus.

6. Ausblick

Durch die beschriebenen Versuche wurde die Grundlage für die im Mittelpunkt des Nachwuchsforscher-Projektes stehenden Experimente geschaffen. Diese befassen sich mit dem Vergleich verschiedener Wärmebehandlungsmöglichkeiten und deren Wirkung auf die Schichthärte. Wärmebehandlungen führen zwangsläufig zu Verzug der Bauteilgeometrie. Das ist ein weiterer Grund warum für manche Branchen die chemisch reduktiv abgeschiedenen Nickelschichten als Alternative nicht angewandt werden können. Um dem entgegenzuwirken wird die Wirksamkeit selektiv wirkender Wärmebehandlungsmethoden überprüft werden. Dafür werden LASER, Elektronenstrahl und Induktionsspulen als mögliche Wärmequellen zum Tempern eingesetzt. Die Ergebnisse werden den Ergebnissen des Ofenprozesses zur Bewertung gegenübergestellt. Die Nutzung der selektiv anwendbaren Wärmebehandlungen bieten verschiedene Vorteile. Es ist möglich nur Funktionsflächen zu behandeln. Damit kann in vielen Fällen der Wärmeeintrag enorm verringert werden. Das sorgt einerseits zu geringerem Bauteilverzug und eröffnet damit viele neue Anwendungen. Andererseits kann dadurch eine Energieersparnis realisiert werden.

7. Danksagung

Die Autoren danken dem Europäischen Sozialfonds (ESF) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung der Nachwuchsforscher-gruppe



„Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“ –MoQuaRT und dem Projektträger der Sächsischen Aufbaubank – Förderbank - (SAB).

¹ VERORDNUNG (EU) Nr. 348/2013 DER KOMMISSION „zur Änderung von Anhang XIV der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments“ (REACH); 17.04.2013

² A. Walter „Hartchromschichten aus dreiwertigen Chromelektrolyten – Erfahrungen mit der ersten Generation“ Vortrag 24. Leipziger Fachseminar der DGO 2016;2015

³ Th. Lampke, A. Leopold, D. Dietrich *, G. Alisch, B. Wielage „Correlation between structure and corrosion behaviour of nickel dispersion coatings containing ceramic particles of different sizes“;2006

Modellierungsansätze zur Vorhersage von Produktausbeuten für unterschiedliche Reaktortypen bei der katalytischen Pyrolyse von festen Kohlenwasserstoffen

Armin Engelhardt¹, Timo Stam-Creutz¹, Mathias Seitz¹, Thomas Hahn²

¹Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

HS Merseburg

Eberhard-Leibnitz-Straße 2

06217 Merseburg

armin.engelhardt@hs-merseburg.de

²Fakultät für Technische Chemie und Makromolekulare Chemie

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Von-Danckelmann Platz 4

06120 Halle

Abstract:

Zur Nutzung verschiedener fester Kohlenwasserstoffe sind Pyrolysereaktionen geeignet. Hier wird konkret die katalysatorgestützte Pyrolyse von mitteldeutschen Braunkohlen betrachtet, mit dem Ziel der Gewinnung von Basischemikalien. Zur ökologischen und ökonomischen Beurteilung konnte die Ausbeute an organischen Substanzen (C1-C9) vorhergesagt werden. Weitere Schritte stellen die Beschreibung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen sowie die Vorhersage von Einzelkomponenten dar.

1. Einleitung

Die Pyrolyse von festen Kohlenwasserstoffen gehört zu den ältesten chemischen Prozessen der Menschheitsgeschichte. Bereits in der europäischen Mittelsteinzeit war die Herstellung von Birkenpech aus Rinde bekannt. In der heutigen Zeit rückt die Nutzung von Erdölalternativen in den Blickpunkt der Forschung. Mitteldeutsche Braunkohlen stellen dank ihres hohen Gehaltes an flüchtigen Komponenten eine interessante Alternative dar. **(1)** Aufgrund ihrer biogenen Herkunft enthalten sie organische Komponenten, welche durch eine katalytische Spaltung **(2)** in aromatische und olefinische Verbindungen überführt werden können. Diese wichtigen organischen Grundchemikalien können der Produktion von unzähligen Kunststoffen, Farben und Lacken oder sogar Medikamenten dienen.

Die im Laufe des 20. Jh. entwickelten Verfahren zur Kohlenutzung sind durch die Nutzung von Erdöl und Erdgas in Vergessenheit geraten oder werden aus wirtschaftlichen Gründen in Europa nicht mehr angewendet. Ihre bekanntesten Vertreter sind u. a. das Lurgi-Ruhrgas-Verfahren (LR-Verfahren), mit dem Ziel der Heizgaserzeugung aus Steinkohle, und das TOSCO-Verfahren

zur Ölgewinnung. Beide Verfahrensweisen erzeugen ihre Edukte durch thermisches Cracken **(3)** **(4)**. Im mitteldeutschen Raum wurde die thermische Spaltung von Braunkohle bis in die Mitte des 20. Jh. praktiziert. Ziel war es, aromatenreiche Fraktionen zur Versorgung der Chemischen Industrie zu erzeugen. Für diesen Zweck sind Kohlen mit einem großen Anteil an flüchtigen Komponenten, so wie sie in der mitteldeutschen Region vorkommen, gut geeignet [He83]. Heute spielt die stoffliche Nutzung der Braunkohle mit weltweit ca. 5 % nur eine untergeordnete Rolle. Die im Jahre 2009 global geförderten 0,9 Mrd. Tonnen werden hauptsächlich zur Stromerzeugung genutzt **(5)**. Durch die Anwendung der katalytischen Spaltung **(2)** und der damit gewinnbaren Basischemikalien ließe sich der stofflich genutzte Anteil der Braunkohlen zugunsten der Versorgungssicherheit, insbesondere im Hinblick auf die steigenden Rohstoffpreise für Erdöl und den Konflikten im Nahen Osten, erhöhen.

2. Ansatz

Um bei komplexen Pyrolyseprozessen Vorhersagen für die Ausbeute an flüchtigen Substanzen treffen zu können werden Modelle benötigt, die das Entgasungsverhalten zuverlässig beschreiben. In kontinuierlichen Doppelschneckenreaktoren können kinetische Messungen gut durchgeführt werden, indem die Verweilzeit des Feststoffes und der Gase sowie die Temperatur variiert wird. Bei der Verwendung diskontinuierlicher Pyrolysereaktoren zur Bestimmung kinetischer Daten werden die Ergebnisse häufig verfälscht, so dass eine Übertragung von einem auf das andere Reaktorsystem schwerfällt. Gerade aber diese Übertragung ist hilfreich, wenn mit wenig Versuchsaufwand oder geringen Mengen an Einsatzmaterial eine Aussage zur Ausbeute getroffen werden soll.

Ziel der Untersuchung war daher, Modellierungsansätze zu finden, sodass die Ergebnisse aus diskontinuierlichen Versuchen für eine Vorhersage im kontinuierlichen Betrieb möglich werden. Als System wurde die katalytische Spaltung von unterschiedlichen Braunkohlen mit sauren Katalysatoren (Zeolithe) herangezogen **(6)** **(7)**, so dass die Ausbeute an niedermolekularen Produkten mit Hilfe geeigneter Modellansätze beschrieben und die Wertschöpfung abgeschätzt werden kann.

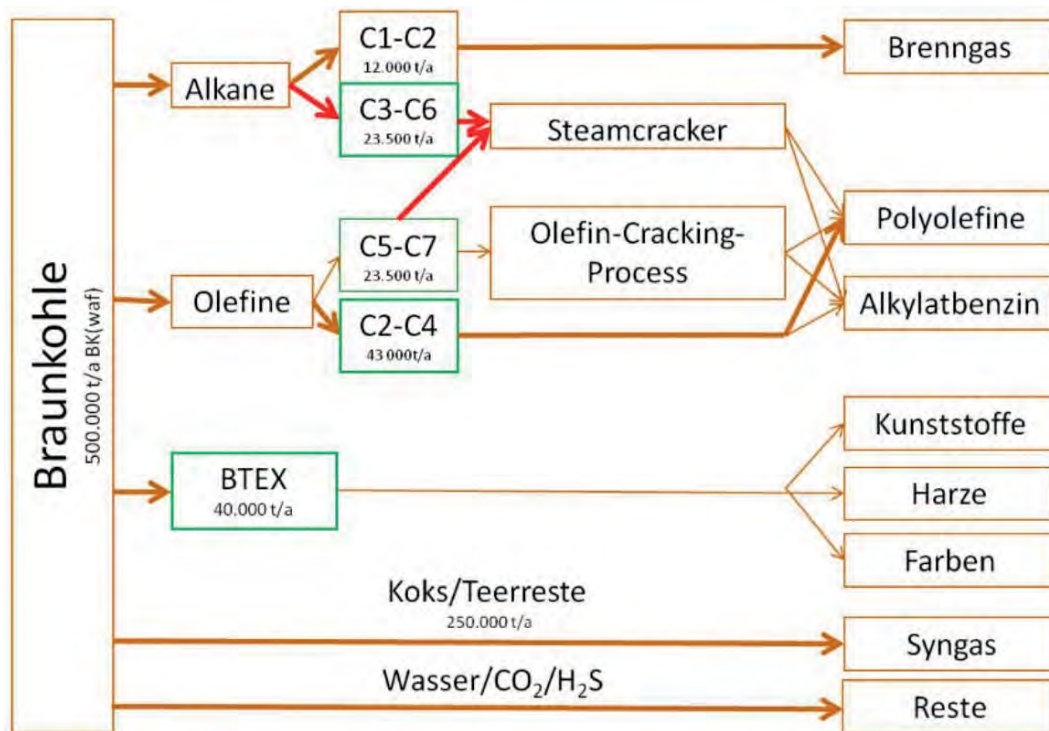


Abbildung 1: Stoffliche Verwertungskette zur Nutzung von mitteldeutschen Braunkohlen als Ausgangspunkt für Basischemikalien

3. Versuche und Ergebnisse

Um die Zusammenhänge von Kohlequalität und eingesetzter Katalysatormenge bis zur Ausbeute an verwertbaren Kohlenwasserstoffen abzubilden wurden drei Stufen untersucht. Zuerst wurden Zusammenhänge zwischen der Kohlebeschaffenheit und dem Potenzial für die katalytische Spaltung hergestellt. Dabei stellte sich heraus, dass vor allem Kohlen mit einem hohen Wasserstoffanteil und einem geringen Sauerstoffanteil (z.B. molares H/C 1,3; O/C 0,15) die höchste Kohlenwasserstoffausbeute von 29% (waf) liefern. Anhand von Messungen mittels differential – Thermogravimetrie und den H/C- sowie O/C-Verhältnissen konnte die maximale Ausbeute an Kohlenwasserstoffen für 15 Kohlen beschrieben werden. In einem zweiten Schritt wurden kinetische Untersuchungen in einem diskontinuierlichen Pyrolysereaktor durchgeführt. Anschließend wurden die Bilanzgleichungen des kontinuierlich gespülten Batch-Drehrohrreaktors gelöst, sowie die kinetischen Größen signifikant parametrisiert. Es zeigt sich, dass die Vorhersage der Gesamtproduktausbeute aus den Betriebsbedingungen, der Katalysatormenge und den Kohleneigenschaften für den diskontinuierlichen Fall sehr gut möglich ist. In einem dritten Schritt wurden die bestimmten kinetischen Parameter mit Messdaten aus einem kontinuierlichen Doppelschneckenreaktor validiert. Hinsichtlich der Gesamtproduktausbeute konnten ähnliche Ergebnisse wie im Batch-Pyrolysedrehrohr erreicht werden. Lediglich das Produktspektrum veränderte sich aufgrund geringerer Gas- und Feststoffverweilzeiten hin zu weniger gespaltenen Produkten. Die Kohlenwasserstoffausbeute konnte dabei gut vorhergesagt werden, so dass Abschätzungen zur Produktausbeute in Abhängigkeit der Betriebsparameter, der Menge an eingesetztem Katalysator und der Kohle

möglich sind. Infolge dessen lässt sich das Potenzial von Braunkohlen zur stofflichen Nutzung sowie die Aktivität des Katalysators beschreiben und die Wirtschaftlichkeit beurteilen.

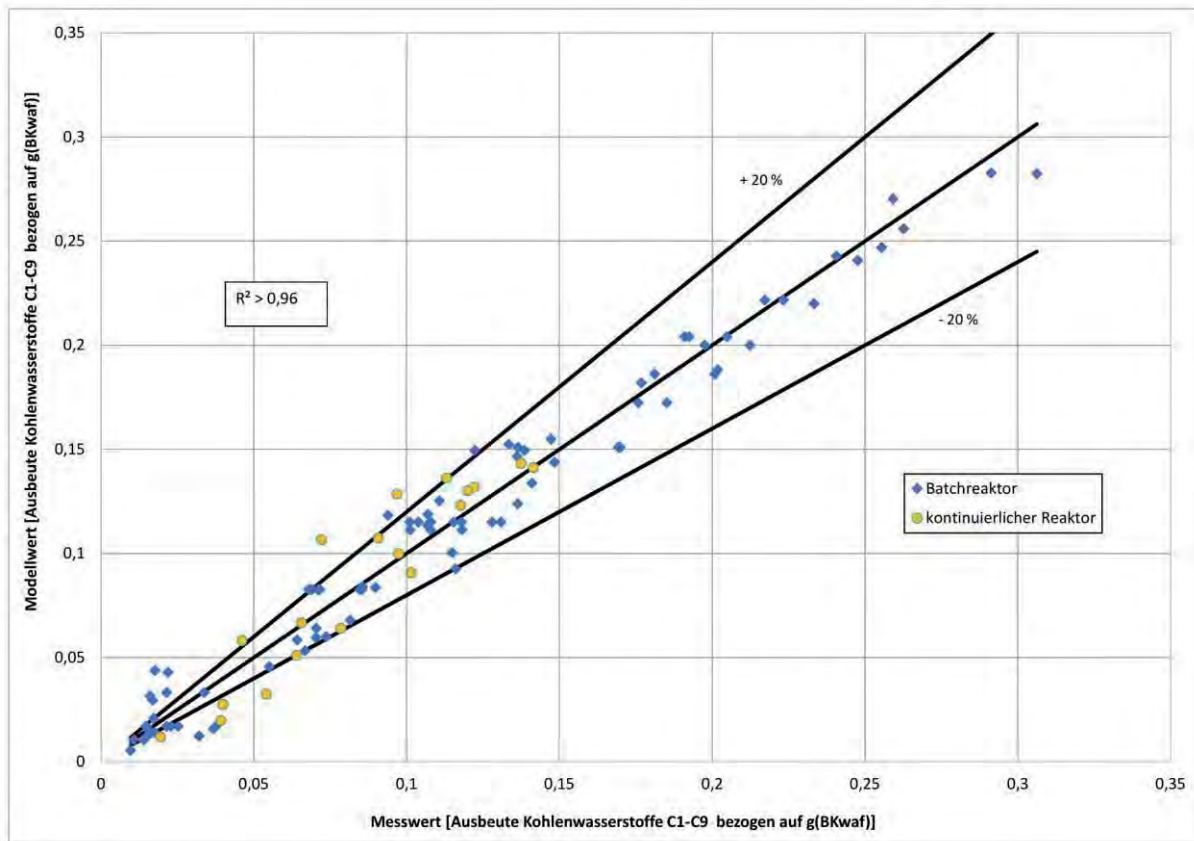


Abbildung 2: Paritätsdiagramm des Modellansatzes

4. Ausblick

Die in dieser Untersuchung erzielten Erkenntnisse stellen für ein Gesamtverständnis des Prozesses wichtige Grundlagen dar. Durch die Übertragbarkeit von diskontinuierlichen Versuchsergebnissen auf eine kontinuierliche Anlage ist die Möglichkeit gegeben weitere Versuche in dem jeweils einfacheren Reaktor durchzuführen. Die Beschreibung der Summenausbeute (C1-C9) stellt jedoch nur einen ersten Schritt dar. Erst die Beschreibung der einzelnen Wertstoffe ermöglicht eine zielgerichtete Optimierung des Prozesses, besonders hin zu aromatischen Verbindungen. Weiterhin ist die Vorhersage von Kohlenstoffdioxid-Emissionen für die ökonomisch-ökologische Gesamteinschätzung erforderlich.

Literaturverzeichnis

1. *Kinetik der Kohlen-Pyrolyse als Grundlage für die Auslegung technischer Reaktoren.* **Van Heek, K. H.** 1983, Chem.-Ing.-Tech. 55 Nr.10, S. 777-784.
2. **Seitz, M., Schwieger, W. und Schwab, A. V.** *Verfahren zur katalytischen Umsetzung von feststoffartigen Kohlenwasserstoffen.* DE 10 2009 049 767 A1
3. **Schmalfeld, J.** *Die Veredlung und Umwandlung von Kohle: Technologien und Projekte von 1970 bis 2000 in Deutschland.* Hamburg : Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), 2008.
4. **Sunggyu, L.** *Handbook of Alternative Fuel Technologies.* USA : CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
5. *Rolle der Kohle im weltweiten Energiemix.* *Energiewirtschaft* 2011 35: 1-13. Online publiziert: 22. Januar 2011. **Schiffer, H.-W.** s.l. : Vieweg+Teubner, 2011.
6. **Seitz et al.** Influence of catalysts on the pyrolysis of lignites. *Fuel.* 2014, 134, S. 669-676.
7. —. Catalytic cracking of lignites. *Erdöl, Erdgas, Kohle.* 2014, 130, S. 80-84.

Auswirkung von Festwalzeigenstressungen im ADI-Gusseisen

Ulrike Hähnel, Peter Hübner

Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften

haehnel@hs-mittweida.de, huebner2@hs-mittweida.de

Abstract: Der Einsatz von mechanischen Randschichtverfestigungsverfahren – wie dem Festwalzen – führt bei Gussbauteilen zur Steigerung der Lebensdauer. Ursache dafür ist eine Reduzierung der Rissentstehung und des Risswachstums aufgrund von induzierten Druckeigenstressungen. Der Einfluss dieses Eigenstressungszustandes im ADI wird in diesem Beitrag anhand von umfangreichen Schwingfestigkeitsuntersuchungen diskutiert. Für die ADI-Güte GJS-800-8 zeigte sich eine Verlagerung des Rissausgangs ins Probeninnere.

1. Einleitung

ADI (Austempered Ductile Iron) verbindet mit seiner austenitisch-ferritischen Matrix eine im Vergleich zum konventionellen Gusseisen mit Kugelgraphit überragende Festigkeit mit guter Duktilität und Verschleißbeständigkeit. Aufgrund einer kostengünstigen Herstellung und der günstigen Eigenschaftskombination eignet sich dieser Hochleistungsgusswerkstoff für den Einsatz in sicherheitsrelevanten Komponenten. Bei derartigen Bauteilen gehören häufig die Randschichten zu den höchst beanspruchten Werkstoffpartien. Um die Eigenschaften von Gussbauteilen in diesen Bereichen maßgebend zu verbessern, werden in der Praxis mechanische Oberflächenbehandlungsverfahren wie das Festwalzen erfolgreich eingesetzt. Die zu erzielende Steigerung der Schwingfestigkeit beruht im Wesentlichen auf der Induzierung von Druckeigenstressungen, die mit einer Reduzierung von Rissentstehung und Risswachstum verbunden ist. Vergleichende Untersuchungen am unbehandelten und festgewalzten Zustand der ADI-Güte GJS-800-8 haben den Einfluss der eingebrachten Druckeigenstressungen auf die Schwingfestigkeit sowie das Bruchverhalten unter zyklischer Belastung gezeigt. Die vorgestellten Ergebnisse schaffen eine Basis zur Aufstellung von geeigneten Regeln für die Auslegung von randschichtverfestigten ADI-Bauteilen.

2. Probenmaterial

Die Wärmebehandlung der Gussrohlinge aus legiertem GJS-600 zur Erzeugung der ADI-Güte GJS-800-8 erfolgte bei der Fa. ADI Treatments Ltd. (West Bromwich, England). Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das entstandene ausferritische Gefüge ist ein Gemisch aus nadelförmigem Ferrit und stabilisiertem Austenit.

Tabelle 1: Wärmebehandlungsparameter ADI

Austenitisierungstemperatur T_A [°C]	Haltedauer auf T_A t_A [h]	isotherme Umwandlungstemperatur T_U [°C]	isotherme Haltedauer t_U [min]
870	3	380	60

Die mechanischen Eigenschaften vom Versuchswerkstoff wurden im Zugversuch nach DIN EN ISO 68921-1 und mit einer Rockwellhärteprüfung nach DIN EN ISO 6507-1 ermittelt. Die mittleren Kennwerte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: mittlere mechanische Kennwerte von GJS-800-8

Dehngrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte HRC
711	1006	11	33

Zur metallographischen Beurteilung des Gusswerkstoffes erfolgte zunächst eine Graphitanalyse nach DIN EN ISO 945. Der Kugelgraphit im ADI-Gefüge entspricht mit den überwiegenden Sphärolithengrößen 6-8 und einem Anteil der Graphitform VI von 78 % den üblichen Anforderungen an GJS. Die Austenitanalyse an den mit der Software ImageC binarisierten Gefügebildern des Matrixwerkstoffes Ausferrit ergab einen Anteil von 33,2 %.

3. Untersuchungen

3.1 Festwalzen von ADI

Ziel der Einbringung von Druckeigenspannungen durch das Festwalzen ist, die Rissentstehung und das Risswachstum in der Randschicht des Bauteils wirksam zu reduzieren. Diese Makrospannungen sind Folge von zwei Deformationsprozessen. Je nachdem, ob der Prozess der Hertz'schen Pressung in der Kontaktzone zwischen Walzkörper und Werkstück oder eine plastische Materialstreckung an der Oberfläche überwiegt, zeigen sich die größten Verformungen unmittelbar an bzw. unter der Oberfläche. Demzufolge treten die maximalen Eigenspannungen auch unmittelbar an bzw. unterhalb der Werkstoffoberfläche auf¹.

Für das Festwalzen der ADI-Probekörper kam ein hydrostatisches Festwalzwerkzeug der Fa. ECOROLL zum Einsatz. Zur Messung der Festwalzeigenspannungen wurden plattenförmige Proben (155x17x6 mm) unter Variation der Walzkraft und der Breite der Walzspur an einer konventionellen Fräsmaschine der Fa. INTOS festgewalzt. Tabelle 3 zeigt die verwendeten Walzkraft bzw. Drücke. Die Spurbreite variierte von 0,2 mm bis 0,6 mm.

Tabelle 3: eingestellte Drücke und entsprechende Walzkraft

Druck [bar]	Festwalzkraft [N]
100	250
200	500
300	750
400	1000

Für die Durchführung der Schwingfestigkeitsuntersuchungen nach dem Festwalzen wurden Versuche an Zug-Druck-Proben unterschiedlicher Radien ($R_1 = 45$ mm, $R_2 = 8$ mm, $R_3 = 4$ mm) durchgeführt. Das Festwalzen erfolgte an einer konventionellen Drehmaschine der Fa. TRENŠ-TRENČIN im Bereich der Kerbradien. Aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit des Kerbradius $R_3 = 4$ mm für den eingesetzten Werkzeugtyp wurde das Festwalzen extern bei der Fa. Ecoroll ausgeführt.

3.2 Eigenspannungsmessung

Zur Gewinnung genauerer Informationen über den oberflächennahen Tiefenverlauf der Eigenspannungen im heterogenen Gussgefüge ist das Bohrlochverfahren geeignet. Das Grundprinzip dieser Methode besteht im Einbringen eines Bohrlochs in einen Körper, der Eigenspannungen unterliegt. An der Stelle des Bohrlochs werden die Spannungen ausgelöst. Durch diese Spannungsrelaxation ändert sich der Spannungszustand in unmittelbarer Umgebung des Bohrlochs. Daraufhin ändern sich die lokalen Dehnungen in der Oberfläche des Testobjekts ebenfalls².

Die Eigenspannungen wurden an den festgewalzten Platten unter Variation der Walzkraft bei einer Spurbreite und unter Variation der Spurbreite bei einer Walzkraft gemessen. Als Referenz wurden ebenfalls Platten im unbehandelten Zustand (gefräste Oberfläche) untersucht. Mithilfe der Eigenspannungsbohrvorrichtung RS-200 der Fa. Vishay erfolgten je Probe zwei Messungen im Bereich der gesamten Walzspurbreite bzw. auf den Referenzoberflächen.

Die auftretenden Deformationen wurden mit speziellen DMS-Rosetten vom Typ CEA-06-062UL-120 in Abhängigkeit von der Bohrtiefe erfasst. Für den Bohrvorgang wurden diamantbeschichtete Fingerfräser vom Durchmesser 1,6 mm eingesetzt. Die Erfassung der Dehnungswerte an den jeweiligen Messpunkten erfolgte bis in eine Messtiefe von 0,3 mm in 0,02 mm-Schritten und ab einer Messtiefe von 0,3 bis 1 mm in 0,1 mm-Schritten. Diese Einteilung der Tiefenschritte wurde gewählt, da die maximalen Druckeigenspannungen durch das Festwalzen in einem Bereich direkt unterhalb der Oberfläche zu erwarten waren.

Zur Berechnung der Eigenspannungen mit der Software H-DRILL (Hole-Drilling Residual Stress Calculation Program) kam die Integralmethode zum Einsatz. Diese berücksichtigt einen nach dem Festwalzen über die Tiefe variierenden Eigenspannungsverlauf. Da die Integralmethode immer die Dehnungsdifferenzen zwischen den Tiefeninkrementen zur Berechnung der Eigenspannungen heranzieht, können lokale Gefügeinhomogenitäten im ADI an der Messstelle einen entscheidenden Einfluss auf den Eigenspannungsbetrag haben. Vorzeichen und Verlaufstrend der Eigenspannungen können als Abbild der Realität angesehen werden. Im Folgenden werden die Eigenspannungsverteilungen als Trendverläufe der Mittelwerte der Einzelmessungen dargestellt.

Ein Vergleich des unbehandelten mit den unterschiedlich festgewalzten Probenzuständen (Spurbreite 0,2 mm) am Beispiel der Trendverläufe in Walzrichtung (Abbildung 1) lässt erkennen, dass durch Festwalzen der Platten Druckeigenspannungen bis in eine Tiefe von 0,65 mm unterhalb der Probenoberfläche induziert wurden. Mit steigender Festwalzkraft nehmen auch die Eigenspannungswerte zu. Eine Ausnahme bildet die Walzkraft 1000 N aufgrund der erheblichen Schwankungen der Eigenspannungen bis in eine Tiefe von 0,3 mm. Der Ort der maximalen Druckeigenspannungen liegt in einer Tiefe von 0,15 bis 0,25 mm und ist weitgehend unabhängig von der Festwalzkraft. Bei einer Festwalzkraft von 750 N zeigt sich der stabilste Eigenspannungstrend, der sich über die dargestellte Messtiefe annähernd konstant auf einem Druckspannungsniveau hält.

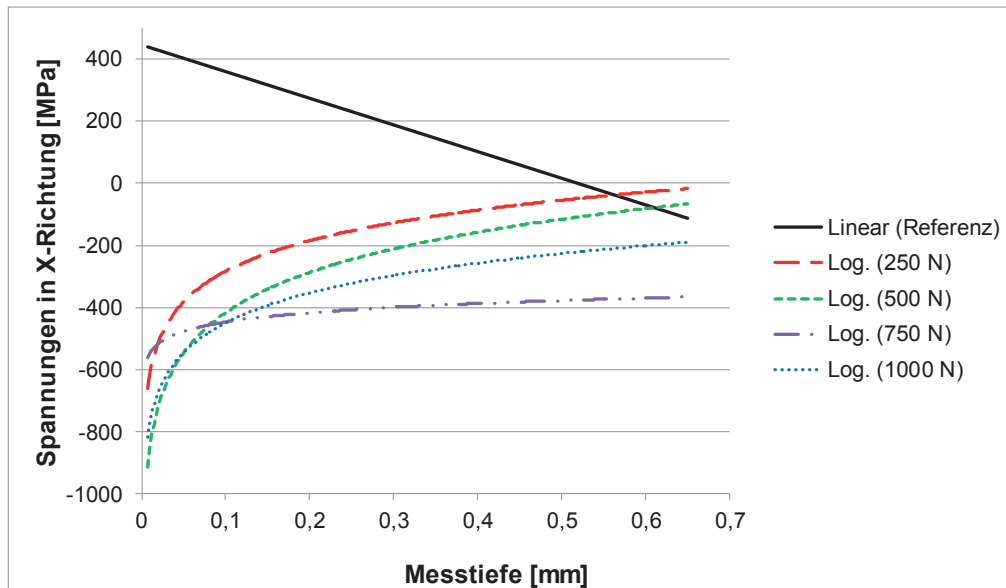


Abbildung 1: Eigenspannungsverläufe im unbehandelten und festgewalzten Zustand³

Bei den mit unterschiedlichen Spurbreiten festgewalzten Platten wurde jeweils eine Festwalzkraft von 750 N verwendet. Die Trendverläufe in Walzrichtung zeigen die höchsten Eigenspannungen bei einer Spurbreite von 0,3 mm. Ab einer Messtiefe von 0,3 mm hat die Spurbreite keinen entscheidenden Einfluss mehr auf den Eigenspannungsverlauf.

3.3 Schwingfestigkeitsuntersuchungen und Bruchflächenanalyse

Zur Ermittlung des Ermüdungsverhaltens der ADI-Güte GJS-800-8 nach dem Festwalzen wurden umfassende Schwingfestigkeitsuntersuchungen in Form von Wöhlerversuchen unter Wechselbeanspruchung ($R = -1$) durchgeführt. Da bei Gusswerkstoffen die Wöhlerergebnisse erheblich streuen können, wurden je Kerbgeometrie ($R_1 = 45$ mm, $R_2 = 8$ mm, $R_3 = 4$ mm) 45 Proben im unbehandelten und festgewalzten (Walzkraft 750 N) Zustand untersucht. Die Zug-Druck-Versuche erfolgten an einem Resonanzpulsator der Fa. SincoTec bei einer Prüffrequenz von 51 bis 53 Hz. Als Abbruchkriterien wurden die Grenzschwingspielzahl $N_G = 10^7$ und eine Frequenzdifferenz $\Delta f = \pm 0,1$ Hz definiert. Die verwendete Probengeometrie ist in Abbildung 2a) am Beispiel von $R_1 = 45$ mm dargestellt.

Die Schwingfestigkeitsergebnisse im Übergangsbereich zur Dauerfestigkeit wurden unter Anwendung des Treppenstufenverfahrens ermittelt. Die Treppenstufe betrug 10 MPa. Mit der Auswertung nach Hück konnte die Zug-Druck-Wechselfestigkeit mit 50%iger Überlebenswahrscheinlichkeit berechnet werden. Diese ist in Abbildung 2b) in Abhängigkeit vom Kerbradius und der Oberflächenbehandlung aufgetragen. Im unbehandelten Zustand nimmt die Wechselfestigkeit, wie erwartet, mit kleiner werdendem Radius ab. Für den festgewalzten Zustand trifft diese Aussage nicht vollständig zu. Allerdings war zu beobachten, dass die Wöhlerergebnisse der festgewalzten Radien wesentlich größeren Streuungen unterliegen (Vgl. Standardabweichungen in Abbildung 2b)) als die der unbehandelten – besonders für den Radius $R_1 = 45$ mm. Beim Radius $R_2 = 8$ mm konnte ein Schwingfestigkeitsgewinn durch das

Festwalzen von 14 % festgestellt werden. Beim festgewalzten Radius $R_3 = 4$ mm war anhand der Wechselfestigkeit keine Erhöhung der mittleren Schwingfestigkeit erkennbar, obwohl hier geringere Streuungen auftraten. Aufgrund der Kerbgeometrie wurde in diesem Fall der größte Effekt des Festwalzens erwartet. Infolge dieser Ergebnisse wurden sowohl die Bruchflächen als auch die Probenoberflächen im Bereich der Radien im Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht.

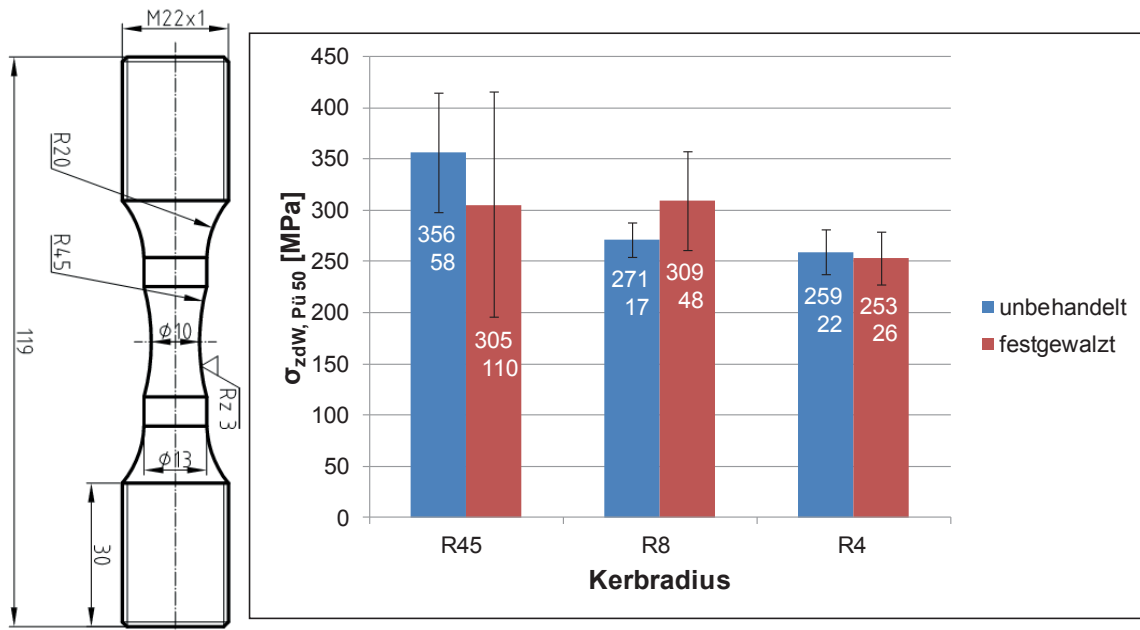


Abbildung 2: a) Geometrie Zug-Druck-Probe;
b) Zug-Druck-Wechselfestigkeiten für GJS-800-8 nach Hück

Die Analyse der Bruchflächen im unbehandelten Zustand zeigte, dass der Anriss stets direkt von der Oberfläche ausging. Der Anrissort ist in Abbildung 3a) am Beispiel des Radius $R_1 = 45$ mm zu erkennen. Eine genauere Festlegung der Anrisslinie ist aufgrund einer nachträglichen Deformation der Bruchfläche durch Zusammenfahren der Probenhälften nach Ende des Schwingfestigkeitsversuchs nicht möglich. Der Anteil der Ermüdungsbruchfläche ist relativ klein. Im umliegenden Bereich des Anrisses, in dem die hellen Wabenstrukturen ansetzen, beginnt bereits der duktile Anteil vom Gewaltbruch.

Durch das Festwalzen wurde der Anrissort in Richtung Probeninneres bis unterhalb der Zone der maximalen Druckeigenstressungen verschoben. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 3b) am Radius $R_3 = 4$ mm. Der zu erkennende Riss verläuft schalenartig in einem Oberflächenabstand von ca. 300 μm . Das ermittelte Druckeigenstressmaximum liegt in einer Tiefe von 150 bis 250 μm .

Eine mögliche Ursache für die geringe Wechselfestigkeit im festgewalzten Zustand beim Radius $R_3 = 4$ mm liefert die Betrachtung der Probenoberfläche im Kerbradius. Bei einigen Proben kommt es – statt zur Glättung der Oberfläche durch Überwalzen – bei Aufbringung einer Walzkraft von 750 N zu Abplatzungen, die ein frühzeitiges Versagen im Lastbereich der

Dauerfestigkeit zur Folge haben. Um eine Schwingfestigkeitssteigerung für diese Kerbgeometrie zu erzielen, müssen die entsprechenden Festwalzparameter noch optimiert werden.

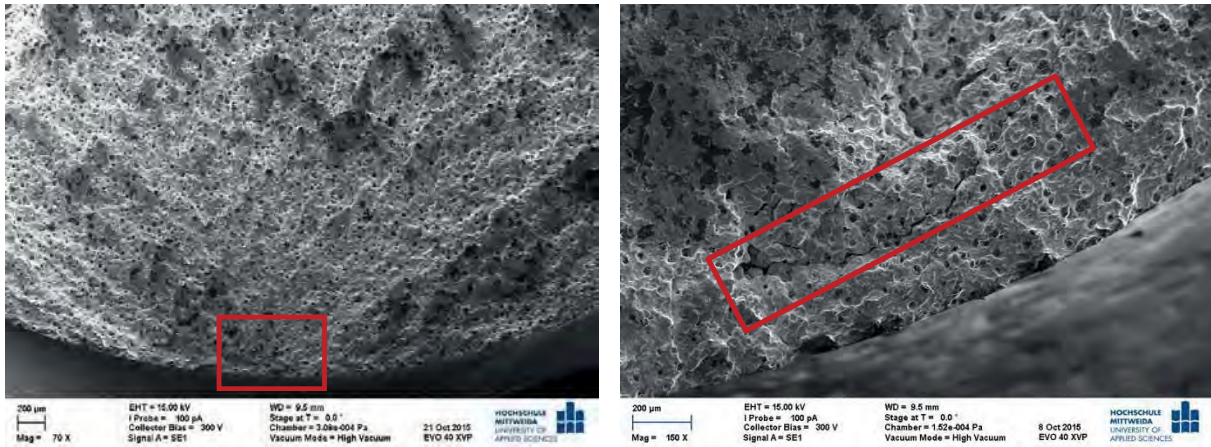


Abbildung 3: a) Bruchfläche / $R_1 = 45$ mm / unbehandelt / Probe 81 (Anrissort markiert);
b) Bruchfläche / $R_3 = 4$ mm / 750 N / Probe 347 (Rissverlauf markiert)

4. Ausblick

In weiterführenden Untersuchungen wird die Stabilität bzw. Änderung des Eigenspannungszustandes von randschichtverfestigtem ADI während zyklischer Beanspruchung ermittelt. Da sich Eigenspannungen unter Beanspruchung abbauen können, ist es bei günstigen, beabsichtigten Eigenspannungszuständen wichtig, die Grenzen ihrer Stabilität zu kennen und die Beanspruchungen möglichst innerhalb dieser Grenzen zu halten.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds für Deutschland (ESF) für die Förderung dieser Forschungsarbeit.

Literaturangaben

- ¹ Hähnel, U.: Korrelation von partiellen Festigkeitssteigerungen mit FEM-Berechnungen. Ingenieurpraktikumsarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Gießerei-Institut, 2007
- ² N.N.: Die Messung von Eigenspannungen mit dem DMS-Bohrlochverfahren. Tech Note TN-503-6, Vishay Precision Group, Micro-Measurements, 2010
- ³ Mannigel, Ch.: Ermittlung der Eigenspannungsverteilung nach dem Festwalzen von austenitisch-ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI). Diplomarbeit, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, 2014

Strategie und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für manuelle Montageprozesse

Leif Goldhahn¹, Egon Müller², Katharina Müller-Eppendorfer¹

¹ Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften

² Technische Universität Chemnitz, Fakultät Maschinenbau

goldhahn@hs-mittweida.de, egon.mueller@mb.tu-chemnitz.de, mueller7@hs-mittweida.de

Lösungsorientierte Strategien und Werkzeuge zur Materialbereitstellungsplanung sind u. a. aufgrund steigender Variantenvielfalt notwendig. Deshalb wurde eine durchgängige Vorgehensweise für die Materialbereitstellung speziell für den Bereich der manuellen Montage entwickelt, die eine präzise, strukturierte Planung mit modernen Werkzeugen, wie der VR-Technologie, der Strategie-Matrix mit integrierter Handlungsanweisung zur Merkmalsabhängigkeitsidentifikation und deren Verbindung, aufzeigt.

1 Ausgangssituation

Dieser Beitrag wurde als Langversion vorab zur VPP 2016 an der TU Chemnitz publiziert [1].

Die Schnellebigkeit und Variation von Produkten sowie Prozessen führen dazu, dass planungsseitig auch angrenzende Prozesse stärker in den Fokus der Betrachtung rücken. Dabei müssen unter anderem Logistikprozesse optimiert werden, um Kosten zu senken und die Effizienz im Hauptprozess zu steigern. Hierfür ist eine systematische Vorgehensweise zur Planung, gepaart mit neuen Strategien und modernen Werkzeugen wie der Virtual Reality (VR) Technik zielführend. [2], [3]

Dabei beschreiben Wirth, Schenk und Müller [4] VR als eine computergenerierte Umgebung, welche eine Interaktion in Echtzeit erlaubt und durch technische Hilfsmittel und die natürlichen Sinne des Betrachters als real erlebt wird.

Für einen ganzheitlichen Planungsansatz müssen der Mensch als zentraler Akteur in der manuellen Montage durch eine Ergonomiebewertung sowie Nutzen und Aufwand alternativer Bereitstellkonzepte durch eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit in den Fokus rücken.

Einen Beitrag zu Grundlagen der Materialbereitstellung, der Einordnung in den Fertigungsprozess sowie Potentialen der Planung der Materialbereitstellung in der Montage leistete die Veröffentlichung von [2].

2 Konzept zur systematischen Planung der Materialbereitstellung

In diesem Abschnitt wird zunächst das systematische Konzept der Materialbereitstellungsplanung dargelegt. Darauf aufbauend finden sich in den nächsten Abschnitten speziell für das Konzept erstellte Strategien und Werkzeuge.

Das Konzept für die Planung der Materialbereitstellung (Abbildung 2-1) beinhaltet 3 Planungsbausteine sowie die dazugehörigen Bestandteile.

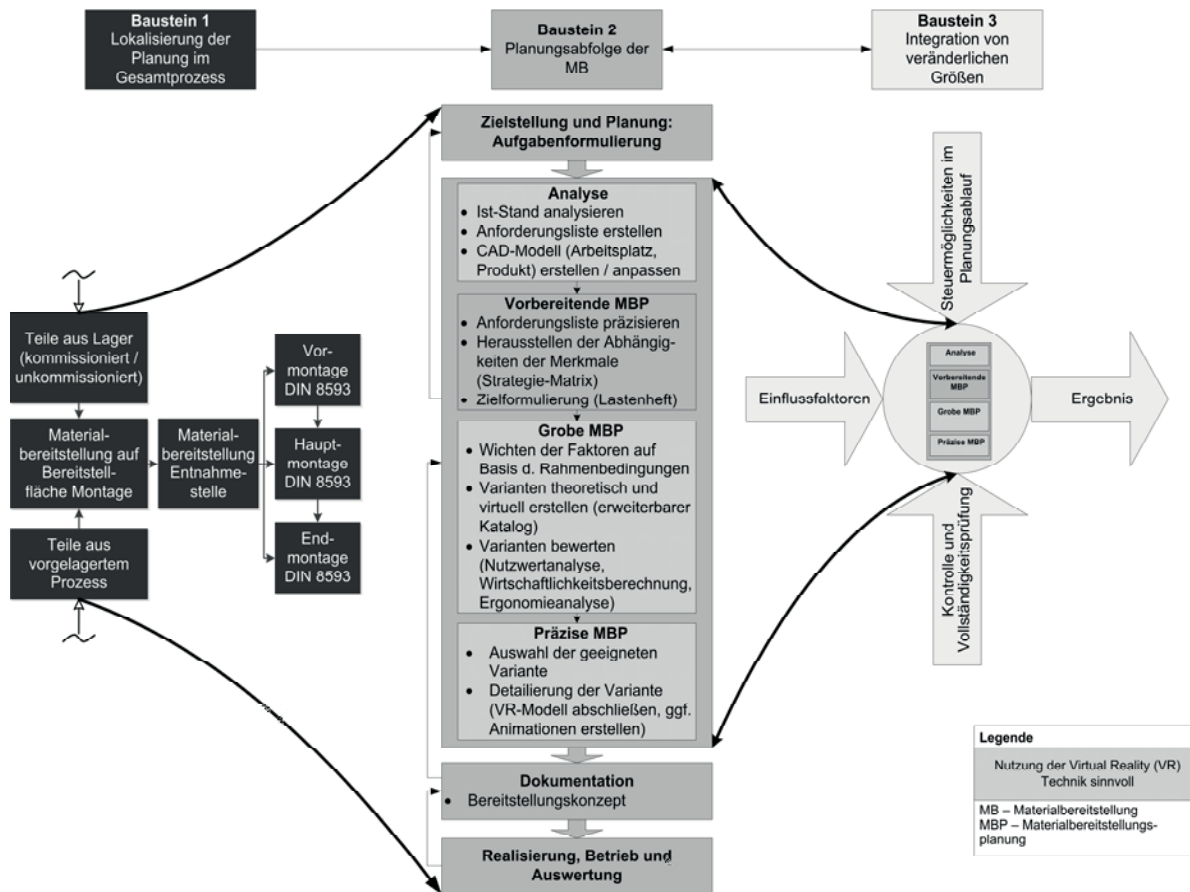


Abbildung 2-1: Konzept zur systematischen Planung der Materialbereitstellung

Der Zielfokus liegt in der **Ganzheitlichkeit** (Baustein 1 – Betrachtung aller angrenzenden Bereiche), der **Durchgängigkeit und Integration** (Baustein 2 – systematische Vorgehensweise und Einbeziehung von VR und neuer Werkzeuge) sowie der **Flexibilität** (Baustein 3 – anpassungsfähig auf Änderungen) während der Planung. In dem **Baustein 1** geht es primär um die Lokalisierung des Fabrikbereiches, in dem die Planung der Materialbereitstellung stattfindet. Weiterhin beinhaltet er die Festlegung von Restriktionen, welche durch vor- oder nachgelagerte Bereiche, systemseitig im vorliegenden Bereich oder vom Planer festgelegt werden. Dazu zählen unter anderem definierte Behälter, standardisierte Werkstückträger oder auch festgelegte bzw. verfügbare Flächen.

Der **Baustein 2** definiert den Planungsablauf. Dieser beginnt mit dem Schritt der Aufgabenformulierung, gefolgt von den Schritten der Analyse, der vorbereitenden, groben sowie präzisen Materialbereitstellungsplanung im Hauptschritt, der Dokumentation sowie der Umsetzung inklusive Rückkopplung in der Betriebsphase. Für ein zielentsprechendes Ergebnis wird der Planungsablauf im **Baustein 2** iterativ durchlaufen. Der Vorteil liegt darin, dass sich so schrittweise einem Idealzustand angenähert werden kann. Weiterhin werden durch die systematische Vorgehensweise und genaue Erstellung von Restriktionen und Rahmenbedingungen für das jeweilige Unternehmen keine Alternativen geplant, welche später nicht umsetzbar wären. Durch diese Restriktionen und durch Berechnungsverfahren in den jeweiligen Planungsschritten erfolgt der rechtzeitige Ausschluss von Varianten, bevor Zeit und

Kosten für ergebnislose Planung investiert werden. Im **Baustein 2** werden bereits bewährte, aktuelle Methoden und Werkzeuge (u. a. Lastenheft, Nutzwertanalyse, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) eingebracht und ebenfalls neu entwickelte Methoden angewendet. Als Beispiel hierfür seien die Strategie-Matrix sowie der digitale erweiterbare Katalog für Material-Bereitstellungsequipment zu nennen, welche in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben werden. Besonderes Augenmerk liegt auf der systematischen Integration von VR-Techniken in den Planungsschritten. Der **Baustein 3** hat zum Ziel, eine störungsfreie Bereitstellung des benötigten Materials für den wertschöpfenden Prozess mit hoher Flexibilität zu gewährleisten. Im **Baustein 3** werden daher Einflussfaktoren aufgenommen und die Konsequenzen von Anpassungen speziell für die Materialbereitstellung dargelegt.

3 Strategiematrix der Materialbereitstellung

Für die Phase „Vorbereitende Materialbereitstellungsplanung“ im **Baustein 2** steht die **Strategie-Matrix** (vgl. Abbildung 3-1) als Hilfsmittel während der Planung zur Verfügung.

ausgewähltes Merkmal		Ausprägung		betrachtetes Merkmal																																													
		Ausprägung		Art Materialauslösung		Bereitstellungsmenge		Bereitstellort		Auftragsbezug		Artikelumfang je Bereitstellung		Beispiele Bereitstellform		Objektkategorie																																	
hat zur Folge dass		↑		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch	
Art Materialauslösung		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Bereitstellungsmenge		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Bereitstellort		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Auftragsbezug		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Artikelumfang je Bereitstellung		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Beispiele Bereitstellform		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			
Objektkategorie		bedarforientiert		verbrauchtorientiert		stückzahlgenau		gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)		gebäudeorientiert (Standardmenge)		arbeitsplatzübergreifend		arbeitsplatzspezifisch		auftragsneutral		auftragsorientiert		sortenreine Bereitstellung		sortenübergreifende Bereitstellung		Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)		nach Auftrag		Einzelprodukt		Einzelteile / Baugruppen periodisch		Kanban		Mehrbehälter		Handlager		A-Teile		B-Teile		C-Teile		großvolumige, sperrige Teile		unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch			

Abbildung 3-1: Darstellung der Strategie-Matrix mit Abhängigkeiten von Materialbereitstellungsmerkmalen und dazugehörigen Ausprägungen

In dieser werden zahlreiche, für die Materialbereitstellung dienliche Merkmale mit Merkmalsausprägungen strukturiert und ihre Abhängigkeiten aufgezeigt. Auf Grundlage von Anforderungen, welche während der Ist-Standsanalyse erstellt wurden, kann zügig in der Matrix nachvollzogen werden, was diese Anforderungen bzw. Merkmalsausprägungen nach sich ziehen (Abhängigkeiten zu anderen Merkmalen).

Die Strategie-Matrix wurde inhaltlich mit Hilfe der folgenden Literaturquellen sowie eigenen Überlegungen erarbeitet und ausgefüllt [4], [5], [6], [7].

Weiterhin wurde eine Handlungsanweisung erstellt, um dem Anwender bei Erstnutzung der Strategie-Matrix eine detaillierte Vorgehensweise mit auf den Weg zu geben.

Dabei ist zunächst ein Initialmerkmal zu wählen, welches auf Grundlage des Planungsschrittes „Analyse“ bestimmt worden ist. So kann die Festlegung der Objektkategorie z. B. als A-Teile (Teile mit hohem Wert oder besonders empfindliche Teile – durch ABC-Analyse) als Initialmerkmal gelten.

4 Digitaler erweiterbarer Katalog für Material-Bereitstellungs-Equipment

4.1 Allgemeine Beschreibung

Der **digitale erweiterbare Katalog** zur Materialbereitstellung ordnet sich im „Konzept zur systematischen Planung der Materialbereitstellung“ im **Baustein 2** in die Phase „Grobe Materialbereitstellungsplanung“ ein. In dieser Phase erfordert die Variantengenerierung in der virtuellen Welt eine strukturierte Auswahl und Datenaufbereitung der Bereitstellobjekte (z. B. Artikelbezeichnungen, Abmessungen, Mengen sowie Bilder und 3D-Daten).

Der **digitale erweiterbare Katalog** besitzt einen bibliotheksartigen Aufbau, welcher künftig eine schnelle Integration von standardisierten Bereitstellobjekten in die Software der VR-Technik ermöglichen soll. Hierbei wird ein Warenkorb mit allen benötigten Bereitstellobjekten gefüllt und als TXT-Datei sowie PDF-Datei dargestellt werden. Zukünftige Arbeiten sollen es ermöglichen, dass dieser Warenkorb mittels Skript auch automatisch in die VR-Software übertragen werden kann.

4.2 Vorgehensweise zur Katalogerstellung

Zu Beginn der Konzeption des Kataloges erfolgte die Erstellung einer allgemeinen Vorgehensweise zur Katalogerstellung (Abbildung 4-1).

Damit das Programm für viele Anwender zugänglich und auf vielen mobilen Endgeräten verwendbar ist, wurde es als Webprogrammierung (PHP5) umgesetzt. Ferner wurden Katalogklassen für Bereitstellobjekte erstellt und mittels Nummernsystem klassifiziert, so dass diese eineindeutig zuordenbar sind.

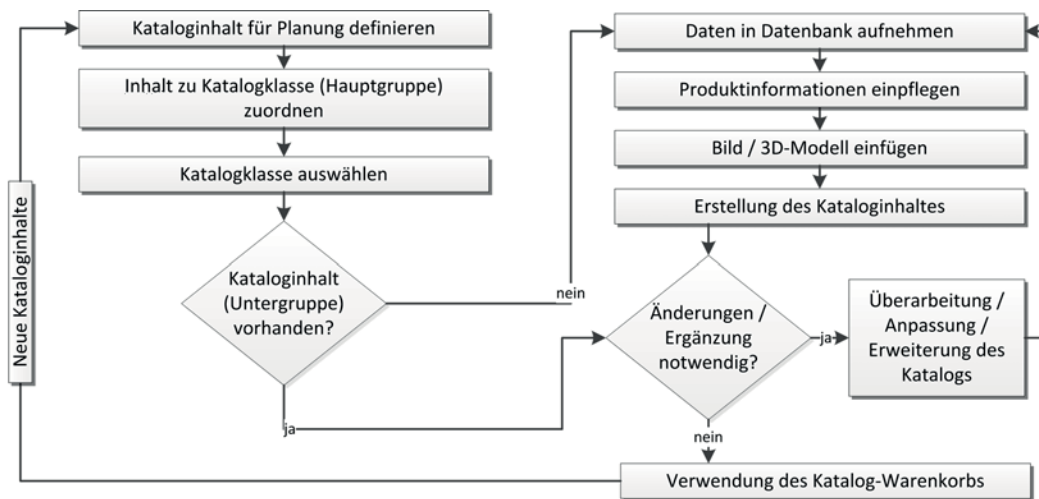


Abbildung 4-1: Vorgehensweise zur Katalogerstellung

4.3 Aufbau des Kataloges

Der Katalog besteht im aktuellen Entwicklungszustand aus 5 Hauptgruppen von Bereitstellobjekten (Transporthilfsmittel, Bereitstellmittel, Bereitstellereinrichtung, Fördermittel und Handhabungsmittel), denen häufig verwendete bzw. genormte Bestandteile in Untergruppen in 2 Ebenen (z. B. Kleinladungsträger (KLT) mit der 2. Untergruppe RL KLT- Typ einwandig mit glattem Boden) zugeordnet wurden, vgl. Abbildung 4-2.

Je nach Situation und Anforderung des Unternehmens muss der Katalog angepasst und mit produktspezifischen Bereitstellobjekten für die Bereitstellung von Teilen für manuelle Tätigkeiten erweitert werden. Mittels Warenkorbmethode können so die benötigten Bereitstellobjekte zunächst tabellarisch dargestellt und angezeigt werden. Perspektivisch sollen allen Objekten VRML- Dateien zugeordnet werden, welche zur Übernahme in die Virtual Reality-Software bereitstehen. Dies ermöglicht eine zügige Planung mittels der VR-Technik.

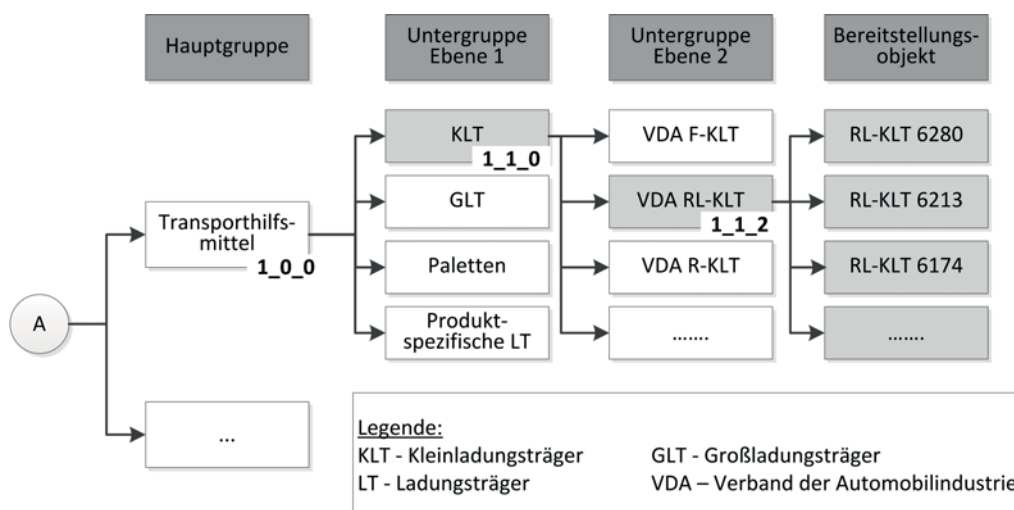


Abbildung 4-2: Aufbau des digitalen erweiterbaren Kataloges mit Beispiel-Nummer für RL-KLT Behälter

Ein Beispiel für einen gefüllten Warenkorb zeigt die Abbildung 4-3. Dieser kann derzeit als TXT-Datei oder im PDF-Dateiformat exportiert werden. Dies dient als Übersicht der benötigten

Bereitstellungsobjekte für die jeweilige Planungsvariante und ermöglicht zudem einen Vergleich des Bereitstellungs Equipments unter den Varianten. Weiterhin dient diese Übersicht zum Abgleichen von Equipment, welches für die Realisierung vorhanden ist oder neu beschafft werden muss.

Warenkorb

Nr.	Produktbezeichnung	Hersteller	Kategorie	Bild	Anzahl [Stück]	
1	RL-KLT 6213	Herstellerunabhängig	Transporthilfsmittel - Kleinladungsträger (KLT) - VDA RL-KLT		1	ändern löschen
2	Flachpalette	Herstellerunabhängig	Transporthilfsmittel - Paletten - Europalette Holz		1	ändern löschen
3	LF 221	SSI Schäfer	Bereitstellmittel - Sichtlagerkästen - Serie LF		1	ändern löschen
4	Behälterschwenkarm 8 80 695	item Industrietechnik GmbH	Handhabungsmittel - Schwenkarm - Behälter- Doppelschwenkarm item 8 80-695		1	ändern löschen

Abbildung 4-3: Darstellung gefüllter Warenkorb des digitalen erweiterbaren Katalogs

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Planung von sekundären Tätigkeiten, wie die der Materialbereitstellung an Bedeutung zunimmt. Bisher wurde die Materialbereitstellung eher intuitiv anstatt einer Systematik folgend umgesetzt. Ein ganzheitliches Denken in Bezug darauf alle angrenzenden Bereiche mit einzubeziehen, die Integration von bewährten und neuen Methoden und Hilfsmitteln aufzunehmen sowie den Menschen bei seiner manuellen Tätigkeit bezüglich der Ergonomie zu berücksichtigen, fehlte. Dies soll im vorgestellten Konzept der Materialbereitstellungsplanung erfolgen. Einige Untersuchungen bezüglich der Anwendbarkeit konnten hierüber mittels spezieller Arbeiten von Masterstudenten durchgeführt und damit auch weitere Erkenntnisse und Verbesserungen hinsichtlich Machbarkeit und Umsetzung erreicht werden. Die Anbindung des Warenkorbs an die Software der VR-Technik stellt eine vielversprechende Aufgabe für die Zukunft dar.

Literaturverzeichnis

- [1] Goldhahn, L., Müller E., Müller-Eppendorfer, K. (2016). Strategie und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für manuelle Montageprozesse. In Müller E. (Hrsg.), *Smarte Fabrik & Smarte Arbeit – Industrie 4.0 gewinnt Kontur*. (S. 239-248). Tagungsband zur VPP`16, TU Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 22.
- [2] Goldhahn, L., Müller E., Müller-Eppendorfer, K. (2014). Planung der Materialbereitstellung in der Montage. In Müller E. (Hrsg.), *Produktion und Arbeitswelt 4.0 Aktuelle Konzepte für die Praxis?* (S. 205-214). Tagungsband zur TBI`14, TU Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 20.
- [3] Adolph, S., Metternich, J. (2016). Materialbereitstellung in der Montage: Eine empirische Analyse zur Identifikation der Anforderungen an künftige Planungsvorgehen. *ZWF* 111, 2016 (1-2), 15-18.
- [4] Wirth, S., Schenk, M., Müller, E. (2014). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik* (2. Überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- [5] Nyhuis, P. (2009). *Konzepte und Möglichkeiten einer bestandsarmen, zeitnahen Materialbereitstellung*. Präsentation zur 5. Sitzung AWF AG moderne Produktionslogistik 20./21.01.2009, Wiesloch.
- [6] Pfohl, H.-Chr. (2010). *Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlagen* (8. Überarbeitete und erweiterte Auflage). Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- [7] Lotter, B., Wiendahl, H.-P. (2006). *Montage in der industriellen Produktion*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Mikromechanische Modellierung und Vorhersage des effektiven E-Moduls von Partikel-verstärkten Metall-Matrix-Kompositen am Beispiel von WC-NiBSi PTA-Schichten

Tobias Schneider, Annett Dorner-Reisel, Stefan Svoboda, Rolf Hepp, Guido Reisel
Hochschule Schmalkalden, Fachbereich Maschinenbau
t.schneider@hs-sm.de

Abstract: Zur Vorhersage des homogenisierten E-Moduls von WC-NiBSi PTA-Schichten wurde ein FE-Modell mit der Software Ansys 17 Classic erstellt und ausgewertet. Die Mikrostruktur wurde im ersten Ansatz mittels einer orthohexagonalen Einheitszelle nachgebildet und die Ergebnisse mit analytischen Ansätzen der Material-Mikromechanik verglichen.

1. Einleitung

Heterogene Materialien wie Komposite bestehen aus klar unterscheidbaren Komponenten bzw. Phasen mit unterschiedlichen mechanischen und physikalischen Eigenschaften.

Die Material-Mikromechanik beschäftigt sich damit, das effektive Verhalten von heterogenen Materialien basierend auf den Eigenschaften und Geometrien der einzelnen Phasen vorherzusagen. Zweites Aufgabengebiet ist die Auswertung von lokalen Spannungs- und Dehnungsfeldern bei vorgegebenen äußeren, makroskopischen Belastungszustand; und somit von lokalen Versagensmechanismen. Die meisten Methoden basieren auf der Kontinuumsmechanik. Es existieren mehrere analytische Schätzungen zur Bestimmung des effektiven E-Moduls. Zu ihnen zählen die Mischungsregeln (ROM, engl. rules of mixture) nach Voigt¹ und Reuss², die sich allerdings nur auf bestimmte geometrische Anordnungen der Komponenten anwenden lassen, aber einen guten Vergleich darstellen. Die lineare ROM nach Voigt

$$E_C = E_M(1 - v_p) + E_p v_p$$

beschreibt die Eigenschaften Langfaser-verstärkter Verbundwerkstoffe unter Belastung parallel zur Faserrichtung. Mit der inversen ROM nach Reuss

$$E_C = \left(\frac{1 - v_p}{E_M} + \frac{v_p}{E_p} \right)^{-1}$$

werden zur Faserrichtung transversale beanspruchte Verbundwerkstoffe charakterisiert.³ Beide Regeln markieren die Ober- und Untergrenze der effektiven Eigenschaften für zweiphasige Matrix-Komposite. Das Modell nach Tsai-Halpin ist eine Weiterentwicklung der ROM und ermöglicht durch die Einführung eines effektiven Geometriefaktors $S=(l/d)$ auch die Beschreibung von Kurzfasern und Partikel.³

$$E_C = \frac{E_M(1 + 2Sq v_p)}{1 - qv_p}$$

mit

$$q = \frac{(E_p/E_M) - 1}{(E_p/E_M) + 2S}$$

Einen weiteren Ansatz stellt die untere Grenze der Hashkin-Shtrikman Grenzen

$$E_C = \frac{E_M[E_M(1 - \nu_p) + E_p(\nu_p + 1)]}{E_p(1 - \nu_p) + E_M(\nu_p + 1)}$$

dar. Sie findet Anwendung, wenn steifere, isolierte, sphärische Verstärkungen von einer weicheren Phase umgeben sind.⁴ In allen Modellen sind jeweils E_M und E_p die E-Moduli der Matrix und der Verstärkung sowie ν_p der Volumenanteil der Verstärkung. Sekundäre Effekte der tatsächlichen Mikrostruktur, wie Form, Größe und Verteilung der Verstärkung werden in den analytischen Ansätzen nicht berücksichtigt. Unter anderen bei Dickschichten aus Partikelverstärkten Metall-Matrix-Kompositen (PRMMC) mit teilweise irregulären, blockigen Partikeln und einer Partikelgrößenverteilung haben diese einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss. Mittels Numerischer Ansätze wie beispielsweise der Finiten-Element-Analyse (FEA) lassen sich solche Effekte zwar auch nur näherungsweise abbilden, wobei die einschränkenden Annahmen und Voraussetzungen deutlich weniger streng sind⁵. So lassen sich das inelastische Verhalten auf mikrostruktureller Ebene erfassen und Interaktionen zwischen den Phasen berücksichtigen⁵. Entsprechend der Vielfältigkeit von heterogenen Materialien existiert bereits eine Vielzahl an Untersuchungen zu diesem Aufgabenfeld⁶⁻⁹. Im Speziellen zu Auftragsgeschweißten WC/Ni-Kompositen existieren nur wenige Untersuchungen, wie bspw. die von Xu¹⁰. Einfachste Ansätze bilden die Mesostruktur mittels einer streng periodischen Anordnung einer Einheitszelle nach. Diese Vereinfachung reduziert den Berechnungsaufwand und ermöglicht erste Vorhersagen, kann aber sekundäre Effekte nicht berücksichtigen. Eine Erweiterung stellt die Verwendung eines Repräsentativen Volumenelements (RVE), in dem alle charakteristischen mikrostrukturellen Parameter abgebildet werden können, dar. Dieses kann zwei- oder dreidimensional beschaffen sein.

2. Numerischer Ansatz mittels orthohexagonaler Einheitszelle

2.1 Modellierung und Simulation

Die Mikrostruktur (siehe Abb. 1) wird durch die periodische Aneinanderreihung einer orthohexagonalen Einheitszelle nachgebildet. Diese wird durch die Vektoren $\mathbf{a} = (a, 0)^T$ und $\mathbf{b} = (0, \sqrt{3}a)^T$ aufgespannt.

$$a = \frac{d}{\kappa} \quad | \quad \kappa \in]0; 1] \quad (2.1)$$

$$v_p(\kappa) = \frac{A_p}{A} = \frac{\frac{\pi}{2}d^2}{\sqrt{3}\left(\frac{d}{\kappa}\right)^2} \quad (2.2)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}}{\pi} v_p} \quad (2.3)$$

Der Parameter der Partikelmittelpunkt-Abstände a ist abhängig vom Partikeldurchmesser d und einem Faktor κ , mit dem der Volumenanteil der Partikelverstärkung v_p innerhalb der Einheitszelle gesteuert werden kann. Der Volumenanteil wird über das Verhältnis der Partikelfläche A_p zur Gesamtfläche A definiert.

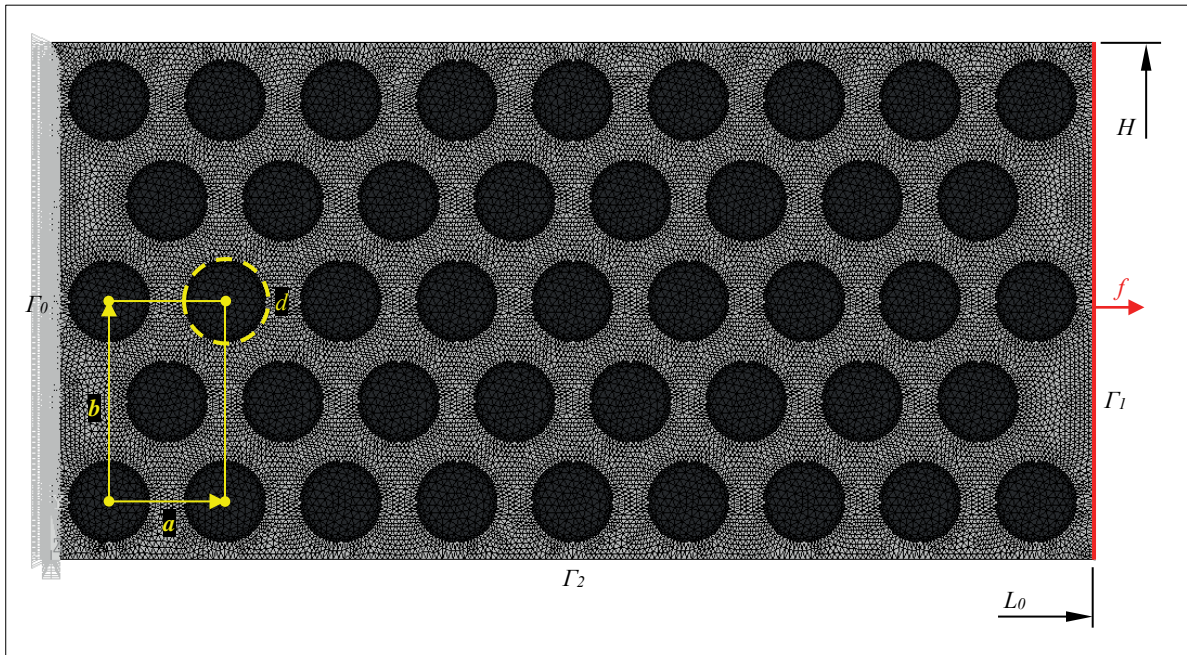


Abb. 1: Vernetzte Geometrie ($d=125 \mu\text{m}$; $v_p=0,45$) mit Randbedingungen; orthohexagonale Einheitszelle (gelber Rahmen)

Das Referenzsystem entsteht durch die Replikation der Basis (die Einheitszelle) zu einer 2x8-Matrix und beinhaltet 43 regelmäßig verteilte Partikel. Der Partikel-Durchmesser wurde auf $125 \mu\text{m}$ festgesetzt. Die Abmessungen L_0 und H der sie umgebenden Matrix sind Funktionen von Anzahl, Durchmesser und Volumenanteil der Partikel. Beide Phasen wurden in der FEM-Software Ansys 17 Classic mit PLANE2-Elementen (plane stress-Option) vernetzt. Dabei handelt es sich um einen 6-knotigen, triangulären 2D-Elementtyp, der zum Vernetzen von irregulären Geometrien geeignet ist. Die Eigenschaften der beteiligten Materialien sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Eigenschaften der beteiligten Materialien

Material	Ni-Basis [†]	WC-Verstärkung
E-Modul E (GPa)	190	700 ¹¹
Querkontraktionszahl ν	0,29	0,21 ¹¹
Streckgrenze R_e (MPa)	458	~ 300 [‡]

[†] HASTELLOY® X average weld metal, <http://www.haynesintl.com>

[‡] abgeschätzt aus Biegebruchfestigkeit

Da konventionelle Zugtests für spröde Materialien ungeeignet sind, wird für diese stattdessen die Biegebruchfestigkeit (TRS) ermittelt¹². Die Biegebruchfestigkeit nach ASTM B-406 von Wolframcarbid wird von Cardarelli mit 296-490 MPa angegeben¹³. Die Zugfestigkeit (UTS) kann aus der TRS abgeschätzt werden. In [12] wird das Verhältnis TRS/UTS mit 1,46 angegeben. Zur Bestimmung des effektiven E-Moduls wurde das Materialmodell der Matrix auf linear-elastisches Materialverhalten reduziert, um den Berechnungsaufwand zu senken.

Die Freiheitsgrade aller Knoten auf der Kante Γ_0 bei $x=0$ wurden gesperrt und auf die Kante Γ_1 bei $x=L_0$ wurde die Oberflächenlast $f = 0,3R_{e,Ni}A_q$ als Randbedingung definiert. Die Fernfeldspannung entspricht somit 30% der Streckgrenze der Matrix $R_{e,Ni}$.

Zur Bestimmung des effektiven E-Moduls wurde auf die Kante Γ_1 zwischen den Knoten $(L_0; H)$ und $(L_0; 0)$ ein Pfad mit 20 Datenpunkten definiert¹⁴. Auf den vordefinierten Pfad wurden die Verschiebung u_x und Spannung σ_x in X-Richtung interpoliert. Der effektive E-Modul jedes Datenpunktes wurde entsprechend der Formeln (2.7) und (2.8) bestimmt

$$\varepsilon = u_x L_0 \quad (2.7)$$

$$E = \sigma_x / \varepsilon \quad (2.8)$$

und anschließend das arithmetische Mittel berechnet, wobei E der effektive bzw. homogenisierte E-Modus des PRMMCs, L_0 die Probenlänge und ε die Dehnung sind.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 2 ist der Verlauf des homogenisierten E-Moduls in Abhängigkeit vom Volumenanteil der Partikelverstärkung dargestellt. Mittels orthohexagonaler Einheitszelle lässt sich ein Volumenanteil von maximal 90,69 Vol.-% einstellen. Für WC-NiBSi PTA-Schichten ist lediglich der Bereich bis ~44 Vol.-% von Interesse, da darüber hinaus keine rissfreien Schichten aufgetragen werden können. Die numerischen Daten folgen dem Verlauf der inversen Mischungsregel.

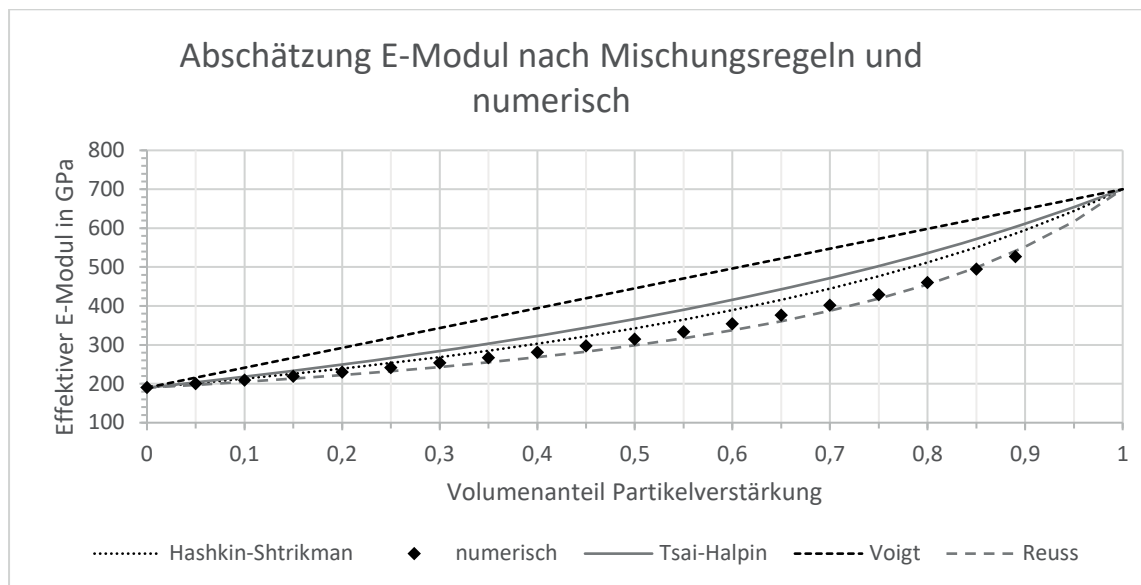


Abb. 2: Verläufe des effektiven bzw. homogenisierten E-Moduls in Abhängigkeit vom Volumenanteil der Partikelverstärkung

Dadurch, dass das Modell zweidimensional aufgebaut ist, liegen keine Tiefeninformationen zur Mikrostruktur vor. Die Partikel werden fälschlicherweise als in Z-Richtung extrudierte Fasern aufgefasst und der tatsächliche Verlauf des E-Moduls wird verfälscht. Dieser Umstand lässt sich nur durch den Übergang in drei Dimensionen beheben. Die Kongruenz der Ergebnisse verdeutlicht aber die grundsätzliche Qualität des numerischen Modells.

3. Ausblick

Im nächsten Schritt erfolgt der Übergang zum Repräsentativen Volumenelement, das statistisch stellvertretend für die gesamte Mesostruktur alle mikrostrukturellen Parameter verkörpern kann. Die Beschaffenheit eines solchen RVE kann dabei über verschiedene Wege generiert werden. In der folgenden Abbildung ist die grundsätzliche Vorgehensweise zur Mikrostruktur-basierten FE-Modellierung verdeutlicht.

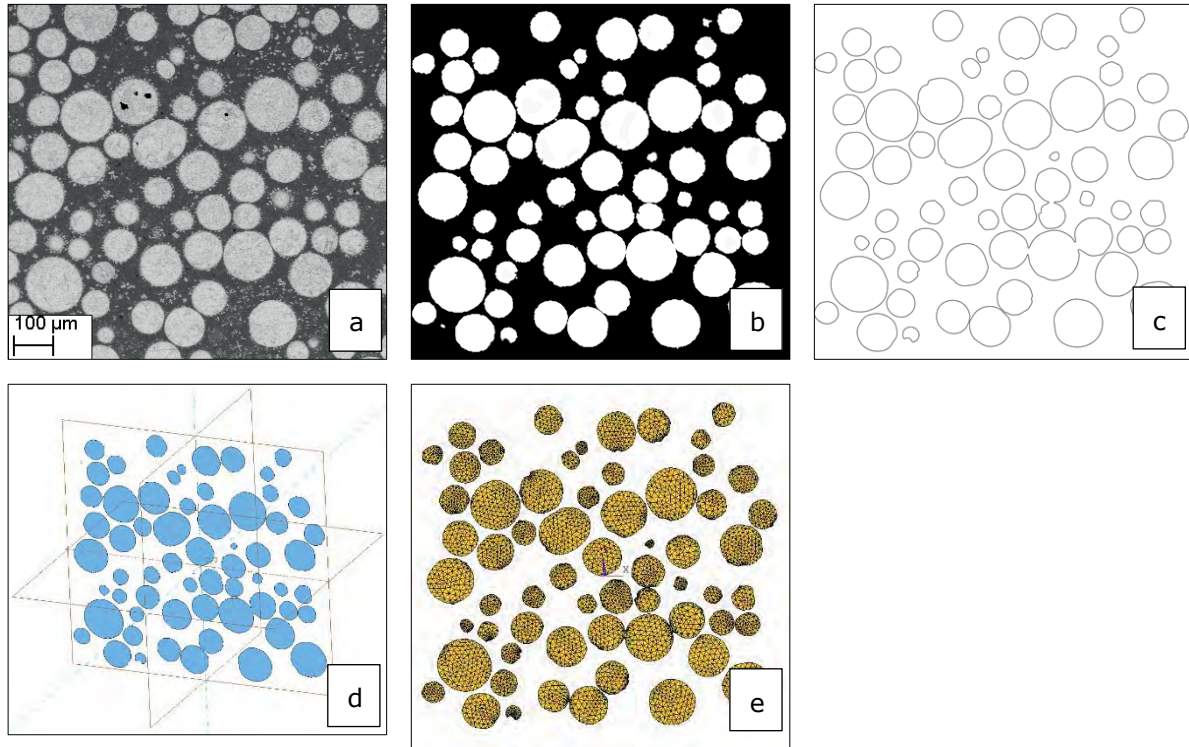


Abb. 3: Ablauf Modellierung: Mikroschliff (a), optimierte Pixelgrafik (b), Adobe Illustrator Vektorgrafik mit Pfaden im .DXF-Format (c), Flächen-KE von in PTC Creo importierter Vektorgrafik (d) und in Ansys Classic importierte .IGES-Datei mit Vernetzung

Ausgangspunkt ist dabei die in Abb. 3.a dargestellte WC/Ni Schicht mit sphärischen Wolframschmelzcarbid und einem Volumenanteil der Partikelverstärkung von $v_p = 0,44$. Die ausgetrennte Probe wurde nach einer Standardpräparationsroutine geschliffen sowie poliert und in Murakami Lösung für 3s chemisch geätzt, wobei hauptsächlich Sekundärcarbide und η -Phasen mit der Lösung reagieren¹⁵. Die Nachbildungstreue der Mikrostruktur ist sehr hoch, wird allerdings durch nicht am größten Umfang geschnittene Partikel verfälscht. Durch das Stacking von mehreren Schliffen sind auch dreidimensionale RVEs realisierbar¹⁶.

Ein weiterer Ansatz zur Nachbildung der Mikrostruktur verfolgt die Generierung von normalverteilten Zufallszahlen mittels eines Monte-Carlo-Algorithmus.¹⁷ Der Satz von Zufallszahlen wird dann zur Positionierung im Kartesischen Koordinatensystem und zur Steuerung von Partikelgröße und -morphologie verwendet. Dabei sind sphärische, ellipsoide und auch polyedrische Geometrien umsetzbar.¹⁸

¹ Voigt, W. (1887). "Theoretische Studien über die Elasticitätsverhältnisse der Krystalle". Abh. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Kl. 34: 3–51.

- ² Reuss, A. (1929). "Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle". *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 9: 49–58. doi:10.1002/zamm.19290090104.
- ³ Sahm, P. R. (1976). Metallische Verbundwerkstoffe. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*. <http://doi.org/10.1002/mawe.19760070204>
- ⁴ Lasagni, F., & Degischer, H. P. (2010). Enhanced Young's Modulus of Al-Si Alloys and Reinforced Matrices by Co-continuous Structures. *Journal of Composite Materials*, 44(6), 739–755. <http://doi.org/10.1177/0021998309347649>
- ⁵ Richter, M. (2005). Entwicklung mechanischer Modelle zur analytischen Beschreibung der Materialeigenschaften von textiltbewehrtem Feinbeton. *Mechanik*, 2, 209.
- ⁶ Balasivanandha Prabu, S., & Karunamoorthy, L. (2008). Microstructure-based finite element analysis of failure prediction in particle-reinforced metal-matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1–3), 53–62. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.077>
- ⁷ Saraev, D., & Schmauder, S. (2003). Finite element modelling of Al/SiC p metal matrix composites with particles aligned in stripes—a 2D–3D comparison. *International Journal of Plasticity*, 19, 733–747. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749641901000584>
- ⁸ Sambathkumar. (2016). ANALYSIS OF AL7075 HYBRID METAL MATRIX COMPOSITE USING TWO DIMENSIONAL MICROSTRUCTURE MODEL BASED FINITE ELEMENT METHOD, VII(Ii), 6–9.
- ⁹ Williams, J. J., Segurado, J., Llorca, J., & Chawla, N. (2012). Three dimensional (3D) microstructure-based modeling of interfacial decohesion in particle reinforced metal matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 557, 113–118. <http://doi.org/10.1016/j.msea.2012.05.108>
- ¹⁰ Xu, J. S., Zhang, X. C., Xuan, F. Z., Tian, F. Q., Wang, Z. D., & Tu, S. T. (2013). Tensile properties and fracture behavior of laser clad WC/Ni composite coatings with different contents of WC particle studied by in-situ tensile testing. *Materials Science and Engineering A*, 560, 744–751. <http://doi.org/10.1016/j.msea.2012.10.028>
- ¹¹ Kurlov, A. S., & Gusev, A. I. (2013). Tungsten Carbides. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-00524-9>
- ¹² GENERAL CARBIDE. (2015). The Designer's Guide to Tungsten Carbide. Retrieved December 21, 2016, from <http://www.generalcarbide.com/assets/pdf/GCDesignerGuide.pdf>
- ¹³ Cardarelli, F. (2008). *Materials Handbook: A Concise Desktop Reference*. book, Springer London. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=PvU-qbQJq7IC>
- ¹⁴ Qiu, S., Zhang, X., Hao, Q., Dou, R., Ju, Y., & Hu, Y. (2015). Simulation of Apparent Elastic Property in the Two-Dimensional Model of Aluminum Foam Sandwich Panels. *Materials Transactions*, 56(5), 687–690. <http://doi.org/10.2320/matertrans.M2015008>
- ¹⁵ Davis, J. R., & Committee, A. S. M. I. H. (1995). *ASM Specialty Handbook: Tool Materials*. book, ASM International. Retrieved from https://books.google.de/books?id=Kws7x68r_aUC
- ¹⁶ Chawla, N., & Chawla, K. (n.d.). Microstructure-Based Finite Element Modeling of Particle Reinforced Metal Matrix Composites. *Iccm-Central.Org*. Retrieved from http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM16proceedings/contents/pdf/MonH/MoHM1-03sp_chawlan223215p.pdf
- ¹⁷ Mertiny, P. (2016). Composite Polymer With Random Distribution of Spherical Particles. *Canadian International Conference on Composite Materials Composite (Cancom2015)*, (AUGUST 2015). <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2646.8326>
- ¹⁸ Wang, X., Zhang, M., & Jivkov, A. P. (2016). Computational technology for analysis of 3D meso-structure effects on damage and failure of concrete. *International Journal of Solids and Structures*, 80, 310–333. <http://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2015.11.018>

Entwicklung von nicht planaren strukturierten Masken für die Verwendung in lithographischen Prozessen

T. Döhler, J. Andrees, M. Hofmann, S. Schrader

Technische Hochschule Wildau, Ingenieur- und Naturwissenschaften

Arbeitsgruppe: Photonik, Laser- & Plasmatechnologien

tdoehler@th-wildau.de

Abstract:

Ziel ist die Entwicklung von nicht planaren Strukturierungsmasken (zylinderförmig, elliptisch) für die Verwendung in lithographischen Prozessen. Sie beinhaltet die Herstellung und Verwendung, sowie die Mikro- und Makrostrukturierung dieser Oberflächen mittels eines Markierungslasers. Nach einer ersten Machbarkeitsuntersuchung wurde mit verschiedenen Strukturen die mögliche Auflösungsgenauigkeit überprüft. Es werden realisierte Masken und Strukturen, die zur Qualitätsprüfung dienen, präsentiert.

1. Einleitung

Im Zuge von immer genauer werdenden Strukturen und notwendiger Automatisierung zur Erzeugung von Strukturen auf runden oder elliptischen Oberflächen ist eine maßgenaue Übertragung wichtig. Bekannt und Stand der Technik sind laterale Strukturierungsmasken bzw. Lithographie Systeme wie sie z.B. in der Halbleiterindustrie verwendet werden.

Strukturierungsmasken werden generell bei der lithografischen Strukturierung eines Fotolacks („Resist“) verwendet. Zu diesem Zweck weisen die Strukturierungsmasken lichtdurchlässige und lichtundurchlässige Abschnitte auf.

Das vorgestellte Thema ist Inhalt desdurchgeführten Erprobungsprojektes „Pro-ZyLiMa – Entwicklung von nicht planen strukturierten Masken für die Verwendung in lithographischen Prozessen und der Technologie zur Herstellung von Mikro-/ Makrostrukturen auf nicht-planen, gebogenen Oberflächen“.¹ Das Projekt umfasst die Entwicklung von nicht-planaren strukturierten Masken für die Verwendung in lithographischen Prozessen zur Herstellung von Makrostrukturen und ist bis zur Erprobungsphase bestimmter Teilaufgaben fortgeschritten. Für die eigentliche Grundidee² sollen langfristig industrielle Anwendungen umgesetzt werden, die jedoch nicht mehr Teil der Erprobungsphase sind.

2. Vorhaben / Beschreibung

Der erste Teil der Arbeit umfasst die Herstellung der Maskengrundkörper, dessen Beschichtung bzw. Metallisierung mit Hilfe der Kathodenzerstäubung und den Übertrag von Strukturen mit Lasermarkierungstechnologie auf die Maskenkörper. Für die Maskenherstellung

sind verschiedenen Parameter (z.B. Grundmaterial, Dicke der Metallisierung, Laserparameter etc.) von Bedeutung. Diese sind voneinander abhängig und können die Gesamtqualität der Masken beeinträchtigen.



Abbildung 1: Grundlegendes Schema des Entwicklungsthemas.

Im zweiten Teil stand die Erprobung des eigentlichen lithographischen Prozess im Vordergrund. Für die Ermittlung von Fertigungsparametern wurde eine Testwabenstruktur entwickelt und auf dem Photolack abgebildet. Damit konnte z.B. über die Auflösungsgenauigkeit im Photolack auf mögliche Einflussfaktoren in der Fertigungszeit bei verschiedenen Prozessschritten rückgeschlossen werden.

3. Nicht planare Maskensysteme

3.1 Chrombeschichtung und geeignete Laserparameter

Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Masken bildete ein Substrat aus zylindrischem UV transparentem Glas. Auf einer Seite des Glases wurde eine Chromschicht aufgesputtert. Die Chromschicht verhinderte beim späteren Belichten im Photolithographie-Prozess das UV-Belichten des Photolackes an den entsprechend unbearbeiteten Bereichen. Die Schichtdicke musste so gewählt werden, dass keine Strahlung mehr durch die Chromschicht im Resist sensitiven Bereich transmittiert werden kann, also im ultravioletten (405nm).

Die Laserbearbeitung entfernt gezielt Chrom und legte Strukturen frei, die beim Belichten die UV-Strahlung durchlassen und im Photolack die Polymerisation ermöglichten.

3.2 Parametertest ohne Berücksichtigung der Chromdicke

Es wurde die Laserleistung [%] und die Scangeschwindigkeit [mm/s] geändert. Diese beiden Parameter zeigten den größten Einfluss auf das Ergebnis. Die Pulsfolgefrequenz wurde auf 50kHz festgelegt und der Fokusbereich auf den minimalsten Wert von 0,04 mm eingestellt. Insgesamt wurden drei Parametertests durchgeführt. Aus dem ersten und zweiten

Parametertest war ersichtlich, dass das Glas bei Laserleistungen über 20% beschädigt wird. Es kommt zu Rissen und zu braunen bis bläulichen Verfärbungen. Die Scangeschwindigkeit hat weniger Einfluss auf die Qualität als die Laserleistung, jedoch sollte die Scangeschwindigkeit von 1000 bis 1300 mm/s gewählt werden, damit als Folge nicht zu viel Energie von der Chromschicht absorbiert wird. Bei langsameren Geschwindigkeiten und Laserleistungen im Bereich von 10% und unter 1000 mm/s schmilzt das Chrom auf. Unter dem Mikroskop war zu erkennen, dass das Chrom tropfenförmig auf den Glasträger abgelagert. Das Glas erscheint trüb. Bei einer zu geringen Laserleistung bleiben Chromreste auf dem Glasträger zurück, die sich teilweise mit einem Tuch entfernen lassen. Weiterhin sind bei zu geringer Laserleistung die Ränder sehr stark ausgefranst.

Als optimale Parameter für die Maskenerstellung wurden eine Scangeschwindigkeit von 1200s/mm und eine Laserleistung von 4-6 Prozent festgesetzt ($F = 50\text{kHz}$, $d_{\text{Laser}} = 0,04\text{mm}$). Bei diesen Parametern bleiben nur wenige Chromreste am Randbereich zurück, die bei der Belichtung im Photolithographie-Prozess nicht weiter störend wirken.

3.3 Maskenqualität und optimale Parameter

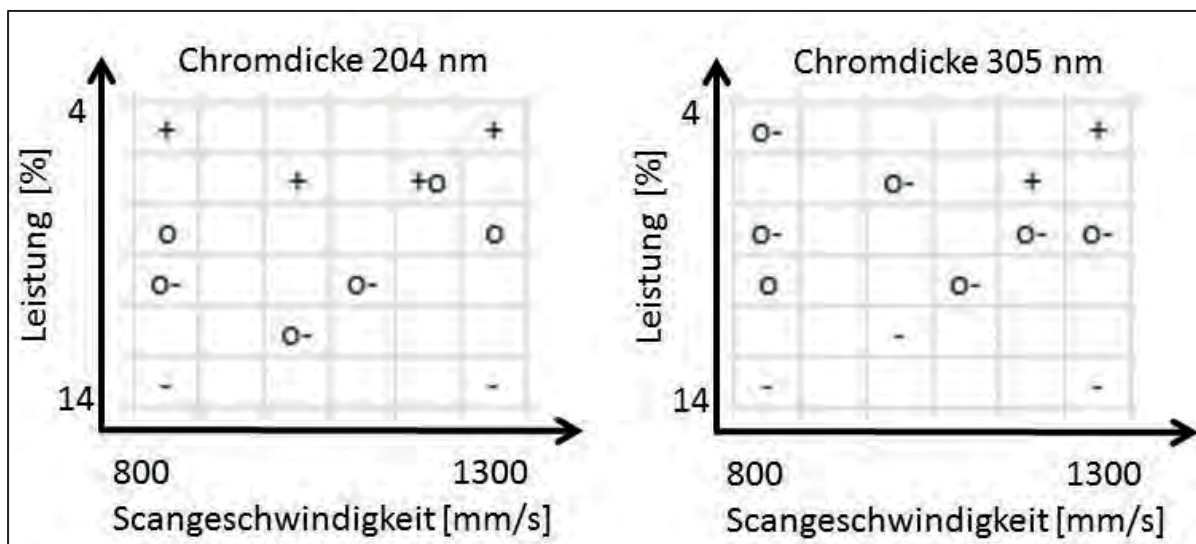


Abbildung 2: Übersicht geeigneter Parameter für zwei unterschiedliche Chromdicken

Aufgeschmolzene Chromrückstände entstehen bei zu hoch eingestellter Laserleistung. Mit zunehmender Leistung wächst der Anteil von Chromrückständen. Bei Leistungen über 12% bildet sich sogar eine feste braun gefärbte Chromschicht auf dem Glasträger. Es lässt sich schlussfolgern, dass bei einer zu hohen Leistung das Chrom aufgeschmolzen wird und bei niedrigeren Leistungen das Chrom vom Glas abplatzt ohne vorher aufgeschmolzen zu sein. Für die Bewertung der Qualität wurden jeweils dieselben Felder eines Parametertests unter einem Mikroskop begutachtet und bewertet. Für die Bewertung wurden die Zahlen + „gut“, o „mittel“ bis - „ungünstig“ verwendet. Abbildung 2 zeigt eine exemplarische Übersicht, welche Parameter aus Leistung und Scangeschwindigkeit für eine Chromdicke besonders günstig sind.

3.4 Wabenstruktur

Die Wabenstruktur dient für Parametertests beim Photolithographie-Prozess. Es solle gezeigt werden, wie gut sich die Struktur der unterschiedlich großen Waben auf dem Photolack abbilden und wie hoch die Formgenauigkeit der Struktur nach dem Entwickeln oder nach dem Ätzen ist. Die Testwabenstruktur besitzt einen symmetrischen Aufbau der unterschiedlich großen Waben. Die Waben wiederholen sich zudem im Randbereich, um eine bessere Aussage über die Formgenauigkeit am Rand zu treffen (Abbildung 3).

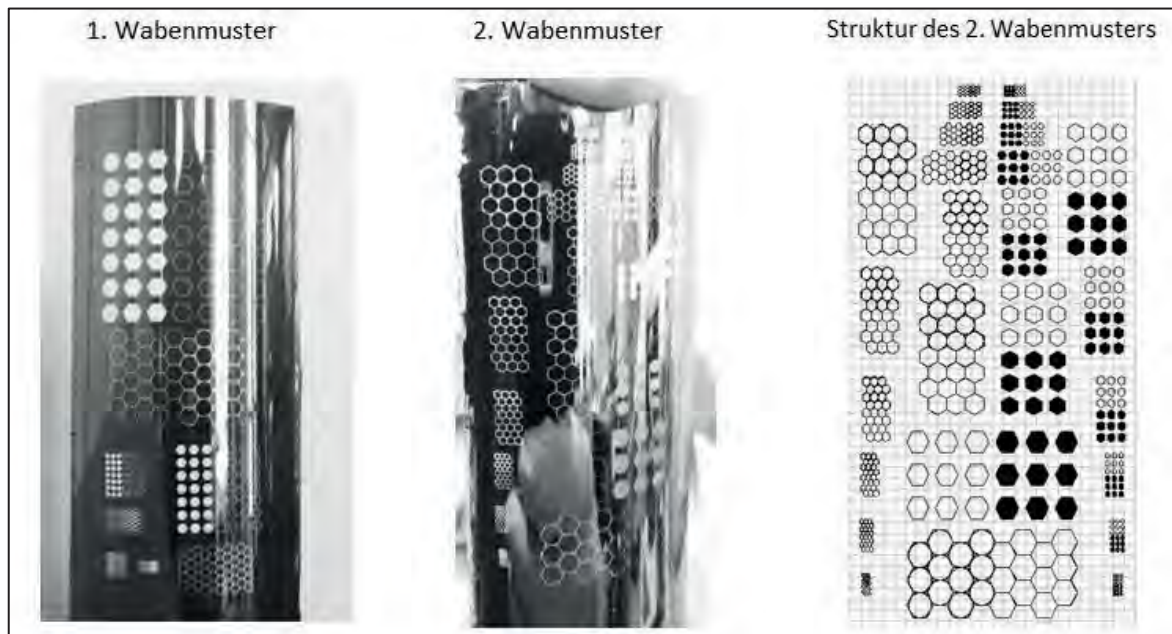


Abbildung 3: Testwabenstrukturen.

4. Nicht planare Photolithographie am Beispiel der Wabenstruktur

Tabelle 1: Parameterermittlung beim Photolithographie-Prozess

Versuchsreihe	Randbedingungen		Prozesszeiten [min.]					Testergebnis (erfolgreich?)
	Material	Belichtung	Ruhezeit	Ofen	Auskühlen	Belichten	Entwickeln	
1	Aluminium Rohrstück	- UV-Lampe	5	122-145°C 30min	5	20	23	Nein
2	Aluminium Rohrstück	- UV-Lampe	5	104-112°C 10min	2	10	2	Ja - Strukturen sind sehr gut erkennbar
3	Aluminium Rohrstück	- UV-Lampe	3	90-115°C 15min	10	15	8	Ja - Strukturen haben sich gut abgebildet

Zur Ermittlung der Auflösungsgrenze wurde eine Wabenstruktur mit unterschiedlich großen Auflösungen entwickelt. Muster der Testwabenstrukturen sind auf dem entwickelten Photolack in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen. Mit Hilfe dieser Struktur sollten optimale Parameter im Photolithographie-Prozess ermittelt werden. In Tabelle 1 sind drei Versuche dokumentiert, die eine Übersicht der getesteten Parameter gibt.

In einem Versuch war die Probe zu lange einer zu hohen Temperatur ausgesetzt und vernetzte dadurch zu stark. Beim Entwickeln wurde regelmäßig kontrolliert, ob sich die Struktur abbildet. Zum Ende der Entwicklerzeit war der gesamte Photolack entfernt, ohne dass sich die Strukturen merklich abbildeten. Beim zweiten Versuch wurden die Parameter optimiert. Der Photolack bildete bereits beim Soft Bake eine homogene Schicht mit wenigen Fehlern aus. Beim Entwickeln reagierten die belichteten Stellen des Photolackes bereits nach kurzer Zeit intensiv mit dem Entwickler. Die Strukturen bilden sich gut ab. Die kleineren Strukturen sind unscharf abgebildet (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Beim dritten Versuch wurde die Belichtungszeit erhöht, da die Maske an einigen Stellen trüb war. Die trüben Stellen sind auf dem Photolack gut zu erkennen. Hier hat die Lichtdosis zur vollständigen Polymerisation gerade in tieferen Lagen des Photolackes nicht ausgereicht.

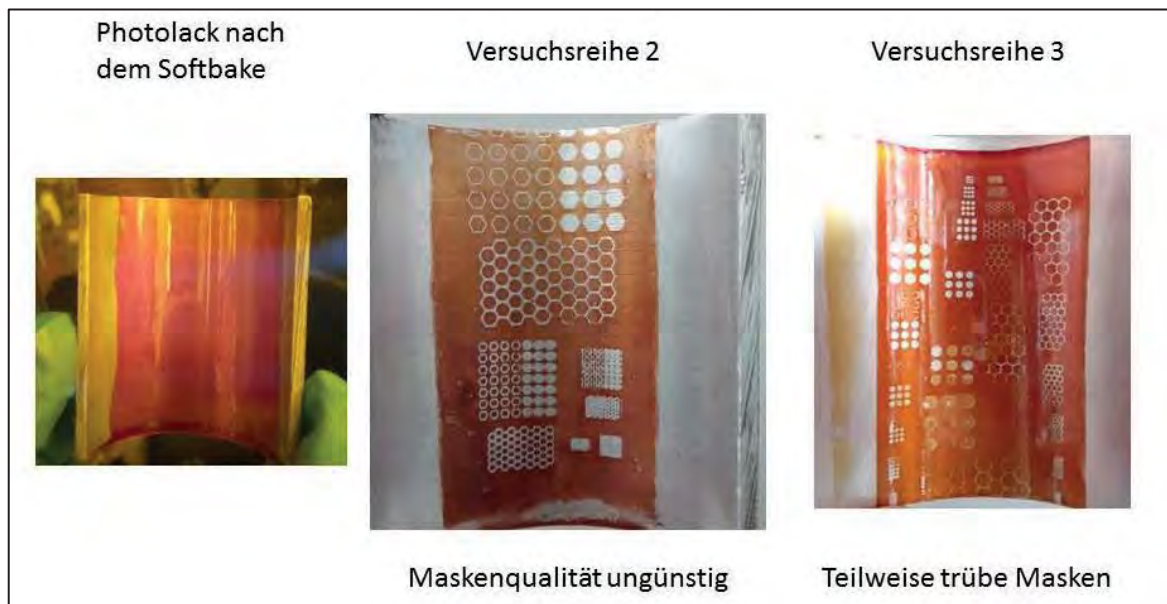


Abbildung 4: Versuchsergebnisse zur Parameterbestimmung.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der vorgestellten Technologie für die Bearbeitung von nicht planaren Oberflächen konnte gezeigt werden, dass ein funktionales und relativ unkompliziertes Verfahren zur Verfügung steht mit dem mit einfachen, geometrisch angepassten Mitteln, Photolithographie durchgeführt werden kann. Dazu konnten Makro- und Mikrostrukturen mit unterschiedlichen Formen und Dimensionen bis ca. 500µm im Kontaktverfahren übertragen werden.

Es wurde die Machbarkeit gezeigt, jedoch stellten sich einige kritische Punkte ein, die es in folgenden Arbeiten zu beseitigen gilt. Als Punkte werden insbesondere die Probleme im homogenen Aufbringen von Metallisierungsschichten auf den Masken sowie des Photolackes auf den zu bearbeitenden, nicht planaren Proben gesehen. Dazu wird es notwendig sein Verfahren wie z.B. Tauchen oder Sprühen von diesen Schichtsystemen umzusetzen statt Aufstreichen zu verwenden. In Verbindung mit diesen Techniken steht im Weiteren die Parametrisierung der Schichten durch Lasermarkierung („Strukturierung“) bzw. die eigentliche lithographische Prozessführung.

5. Literatur

[1] Projekt Pro-ZyLiMa (Signo: FKZ 03SHWB078)

[2] Patentschrift Strukturierungsmaske (Patent DE102015108692)

Analysis of induced stress on cellular systems by ESPI

Josefine J. Gottschalk, Anja Seeliger, Carsten Stollfuß, Kai.-H. Lietzau, Andreas H. Foitzik, Maria Richetta

Technical University Wildau, Institute for Materials, Development and Production, Hochschulring 1, 15745 Wildau and Department of Industrial Engineering, University of Rome „Tor Vergata“, 00133 Rome

gottschalk@th-wildau.de, carsten.stollfuss@th-wildau.de, kai-henning_lietzau@th-wildau.de, afoitzik@th-wildau.de, richetta@uni-roma2.it

Abstract: During the last years, various approaches on an individualized drug therapy for benign cells have been researched. However, due to the complex topic a universal approach has not been found until this point. Commonly, the effect of cytotoxic drugs on benign cells is mostly the same as to normal cells and the actual effect of cytotoxic agents on patient cells still can't be predicted. In order to reduce unwanted side effects or unspecific drug reactions a test system for patients which allows to analyse the interaction between cytotoxic agents and the cells of the patient is needed. Furthermore, this should also include an adequate measurement system which is capable to work in a natural environment and without any additional preparation. In terms of this work, a first proof of concept with cultured benign cells and different cytotoxic agents is presented while monitoring the obtained displacement using a modified electronic speckle pattern interferometry (ESPI).

1. Introduction

To analyze the mechanism of cytotoxic agents in-vivo-systems (e.g. model organism mouse or makak) are used. One of the main advantages is that the cell-cell-interaction is preserved and therefore allows to estimate the toxicity as well as the potency of the substance. Furthermore, these tests also allow the metabolism of so-called "prodrugs", with the exception of the fact that numerous metabolic pathways of humans and model organisms differ dramatically, as the TGN1412 study from the year 2012 proved. The in vivo experiments yielded promising results so that the substance was approved for the Phase I study. In this way, the drug released serious side effects within a few minutes. The reason for this was a difference in the amino acid sequence of the CD28 molecule. Especially since this study it was shown that an adaptation of the cytostatic effect of in vivo experiments can have heavy consequences for the patients [1].

In order to examine the actual impact of a cytotoxic agent, a test system is required which allows an investigation in a human organism. In initial experiments cultured transformed cells were provided with various cytotoxic agents and their interaction were observed by ESPI. For this, a test setup was developed, which allows an adaptation of optical measurement and the study of cells in an almost natural environment as well as the detection of surface changes in the micrometer range. First tests were used for the generation of reference models in terms of the induced surface modification of the cells. Following, to analyze the behavior of the cell body

under the influence of different chemotherapeutic agents. The first series of experiments initially yielded very promising results. For the used reagents it was already possible to measure individual stages of the cellular reaction by using of the ESPI technique.

2. Methods

For the analysis of the cellular response after addition of a cytotoxic agent HeLa cells were used as a model system. The chemotherapeutic agent Halaven[®] was used as a cytotoxic agent. Halaven[®] contains Eribulin as active ingredient and is usually applied for the treatment of advanced metastatic breast cancer [2]. For the observation of the cell reactions, adhesion media made of silicon were used. The adhesion media was placed in a reaction chamber and filled with culture medium without FBS. The respective chemotherapeutic agent was applied into the chamber. The reaction states in form of object images are recorded in an interval of 3 to 5 min. The added volumes of chemical agents depends on the corresponding documents of the drug [2].

3. Results and discussion

During the performed deformation measurement after Halaven[®] injection, the measurement of the apoptotic reaction was carried out directly in the cultured medium without fetal calf serum. The used volume of Halaven[®] corresponds to the therapeutic recommendation of the manufacturer. An immersion lens with 63-fold magnification was used for light microscopy. The figures 1 to 3 shown the captured white light shots of the occurring cell reactions.

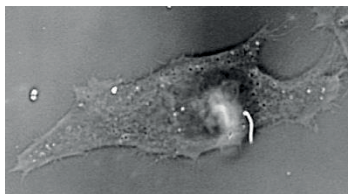


Abbildung 1: HeLa-Zelle nach 0 min Reaktionszeit

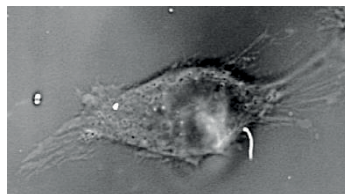


Abbildung 2: HeLa-Zelle nach 20 min Reaktionszeit

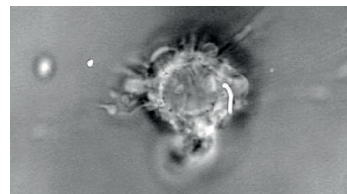
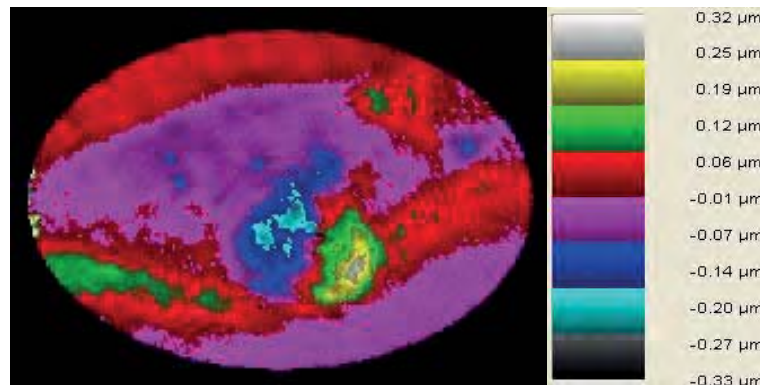


Abbildung 3: HeLa-Zelle nach 35 min Reaktionszeit

Eribulin binds to the beta subunits of the tubulins and overlaps the GTP binding site at the same time. Thus, the tubulin polymerization is inhibited and the tubulins are degraded into non-productive aggregates. Thereby, the spindle apparatus can't be formed and the inhibition of mitosis takes place. Therefore, apoptosis is induced by cellular mechanisms [7]. In figure 1 to 3, the apoptotic course of the observed HeLa cell can be recognized. The depicted images show the typical cell deformations of apoptosis. After 20 min a visible reduction of the cell body could be observed. During the reduction of the cell volume the cell formed streaks on the adhesion medium. These are protein filaments which leave residues on the adhesion medium due to the spontaneous contraction of the cell. The typical form as well as the nucleus are difficult to recognize already within this reaction stage. In consequence of the advancing cellular reaction, the end point of apoptosis was recorded after 35 min. This is indicated by the completely rounded body of the cell as well as in the secondary necrosis, which in turn are indicated by

protuberances of the membrane. As an example, the apoptotic reaction of the HeLa cell as a result of the ESPI measurement with the accompanying color scale is shown in figure 4.



After a reaction time of 20 minutes, a reduction in the cell size was recorded which is shown by the negative deformation (purple) as well as by the positive deformation (red/green) in the XY

Figure 4: Halaven®-measuring result of the deformation measurement after $t_R = 20$ min. Left: inverse result phase image; Right: Scale to the result phase diagram.

plane of the cell. That means, during the measurement the cell interacted with Eribulin. Due to the cytotoxic characteristics of Eribulin cell-mediated mechanism induced apoptosis. As describe above, at first the cell body begins to shrink due to the degradation of the cytoskeleton. In the right image area of the phase image (figure 4), background artifacts as well as a measurement artifact in the lower cell area can be seen. An assessment of the cellular deformation reaction is still possible because the contours of the cell can be clearly depicted. For a better analyzation of cell deformation a 3D figure was created (see figure 5).

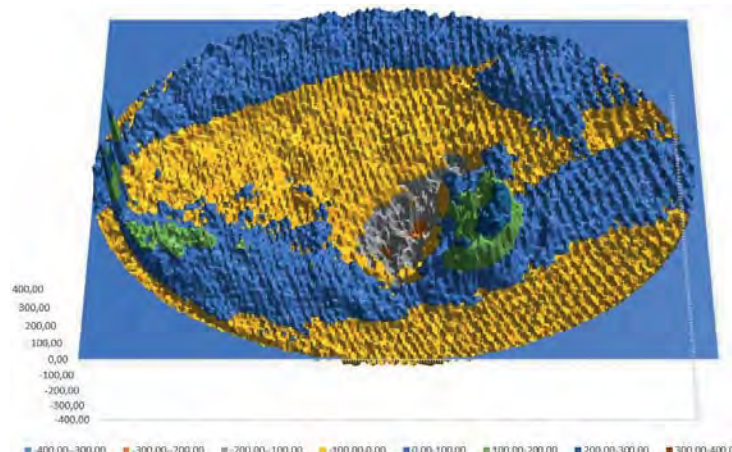


Figure 5: 3D diagram of the deformed HeLa cell after $t_R = 20$ min.

The yellow colored areas in the middle of the diagram characterized the modified surface of the cell after 20 minutes interaction with Halaven®. In contrast, the blue areas show the initial position of the cell at beginning point of the reaction.

4 Conclusion

Since the removal of human epithelial cells from a cervical cancer more than 60 years have passed. With the help of these cells, the first cell line was established and has been used worldwide by scientists to investigate cell behavior in various fields of science [3], [4]. As before, no reliable therapies or explanations could be developed, which explain why, for example, chemotherapy is only partially effective. Within this work, a new strategy for the investigation of cell behavior after application of a cytotoxic agent was demonstrated. After injection of the drug Halaven[®], an apoptotic reaction of the cell could be obtained as expected. For further studies of the cell-drug-interaction and the cellular behavior of degenerate cells, evaluations of whole organoids as well as long-term experiments by using ESPI are required. The main advantages of this method are the abilities to observe the biological samples in real-time, without sample contact and without sample destruction. Furthermore, the micro-ESPI allows an analysis of the cells directly in the medium without affecting the result. This makes it possible to examine the cells in an almost natural environment which provides the fundamental principle to analyze sample of cancer patients in the future.

5. Literature

- [1] C.K. Schneider, U. Kalinke, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007, DOI 10.1007/s00103-007-0331-6, Paul-Ehrlich-Institut, Springer-Verlag, 2007
- [2] Eisai GmbH, Dossier zur Nutzenbewertung gemäß § 35a SGB V von Lenvatinib, 2015
- [3] M.-K. Ganten, M.A. Weber, T.M. Ganten, Zelluläre Mechanismen der Tumorroresponse, Der Radiologe 48, Ausgabe 9, Springer-Verlag, 2008
- [4] R. Skloot, Die Unsterblichkeit der Henrietta Lacks, Goldmann Verlag, 2013

Untersuchung der Spannungsqualität unter Berücksichtigung von Oberschwingungen und deren Rückwirkungen auf Energiezähler

Pierre Jaques, Ralf Hartig

Hochschule Mittweida, Wirtschaftsingenieurwesen

jaques@hs-mittweida.de , hartig@hs-mittweida.de

In Kooperation mit einem Netzbetreiber hat das Institut für Energiemanagement (Ifem) eine Messreihe zur Power-Quality durchgeführt. Mit der Netzqualität beschäftigen sich alle Netzbetreiber. Jedoch kommen neue Probleme auf diese zu. Im Zuge der Messreihe sind vermehrt Oberschwingungen aufgetreten. Effekte durch Oberschwingungen sind schwer vorherzusagen. Sie reichen von der Verzerrung der Netzspannung bis hin zur mechanischen Überlastung von Kabeln und anderen elektrischen Betriebsmitteln.

1. Einleitung

Wie alle Netzbetreiber beschäftigt sich auch eine in der Region Mittweida agierende Netzgesellschaft mit der Netzqualität. Zur Bestimmung dieser wurde eine Messreihe über das gesamte Netzgebiet verteilt durchgeführt. Dabei ist aufgefallen, dass die Oberschwingungsbelastung an allen Messstellen signifikant vorhanden ist. Die Auswirkungen sind pauschal nicht zu benennen, dass die Effekte, die durch Oberschwingungen hervorgerufen werden durchaus unterschiedlich sind und die Ergebnisse der Analysen auch verschiedene Verteilungen der Oberschwingungen aufweisen. Da sich das Ifem mit der Prüfung von Elektrizitätszählern beschäftigt kam es zu der Frage:

Was machen eigentlich die Energiezähler bei einer Belastung von Oberschwingungen?

Sowohl Erzeuger als auch Verbraucher haben großes Interesse daran, dass die im Haushalt und Industrie verbauten Energiezähler korrekt zählen. Bereits am Anfang dieser Messreihe zeigte sich, dass manche Zähler gerade im Zusammenhang mit Oberschwingungen gravierende Probleme haben und es zu Messabweichungen oder sogar zum totalen Versagen der Zählerelektronik kommen kann.

2. Entstehung von Oberschwingungen



Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung eines Prüfzählers mit signifikanten Messabweichungen des Prüflingsⁱ

Oberschwingungen entstehen im Netz durch Betriebsmittel mit nichtlinearer Kennlinie, wie z.B. Transformatoren und Leuchtstofflampen, sowie heute vornehmlich durch leistungselektronische Betriebsmittel wie Gleichrichter, Triacs, Thyristoren etc. Besonders zu erwähnen sind hierbei die Gleichrichter mit kapazitiver Glättung, die in PCs, Fernsehgeräten und Kompaktleuchtstofflampen, insbesondere im Haushalt und Büro weit verbreitet sind. Laut einer Untersuchung des Verbands der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) im Jahr 2008 lag der Einsatz solcher Geräte im Haushalt etwa bei 33% (davon 10% Beleuchtung, 21% Einrichtungen der Konsumelektronik, 2% geregelte Antriebe (Waschmaschinen)ⁱⁱ. Die Haushaltslast hatte in diesem Jahr einen Anteil an der Gesamtnetzlast von etwa 27%. Gut ein Drittel fällt auf den Einsatz von nichtlinearen Betriebsmitteln zurück (9%), was immer noch einer Leistung von etwa 7 GW entspricht.

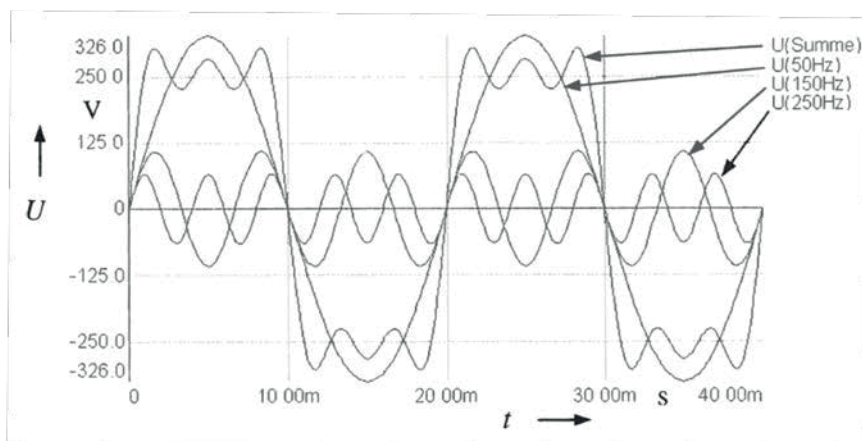


Abbildung 2 Summierung von Sinusspannungen mit 50 Hz, 150 Hz und 250 Hzⁱⁱⁱ

Die Tendenz ist bis heute zunehmend, nicht zuletzt aus Gründen der Energieeffizienz, bspw. in den Bereichen Beleuchtung (z.B. Kompaktleuchtstofflampen) oder der Konsumelektronik.

3. Effekte durch Harmonische

Harmonische und Zwischenharmonische mindern die Netzqualität der Stromversorgung. Geräte können durch Oberschwingungen gestört werden, es kommt zu Ausfällen oder Fehlverhalten. Die Auswirkungen von Harmonischen lassen sich in fünf Klassen einteilen:^{iv}

1. Beanspruchung durch erhöhte Spannungen und Ströme
2. Verminderung des Wirkungsgrads
3. Thermische Überbeanspruchung
4. Fehlfunktionen von Schutz- und Messeinrichtungen
5. Signaldämpfung und -verzerrung

Des Weiteren gibt es Normen, die Grenzwerte für die Aussendung und die Immunität gegen von anderen Verbrauchern erzeugte Oberschwingungen vorgeben.

4. Klassifizierung von Oberschwingungen

Die Erzeuger von Oberschwingungen lassen sich nach ihrer Wirkungsweise in drei Klassen einteilen:

1. Nichtlineare Verbraucher, die dem Netz einen nicht sinusförmigen Strom entnehmen. Dieser Strom verursacht an der Netzimpedanz ZN einen nicht sinusförmigen Spannungsabfall und verzerrt die Netzspannung (Harmonische)
2. Leistungselektronische Schalter, deren Schaltprozesse zwar auf 50 Hz synchronisiert sind, deren Schaltverhalten aber die Form der Ein- und Ausgangsgrößen beeinflusst (Harmonische, Subharmonische und Gleichanteile)
3. Asynchrone Schalter, z.B. in der Leistungselektronik, deren Schaltvorgänge nicht auf die Netzfrequenz synchronisiert sind (Sub- und Zwischenharmonische)

Da in Netzen mit vielen Oberschwingungserzeugern Faktoren wie der Einschaltzeitpunkt und die Taktfrequenz der einzelnen Geräte nicht beeinflussbar sind, lässt sich der Oberschwingungspegel nur messen. Dabei sind neben dem Maximalwert der Störung und der Phasenlage der Einzelkomponenten auch statistische Kenngrößen wie die 95%- und 99%-Häufigkeiten für Mittelwerte von Strom und Spannung interessant. Sie erlauben Aussagen über die zeitlich verteilte Belastung des Netzes mit Störgrößen.^v

5. Verzerrungsblindleistung

Ein Resultat der Oberschwingungen ist die Verzerrungsblindleistung. Sind Oberschwingungen vorhanden, so ergeben nicht nur Strom und Spannung in der Grundfrequenz Wirk- und Blindleistung. Bei der Verzerrungsblindleistung werden sämtliche Leistungen der Strom- und Spannungsoberschwingungen geometrisch aufsummiert.

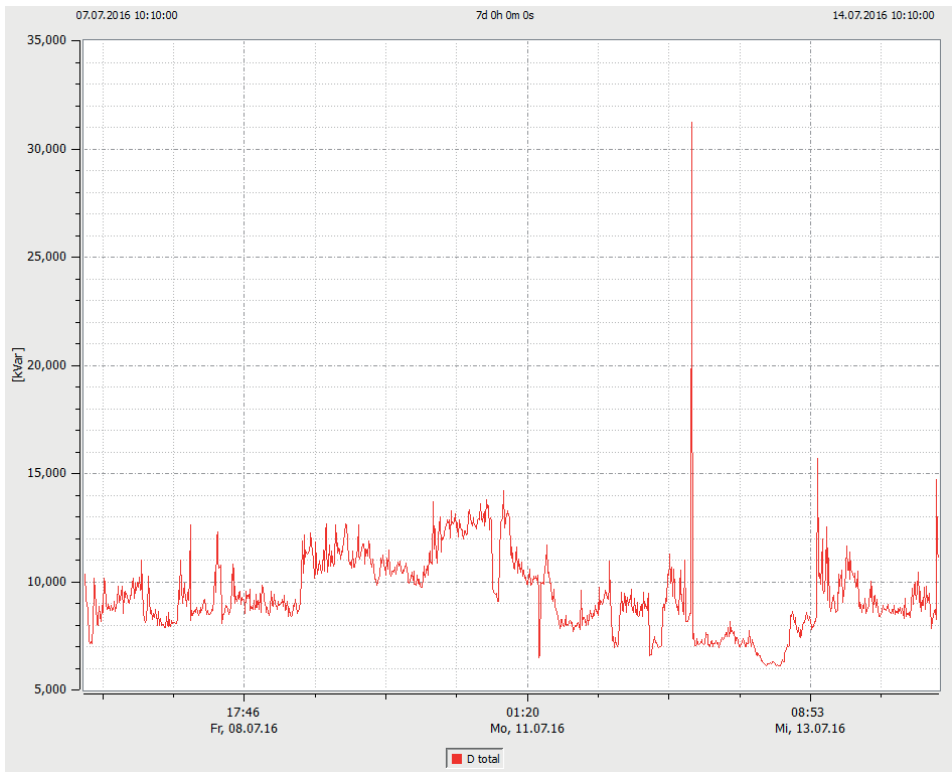


Abbildung 3: Verlauf der Verzerrungsblindleistung D während einer Messung

Es sind deutliche Mehrbelastungen von bis zu 31 kVar zusätzlich gemessen worden, welche alleine durch die Harmonischen entstanden sind.

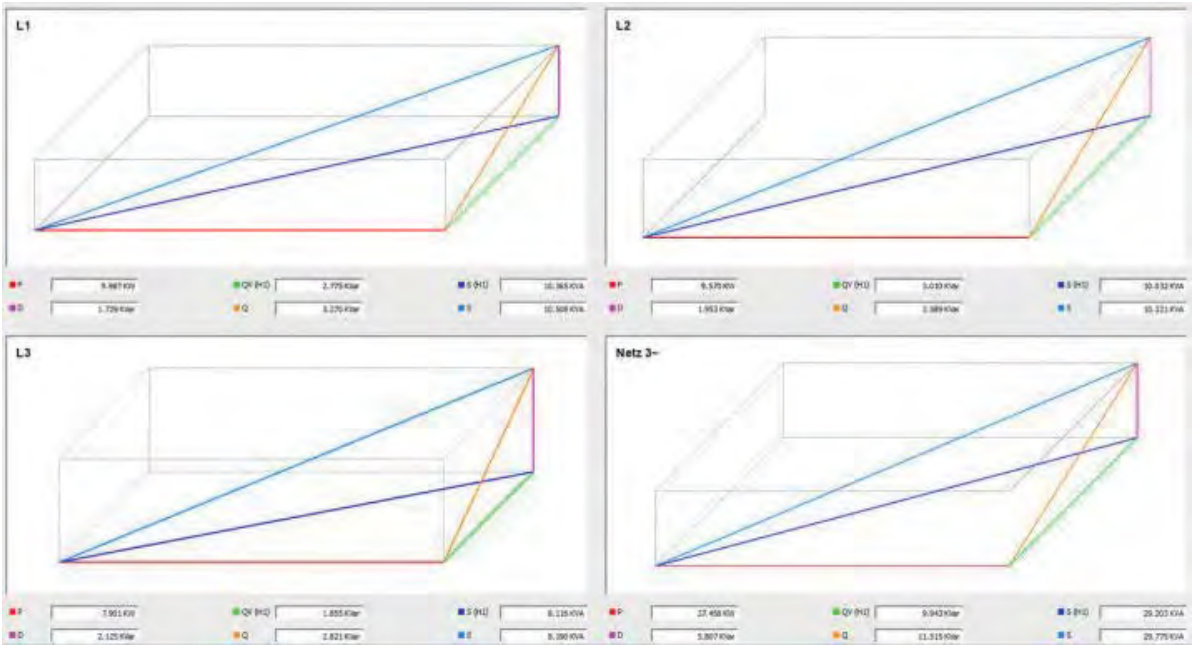


Abbildung 4: Leistungsdreiecke der Leiter mit Verzerrungsblindleistung D

In Bild 4 sieht man die Auswirkungen der Oberschwingungen auf die Scheinleistung auf den einzelnen drei Phasen und unten rechts auf das gesamte Dreiphasennetz. Das klassische Leistungsdreieck (P,Qv (H1) und S (H1)) liegt hier jeweils in der Ebene. In den meisten

Fällen, wird die Leistung so betrachtet. Bei Oberschwingungsbelastung kommt noch die Verzerrungsblindleistung D hinzu. Diese wird zu der Blindleistung Q_v (H1) (Blindleistung der Grundschwingung) geometrisch addiert.

6. Ergebnisse Zählerprüfstrecke

Das Ifem testet auf der dafür errichteten Zählerprüfstrecke die elektronischen Energiezähler laut den Vorgaben der dafür geltenden Typnorm. Die Ergebnisse dienen dem Ziel diese als Input für das Projekt „Qualitätsmanagementsystem für den Smart Meter Rollout“, welches mit der Abteilung Zählerwesen eines regionalen Netzbetreibers vollzogen wird, zur Verfügung zu stellen. Damit soll der Netzbetreiber in die Lage versetzt werden, Qualität aktiv strategisch zu planen, zu beeinflussen und die Risiken für den Einsatz intelligenter Messsysteme zu minimieren.

Die dem ifem vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellten Energiezähler wurden der Typnorm entsprechend auf der Zählerprüfstrecke geprüft. Bei diesen Prüfungen wurden bei diversen Zählern Auffälligkeiten festgestellt. Es wurden Abweichungen in einer signifikanten Größenordnung nachgewiesen. Wenn die bei den Prüfungen simulierten Netzbedingungen tatsächlich auf einen solchen Energiezähler treffen, ist diese Messabweichung für einen Netzbetreiber nicht akzeptabel.

Es kann auch nicht pauschalisiert bestimmt werden, ob zu wenig oder zu viel Energie vom Zähler registriert wird. Die Abweichungen liegen sowohl im positiven, als auch im negativen Bereich.

Durch diese durch die Normprüfungen aufgezeigten Messabweichungen angetrieben, wurden weitere Prüfungen durchgeführt. Dabei wurden Parameter genutzt, welche außerhalb der Norm liegen, um zu überprüfen, wie sich die Geräte im Grenzbereich der Norm und darüber hinaus verhalten. Hierbei wurden gravierende Fehler aufgedeckt. Bei einer Prüfung mit Phasenanschnitten (z.B. durch Dimmer) hat ein Zählertyp keine Messung und keine Betriebsbereitschaft mehr gezeigt, er wurde ausgeschaltet. Der Energiezähler kann den Leistungsfluss nicht sperren. In diesem Fall würde der Kunde weiterhin mit Strom versorgt und dieser könnte aber nicht abgerechnet werden, da die Messung nicht stattfindet. Das wäre der schlechteste Fall für jeden Netzbetreiber.



Abbildung 5: Zählerprüfstrecke des Instituts für Energiemanagement an der Hochschule Mittweida^{vi}

Es wird deutlich, dass die Typnormprüfungen im Bereich der Oberschwingungsbelastung, verglichen mit den Ergebnissen der PQ-Analysen die realen Netzbedingungen nicht abbilden, denen die Energiezähler später in ihrem Einsatz tatsächlich ausgesetzt sind.

ⁱ Institut für Energiemanagement

ⁱⁱ Schlabbach, Jürgen; Mombauer, Wilhelm (2008): Power Quality. Entstehung und Bewertung von Netzrückwirkungen, Netzanschluss erneuerbarer Energiequellen, Theorie, Normung und Anwendung von DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2), DIN EN 61000-3-12 (VDE 0838-12), DIN EN 61000-3-3 (VDE 0838-3), DIN EN 61000-3-11 (VDE 0838-11), DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2), DIN EN 61000-2-4 (VDE 0839-2-4), DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7), DIN EN 61000-4-15 (VDE 0847-4-15), DIN EN 50160, DIN EN 61000-4-30 (VDE 0847-4-30), VDN - Technische Regeln zur Beurteilung von Netzrückwirkungen. Berlin u.a: VDE-Verl. (VDE-Schriftenreihe - Normen verständlich, 127). S. 195

ⁱⁱⁱ Schulz, Detlef (2004): Netzrückwirkungen - Theorie, Simulation, Messung und Bewertung. Nach DIN VDE 0838, DIN VDE 0839 und den VDEW-Richtlinien mit Simulationsbeispielen in Simplorer und Messbeispielen von netzgekoppelten Photovoltaik- und Windkraftanlagen. 1. Aufl. Berlin, Offenbach: VDE-Verl. (VDE-Schriftenreihe Normen verständlich, 115). S. 31

^{iv} Schulz, Detlef (2004): Netzrückwirkungen - Theorie, Simulation, Messung und Bewertung. Nach DIN VDE 0838, DIN VDE 0839 und den VDEW-Richtlinien mit Simulationsbeispielen in Simplorer und Messbeispielen von netzgekoppelten Photovoltaik- und Windkraftanlagen. 1. Aufl. Berlin, Offenbach: VDE-Verl. (VDE-Schriftenreihe Normen verständlich, 115). S. 40

^v Schulz, Detlef (2004): Netzrückwirkungen - Theorie, Simulation, Messung und Bewertung. Nach DIN VDE 0838, DIN VDE 0839 und den VDEW-Richtlinien mit Simulationsbeispielen in Simplorer und Messbeispielen von netzgekoppelten Photovoltaik- und Windkraftanlagen. 1. Aufl. Berlin, Offenbach: VDE-Verl. (VDE-Schriftenreihe Normen verständlich, 115). S. 43f

^{vi} Institut für Energiemanagement

Grundlagen und Potentiale an eine ganzheitliche ressourceneffiziente Fertigung von rotationssymmetrischen beschichteten Bauteilen

Leif Goldhahn, Eckhard Wißuwa, Frank Köster, Christina Pietschmann, Sebastian Roch,
 Michael Markus, Rico Krumbiegel, Kai Seidenbusch, Robert Eckardt
 Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften
 goldhahn@hs-mittweida.de, wissuwa@hs-mittweida.de, koester@hs-mittweida.de

Nachhaltigkeit, Wieder- und Weiterverwertung sowie Ressourceneffizienz treten mehr und mehr in den Fokus wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Betrachtung. Der Beitrag umfasst dazu die ersten Erkenntnisse der ESF-Nachwuchsforschergruppe „Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“, welche perspektivisch dazu beitragen sollen, eine ressourceneffiziente Fertigung beschichteter Bauteile zu realisieren.

1. Einleitung und Motivation

Nachhaltigkeit und speziell die Ressourceneffizienz sind in den vergangenen Jahren zu einem der essentiellen Ziele nationaler und internationaler Umweltpolitik geworden. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich u. a. mit der Verabschiedung des „Deutschen Ressourceneffizienzprogramms II“ [1] förderpolitisch zur Steigerung der Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette verpflichtet. Notwendig werden diese vor allem politisch initiierten Maßnahmen, da natürliche Ressourcen nicht nur die Basis für den Wohlstand, die technologische Weiterentwicklung oder das Beschäftigungswachstum der heutigen Gesellschaft bilden, sondern auch fundamental für künftige Generationen sind.

Dieser bisher implizite Widerspruch, zum einen Umweltbelastungen zu reduzieren (z. B. Senkung des Kohlenstoffdioxid (CO₂)- Ausstoßes oder Verwendung umweltverträglicher Fertigungshilfsstoffe) und zum anderen Wirtschaftswachstum zu forcieren oder neue Arbeitsplätze zu schaffen bzw. bestehende zu erhalten, erfordert wissenschaftliche Methoden, Werkzeuge und Modelle zur geeigneten Planung und Reduzierung der Ressourcenverbräuche von Fertigungssystemen. Die Abbildung 1 gibt dazu einen Überblick, welche Ansätze in den einzelnen Fachdisziplinen der Produktion – der Begriff der Produktion umfasst im vor-



Abbildung 1: Überblick der Ressourceneinsparpotentiale im Kontext der Produktion

liegenden Verständnis (i.A.a. [2]) unter anderem die vier Hauptprozesse Konstruktion, Arbeitsplanung, Arbeitssteuerung sowie Fertigung– zur Steigerung der Ressourceneffizienz Potentiale besitzen. Die erkannten Potentiale werden im Beitrag beispielhaft aufgegriffen und detailliert. Darüber hinaus werden erste Ansätze und notwendige Informationen zur Verbindung der Fachdisziplinen diskutiert. Dazu ist zunächst die Spezifizierung grundlegender Begrifflichkeiten notwendig, was im folgenden Kapitel vorgenommen wird.

2. Grundlagen

2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienz

Der Begriff Ressourceneffizienz [3] charakterisiert grundsätzlich das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür notwendigen Ressourceneinsatz. Ressourcen beschreiben alle materiellen – Maschinen, Werkzeuge, Hilfsstoffe, Kapital – und immateriellen Mittel, die in der Produktion genutzt werden. Im Zuge der Ressourcenverknappung liegt hier der besondere Fokus auf den natürlichen, begrenzten Ressourcen. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat dazu die Richtlinie 4800 [3] veröffentlicht, welche diese mess- und bewertbar machen.

2.2 Grundlegendes Konzept zur ganzheitlichen ressourceneffizienten Produktion

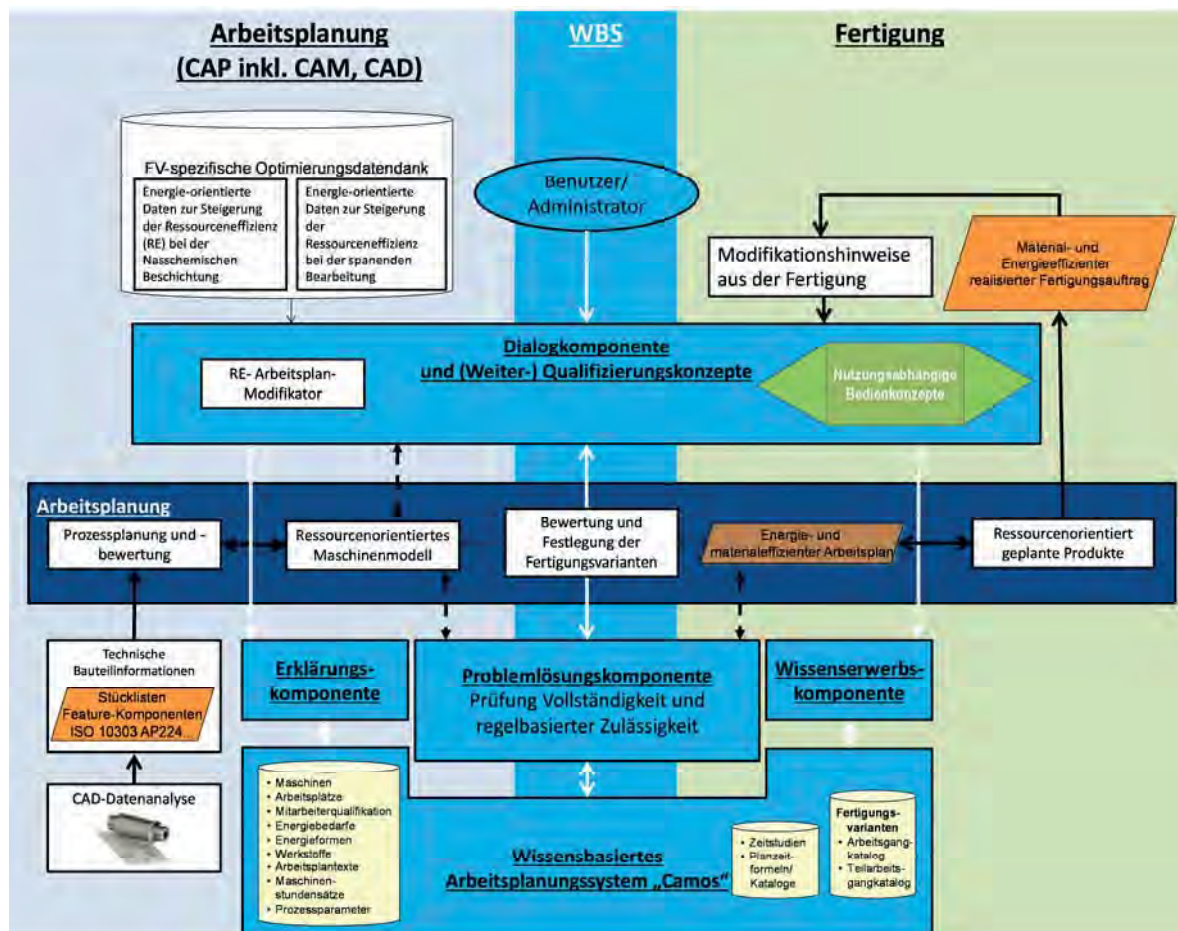


Abbildung 2: Konzept zur ganzheitlichen ressourceneffizienten Produktion

Abbildung 2 fasst das Gesamtkonzept zur durchgängigen und ressourcenorientierten Produktion schematisch zusammen. Mithilfe dieses Konzeptes sollen die Ressourcenbedarfe (Planwerte) und Ressourcenverbräuche (Istwerte) von Fertigungssystemen, hier am Beispiel der spanenden und nasschemischen Bearbeitung, geeignet abgebildet werden.

Dazu müssen energieorientierte Daten und Informationen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sowohl für die spanende Fertigung als auch für die nasschemische Vorbehandlung sowie der darauf folgenden außenstromlosen bzw. elektrochemischen Beschichtung erarbeitet und recherchiert werden. Diese Informationen umfassen beispielsweise Messdaten und deren Qualität, notwendige Mitarbeiterqualifikation zur Maschinen- bzw. Anlagenbedienung, Hilfsstoffbedarf oder Inbetriebnahme-Strategien. Mit der Erarbeitung des grundlegenden Konzepts zur durchgängigen ressourceneffizienten Produktion müssen im Weiteren die Ressourceneinsparpotentiale der betrachteten Fachdisziplinen erarbeitet werden, was in den folgenden Abschnitten erfolgt.

2.3 Produktion als Basis einer ressourceneffizienten Fertigung ausgehend von Computer Aided Manufacturing

Als wesentliches Element zur ganzheitlichen ressourceneffizienten Produktion des im Abschnitt 2.2 genannten Gesamtkonzepts, sollen CAM (Computer Aided Manufacturing)- Systeme Anwendung finden. Diese sind in der Lage, aus den im CAD (Computer Aided Design)- System erzeugten Geometrien, eine Festlegung von Bearbeitungsreihenfolgen, Definition von Technologiedaten sowie NC-Steuerdaten zu generieren. Diese Technologie kann als Hilfsmittel dienen, um verschiedene Bearbeitungsstrategien für ein Bauteil schnell zu testen. Somit kann die Fertigung eines rotationssymmetrischen Bauteils schon in der Arbeitsplanung im Hinblick auf einen gewünschten Parameter (z. B. Bearbeitungszeit oder Energiebedarf) optimiert werden.

Ein erster Projektschritt befasste sich daher mit einer Recherche zu den am Markt erhältlichen CAM-Systemen, sowie mit der Erarbeitung einer Liste mit Mindestanforderungen des Systems, wie Beschaffungskosten, Erweiterbarkeit, enthaltene Fertigungsverfahren. Die schließlich selektierte CAM-Lösung umfasst neben der vollen Integration in ein bestehendes CAD-System zusätzlich umfangreiche Ausgabedaten zur Bearbeitungszeit sowie eine teilautomatische Erstellung der Bearbeitungsstrategie und bietet daher eine gute Grundlage für die weiteren zielentsprechenden Arbeiten im Forschungsprojekt.

3. Potentiale an eine ressourceneffiziente Fertigung

3.1 Potentiale einer ressourceneffizienten nasschemischen Beschichtung

Basierend auf dem durch die EU-Verordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals) in immer stärkeren Substitutionsdruck geratenen Hartverchromungsprozess wird gezeigt, dass durch die Nutzung alternativer Verfahren Ressourcen besser ausgenutzt werden können. So ist beim Hartverchromen der elektrochemische Wirkungsgrad mit 20% um ein Vielfaches geringer als z. B. bei einer galvanischen Nickel-Phosphor-Beschichtung mit deutlich höheren Stromausbeuten bis zu 90%.

Um vergleichbare Schichteigenschaften wie Härte und Verschleißresistenz zu erreichen, muss bei der Nickel-Phosphor-Schicht eine 60 minütige Wärmebehandlung im Temperaturbereich um 400°C durchgeführt werden. Unter Einbeziehung dieser Tatsache wird die Energieersparnis der wirkungsvolleren Abscheidung wieder kompensiert. Die Schichtdicke galvanisch abgeschiedener Schichten unterliegt einer technologiebedingten typischen Verteilung, dem sogenannten Hundeknocheneffekt. Das führt dazu, dass bei den heutzutage geforderten engen Fertigungstoleranzen eine mechanische Nachbearbeitung der beschichteten Bauteile gelegentlich erforderlich ist. Diese ist bei der signifikant weicheren unbehandelten Nickel-Phosphor-Schicht mit wesentlich geringerem Ressourcenaufwand (Maschinenleistung, Werkzeugverschleiß, Kühlung usw.) durchführbar und verschiebt die Ressourcenbilanz wieder zugunsten der Nickel-Phosphor-Schicht. Eine weitere Alternative ist durch eine chemische Vernickelung gegeben. Dabei wird die Schichtbildung nicht durch eine äußere Stromquelle, sondern durch Zugabe einer als Reduktionsmittel wirkenden Chemikalie realisiert. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der absoluten Konturtreue der Schichten. Dadurch wird eine mechanische Nachbehandlung vor der Wärmebehandlung gänzlich unnötig. Anhand der Ausführung ist zu sehen, dass es für eine optimale Ressourcenausnutzung im Fertigungsprozess keine generelle Lösung geben wird. Darum ist es nötig, Prozesse zur Herstellung einzelner Erzeugnisse unter Einbeziehung aller Prozessschritte zu betrachten. Aufgrund der umfangreichen Auswahl an Verfahren werden dafür umfassende Modelle benötigt.

3.2 Potentiale einer ressourceneffizienten spanenden Bearbeitung

Aus den Recherchen zur Bewertung und Analyse des Energieverbrauchs von spanenden Werkzeugmaschinen, sowie den darauf ablaufenden Zerspanungsprozessen, lassen sich konkrete Ansätze für die Steigerung der Ressourceneffizienz ableiten [4]. Die bestehenden Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Fertigung umfassen die Bereiche Maschinenauslegung, Prozessgestaltung und eingesetzte Materialien. Des Weiteren führt der Einsatz bzw. die Integration von energieeffizienzsteigernden Komponenten wie bspw. Pumpen und Kühlaggregaten, zu einer geringeren elektrischen Leistungsaufnahme. Hinsichtlich des Zerspanens trägt die Kombination von unterschiedlichen Fertigungsverfahren auf einem Bearbeitungszentrum zu einer Verkürzung der Prozesskette mit entsprechender Optimierung der Energieeffizienz bei [5]. Ein Beispiel für solch eine Kombination ist die Dreh- und Fräsbearbeitung auf einer Werkzeugmaschine. Darüber hinaus gibt es auch im Bereich der Werkzeugtechnik Maßnahmen, die zur Energieoptimierung dienen, denn die Verwendung der Zerspanungsaufgabe angepassten Werkzeugtechnik führt infolge einer geringeren Reibung und Verschleißentstehung dazu, dass eine effizientere Ausnutzung der Schnittleistung möglich ist [6]. Im Bereich der eingesetzten Fertigungshilfsstoffe lassen sich aufgrund der Umstellung von Nass- auf Trockenbearbeitung umweltschädliche Kühlschmierstoffe (KSS) und die damit verbundenen Ausschleppverluste vermeiden. Zum Thema der ressourceneffizienten Zerspanung sind bereits verschiedene Forschungsarbeiten in unterschiedlichen Bereichen gelaufen. So wurden beispielsweise Untersuchungen hinsichtlich der Werkzeuggeometrie

vorgenommen. Dabei wurde der benötigte Energiebedarf für das Erreichen geforderter Oberflächenrauheiten untersucht [7]. Weitere Untersuchungen befassten sich mit der Bewertung des Einflusses der Schnittwerte (Vorschub, Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit) auf den Energiebedarf. Im Bereich der Fertigungshilfsstoffe hat die RTWH Aachen Forschungstätigkeiten zum Thema Hochdruck-KSS-Zuführung betrieben [8]. Dabei wurde untersucht welche Auswirkungen die KSS-Zuführung auf den entstehenden Werkzeugverschleiß besitzt, denn ein steigender Verschleiß bedingt eine Erhöhung der wirkenden Kräfte und folglich auch des Energiebedarfes.

3.3 Potentiale eines ressourceneffizienten theoretischen Maschinenmodells

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Professuren Produktionsinformatik, Fertigungstechnik sowie Verfahrenstechnik/Oberflächentechnik und der damit einhergehenden Kompetenzbündelung werden Ansätze und Lösungen generiert, die die zerspanungstechnischen Grundbedingungen und die der nasschemischen Bearbeitung aufgreifen und systematisch zu einer ressourceneffizienten Fertigung führen. Hierfür ist zunächst ein erster theoretischer Modellansatz entstanden, welcher mögliche Ressourcenbedarfe und -verbräuche in Fertigungssystemen abbilden soll (Abbildung 3).

Das theoretische Modell dient dabei als Ausgangspunkt für ein Berechnungsmodell, welches die benötigte elektrische Maschinenleistung planbar machen soll. Hierfür gibt es bereits Ansätze, die erste, jedoch noch zu validierende Formeln beinhalten. Ziel ist es, dieses Berechnungsmodell künftig für jede beliebige Maschine adaptierbar zu

gestalten, sofern verschiedene Größen bekannt sind oder gemessen wurden. Zur Messung und Aufzeichnung der aufgenommenen Maschinenleistung werden am Markt eine Reihe von Lösungen hardware- sowie softwaretechnisch angeboten. Diese sind allerdings nicht in der Lage, die benötigte elektrische Maschinenleistung vorab zu planen. Hardwaretechnisch wird die elektrische Leistung i. d. R. mit im Schaltschrank verbauten Energiemessgeräten gemessen. Softwarelösungen hingegen beziehen die Leistungswerte aus gespeicherten Werten der Maschinensteuerung. Oftmals können hier aber auch externe Messgeräte

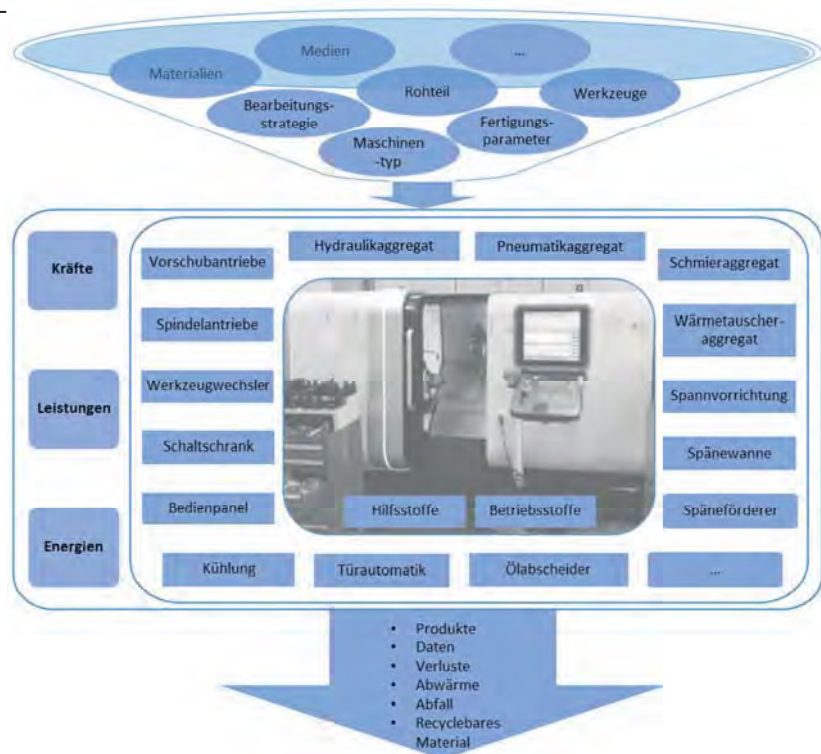


Abbildung 3: Theoretische Überlegungen zum Maschinenmodell für Universal-Drehmaschinen

eingebunden werden, die durch Messung der Gesamtleistung die Validierung des Berechnungsmodells ermöglichen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag fasst die bisherigen Arbeiten des Nachwuchsforscherprojektes MoQuaRT themenspezifisch zusammen und zeigt dabei auf, dass sowohl durch die ressourcenorientierte Arbeitsplanung als auch durch zielkonforme Gestaltung der Fertigungsverfahren, erhebliche Ressourceneinsparpotentiale existieren. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes in ein Gesamtkonzept integriert und ermöglichen damit künftige Verbräuche zu analysieren, effektive Fertigungsprozesse zu planen und so der Energie-, Material- und Zeitverschwendung entgegenzuwirken.

5. Danksagung

Die Autoren danken dem Europäischen Sozialfonds (ESF) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung der Nachwuchsforschergruppe „Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“ –MoQuaRT und dem Projektträger Sächsische Aufbaubank – Förderbank - (SAB).



Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II 2016. Online verfügbar unter www.bmub.bund.de, 04.01.2017.
- [2] Goldhahn, Leif (2016): Grundlagen Produktionsbetrieb. Vorlesungsreihe. Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften
- [3] VDI 4800 B. 1 (2016): Ressourceneffizienz Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien
- [4] Kalhöfer, E; Kress, J.: Wege zur höheren Energieeffizienz in der spanenden Fertigung. URL: <<http://www.maschinenmarkt.vogel.de/wege-zu-hoeherer-energieeffizienz-in-der-zerspanung-a-425515/>>, verfügbar am 05.09.2016
- [5] Neugebauer, R.: (2014) Handbuch Ressourcenorientierte Produktion, Carl Hanser Verlag München Wien
- [6] Dorn, C.; Stark, M.; Renger, U.; Bleicher, F.: Untersuchungen zur Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der kinematischen Struktur und der Prozesskräfte, URL: <https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_188550.pdf>, verfügbar am 11.08.2016
- [7] Schubert, Reichmann, Goller: Einfluss der Werkzeuggeometrie auf den Energiebedarf. URL: <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-1747379.pdf>, verfügbar am 05.09.2016
- [8] Klocke, F.; Lung, D.; Sangermann, H.: Steigerung der Produktivität und Prozesssicherheit bei der Drehbearbeitung von Stählen durch den energieeffizienten Einsatz der Hochdruck-Kühlschmierstoff-Zufuhr. URL: <<http://publications.rwth-aachen.de/record/230366/files/4854.pdf>>, verfügbar am 11.08.2016

Auslegung eines höhentauglichen Antriebes für das unbemannte Luftfahrtsystem ATISS NG

Fabian Quaeck, Sven Angermann, Andreas Frahm, Wolfgang Rüther-Kindel

Technische Hochschule Wildau – University of Applied Sciences

Fachbereich Luftfahrttechnik

fabian.quaeck@th-wildau.de, sven.angermann@th-wildau.de, andreas.frahm@th-wildau.de,

wolfgang.ruether-kindel@th-wildau.de

Abstract: An der Technischen Hochschule Wildau wird derzeit ein unbemanntes Luftfahrtsystem entwickelt, welches in der Lage ist, Messungen in großer Höhe und unter widrigen Umweltbedingungen durchzuführen. Ein Teilaufgabengebiet beschäftigt sich mit der Auslegung eines angepassten Antriebes, welches in dem folgenden Bericht dargelegt wird.

1. Einführung

Vulkanausbrüche und andere Naturkatastrophen treten meist unvorhergesehen auf und stellen eine bedeutende Gefahr für die globale Wirtschaft dar. Aus Informationsmangel werden deshalb großräumige Areale gesperrt, was zwar das Gefahrenrisiko mindert, jedoch auch mit einem hohen wirtschaftlichen Schaden einhergeht. Dies ist beispielsweise bei der Eruption des isländischen Vulkans „Eyjafjallajökull“ im Frühjahr 2010 geschehen, als sich eine Aschewolke bis nach Europa und Vorderasien ausbreitete. Zu diesem Zeitpunkt konnte die lokale Partikelverteilung und Aschekonzentration nicht bestimmt werden, weshalb die zuständigen Behörden sich entschlossen kein Risiko einzugehen und den Luftraum großflächig sperrten. Durch den Ausfall des transatlantischen und europäischen Luftverkehrs sowie den daraus resultierenden Nebenerscheinungen entstand ein weltweiter Schaden von ca. 4,7 Milliarden USD [1]. Deshalb ist es wichtig, möglichst zeitnah genaue Informationen aus dem betroffenen Gebiet zu erhalten, ohne dabei Menschenleben in Gefahr zu bringen.



Abbildung 1: Eruptionwolke des Eyjafjallajökull 2010 [2]

Im Zuge des seit dem Jahr 2013 laufenden Projekts *SAPODS*¹ der hieran beteiligten Fachhochschule Düsseldorf sowie der Technischen Hochschule Wildau erfolgt eine Erweiterung des Anwendungsspektrums der Messdrohne *ATISS*² für den Einsatz in 5.000 m Höhe. Der Fokus liegt hierbei in der wissenschaftlichen Untersuchung von Aerosolen, insbesondere bei Messungsdurchführungen in mit Vulkanasche kontaminierter Luft. Hierbei ist u.a. die Entwicklung eines energetisch optimierten Antriebssystems nötig, welches einen sicheren Betrieb auch unter widrigen Umweltbedingungen gewährleistet, wie sie bei einem Vulkanausbruch auftreten.

2. Methode

2.1 Analyse der Umweltbedingungen

Die bei diesem Einsatzszenario größte Gefahr geht von Aschepartikeln aus, welche durch Abrasion die Struktur des Flugzeuges verändern und schwächen. Eine entsprechend gehärtete Oberfläche durch die Auswahl geeigneter Fertigungsmethoden kann diesen Effekt vermindern. Bei luftatmenden Antrieben verursacht Vulkanasche große Schäden, da diese im Brennraum aufgeschmolzen wird und an anderen Stellen wieder erstarrt, wodurch die Funktionalität der Triebwerke oft nicht mehr gegeben ist und diese folglich ausfallen. Deshalb wurde für das auszulegende Antriebssystem ein nicht-luftatmender Motor mit einem internen Kühlsystem vorgesehen.

Mit zunehmender Höhe und abnehmender Temperatur steigt die Gefahr von Vereisungserscheinungen. Insbesondere bei hoher Luftfeuchtigkeit, wie sie beispielsweise bei einem Wolkendurchflug auftritt, muss mit Vereisung gerechnet werden. Feine Wassertropfen kondensieren an der Strukturoberfläche des Flugzeugs und gefrieren, wodurch sich die Aerodynamik des Flugzeuges verändert und zusätzlich die Gefahr einer Steuerflächenblockade erhöht wird. Dieses Risiko kann verringert werden, indem die Benutzung von beheizten Oberflächen oder eine hydrophobe Strukturbeschichtung in Betracht gezogen wird. Hierbei wird der Lotuseffekt ausgenutzt, der Flüssigkeiten von der Oberfläche abperlen lässt und somit einen Eisansatz gar nicht erst ermöglicht.

2.2 Einsatz der Messdrohne ATISS

Das an der Technischen Hochschule Wildau konzeptionierte und konstruierte unbemannte Luftfahrtsystem *ATISS* dient seit 2009 als zuverlässiger Träger unterschiedlicher Messgeräte und Fotosensorik. Die maximale Nutzlastmasse beträgt hierbei 10 kg bei einer maximalen Abflugmasse von 25 kg. Durch das modulare Nutzlastkonzept ergibt sich eine strikte Trennung zwischen Nutzlast und Trägerflugzeug und erlaubt eine flexible Umrüstung für weitere Anwendungsaufgaben.

¹ Abkürzung für *Smart Air Pollution Detection System*

² Abkürzung für *Autonomous Flying Testbed for Integrated Sensor Systems*



Abbildung 2: Messdrohne ATISS

Die zweimotorige Messdrohne mit einer Spannweite von 5 m zeichnet sich durch ihre unkritischen Flugeigenschaften bei gleichzeitig hohen Flugleistungen aus. Ein eingebautes zweifach redundant ausgeführtes Autopilotensystem ermöglicht das automatisiertes Befliegen eines vordefinierten Missionsprofils. Um den Anforderungen für den Einsatz in großer Höhe und unter aggressiven Umweltbedingungen gerecht zu werden, erfolgt eine weiterführende Auslegung *ATISS NG (Next Generation)* auf Basis des bestehenden Systems, in derer die Antriebsauslegung ein Aufgabenbereich darstellt.

2.3 Motorkonfiguration

Die benötigten Leistungsparameter der Motoren richten sich nach dem Betriebspunkt mit der höchsten Energiebeanspruchung. In diesem Bereich soll der Wirkungsgrad der Motoren maximal sein, um die Verlustleistung und die daraus abzuleitende Kühlungsleistung möglichst gering zu halten. Der Hauptauslegungsbereich des Antriebes ist die Steigflugphase auf 5.000 m Höhe. Unter Berücksichtigung der geforderten Parameter wurde ein bürstenloser Außenläufermotor in flacher Bauform mit einer Leistung von 1.200 W als Antrieb gewählt.

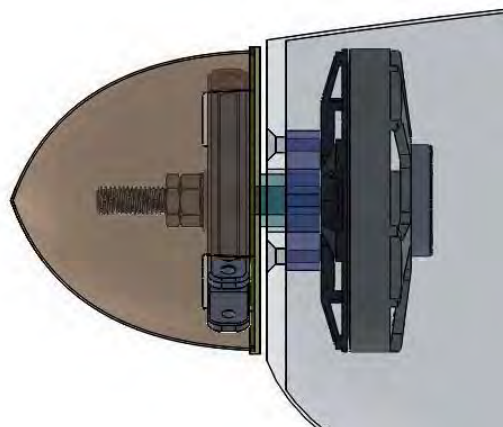


Abbildung 3: Motoreinbau in die Rumpfnase

2.4 Propellerauslegung

Die Auslegung und Konstruktion eines für das vorgesehene Missionsszenario geeigneten Propellers stellt einen maßgeblichen Arbeitsanteil dar. Hauptauslegungspunkt ist hierbei die Steigflugphase auf 5.000 m mit einer vorab bestimmten Steig- und Fluggeschwindigkeit. Unter Einbezug des berechneten Widerstandes der Messdrohne lässt sich der von den Propellern zu erzeugende Schub ableiten. Zusätzlich erfolgt eine Betrachtung der Propellerleistungen in anderen Betriebspunkten wie dem Horizontalflug und der Startphase. Zur Unterstützung des Vorganges wird das Propellerauslegungstool *JavaProp* von *Dr. M. Hepperle* verwendet, welches nach Vorgabe der physikalischen Parameter und Stützstellenprofile eine auf diesen Arbeitspunkt optimierte Propellergeometrie erzeugt. Das Rechenmodell dieser Software basiert auf der Blattelementtheorie, welche für eine grundlegende Propellerauslegung geeignet ist [3]. Durch die Variation der Eingabeparameter, insbesondere der Profilformen, ergeben sich verschiedene Propellerentwürfe, deren spezifischen Kennwerte in einem iterativen Prozess zu vergleichen sind. Als Resultat ergibt sich eine für diese Auslegungspunkte optimierte Propellergeometrie, welche in ein für die CAD-Bearbeitung gerechtes Format exportiert werden kann.

2.5 Propellerfertigung

Erste Entscheidungskriterien für die Fertigung der Propeller sind unter anderem die anzuwendende Bauart, das Material und die Fertigungsmethode. Die Propellerblätter werden klappbar gestaltet, sodass die Propeller bei einer Abschaltung des Motors im Gleitflug an die Rumpfwand legen und sich somit der aerodynamische Widerstand minimiert. Die Fertigung erfolgt in Kleinserie durch Nass-in-Nass-Laminieren unter Verwendung kohlefaserverstärkter Kunststoffe. Die Propellergeometrie wird in das CAD-Programm *SolidWorks* importiert und eine Negativform bestehend aus zwei Formhälften konstruiert. Anschließend erfolgt die Fertigung dieser Negativformhälften auf einer CNC-Fräse.

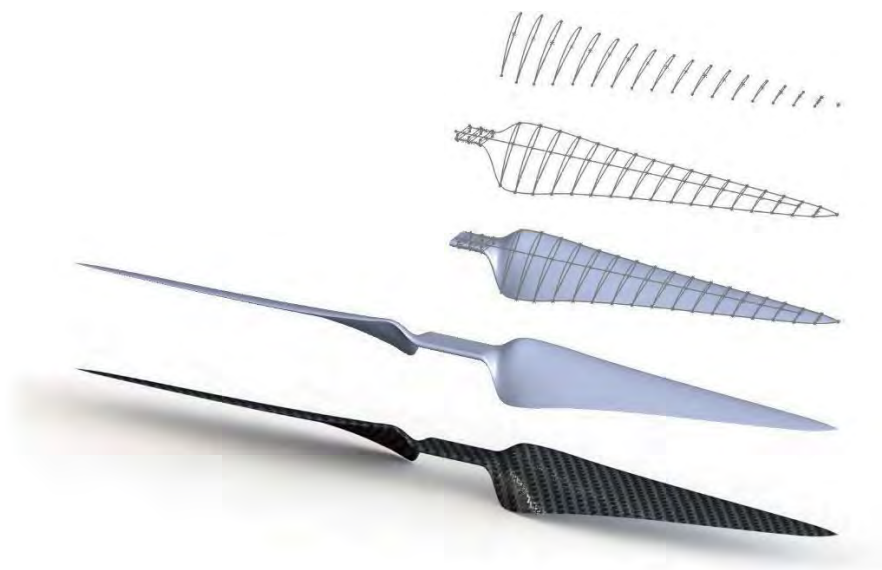


Abbildung 4: Propellerblatt in SolidWorks

Nach Ausführung der Formfertigung erfolgt die Propellerfertigung. Im Anschluss werden die gefertigten Propellerblätter paarweise gewuchtet und auf dem hochschulinternen Propellerprüfstand *PRELA*³ vermessen.



Abbildung 5: gefertigter Höhenpropeller

2.6 Testergebnisse und Weiterführungen

Die technischen Daten der Einheit „Motor-Propeller“ werden auf dem Propellerprüfstand validiert. Im Hauptauslegungspunkt wird ein Propellerwirkungsgrad von 74,5% erreicht, der des Motors beträgt hierbei 86,1%. Aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Aussagen über den Energiebedarf bei dem gewählten Einsatzszenario treffen. Es werden zwei 37 V Lithium-Polymer-Akkumulatoren mit einer Kapazität von je 12 Ah verwendet. Die Missionsflugzeit beträgt ca. 2 h, die sich aus Phasen mit unterschiedlicher Beanspruchung des Antriebes zusammensetzt. Weiterführend werden Kühlkörper für die Antriebskomponenten entworfen und mithilfe der numerischen Simulationssoftware *SolidWorks Flow Simulation* auf ihre Eignung hin überprüft.

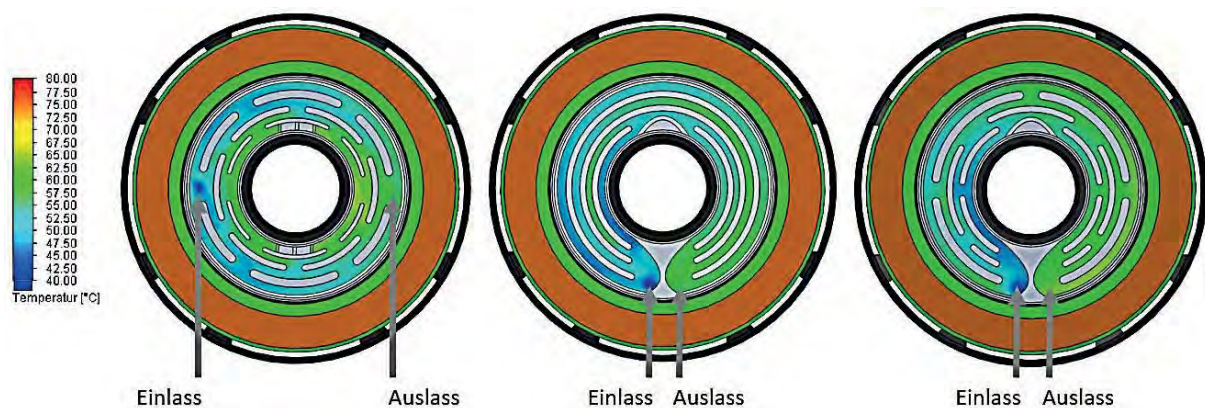


Abbildung 6: Simulationsergebnis (Temperatur) verschiedener Motorkühlkörper

3. Ausblick

Nachdem die Propeller- und Motortestläufe abgeschlossen wurden, erfolgt in naher Zukunft die Fertigung des auf den Antriebsstrang angepassten Kühlsystems, welches in der CFD-Simulation vorab betrachtet wurde. Anschließend werden die Testläufe mit dem gekühlten Antriebsstrang wiederholt, um die Leistungsfähigkeit des Antriebes neu zu bewerten. Nach erfolgreichem Abschluss wird das Antriebssystem in die neu ausgelegte Messdrohne *AT/ISS NG* integriert und Flugversuche durchgeführt, um das gesamte System in der praktischen Anwendung zu testen.

³ Abkürzung für *Prüfstand für elektrische Antriebe*

4. Literaturverzeichnis

- [1] **Oxford Economics.** *The Economic Impacts of Air Travel Restrictions Due to Volcanic Ash.* Oxford, 2010.
- [2] **Weber, K.** *Airborne in-situ investigations of the Eyjafjallajökull volcanic ash plume on Iceland and over north-western Germany with light aircrafts and optical particle counters.* Elsevier Ltd., 2012.
- [3] **Hepperle, M.** *Javaprop - Users Guide.* pdf, 2016.

Nahfeld Strahlformung beliebiger Strahlprofile mit Hilfe der logarithmisch parabolischen Monge-Ampère-Gleichung

Alexander Kratsch, Markus Olbrich, Steffen Weißmantel, Frank Ehrenberg, Andy Engel,
Manuel Pfeiffer
Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften
kratsch@hs-mittweida.de

Abstract: Es wird ein Lösungsalgorithmus für ein Monge-Ampere-Problem vorgestellt. Die Methode basiert auf der Lösung der parabolischen Form der Gleichung. Es wird die genaue numerische Vorgehensweise gezeigt. Die Lösung wird in Verbindung mit der Problematik der Laser-Strahlformung verwendet um aus beliebigen Rohstrahlprofilen beliebige Ausgangsverteilungen zu generieren. Der hier vorgestellte Algorithmus soll die erforderliche Phase berechnen. Anschließend wird das Ergebnis mittels Beugungsintegral theoretisch überprüft.

Inhalt

Inhalt	1
1 Einleitung	1
2. Vorgehensweise.....	3
2. 1. Randbedingungen und Koordinaten	4
2.2. Differentialoperationen	4
2.3. Lösungsalgorithmus	5
2. 4. Beseitigung der Modulation	6
2.5. Berechnung der Phase	7
3. Ergebnisse	7
4. Zusammenfassung / Ausblick	8
5. Danksagungen	9
6. Quellen	9
7. Bilder	11

1 Einleitung

Ziel der Strahlformung ist es, eine beliebige Eingangsverteilung einer Strahlenquelle in ein anderes beliebiges Strahlprofil umzuwandeln (Zielverteilung). Sie ist ein zunehmend wichtiger Teil der Laseranwendungen. Hierdurch können Wechselwirkungsprozesse optimiert werden, etwa bei der Laserhärtung^[1], der Photolithographie^{[2][3][4]}, der optischen Datenspeicherung / Datenverarbeitung^{[5][6]} und der Direktstrukturierung mittels

Maskenprojektion. Bei letzterem vor allen wegen der verbesserten Ausnutzung der Strahlleistung und des gleichmäßigeren Abtragsverhaltens. Leider können auf Facettenoptiken basierende Homogenisiererkonzepte (sog. Integratoren^[7]) aufgrund der hohen Kohärenzlängen für die meisten Laser -mit Ausnahme der Excimer-Anlagen- nicht heran gezogen werden^[8].

Die Formung kollimierter Laserstrahlung mit ein oder zwei optischen Grenzflächen wird schon seit über 30 Jahren untersucht. Eine numerische Lösung des zugrunde liegenden Problems ist bis jetzt nur für Spezialfälle möglich. Dafür sei auf die Arbeiten von F.M. Dickey *et al.* verwiesen, in welchen entweder von rotationssymmetrischen oder Profilen mit getrennten veränderlichen ausgegangen wird^{[9][10]}, etwa bei der Umwandlung eines gaußschen Strahlprofils in ein Top-Hat-Strahlprofil. Dadurch vereinfacht sich das zugrunde liegende Problem zu einer gewöhnlichen Differentialgleichung erster Ordnung und kann mit zwei Integrationen gelöst werden. Bei Verteilungen, die diese Symmetrien nicht besitzen, müssen andere Methoden verwendet werden.

Zur Lösung der Problematik wurden im Laufe der Zeit verschiedene Ansätze verfolgt. Es gibt zwei Hauptarten von Methoden nach denen Vorgegangen wird: Optimierungs-Design und die Partielle-Differentialgleichungs-Methode (PDE). Bei der Optimierungsmethode wird eine Anpassungsfunktion (engl.: merit function) eines Satzes von Variablen, mit welchen die Oberfläche beschrieben wird, minimiert. Hierfür stehen eine Reihe von Optimierungsverfahren zur Verfügung, etwa evolutionäre Algorithmen oder simulierte Abkühlung. Allerdings sind die Lösungen stark vom Konvergenzverhalten des Algorithmus und den gewählten Anfangswerten abhängig^{[11][12][13]}. Zusätzlich steigt die Anzahl der Variablen mit zunehmender Komplexität der Strahlformungsaufgabe schnell über ein vom Algorithmus handelbares Maß hinaus, sodass er entweder zu langsam konvergiert oder zu keiner Lösung kommt.

Ein von Olikier *et. al.* entwickelter Ansatz ist es, die Oberfläche des optischen Elementes als eine Zusammensetzung von Ellipsoiden zu betrachten, deren einer Brennpunkt die Punktlichtquelle ist und die andern Brennpunkte des Freiformspiegels die gewünschte Ausgangsverteilung ergeben^{[14][15][16]}. Diese Methode wurde auch erweitert, um Freiformlinsen zu berechnen^[17]. Der Nachteil besteht darin, dass diese Berechnungsmethoden immer von Punktlichtquellen ausgehen.

Beim auch hier verwendeten PDE-Ansatz wird die Strahlformung durch partielle Differentialgleichungen beschrieben. Es gibt auch hier 2 Subgruppen von Lösungsansätzen. Ein von Rengmao Wu beschriebener Ansatz verbindet das vektorielle Brechungsgesetz und das Energieerhaltungsgesetz in einer Differentialgleichung inklusive der Randbedingungen. Die Lösung ist somit automatisch die gesuchte Freiformfläche und erfüllt die Integrierbarkeitsbedingung^{[18][19]}. Dieser Ansatz wurde von Yaqin Zhang um eine zweite Freiformfläche erweitert. Die auf diese Weise berechneten optischen Elemente erlauben somit gleichzeitige Phasen- und Intensitätsverteilungs-Kontrolle^[20]. Dieser Ansatz wird als Mone-Ampère-Methode (MA-Methode) bezeichnet, da die Grundlage eine Umverteilung einer Dichteverteilung ist. Sie können also eine beliebige gegebene Eingangsverteilung in eine beliebige Zielverteilung umwandeln. Der von Wu *et al.* vorgeschlagene Lösungsweg sieht vor, die nichtlinearen Komponenten durch die Taylor-Formel zu linearisieren und die entstehende Gleichung durch das Newton-Verfahren, unter Verwendung der Fréchet-Ableitung, zu lösen

Die in dieser Arbeit vorgestellte Lösungsvariante ist ein ebenfalls häufig verwendeter Weg. Zunächst wird über die Lösung der MA-Gleichung eine Map erstellt, welche die Bewegung der Dichteverteilung zwischen Eingang und Ausgang darstellt. Von dieser ausgehend wird sequentiell entweder die Phase oder Freiformfläche berechnet, welche die geforderte Strahlformung durchführt. Ähnlich wie in^[21] beschrieben werden wir das L²-Monge-Kantorovich-Problem zunächst in die elliptische Monge-Ampère Gleichung überführen und

durch Einführung einer Zeit t eine Lösung der logarithmisch parabolischen Monge-Ampère Gleichung für $t \rightarrow \infty$ ermitteln, welche die Map darstellt.

2. Vorgehensweise

Das L^2 Monge-Kantorovich Problem ist folgendermaßen definiert: Gegeben seien die positiven Dichtefunktionen I_0 und I_1 , welche in $\mathbb{R}^d, d \geq 1$ definiert sind. Sie repräsentieren dieselben Massen. Gesucht ist die Map $x = \phi(\xi): \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^d$, welche die Dichte mit minimalem Aufwand C von I_0 nach I_1 transportiert. Dieser ist definiert durch:

$$C(\xi) = \int_{\mathbb{R}^d} |\phi(\xi) - \xi| I_0(\xi) d\xi \quad (1)$$

Für den Massentransport der Dichtefunktionen muss folgende Erhaltungsgleichung gelten:

$$\int_{\phi^{-1}(\Omega)} I_0(\xi) d\xi = \int_{\Omega} I_1(x) dx \quad (2)$$

Repräsentieren I_0 und I_1 die Intensitäten eines Laserstrahls entlang seiner Ausbreitungsrichtung, entspricht (2) dem Energieerhaltungssatz. Wenn ϕ eine eindeutige Funktion ist, gilt für die Elemente:

$$I_0(\xi) d\xi = I_1 J(\phi(\xi)) d\xi \quad (3)$$

Wobei $J(\phi(\xi))$ die Jacobideterminante der Koordinatentransformation $x = \phi(\xi)$ ist. Die Integranden $d\xi$ repräsentieren in dieser Interpretation die bestrahlten Flächenelemente. MA-basierte Strahlformung ist nur im Nahfeldbereich gültig. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei der MA-Problematik Die Dichteänderung zwischen Eingang und Ausgang einzig aus der Änderung der Volumen/Flächenelemente resultiert, Beugungseffekte werden nicht berücksichtigt.

Gemäß einem Theorem von Bernier, gibt es eine einzigartige Lösung $\hat{\phi} = \phi$, welche über den Gradienten des konvexen Potentials Ψ charakterisiert wird^{[22][23]}.

$$\hat{\phi} = \nabla \Psi \quad (4)$$

Wird (4) in (3) eingesetzt, sieht man, dass die Lösung der elliptischen Monge-Ampère Gleichung ist:

$$I_0(\xi) d\xi = I_1(\nabla \Psi(\xi)) \det \nabla^2(\nabla \Psi(\xi)) \quad (5)$$

In ^[21] wird ein numerischer Lösungsweg für (5) vorgeschlagen, welcher gegen die Gleichgewichtslösung der logarithmische parabolischen Monge-Ampère Gleichung bei $t \rightarrow \infty$ tendiert.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \ln \left(\frac{I_1(\nabla \Psi(\xi)) \det \nabla^2 \Psi(\xi)}{I_0(\xi)} \right) \quad (6)$$

Für den Beweis der Einzigartigkeit und Existenz einer Lösung sowie die Konvergenzuntersuchung sei auf diese Quelle verwiesen. Im dort vorgestellten Lösungsweg wurde ein Euler-Schema verwendet. Es hat sich allerdings gezeigt, dass diese

Herangehensweise bei der Verwendung von finite Differenzen Approximationen für die Differentialoperationen Schwingungen im Potential Ψ entstehen, die im Extremfall dazu führen, dass die Jacobideterminante lokal negative Werte annehmen kann. Ebenso war die Konvergenzgeschwindigkeit für Komplexe Zielfunktionen I_1 mit hoher Auflösung sehr gering. Für allgemeine Fälle schlagen wir folgende Vorgehensweise vor.

2. 1. Randbedingungen und Koordinaten

I_0 und I_1 sind bei der Initialisierung aufgeteilt in gleichgroße Quadrate. Somit sind die Koordinaten für die numerische Berechnung:

$$\xi_c = (X_{ij}', Y_{ij}') \quad (7)$$

wobei X_{ij} und Y_{ij} $n \times m$ -große Matrizen der diskreten Koordinatenpunkte mit $i = [1...n]$ und $j = [1...m]$ sind. Alle Randpunkte $X_{1,j}$, $X_{n,j}$, $Y_{i,1}$ und $Y_{i,m}$ müssen sich bei $t \rightarrow \infty$ auf dem Rand $\partial\Omega_1$ der Ausgangsverteilung befinden. Sind diese für die Eingangs- und Ausgangsverteilung gleich große Rechtecke, kann die neumannsche Randbedingung verwendet werden.

$$\nabla\Psi \cdot \vec{n} = \xi \cdot \vec{n} \quad \text{Für} \quad \forall \xi \in \Omega_1 \quad (8)$$

Wobei \vec{n} ein Normalenvektor senkrecht zum Rand ist. Dies führt effektiv dazu, dass sich die Punkte des Randes nur auf diesem bewegen können. Sind die Randkonturen unterschiedlich, wird in [23] vorgeschlagen, die Minimal Distance Function zu verwenden, um einen Drift aller bei einem Iterationsschritt außerhalb des Randes liegenden Punkte $\nabla\Psi$ in Richtung diesen zu bewirken und das Potential Ψ dementsprechend anzupassen.

Der Gradient des Potentials muss die Koordinaten ergeben, daher ist das diskrete Potential an den Punkten $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$ im nullten Iterationsschritt gegeben mit:

$$\Psi_{ij}^0 = \frac{1}{2} [(X_{ij}')^2 + (Y_{ij}')^2] \quad (9)$$

2.2. Differentialoperationen

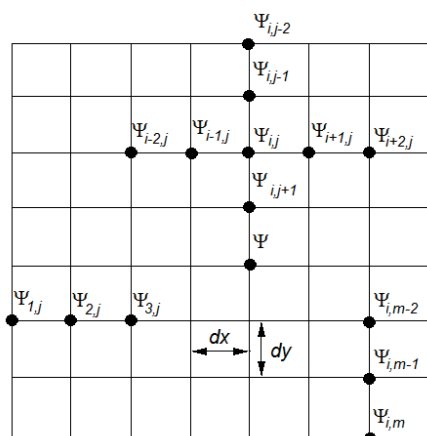


Abbildung 1: Schemata finiter Differenzen

Für die Differentialoperatoren werden finite Differenzen Approximationen der Richtungsableitungen verwendet. Es gilt:

$$X'_{i,j} = \frac{\partial\Psi}{\partial x} = \frac{1}{2dx} [\Psi_{i+1,j} - \Psi_{i-1,j}] \quad (10) \text{ bzw.}$$

$$Y'_{i,j} = \frac{\partial\Psi}{\partial y} = \frac{1}{2dy} [\Psi_{i,j+1} - \Psi_{i,j-1}] \quad (11).$$

Wobei die Abstände dx und dy konstant sind. Ein

zentral-Schema zweiter Ordnung hat sich für die zentralen Punkte als ausreichend genau erwiesen. Ebenso wurde für die Randpunkte ein Schema zweiter Ordnung verwendet. Die Gleichungen dafür wären:

$$X'_{1,j} = \frac{1}{2\Delta x} [-\Psi_{2,j} + 4\Psi_{1,j} - 3\Psi_{0,j}] \quad (12)$$

$$Y'_{1,j} = \frac{1}{2\Delta y} [-\Psi_{i,2} + 4\Psi_{i,1} - 3\Psi_{i,0}] \quad (14)$$

$$X'_{n,j} = \frac{1}{2\Delta x} [\Psi_{n-2,j} - 4\Psi_{n-1,j} + 3\Psi_{n,j}] \quad (13)$$

$$Y'_{n,j} = \frac{1}{2\Delta y} [\Psi_{i,m-2} - 4\Psi_{i,m-1} + 3\Psi_{i,m}] \quad (15)$$

Wobei es sich je nach Position um Vorwärts- oder Rückwärtsschemata handelt. Gemäß der Definition [4] sind X' und Y' die Koordinaten der Ausgangsebene. Ableitungen höherer Ordnung werden für $\nabla^2\Psi$ nicht bemüht, da hier einfach die Koordinaten ein weiteres Mal wie oben beschrieben differenziert werden können. Es gilt:

$$\det \nabla^2 \Psi = \det \begin{bmatrix} \frac{\partial X'}{\partial x} & \frac{\partial X'}{\partial y} \\ \frac{\partial Y'}{\partial x} & \frac{\partial Y'}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (16)$$

2.3. Lösungsalgorithmus

Zu Lösung der Gleichung (6) wurde ein klassisches Runge-Kutta Verfahren 4. Ordnung verwendet, um die Konvergenzgeschwindigkeit zu erhöhen und den Fehler zu reduzieren. Es wurde folgende Funktion F definiert:

$$F(\Psi) = \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = \ln \left(\frac{I_1(\nabla\Psi) \det \nabla^2 \Psi}{I_0(X,Y)} \right) \quad (17)$$

Gemäß Butcher-Schema kann der Funktionswert des nächsten Iterationsschrittes ausgerechnet werden mit:

$$\Psi^{n+1} = \Psi^n + \frac{\Delta \tau}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (18)$$

Mit

$$\begin{aligned} k_1 &= F(\Psi^n) \\ k_2 &= F(\Psi^n + \frac{\Delta \tau}{2} k_1) \\ k_3 &= F(\Psi^n + \frac{\Delta \tau}{2} k_2) \\ k_4 &= F(\Psi^n + \Delta \tau k_3) \end{aligned} \quad (19)$$

I_0 ist eine beliebige Verteilung mit der Auflösung $n \times m$ diskreten Funktionswerten. Dasselbe gilt für die Zielfunktion I_1 , allerdings muss der Ausdruck $I_1(\nabla\Psi)$ durch Interpolation ermittelt werden, wobei $\nabla\Psi$ die neuen Koordinaten sind. Effektiv müssen also in jedem Iterationsschritt die finiten Differenzen Approximationen für die Divergenz und die Determinante viermal gebildet werden. Als Zeitschritt Δt wurde ein Wert $(dx*dy)/10$ gewählt. Allgemein gilt es bei komplexeren Zielfunktionen I_1 (hohe Auflösung, hohe Detaildichte) kleinere Zeitschritte zu wählen. Als Abbruchkriterium kann das Unterschreiten einer quadratischen Mindestabweichung :

$$D = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sqrt{[I_1(X'_{ij}, Y'_{ij}) \det \nabla^2 \Psi_{ij}]^2 - (I_0(X_{ij}, Y_{ij}))^2} \quad (20)$$

oder das Überschreiten eines Inversen Wertes von (20) oder eine bestimmte Anzahl an Iterationsschritten gewählt werden.

2. 4. Beseitigung der Modulation

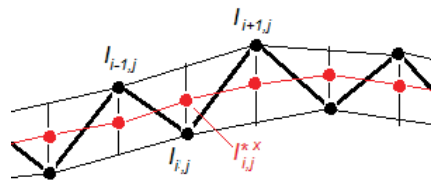
Es hat sich gezeigt, dass die Lösung Ψ Schwingungen enthält. Diese können auch dazu führen, dass die Funktionaldeterminante Werte kleiner 0 annimmt, und Ψ im nächsten Schritt imaginär wird. Diese konnten durch eine Glättung der interpolierten Funktion $I_1(X', Y')$, jedes Mal nachdem sie berechnet wurde, beseitigt werden (in (17) durch den Index „*“ symbolisiert).

Zur Glättung kann eine Faltung mit einer wenige Pixel breiten Rechteck- oder Gaußfunktion g herangezogen werden.

$$I_{1,M}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{1,ij} \cdot g_{k-i, l-j} \quad (21)$$

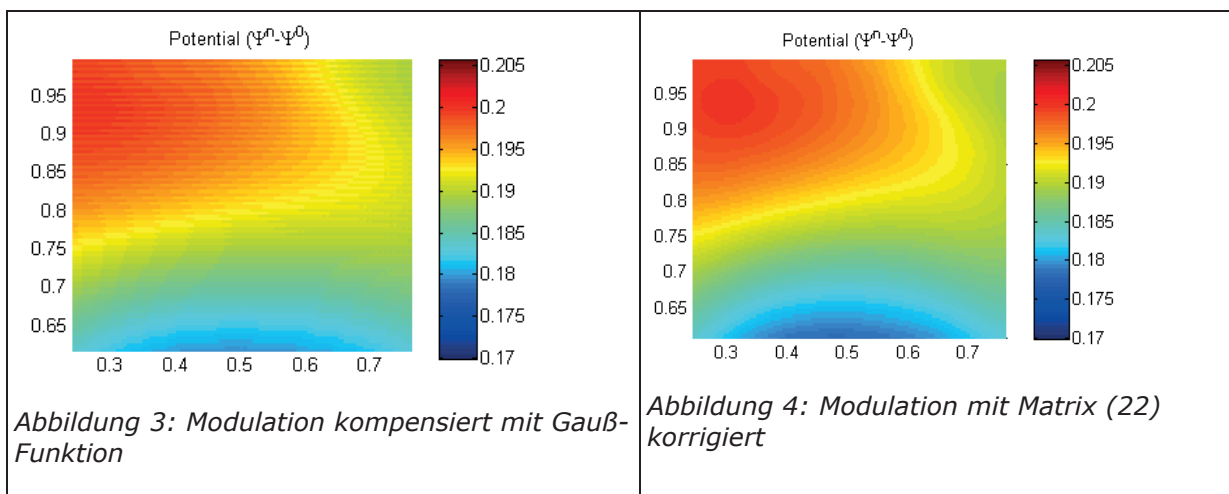
Am besten beseitigt werden kann die Modulation mit folgender Matrix g :

$$g_M = \begin{pmatrix} 1/16 & 1/8 & 1/16 \\ 1/8 & 1/4 & 1/8 \\ 1/16 & 1/8 & 1/16 \end{pmatrix} \quad (22)$$



Es wird also angenommen, es würden für jede Koordinatenrichtung zwei Funktionen existieren zwischen denen I_1 alterniert bzw. zwei Lösungen gegen die Y strebt und es wird der Mittelwert der beiden Mittelwerte gebildet. Die Randwerte werden mit den nächstgelegenen nicht-Rand-Punkten gleichgesetzt.

Abbildung 2: Mitigierung der Modulation



2.5. Berechnung der Phase

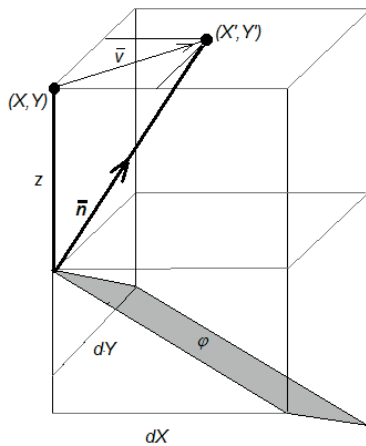


Abbildung 5:
Phasenberechnung

Die Normale \bar{n} einer Phase entspricht ihrer Ausbreitungsrichtung. Dies entspricht ebenso der Bewegung der Koordinaten $(X, Y, 0)$ zur Zielebene im Abstand (X', Y', z) . Der Vektor \bar{i} entspricht der lateralen Bewegung der Koordinaten zwischen diesen Ebenen. Für diesen gilt:

$$z(-\nabla\varphi) = \bar{i} \quad (23)$$

Wobei φ die Phase ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Ausdehnung des Phasenelementes für einen Phasenhub von 2π klein ist gegenüber z . (23) kann auch geschrieben werden als:

$$-\nabla\varphi = \frac{1}{z} \begin{pmatrix} X' - X \\ Y' - Y \end{pmatrix} \quad (24)$$

Unter Einbeziehung von (4) und (9) erhält man:

$$-\nabla\varphi = \frac{1}{z} (\nabla\Psi^n - \nabla\Psi^0) \quad (25)$$

Es folgt:
$$\varphi = \frac{1}{z} (\Psi^0 - \Psi^n) \quad (26)$$

Wobei Ψ^n die Lösung der logarithmisch parabolischen Mong-Ampère Gleichung und Ψ^0 der Startwert aus den Eingangskordinaten ist.

3. Ergebnisse

Für einen Test sollte ein zufällig generiertes Strahlprofil in das eines durch ein Graustufenbild vorgegebenes gewandelt werden. Die Koordinaten in der Ausgangs- und Eingangsebene sind auf eins normiert, das bedeutet automatisch, dass der Rand der Eingangsebene der der Ausgangsebene ist, sodass mit neumannscher Randbedingung gearbeitet werden konnte. I_1 und I_0 sind jeweils 256×256 Pixel groß. Die Bilddatei für das Zielprofil kann eine Beliebige Auflösung haben, da interpoliert wird. Die Iteration wurde nach 30000 Zyklen automatisch abgebrochen, auf ein weiteres Kriterium wurde verzichtet.

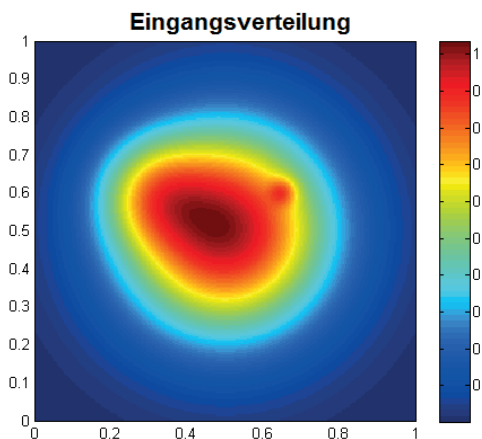


Abbildung 6: Zufällig generierte
Eingangsverteilung



Abbildung 7: Gitter der Ausgangskordinaten

$X'(X,Y)$ und $Y'(X,Y)$

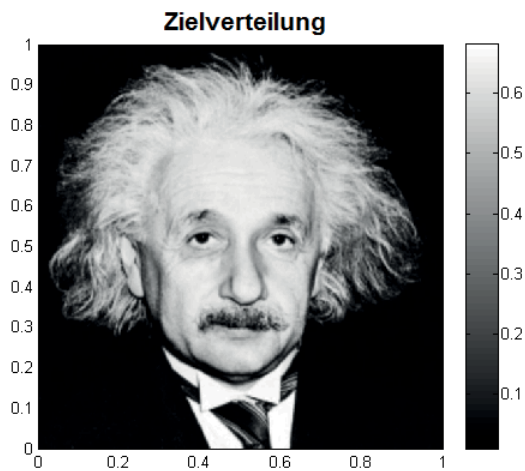


Abbildung 8: Zielverteilung

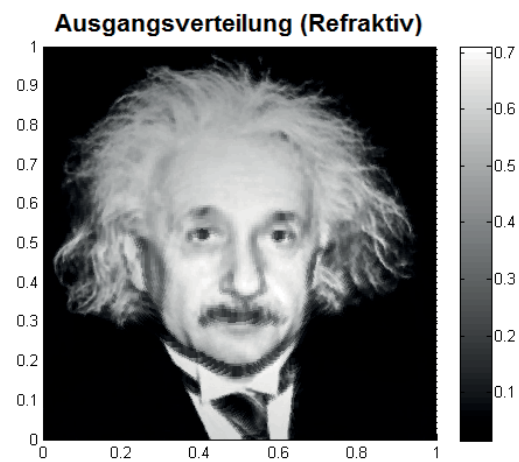


Abbildung 9: Ergebnis der Iteration

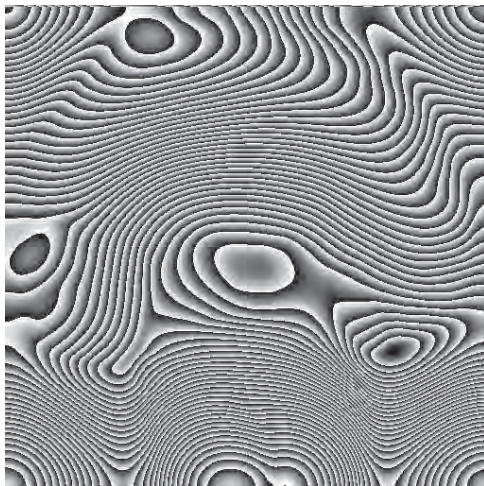


Abbildung 10: Berechnete Phase,
Ausdehnung: $10 \times 10 \text{ mm}^2$

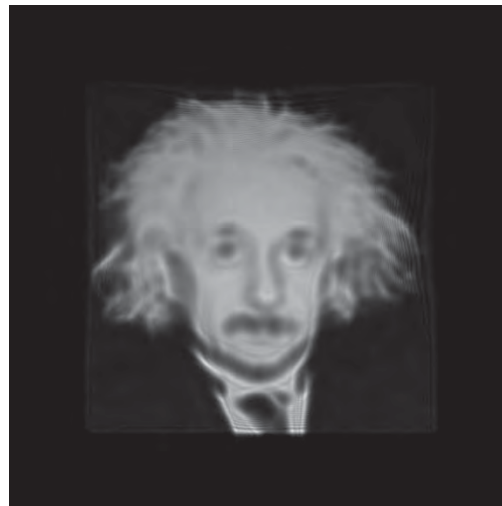


Abbildung 11: Ausgangsverteilung in einer
100 mm entfernten Zeilebene bei $\lambda = 775 \text{ nm}$

Für die Berechnung des Beugungsintegrals in Abb. 9 wurden Eingangskordinaten auf ein $10 \times 10 \text{ mm}^2$ großes Feld umgerechnet. In 100 mm Abstand sind die Beugungseffekte deutlich sichtbar, da diese vom zugrunde liegenden Formelsatz nicht berücksichtigt werden. Es wurde mit einer Wellenlänge von 775 nm gerechnet.

4. Zusammenfassung / Ausblick

Die Lösung der parabolisch elliptischen Monge-Ampère-Gleichung nach dem hier vorgeschlagenem RK4-Algorithmus funktioniert auch für nicht analytisch beschreibbare Eingangs- und Zielfunktionen unter Verwendung der finite Differenzen-Approximation für die Differentialoperatoren. Dadurch ist es möglich, Laserstrahlprofile im Nahfeldbereich beliebig zu ändern. Es konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Berechnung der Phase, etwa für ein Phasenelement oder einen SLM, unmittelbar aus der Lösung Ψ der MA-Gleichung hervorgeht.

Entscheidend für eine stabile Iteration ist dabei das Beseitigen der Modulation. Dies durch eine Faltung der Dichteverteilung I_1 in der Ausgangsebene realisiert werden.

Bei jeder MA-basierten Berechnung von Phasen oder Freiformoptiken werden Beugungserscheinungen allerdings nicht beachtet. Diese werden daher in der Ausgangsebene immer mit auftreten. Ziel weiterer Untersuchungen wird es daher sein, diese zu beseitigen. Entweder durch einen anschließenden iterativen Fourier-Transformations-Algorithmus weniger Zyklen oder durch Einbeziehen der Impulsantwort des freien Raumes in den Energieerhaltungssatz der Laserstrahlausbreitung.

5. Danksagungen

Wir möchten uns bei allen Mitarbeitern des Laserinstitutes und der Hochschule bedanken, die uns bei diesem Projekt bisher unterstützt haben. Ebenso sei den Geldgebern gedankt, die uns diese Forschung überhaupt erst ermöglichen, allem voran der SAB und dem Freistaat Sachsen.

6. Quellen

- [1] Lin Li, M.A. Sheikh, Zhu Liu, „An Analysis of the Effect of Laser Beam Geometry on Laser Transformation Hardening“, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 2006 Vol. 128, DOI: 10.1115/1.2193547
- [2] M. D. Himel, R. E. Hutchins, and J. C. Colvin, "Design and fabrication of customized illumination patterns for low k_1 lithography: a diffractive approach," *Proc. SPIE* 4364, 1436–1442 (2001).
- [3] J. Leonard, J. Carriere, J. Stack, R. Jones, M. Himel, J. Childers, and K. Welch, "An improved process for manufacturing diffractive optical elements (DOEs) for off-axis illumination systems," *Proc. SPIE* 6924, 692420 (2008).
- [4] M. Mulder, A. Engelen, O. Noordman, G. Streutker, B. V. Driehuis, C. V. Nuenen, W. Endendijk, J. Verbeeck, W. Bouman, A. Bouma, R. Kazinczi, and R. Socha, "Performance of FlexRay, a fully programmable illumination system for generation of freeform sources on high NA immersion systems," *Proc. SPIE* 7640, 76401P (2010)
- [5] P. Kazansky, A. Cerkauskaite, M. Beresna, R. Drevinskas, A. Patel, J. Zhang and M. Gecevicius, „Eternal 5D data storage via ultrafast-laser writing in glass" , 11 March 2016, *SPIE Newsroom*. DOI: 10.1117/2.1201603.006365
- [7] Red M. Dickey: "Laser Beam Shaping Theory and Techniques", June 23, 2014 by CRC Press, ISBN 9781466561007 - CAT# K15925
- [6] Zoltan Göröcs, „Optical Data Storage and Signal Processing Using Spatial Phase Modulation of Light", Ph.D. Thesis, Budapest University of Technology and Economics Department of Atomic Physics, 2009
- [8] A. Bich, J. Rieck, C. Dumouchel, S. Roth, K.J. Weible, M. Eisner, R. Voekel,

- M. Zimmerman, M. Rank, "Multifunctional Micro-optical Elements for Laser Beam Homogenizing and Beam Shaping", *Proc. of SPIE Vol. 6879 68790Q-1*
- [9] B. R. Frieden, "Lossless conversion of a plane laser wave to a plane wave of uniform irradiance," *Appl. Opt.* 4.11, pp. 1400-1403, 1965
- [10] J. L. Kreuzer, "Coherent light optical system yielding an output beam of desired intensity distribution at a desired equiphase surface," U.S. Patent 3,476,463, 4 November, 1969
- [11] F. Fournier and J. Rolland, "Optimization of freeform light pipes for light-emitting-diode projectors," *Appl. Opt.* 47(7), 957-966 (2008).
- [12] R. M. Wu, Z. R. Zheng, H. F. Li, and X. Liu, "Optimization design of irradiance array for LED uniform rectangular illumination," *Appl. Opt.* 51(13), 2257-2263 (2012).
- [13] A. Bruneton, A. Bäuerle, P. Loosen, and R. Wester, "Freeform lens for an efficient wall washer," *Proc. SPIE* 8167, 816707, 816707-9 (2011).
- [14] V.I. Olikar, "Mathematical aspects of design of beam shaping surfaces in geometrical optics," in *Trends in Nonlinear Analysis*, M. Kirkilionis, S. Kromker, R. Rannacher, and F. Tomi, eds. (Springer-Verlag, 2003), pp.193-222.
- [15] F.R. Fournier, W.J. Cassarly, and J.P. Rolland, "Fast freeform reflector generation using source-target maps" *Opt. Express* 18(5), 5295-5304 (2010).
- [16] C. Canavesi, W.J. Cassarly, and J.P. Rolland, "Target flux estimation by calculating intersections between neighboring conic reflector patches" *Opt. Lett.* 38(23), 5012-5015 (2013).
- [17] D. Ma, Z. Feng, and R. Liang, "Tailoring freeform illumination optics in a double-pole coordinate system," *Appl. Opt.* 54(9), 2395-2399 (2015)
- [18] Rengmao Wu, Peng Liu, Yaqin Zhang, Zhenrong Zheng, Haifeng Li, and Xu Liu, "A mathematical model of the single freeform surface design for collimated beam shaping," *Opt. Express* 21, 20974-20989 (2013)
- [19] Zhang Y, Wu R, Zheng Z. , "Freeform surface off-axis illumination design with the Monge-Ampère equation method in optical lithography", *Applied Optics* 53(31):7296-7303 · October 2014
- [20] Yaqin Zhang, Rengmao Wu, Peng Liu, Zhengrong Zheng, Haifeng Li, Xu Liu, "Double freeform surfaces design for laser beam shaping with Monge-Ampère equation method" *Optics Communications* 331:297-305 · November 2014
- [21] Mohamed M. Sulman, J.F. Williams, Robert D. Russell, "An efficient approach for the numerical solution of the Monge-Ampère equation", *Applied Numerical Mathematics* Volume 61, Issue 3, March 2011, Pages 298-307
- [22] Y. Brenier, "Polar factorization and monotone rearrangement of vector-valued functions," *Comm. Pure Appl. Math.* 44 (4) (1991) 375-417.
- [23] J.-D. Benamou, Y. Brenier, K. Guittet, "The Monge-Kantorovich mass transfer and its computational fluid mechanics formulation," *Internat. J. Numer. Methods Fluids* 40 (1-2) (2002) 21-30, *iCFD Conference on Numerical Methods for Fluid Dynamics* (Oxford, 2001)

- [24] Jean-David Benamou, Brittany D.Froese, Adam Oberman, „Numerical Solution of the Transportation Problem using the Monge-Ampère Equation“, arXiv:1208.4870v1 [Math. NA] Aug. 2012

7. Bilder

Abbildung 1: Schemata finiter Differenzen	4
Abbildung 3: Modulation kompensiert mit Gauß-Funktion	6
Abbildung 4: Modulation mit Matrix (22) korrigiert	6
Abbildung 2: Mitigierung der Modulation	6
Abbildung 6: Zufällig generierte Eingangsverteilung	7
Abbildung 7: Gitter der Ausgangskordinaten $X'(X,Y)$ und $Y'(X,Y)$	7
Abbildung 5: Phasenberechnung	7
Abbildung 8: Zielverteilung	8
Abbildung 9: Ergebnis der Iteration	8
Abbildung 10: Berechnete Phase, Ausdehnung: $10 \times 10 \text{ mm}^2$	8
Abbildung 11: Ausgangsverteilung in einer 100 mm entfernten Zeilebene bei $\lambda = 775\text{nm}$	8

Alle Bilder Stammen von uns.

Quick UDP Internet Connections für Feldbussysteme

Felix Schreiner, Andreas Pretschner

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK), Fakultät
Elektrotechnik/Informationstechnik, Institut für Prozessautomation und eingebettete Systeme
felix.schreiner@htwk-leipzig.de

Abstract

"Quick UDP Internet Connections" (QUIC) ist ein UDP/IP-basiertes Kommunikationsprotokoll, das als Nachfolgetechnologie zu TCP/IP entwickelt wird. Es integriert Funktionen zur sicheren und robusten Kommunikation. Die hohe Performance prädestiniert es für den industriellen Einsatz in der Unternehmens- sowie der Feldbuskommunikation. Der vorliegende Aufsatz beschreibt Einsatzgebiete und Anwendungsszenarien für QUIC im industriellen Umfeld, sowie Potentiale für zukünftige Feldbustechnologien.

1 Einführung

Seit der Entwicklung und Standardisierung von Ethernet durch das IEEE in den 1980er Jahren hat sich Ethernet-basierte Kommunikation weltweit als führender Standard in der Datenübertragung durchgesetzt. Das Projekt IEEE 802¹ definiert dazu knapp zwei Dutzend Standards, die die Datenübertragung in Schicht 1 und 2 des OSI Referenzmodells beschreiben. Aufsetzend auf diese Standards entwickelte sich das Internet Protocol alias IP als die am häufigsten verwendete Vermittlungsschicht, und ebnete den Weg für die Übertragungsprotokolle UDP² und TCP. Vor allem das Transmission Control Protocol³ (TCP) erfreut sich bis heute großer Beliebtheit und dient als Grundlage der meisten übergeordneten Protokolle (OSI Referenzmodell Schicht 5 und höher).

Aktuelle Ethernet-basierte Feldbustechnologien setzen auf UDP und TCP als Basisprotokolle auf, verändern aber das Zeitverhalten. Die Daten werden je nach Priorität in zwei Phasen übertragen. Echtzeitdaten werden in der Regel in der so genannten "synchronen Phase" via UDP-Broadcast-Paketen übertragen. Dies erlaubt es, eine fest definierte Menge an Datenpunkten in einem festen Zeitraster zu übertragen. Die Zykluszeit der Daten ist so deterministisch. Daten, die nicht deterministisch übertragen werden müssen, werden in der "asynchronen Phase" übertragen. In diesem Zeitraum verhält sich der Bus wie klassisches Ethernet. Daten werden dabei meist über UDP-Pakete oder TCP-Streams übertragen, je nach Konfiguration sind aber alle Ethernet-basierten Protokolle möglich. Dies sichert die Kompatibilität zwischen Feldbus und klassischen Ethernet-basierten Kommunikationssystemen.⁴

Im Zuge der steigenden Vernetzung von Geräten im Rahmen der Industrie 4.0 und dem Internet of Things (IoT) verändern sich aber zunehmend die Anforderungen an die

verwendeten Feldbussysteme. Zusätzlich zu den traditionellen Aufgaben kommen immer stärker Anforderungen aus der Internet-Kommunikation zum Tragen. Vor allem abgesetzte Anlagenteile werden immer öfter "Remote" über eine Internetverbindung angeschlossen. Dies wirkt sich auch auf die Datenbusse aus, und macht eine zusätzliche Sicherung der übertragenen Daten notwendig, da bereits heute viele Geräte Diagnoseschnittstellen und Webinterfaces aufweisen, die einen besonderen Schutz benötigen. Um diesen Schutz zu garantieren muss eine kryptographische Verschlüsselung der Daten eingesetzt werden. Damit einhergehend steigt auch die benötigte Robustheit der Kommunikation, um Fehlübertragungen zu vermeiden.

2 QUIC

Im Rahmen des Forschungsprojekts „DNSec“ der HTWK Leipzig wurden Technologien gesucht, mit der sich aktuelle Feldbussysteme sowie Unternehmensnetze verbessern lassen. Ziel ist es, die Datensicherheit zu erhöhen und die Robustheit der Datenkommunikation zu steigern ohne die traditionellen Eigenschaften von Feldbussystemen negativ zu beeinflussen. Dabei tat sich das von Google entwickelte "Quick UDP Internet Connections"-Protokoll alias QUIC⁵ positiv hervor. QUIC wird seit 2012 von Google entwickelt und befindet sich seit 2016 in der Standardisierung als "Internet Draft" des IETF. Es basiert auf UDP, wird häufig als designierter Nachfolger von TCP gehandelt und soll dessen Unzulänglichkeiten ausgleichen. Zu den Fähigkeiten von QUIC gehören:

- Connection Multiplexing: Mehrere virtuelle Datenverbindungen zwischen zwei Peers werden über eine QUIC-Verbindung gehandhabt. Virtuelle Verbindungen können dabei individuell priorisiert werden. Head-of-line-Blocking wird effektiv verhindert.
- Die Paketumlaufzeit (engl. Round Trip Time, kurz RTT) beim Verbindungsaufbau für bekannte Peers wird auf null gesenkt. Bereits das erste Datenpaket enthält Nutzerdaten. Zum Vergleich: TCP benötigt zum Aufbau der Verbindung zwei Round Trips. Erst das dritte Paket enthält Nutzerdaten.
- Übertragene Daten werden automatisch mittels TLS 1.3⁶ (kommender Standard) verschlüsselt
- Eine Vorwärtsfehlerkorrektur (engl. Forward Error Correction) stellt bei der Übertragung verloren gegangene Datenpakete automatisch wieder her.
- Verbindungen bleiben auch bei einem IP-Adresswechsel bestehen (Connection Migration)
- Die durch die UDP-Basis notwendige Überlastkontrolle (engl. Congestion Control) und PMTU-Detektion werden vom Protokoll übernommen.

Diese Fähigkeiten unterscheiden QUIC stark vom veralteten TCP und können vor allem in der industriellen Datenkommunikation von großem Vorteil sein.

3 Anwendungsbereiche von QUIC

QUIC kann bereits heute als vollwertiger Ersatz für TCP verwendet werden. Die UDP-Basis ermöglicht den Einsatz in der asynchronen Kommunikationsphase von Feldbussen ohne Anpassungen. Die automatische Congestion Control und PMTU-Detektion optimiert dabei den Datendurchsatz. Vor allem abgesetzte Anlagen, die über eine unzuverlässige Verbindung angeschlossen wurde, profitieren von QUIC: Die Forward Error Correction sorgt eine für deutlich geringere Anzahl von Neuübertragungen im Vergleich zu TCP und steigert so den Datendurchsatz merklich. Die übertragenen Daten sind dabei stets verschlüsselt und für dritte nicht einsehbar. In einigen Fällen kann so auf den Einsatz von VPN-Tunneln zur Datensicherung verzichtet werden.

Vor allem Webinterfaces und -Services, die häufig auf industriellen Steuerungen anzutreffen sind, können von QUIC profitieren. Über Connection Multiplexing können Ladezeiten optimiert werden. Auch RESTful-Services profitieren massiv von den virtuellen Datenverbindungen, da AJAX-Requests voll asynchron und ohne neuen Verbindungsaufbau ausgeführt werden können. Der Einsatz von HTTP 2.0 verstärkt diesen Effekt durch effizientere Ladevorgänge und integrierte Datenkompression noch weiter. Dies wirkt sich positiv auf die webbasierte Diagnosesysteme aus. Gleiches gilt für die Anbindung von SCADA Systemen.

Connection Migration erlaubt es mobile Anwendungsszenarien bestmöglich abzudecken. Wechselt ein Peer aufgrund einer Positionsänderung seine IP-Adresse, führt dies nicht zum Abbruch der QUIC-Verbindung. Dieses Verhalten ist vor allem für Geräte im IoT wünschenswert. QUIC ist außerdem in der Lage, ohne weitere Anpassungen, sowohl IPv4 als auch IPv6 als Basistransportschicht zu verwenden.

Da der Funktionsumfang von TCP nur einer Untermenge der Funktionen von QUIC entspricht, lassen sich TCP-Verbindungen über einen Proxy in QUIC-Verbindung umwandeln. Gleiches gilt eingeschränkt auch für Datagrammdienste. Dies ermöglicht es, bereits bestehende Anwendungen schnell und effizient auf QUIC umzustellen. Ein entsprechender Proxy, der auch für eingebettete Systeme geeignet ist, befindet sich im Rahmen des DNSec Projekts an der HTWK Leipzig aktuell in der Entwicklung. Für Desktopsysteme sind bereits Proxies verfügbar.

Ein breiter Einsatz von QUIC in der asynchronen Kommunikationsphase eines Feldbusses würde den Datendurchsatz merklich steigern. Ein Einsatz im Rahmen zukünftiger Entwicklungen im Bereich der asynchronen Feldbuskommunikation ist daher sehr zu empfehlen.

4 Probleme bei der Verwendung von QUIC

Trotz aller Vorteile ergeben sich auch Nachteile durch die Nutzung von QUIC. So ist eine Verschlüsselung der Daten zwingend erforderlich. Dies führt vor allem auf leistungsschwachen Systemen, wie z.B. kleinen eingebetteten Systemen, zu einer leicht erhöhten CPU-Last. Entgegen der vorherrschenden Meinung hat dies aber kaum messbare negative Auswirkungen auf die Reaktionszeit der Systeme, da Verschlüsselungsalgorithmen heute meist hardwarebeschleunigt ablaufen können. Der schiere Umfang des QUIC-Stacks verursacht weiterhin einen erhöhten Speicherbedarf.

Ebenfalls durch die erzwungene Verschlüsselung bedingt, wird Traffic-Shaping durch spezielle Router und Switches fast vollständig unterbunden, da dieses meist auf Deep-Package-Inspection basiert. Dies lässt sich durch den verschlüsselten Inhalt der Datenpakete allerdings nicht durchführen. Abhilfe kann hier der Einsatz eines "Quality of Service"-Headers (QoS) im IP-Header schaffen. Auch Proxy-Server und Gateways, die bisher Daten des IP-Headers manipuliert haben, können unter Umständen nicht mehr korrekt funktionieren.

5 Ausblick: Integration in Feldbussysteme

Kurzfristig kann QUIC, in unveränderter Form wie oben beschrieben, als Alternative zu TCP in der asynchronen Phase eines Feldbusses verwendet werden, um die Robustheit und Sicherheit der Datenkommunikation zu verbessern. Langfristig stehen weitere Optionen zur Verfügung: Passt man QUIC in einigen Punkten an die Eigenheiten von Feldbussen an, so kann es auch in der synchronen Phase verwendet werden. Dazu müsste die obligatorische Verschlüsselung entfernt, und z.B. durch eine digitale Signatur ersetzt werden. Die anderen Eigenschaften von QUIC bleiben dabei unbeeinflusst. Zusätzlich ist eine Zertifikatsverwaltung innerhalb des Feldbusnetzwerks notwendig. So verändert ist QUIC potentiell in der Lage alle Feldbusprotokolle zu ersetzen, sodass alle Kommunikation auf dem Bus über QUIC-Verbindung abgehandelt wird. Dies überträgt die oben genannten Vorteile wie Forward Error Correction, Connection Multiplexing und Connection Migration auf den Feldbus, was die möglichen Anwendungsbereiche vergrößert und die Kommunikation sicherer und robuster macht.

Die entsprechende Grundlagenforschung zum Einsatz von QUIC auf dem Feldbus wird aktuell im Rahmen des DNSec Projekts an der HTWK Leipzig durchgeführt. Ziel ist es, die Kriterien für einen Einsatz wissenschaftlich aufzuarbeiten, und die oben beschriebene Integration in Feldbussysteme beispielhaft zu definieren und zu implementieren, um so die Grundlage für einen späteren industriellen Einsatz zu schaffen.

¹ IEEE Computer Society: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2014, ISBN: 978-0-7381-9220-8

² J. Postel: *User Datagram Protocol*, IETF RFC: 768, Stand 28.08.1980,
<https://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>

³ Information Sciences Institute: *Transmission Control Protocol*, Marina del Rey: University of Southern California, 1981; IETF RFC: 793

⁴ Frithjof Klasen: *Industrielle Kommunikation mit Feldbus und Ethernet*, Berlin/Offenbach: VDE Verlag, 2010, ISBN: 9783800732975

⁵ J. Iyengar, M. Tompson: *QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport*, IETF Active Internet-Draft: draft-ietf-quic-transport-01, Stand 14.01.2017,
<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-transport/>

⁶ E. Rescorla: *The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3*, IETF Active Internet-Draft: draft-ietf-tls-tls13-18, Stand 22.11.2016,
<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-tls-tls13/>

Lackoptimierung: Vom Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Lack und Umgebungsmedien zu einem besseren Lacksystem

Sergei Wittchen
HS-Merseburg, INW
sergei.wittchen@hs-merseburg.de

Abstract: Im Rahmen dieser Arbeit sollen mit Hilfe einer Kombination von analytischen und physikochemischen Untersuchungsmethoden brillante PUR-Lacke, die auf thermoplastische Kunststoffteile appliziert werden, auf ihren Beständigkeitsvermögen gegenüber der schädlichen Wirkung von Ethanol und Wasser, charakterisiert werden. Ermittelt werden Daten zur Phasenumwandlung (Glasübergangstemperatur), zur chemischen Struktur (Vernetzungsgrad) und zum Quellverhalten der Beschichtung. Aus der Korrelation zwischen den erhaltenen Messergebnissen sollen Maßnahmen zur Verbesserung der Langlebigkeit des Lacks abgeleitet werden.

1. Motivation

Die Oberfläche einer Vielzahl von Elektrokleingeräten besteht aus einer dekorativen Beschichtung auf Basis von Polymersubstraten. Vor allem im Bereich langlebiger und hochwertiger Produkte bieten sich dafür Polyurethan-basierte Lacksysteme an, die durch chemische Quervernetzung eine hohe Stabilität erlangen können. Über eine antizipierte Nutzungsdauer von mehreren Jahren unter Einwirkung von Umgebungsmedien ist das tiefgreifende Verständnis der physikalischen und chemischen Beständigkeit sowie von Quellungs- und Haftungsmechanismen unerlässlich. Dies ist insbesondere wichtig, da Elektrogeräte im Körperpflegebereich auch bei bestimmungsgemäßer Benutzung mit zahlreichen, chemischen Stoffen in Wechselwirkung treten. Moderne elektrische Geräte zur Körperpflege sind beispielsweise auch mit einer Reinigungsstation ausgestattet, die mit alkoholhaltiger Reinigungsflüssigkeit betrieben wird. Es muss außerdem berücksichtigt werden, dass der Konsument Kosmetika benutzt und physiologische Substanzen, wie Hautschweiß, auf das Gerät einwirken.

In Bezug auf die in diesem Zusammenhang relevanten Lösemittel sind vor allem Wasser und Ethanol zu nennen. Wenn die lackierten Kunststoffbauteile mit diesen in Kontakt kommen, treten Wechselwirkungen zwischen den polaren Urethan-Gruppen des Lacks und den stark polaren Wasser- bzw. Alkoholmolekülen auf. Das führt in erster Linie zur Einlagerung dieser Stoffe im Netzwerk des Lacks und zu dessen Quellung. Durch das wiederholte Ein- und Entquellen wird das Lacksystem dynamisch belastet. Das kann dazu führen, dass lokale Delaminationsprozesse an der Lack-Substrat-Grenzfläche stattfinden und äußert sich durch optisch sichtbare Defekte wie Trübungen, partielle Blasenbildung oder Aufwölbungen des Lacks.

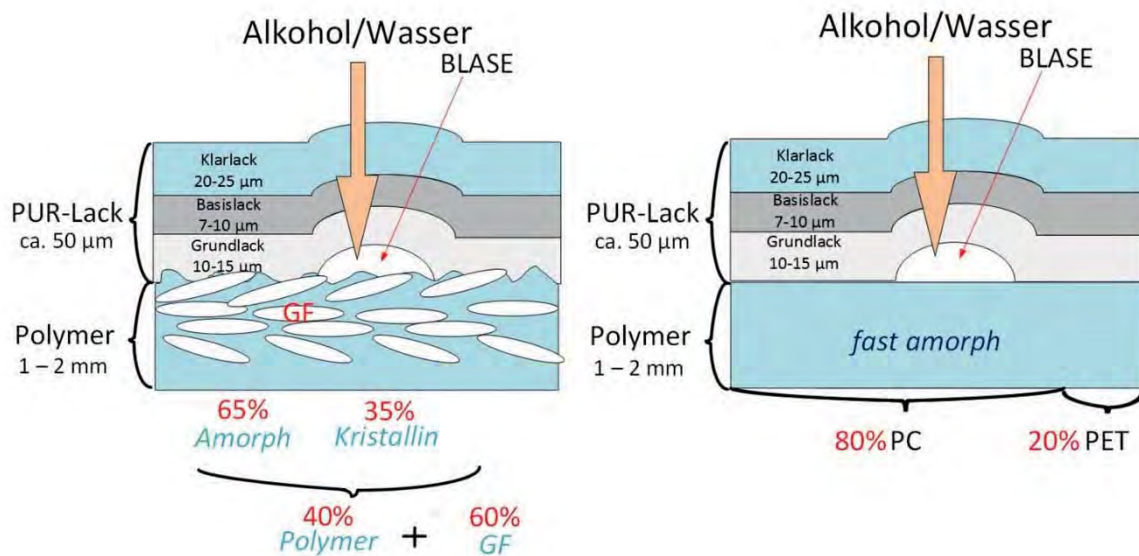


Abbildung 1 Aufbau der Lacksysteme auf den thermoplastischen Substraten.

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Untersuchung der Interaktionen zwischen dem Lack-Polymer-System mit Ethanol und Wasser und Variation der Lackrezeptur zwecks Verbesserung der optischen Integrität der lackierten Teile durch das Vermeiden der Fehlerbildung. Als variable Komponente in der Rezeptur einer Polyurethan-basierten Lackbeschichtung tritt der Anteil an Isocyanat (Härter) in der Lackmischung auf. Bei der Variation des Härteranteils kann die Lackrezeptur an die Quellmedien so angepasst werden, dass es nicht zu einer Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes eines lackierten Teils führen würde. Es werden die unterschiedlichen Lackzusammensetzungen formuliert und bezüglich ihrer Beständigkeit untersucht.

2. Untersuchungsmethoden

In erster Linie werden die Untersuchungsmethoden vor dem Hintergrund betrachtet, welche Methode sich für die Charakterisierung der Lackeigenschaften eignet. Für diese Zwecke bieten sich folgende methodische Ansätze an:

Zunächst ist die Dynamisch-mechanische Analyse (DMA, engl.: dynamic mechanical analysis) zu erwähnen, die zur Bestimmung der Glasübergangstemperatur oder Vernetzungsdichte einer Lackprobe verwendet werden kann. Dafür wird ein freistehender Lackfilm hergestellt, der unter einer sich zeitlich ändernden sinusförmigen mechanischen Zugbeanspruchung in Abhängigkeit der Temperatur untersucht wird. Gemessen werden dabei die Kraftamplitude, die Verformungsamplitude und die Phasenverschiebung¹.

¹ K. P. Menard, Dynamic mechanical analysis: a practical introduction, ISBN 978-1-4200-5312-8

Weiterhin ist die Analyse des Quell- sowie Migrationsverhaltens mit Hilfe der Dielektrischen Analyse (DEA) zu nennen, bei der die Änderung der Ionenviskosität in Abhängigkeit von der Frequenz oder der Zeit erfasst wird. Das Lacksystem wird auf einen Kammelektroden-Sensor aufgetragen und die Änderung der Ionenmobilität in der gequollenen Lackschicht erfasst. Damit können kinetische Daten der einmaligen und wiederholten Quellung der Lackschichten durch einmalige oder wiederholte Beaufschlagung mit Wasser und Ethanol ermittelt werden².

Die Extraktion der lackierten und unlackierten Polymersubstrate mit Alkohol und die anschließende Analyse der Extrakte mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) zur Detektion der Stoffmigration aus dem Polymersubstrat und dem Lack trägt zum Verständnis der Beständigkeit der Lacke bei. Es kann ermittelt werden, welche Bestandteile des Lacks oder Substrats durch die Wechselwirkung mit den Lösungsmitteln migrieren oder verloren gehen und somit das Eigenschaftsprofil der Beschichtung verändern.

Auch zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden wie Infrarotspektroskopie (FTIR) oder NMR-Imaging finden Anwendung zur Charakterisierung des Lackprofils. Die Infrarotspektroskopie ermöglicht anhand der Bandenintensität der Isocyanat-Gruppen der Lackproben Rückschlüsse auf die Rezepturunterschiede. NMR-Imaging soll an freistehenden Filmen und realen Bauteilen genutzt werden, um Diffusionsprofile und die molekulare Beweglichkeit unter der Einwirkung von Umgebungsmedien zu untersuchen.

3. Ergebnisse und Auswertung

Mittels Dynamisch-mechanischer Analyse wurden zwei Lackrezepturen mit unterschiedlichen Härteranteilen (jeweils -20 % Härter, unveränderte Originalrezeptur und +20 % Härter) untersucht. Die Ergebnisse der Veränderung der Glasübergangstemperatur der Lacke sowie die Variation der Vernetzungsdichte in Abhängigkeit vom Härtergehalt sind in der Abbildung 2 dargestellt.

² S. Knappe, Vernetzung verfolgen optimierte Lackhärtung durch dielektrische und kinetische Analyse, Farbe und Lack, Rev 9.2003,18-22

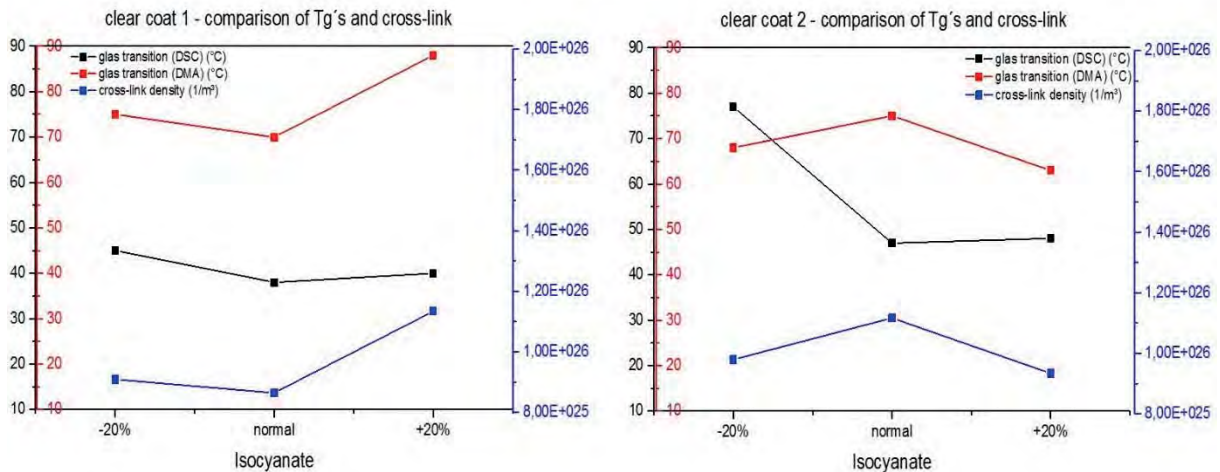


Abbildung 2 Glasübergangstemperatur in Abhängigkeit von Härter-Anteil.

Man kann erkennen, dass die Zusammenhänge zwischen Härter-Anteil und Glasübergangstemperatur (Tg) nicht linear sind. Wir sehen sowohl eine Erhöhung der Tg bei niedrigen Isocyanat-Anteil, als auch die Erniedrigung der Tg bei hohen Isocyanat-Anteil. Für eine eindeutige Korrelation müssen die Härter-Anteile daher noch stärker variiert werden, da die beobachteten Änderungen auch unter dem Aspekt der geringen Anzahl an 3 Kalibrationswerten der Härterkonzentration noch wenig aussagekräftig sind.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse einer Dielektrischen Analyse dargestellt. Es wird ein Konsumentenverhalten nachgebildet, bei dem der Konsument das Körperpflegegerät in einer Reinigungsstation nach der Benutzung reinigt.

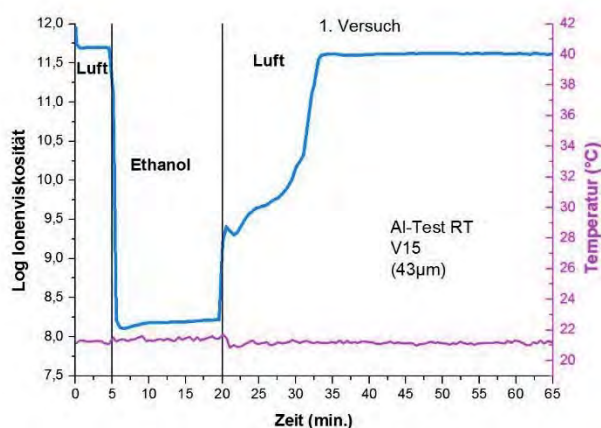


Abbildung 3 Verlauf der log Ionviskosität in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur.

Für diesen Versuch wurde auf einen Kammelektroden-Sensor die zu testende Lackierung aufgetragen und gemäß spezifiziertem Lackierprozess vollständig ausgehärtet. Die Messung der logarithmischen Ionviskosität in Luft ergibt einen Wert von 11,7 als Startwert. Die

Ionenviskosität beschreibt die Beweglichkeit bzw. Ausrichtung von polaren Stoffen. Je höher die Ionenviskosität desto geringer die Beweglichkeit. Durch Kontakt mit Ethanol in der Zeit von 5 bis 20 min sinkt die Ionenviskosität drastisch auf 8,3 bis 8,4 ab, mit anderen Worten: Der Lack quillt in Ethanol und die Beweglichkeit polarer Stoffe nimmt zu. Zur Messzeit 20 min wird der lackierte Sensor wieder aus dem Ethanol herausgenommen und an Luft getrocknet. Man kann erkennen, dass die Rückkehr zum Ausgangswert der Ionenviskosität zeitverzögert über einen Zeitraum von 14 min erfolgt. Dieses Zeitverhalten erlaubt eine kinetische Beurteilung des Entquellprozesses. Durch wiederholte Durchführung dieses Versuches kann man weiterhin die erste Quellung von darauffolgenden Quellprozessen differenzieren. Außerdem werden verschiedene Lackrezepturen in ihrem Quell- und Entquellverhalten miteinander verglichen. Die zeitliche Dauer des Quellvorgangs entspricht dabei der Kontaktzeit des lackierten Elektrogeräts mit dem Ethanol in der Reinigungsstation und stellt darum einen konsumentenrelevanten Modellversuch dar.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Methodensätze sollen zur Erfassung des Ist-Zustands des Beschichtungssystems und zur weiteren Verfolgung des Einflusses chemischer Modifikationen der Lacksysteme eingesetzt werden. Dabei wurden Korrelationen zwischen physikalisch-chemischen und analytisch-chemischen Messergebnissen mit der chemischen Zusammensetzung und Struktur des Lackes untersucht. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die Härterkonzentration der Lacksysteme stärker variiert werden muss, um die Korrelationen zwischen T_g und Vernetzungsdichte mit der Änderung der Härterkonzentration deutlicher herauszuarbeiten. Im weiteren Verlauf des Projekts werden noch weitere Parameter unter Anwendung der dargestellten Messverfahren untersucht und mit der Beständigkeit korreliert, um festlegen zu können, wie die chemische Zusammensetzung des Lacksystems variiert werden muss, um die dauerhafte Beständigkeit des Lacks gegenüber Wasser und Ethanol zu verbessern.

Informations- und Kommunikationstechnik

Clusterbasierte Online-Analyse von 3D-Laserscans

Matthias Oelze, Falk Schmidsberger, Frieder Stolzenburg
Hochschule Harz, Fachbereich Automatisierung und Informatik
{moelze, fschmidsberger, fstolzenburg}@hs-harz.de

Abstract: Für die Erkennung von erhabenen oder vertieften 3D-Markierungen reicht es nicht aus, nur 2D-Bilder zu analysieren, da sie zu wenig Information liefern. Durch Abtastung des Höhenprofils mittels Lasertriangulation, effiziente Bildverarbeitungsverfahren und Methoden der Künstlichen Intelligenz, u.a. Clustering, können die Markierungsinformationen jedoch gewonnen werden. Im Folgenden beschreiben wir die Implementierung dieser Vorgehensweise auf einer Smart-Kamera für den mobilen Echtzeit-Einsatz.

Schlüsselwörter: Triangulation, Clustering, Bildverarbeitung, Mobiles System

1. Einleitung

Zur Identifikation von Werkstücken nach der Fertigung oder Produkten allgemein werden diese Objekte häufig mit Markierungen versehen. Aus technischen Gründen sind diese häufig dreidimensional, d.h. durch Vertiefungen oder Erhebungen auf dem Objekt realisiert. Auf 2D-Digitalbildern lassen sich diese Markierungen in der Regel nur schlecht erkennen.

Lasertriangulation¹ schafft hier Abhilfe. Dabei wird eine Laserlinie auf das Messobjekt fokussiert und mit einer daneben befindlichen Kamera betrachtet. In Abhängigkeit von der Entfernung des Messpunkts von der Kamera ändert sich die Position seines Abbildes auf dem Kamerabild. Durch fortgesetzte Abtastung des Objekts ergibt sich ein vollständiges Höhenprofil.

Ziel der hier vorgestellten Arbeiten ist ein portables, mobiles System, das in Echtzeit die Erstellung eines solchen Höhenprofils bis hin zur Identifikation der 3D-Markierung erlaubt. Im Folgenden betrachten wir die Analyse von DataMatrix-Codes.² Diese bestehen aus einer quadratischen Matrix von 8x8 oder mehr Punkten und können (wie in unserem Fall) auch dreidimensional durch Erhebungen und Vertiefungen realisiert sein (vgl. Abbildung 1). Die Codierung ist mit Verfahren der Fehlererkennung und Korrektur kombiniert und somit sehr robust.

Das Verfahren zur Erkennung des Codes sollte ebenfalls robust sein. Um dieses Ziel zu erreichen, ist zum einen eine geeignete Systemarchitektur zu entwickeln und zum anderen ein robuster Algorithmus zu implementieren. Dabei müssen die einzelnen Punkte des DataMatrix-Codes aus dem Höhenprofil extrahiert werden. Dazu werden intelligente Methoden der Bildverarbeitung und Computergrafik³ eingesetzt. Darüber hinaus finden Methoden der Künstlichen Intelligenz, speziell der Cluster-Analyse⁴, Anwendung, um die Punkte des DataMatrix-Codes als Einheit zu erkennen. In den folgenden Abschnitten stellen wir den Systemaufbau und die entwickelten Algorithmen näher vor.



Abbildung 1: Scannen eines DataMatrix-Codes durch Lasertriangulation. © Hochschule Harz

2. Aufbau des Systems

Das System zum Erfassen und Verarbeiten der aufgenommenen Bilder besteht aus einem Laser der Klasse 1 und einer Kamera. Da mit dem Handscanner auch 2D-Daten erfasst werden sollen, muss das System so ausgerichtet sein, dass die Kamera senkrecht auf den Aufnahmebereich schaut. Aufgrund der Geometrie der zu erfassenden Werkstücke wurde sich dafür entschieden, den Laser so anzuordnen, dass er bei einem Abstand von 10cm zum Werkstück mit einem Winkel von 30° auftrifft. Die Kamera ist eine sogenannte Smart-Kamera der Firma Vision Components,⁵ die einen Zweikern-Prozessor beinhaltet, der mit einem Embedded Linux betrieben wird. Die besondere Eigenschaft dieses Kamertyps ist die direkte Anbindung des Bildsensors an den Speicher. Dies erlaubt eine sehr schnelle Verarbeitung der aufgenommenen Bilder. Durch die Wahl einer sehr kurzen Verschlusszeit (maximal $250\mu\text{s}$) lassen sich Störeinflüsse des Umgebungslichts minimieren. Da sich die Laserlinie in einem beschränkten Bereich in der Bildmitte befindet, wird die Anzahl der Zeilen in jeder Aufnahme auf weniger als 200 reduziert. Die kurze Verschlusszeit und die Zeilenreduktion führen zusammen zu einer weiteren Verbesserung der Verarbeitungszeit.

3. Algorithmus zur Markierungserkennung

Für die Erkennung wird der Handscanner in einer Richtung über die 3D-Markierung geführt. Dabei werden Graubilder der reflektierten Laserlinie aufgenommen (ca. 150 Bilder pro Sekunde, zurzeit insgesamt ca. 500 Bilder je Scan). Aus den Verformungen der einzelnen Laserlinien wird das Höhenprofil der 3D-Markierung berechnet. Hierzu werden aus den Graubildern (siehe Abbildung 2a) jeweils Binärbilder, bestehend aus schwarzen und weißen Pixeln, durch Anwenden eines Median- und eines Schwellwertfilters⁶ erzeugt (vgl. Abbildung 2b). Die exakten Laserlinienabbilder werden extrahiert und durch Rotation horizontal ausgerichtet (siehe Abbildung 2c). Durch Anwendung eines weiteren Schwellwertfilters werden die nebeneinander liegenden Pixel der Konturen der 3D-Markierung aus den Abschnitten der Laserlinienabbilder mit der stärksten Abweichung vom Mittelwert nach unten bestimmt (siehe Abbildung 2d). In Abbildung 2e sind die eindimensionalen Konturen zu einem zweidimensionalen Binärbild zusammengesetzt dargestellt.

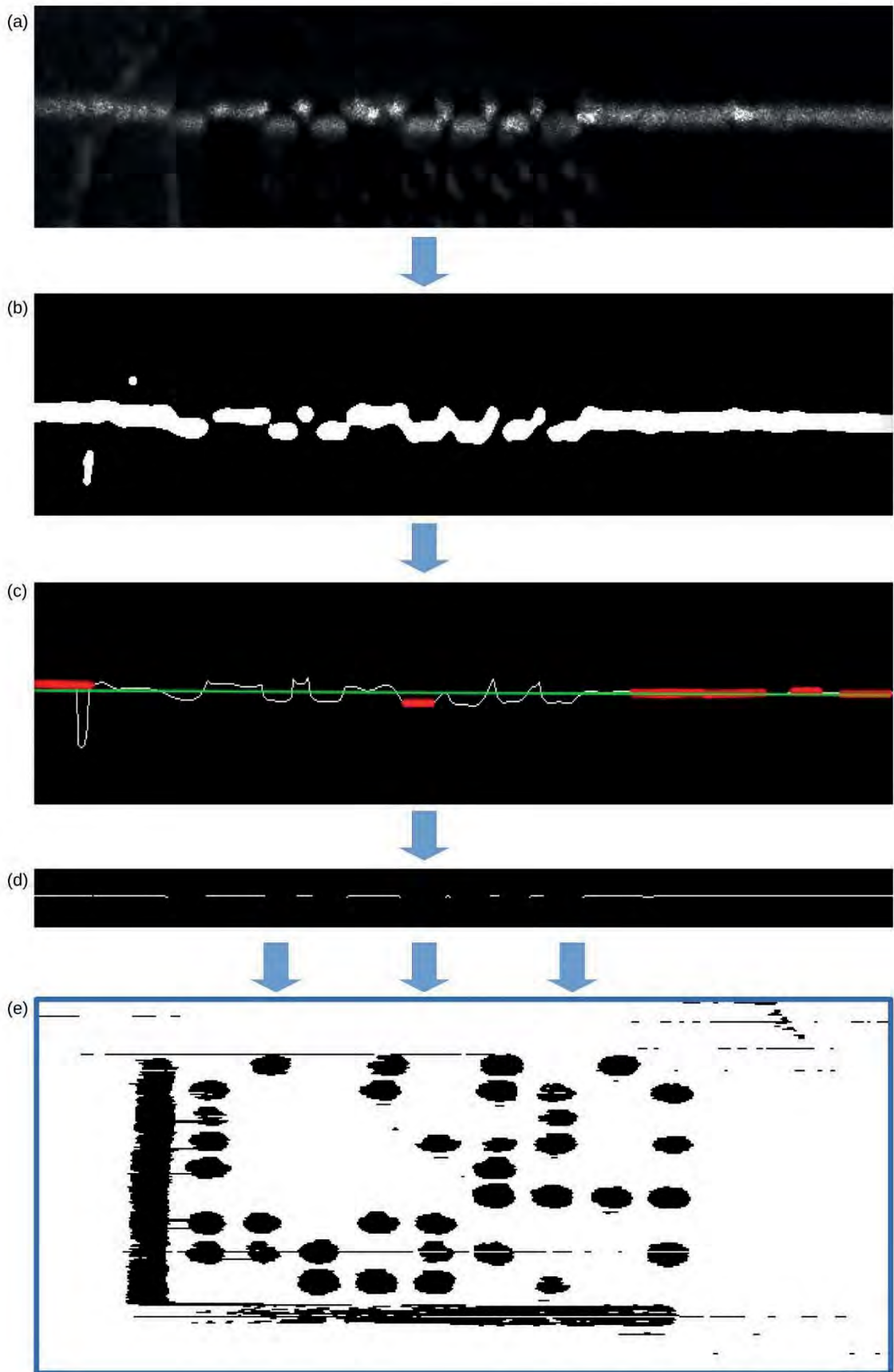


Abbildung 2: Höhenprofilbestimmung aus Laserlinienabbildungen. © Hochschule Harz

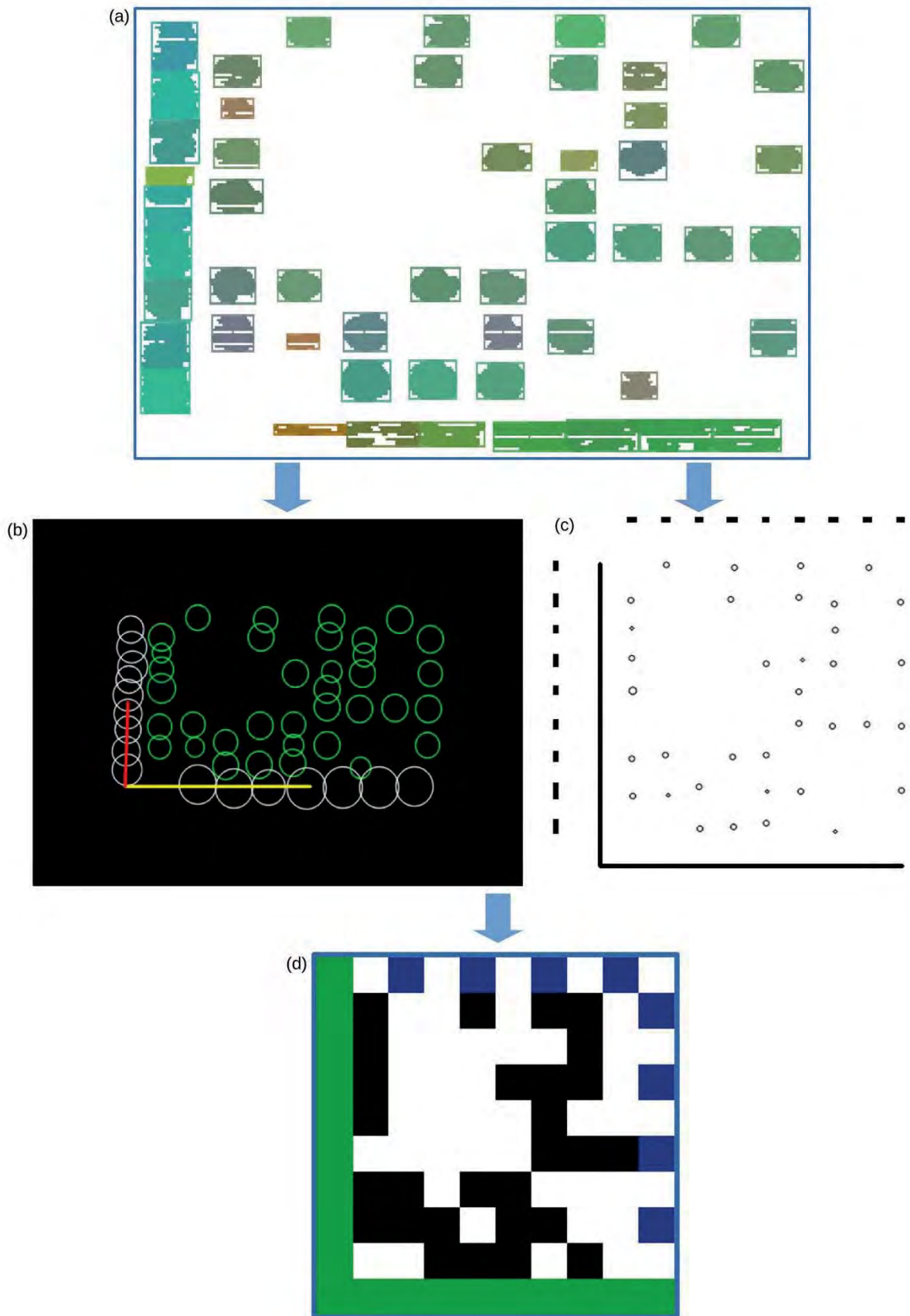


Abbildung 3: DataMatrix-Codebestimmung aus den gefilterten Clustern. © Hochschule Harz

Um aus den Konturen der 3D-Markierung den DataMatrix-Code zu berechnen, verwenden wir agglomeratives Clustering⁷ zur Bereinigung, Korrektur und Zusammenfassung der Konturen zu möglichen Elementen des DataMatrix-Codes (Zylinder und Ausrichtungsmuster L, in Abbildung 3d grün dargestellt). Die Pixel einer Kontur werden hierbei zu jeweils einem Cluster zusammengefasst. Danach wird die Anzahl der Cluster in 2 Stufen durch Zusammenführung und Filterung der Cluster reduziert.

1. In Stufe 1 werden jeweils zwei Cluster mit bestimmten Eigenschaften vereinigt (Single-Linkage Distanz < 3 Pixel, Dichte⁸ des resultierenden Clusters > 60 Prozent, Seitenverhältnis $> 0,001$). Im Anschluss werden alle Cluster entfernt mit minimaler Dichte < 60 Prozent, Seitenverhältnis $< 0,001$, Mindesthöhe < 3 Pixel, Mindestbreite < 3 Pixel oder Pixelanzahl < 5 .
2. In Stufe 2 werden wieder jeweils 2 Cluster vereinigt (Single-Linkage Distanz < 5 Pixel, Dichte des resultierenden Clusters > 60 Prozent, Seitenverhältnis $> 0,01$). Danach werden alle Cluster entfernt mit, minimaler Dichte < 60 Prozent, Seitenverhältnis $< 0,001$, Mindesthöhe < 4 Pixel, Mindestbreite < 4 Pixel oder Pixelanzahl < 8 .

Um die Clusteranzahl weiter zu reduzieren, werden in einem weiteren Schritt alle Cluster entfernt, deren Radius kleiner als 40 Prozent des Median-Radius aller Cluster ist. Cluster, deren umgebendes Rechteck deutlich größer als der Median ist, werden zerlegt, so dass alle Cluster in etwa die Größe des Medians haben. Danach werden analog zu kleine Cluster zusammengeführt.

Die resultierenden Cluster (siehe Abbildung 3a) dienen zur DataMatrix-Codebestimmung. Zunächst wird die Lage des L-Musters bestimmt. Hierzu werden alle Geraden durch alle Paare von Clusterzentren berechnet, parallele Geraden (Winkel kleiner 1°) mit einem Maximalabstand von einem Viertel des Radius der beteiligten Cluster werden zusammengefasst und mit Linearer Regression wird der Repräsentant für diese Linien berechnet. Falls der Winkel zwischen 2 Repräsentanten größer als 75° ist, sind sie potentielle Kandidaten für das L-Muster (vgl. Abbildung 3b).

Die Clusterzentren werden auf das neue Koordinatensystem, gebildet aus den Repräsentanten, projiziert und dadurch entzerrt und rotiert. In diesem neuen Koordinatensystem werden sich jetzt überlagernde Cluster vereint und danach die Frequenzzyylinder (in Abbildung 3d blau dargestellt) bestimmt und die einzelnen Zeilen und Spalten des DataMatrix-Codes anhand der Frequenzzyylinder zusammengefasst (vgl. Abbildung 3c). Damit können alle Zylinder des DataMatrix-Codes und somit die Datenmatrix bestimmt werden (vgl. Abbildung 3d).

Der gesamte Algorithmus wurde mit Hilfe der OpenCV-Softwarebibliothek für Computer Vision umgesetzt.⁹ Das entwickelte Verfahren ist invariant gegenüber Rotation, Translation und perspektivischer Verzerrung und somit robust für das mobile Scannen einsetzbar.

4. Ergebnisse und Fazit

Zu Beginn des Projekts wurde eine einfache Variante des Algorithmus entwickelt und testweise implementiert. Die Laufzeit betrug hier zunächst durchschnittlich 15 Minuten auf der Zielplattform. Danach wurden sukzessive Verbesserungen im Bereich der Bildverarbeitung und der Clusteranalyse vorgenommen. Der Algorithmus wurde schließlich so implementiert, dass eine Voranalyse der Graubilder bereits während des Scanvorgangs erfolgt. Die Clusteranalyse erlaubt eine parallele Verarbeitung auf den zwei Kernen des ARM-Prozessors. Durch diese Maßnahmen gelang es, die Laufzeit auf ca. 5 Sekunden zu reduzieren. Die angestrebte Laufzeit soll unter 3 Sekunden betragen, dies soll durch eine weitere Verlagerung der Analyse in den Scanvorgang realisiert werden.

Danksagung

Die dargestellten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) im Projekt *TriOptScan* gefördert (Förderkennzeichen 16KN045429). Wir danken auch unseren studentischen Kräften an der Hochschule Harz, Fachbereich Automatisierung und Informatik, insbesondere Janet Richter und Wolfgang Werner.

¹ Z. Ji, M. C. Leu: Design of optical triangulation devices. *Optics & Laser Technology*, 21(5):339-341, 1989.

² Bernhard Lenk: Handbuch der automatischen Identifikation. Band 2. 2D-Codes. Matrixcodes, Stapelcodes, Composite-Codes, Dotcodes. Monika Lenk Fachbuchverlag, 2002.

³ Richard Hartley, Andrew Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2. Auflage, 2004.

⁴ Falk Schmidberger and Frieder Stolzenburg. Semantic object recognition with segment faces. In Marco Ragni, Michael Raschke, Frieder Stolzenburg (Hgg.), *Proceedings of the KI 2013 Workshop on Visual and Spatial Cognition*, CEUR Workshop Proceedings 1055, S. 21–28, 2013.

⁵ Vision Components: VC OEM Smart Platinenkameras ARM / LINUX, 2017. URL: <https://www.vision-components.com/de/produkte/oem-embedded-vision-systeme/arm-linux/platinenkameras/>

⁶ Richard Szeliski: *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media, 2010.

⁷ Charu C. Aggarwal. *Data Mining – The Textbook*. Springer, 2015.

⁸ Pixeldichte bezogen auf das umgebende Rechteck (Boundingbox), vgl. Abbildung 3a.

⁹ Adrian Kaehler, Gary Bradski: *Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*. O'Reilly, 2017.

Detektion von Fremd-DNA mit der Inter-Nukleotid-Distanz

Patrick Klich, Matthias Homeister

TH Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien

patrick.klich@gmail.com, matthias.homeister@th-brandenburg.de

Abstract: Horizontaler Gentransfer (HGT) ermöglicht die Integration von Fremd-DNA in ein bestehendes Genom und spielt eine entscheidende Rolle bei der Evolution. In dieser Arbeit wird ein neuer Ansatz für die algorithmische Detektion von Fremd-DNA vorgestellt. Der Prototyp SINDI verwendet dazu die Inter-Nukleotid-Distanz.

1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurde die entscheidende Rolle des horizontalen Gentransfers (HGT) für die Evolution immer deutlicher. Lebewesen übernehmen nicht nur Erbinformationen von ihren Vorfahren (*vertikal*), sondern solche werden auch zwischen Lebewesen über Artgrenzen hinweg (*horizontal*) ausgetauscht. Meistens wird ein längerer DNA-Abschnitt mit einer ganzen Gruppe von Genen (*genomische Insel, GI*) übertragen. HGT erleichtert z. B. das Verständnis, wie Bakterienstämme rasch Resistenzen gegen Antibiotika entwickeln.

Zur Fremdgen-Detektion lassen sich signaturbasierte oder phylogenetische Methoden anwenden. Phylogenetische Methoden identifizieren Fremdgene durch Untersuchung der Stammesgeschichte eines Gens und eines Lebewesens mit phylogenetischen Bäumen. Tritt Inkongruenz auf, deutet dies auf HGT hin. Dieses Vorgehen gilt als Goldstandard zur HGT-Detektion, ist jedoch enorm rechenaufwändig. Daher stammt das Interesse an den deutlich schnelleren signaturbasierten Methoden. Solche beruhen meistens auf der Annahme, dass statistische Eigenschaften einen individuellen Fingerabdruck eines Genoms (Signatur) bilden. Beispielsweise kann die Oligomer-Zusammensetzung analysiert werden; dabei hat sich das Auszählen von Tetrameren, also die Bestimmung der relativen Häufigkeit von Ketten mit je vier Nukleotiden als erfolgreich erwiesen, s. etwa das Tool SIGI-CRF¹.

Vorhaben: Einige dieser Ansätze erweisen sich in der Praxis als erfolgreich, obwohl Informationen über den Aufbau der DNA verloren gehen. Hier wird ein neuer Ansatz vorgestellt und dessen Vorhersagequalität mit etablierten Methoden verglichen.

2. Inter-Nukleotid-Distanz

Eine DNA-Sequenz als Folge der Nukleotide Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin lässt sich als String $S = s_1 \dots s_n$ über dem Alphabet $\{A, C, G, T\}$ repräsentieren. Die *Inter-Nukleotid-Distanz (IND)* wandelt S in eine numerische Folge um, in der jede Zahl den Abstand eines Nukleotids zu seinem nächsten Vorkommen beschreibt. Eingeführt wurde die IND von Nair und Mahalakshmi², welche mittels der Fouriertransformation Promotoren identifizierten. In der

Folge beschreiben wir eine erweiterte Version, die zum Vergleich von DNA-Sequenzen und zur Erzeugung phylogenetischer Bäume verwendet wurde³.

Die Definition lässt sich am besten mit einem Beispiel erläutern. Aus der Sequenz $S = AACCGTCCGTTTAACCGTAACAGGTTT$ ermitteln wir vier numerische Folgen $d^\alpha, \alpha = A, C, G, T$:

$$d^A = (1,11,1,5,1,2,6), \quad d^C = (1,3,1,7,1,5,9), \quad d^G = (4,8,6,1,8), \quad d^T = (4,1,1,6,7,1,1,6)$$

Z. B. haben die Nukleotide $s_5, s_9, s_{17}, s_{23}, s_{24}$ Wert G (mit den Abständen $4, 8, 6, 1$). Verbinden wir Ende und Anfang von S zu einer zyklischen Folge, erhalten wir zum ersten Nukleotid G in S nochmals den Abstand 8 und so ergibt sich d^G . Wir bezeichnen diese vier Folgen als die *Einzel-IND-Sequenzen* von S . Speichern wir die Startpunkte jedes Nukleotids - im Bsp. oben $(1,3,5,6)$ - lässt sich aus diesen Einzel-IND-Sequenzen die ursprüngliche DNA-Sequenz S rekonstruieren.

Die vier IND-Folgen repräsentieren wie gesehen eine DNA-Sequenz vollständig. Zur Bildung einer Signatur von S werden die Häufigkeiten der einzelnen Abstandswerte in der IND von S ausgezählt. Für ein Nukleotid α bezeichnet q_k^α für $k = 1,2,3, \dots$ die Häufigkeit des Abstands k in der Folge d^α . Würde die DNA-Sequenz S durch eine Folge unabhängiger und gleichverteilter Zufallsvariablen erzeugt (d. h. mit festen Nukleotidwahrscheinlichkeiten p^A, p^C, p^G und p^T für jede Position), wären die vier Sequenzen d^α jeweils geometrisch verteilt³. Schätzen wir p^A, p^C, p^G und p^T durch die relative Häufigkeit des entsprechenden

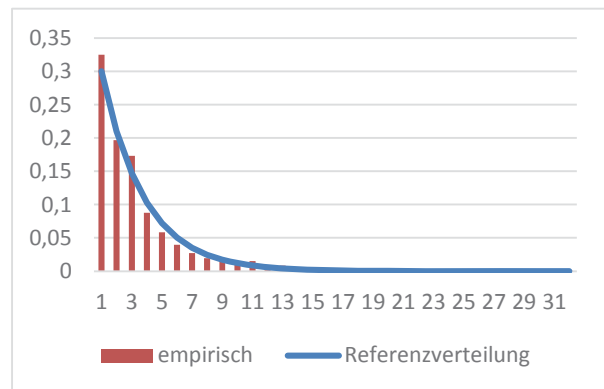


Abbildung 1 Empirische und Referenz-Verteilung Adenins von der mRNA NM_032427.1⁴

Nukleotids, bezeichnen wir die entstehende Verteilungsfunktion als *Referenzverteilung* (ein idealisiertes Modell).

Bezeichnet N^α die Anzahl des Nukleotids $\alpha \in \{A, C, G, T\}$, so ergeben die relativen Häufigkeiten $q^\alpha = q_k^\alpha / N^\alpha$ für $k = 1,2,3, \dots$ die *empirischen Verteilungen*.

Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 1 Empirische und Referenz-Verteilung Adenins von der mRNA NM_032427.1. Abbildung 1 am Beispiel der Sequenz mRNA NM_032427.1 die aus d^A stammende empirische Verteilung im Vergleich zur Referenzverteilung dieser Sequenz.

3. SINDI: Detektion von Fremdgenen mit der IND

Zur Fremdgen-Detektion verwendet SINDI das folgende Sliding-Window-Verfahren. Ein Fenster anfangs festzulegender Größe wird mit einer ebenfalls angebbaren Schrittweite über die DNA-Sequenz geschoben. Für jedes solche Fenster w wird die *IND-Signatur* Σ_w ermittelt (bestehend aus den relativen Häufigkeiten $q^\alpha = q_k^\alpha / N^\alpha$ der vier Einzel-IND-Sequenzen d^α) und mit der entsprechenden IND-Signatur Σ_s der zu untersuchenden Gesamtsequenz S verglichen.

Für den Vergleich wird der Abstand zweier IND-Sequenzen gemäß der Jensen-Shannon-Divergenz (JSD) verwendet. Der Vorteil gegenüber der Kullback-Leibler-Divergenz sind die Symmetrieeigenschaften. Nichtparametrische Teststatistiken (wie z. B. Kolmogorow-Smirnow) lassen angesichts der oft extremen Stichprobengröße die nötige Variabilität vermissen.

Zur Klassifikation eines Fensters werden zu Σ_s und Σ_w die vier JSD-Abstände der IND-Sequenzen ermittelt. Übersteigen davon mind. drei den anfangs jeweils pro $\alpha \in \{A, C, G, T\}$ ermittelten globalen Schwellenwert s_α , so wird das Fenster als Fremd-DNA-Bereich klassifiziert.

Die vier Schwellenwerte s_α werden zu Beginn mittels k-Means-Clustering ermittelt. Es soll charakterisiert werden, welche JSD-Abstandswerte für eine Eingabesequenz eher klein sind und welche auf eine Abweichung hindeuten. Dazu wird für jedes α die Menge der Abstände zwischen q^α der Gesamtsequenz und q^α des zu betrachtenden Fensters ermittelt und in drei Cluster eingeteilt, siehe Abbildung 2.

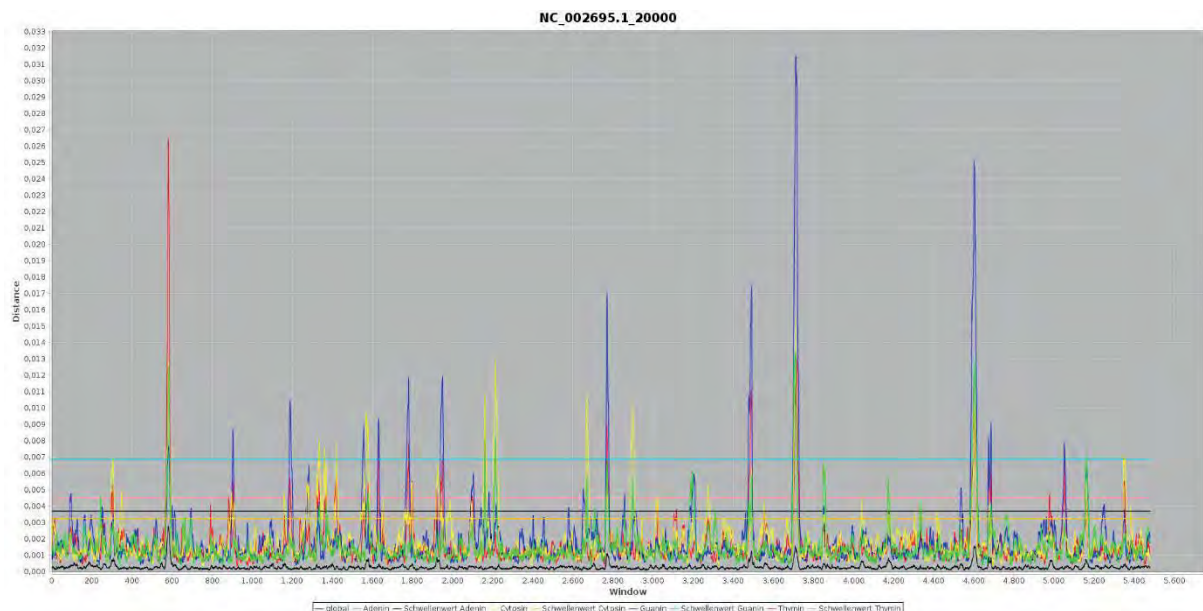


Abbildung 2 Abstände und Schwellenwerte für NC_002695 bei einer Fenstergröße von 20.000 bp und Schrittweite von 1.000 bp⁴

4. Ergebnisse

Die Leistungsfähigkeit unseres Verfahrens wurde an 118 prokaryotischen Genomen getestet, für die Fremd-DNA-Bereiche bekannt sind (Positivliste), ebenso wie Bereiche, die gesichert nicht aus einem HGT-Ereignis stammen (Negativliste)⁵. Nun wird für jede Position der Eingabesequenz, die in den besagten Listen klassifiziert ist, folgende Einordnung vorgenommen:

- TP (True Positive): Eine Position im positiven Dataset (sicher *fremd* gemäß Langille et. al.⁵) wird von SINDI als *fremd* vorhergesagt.
- FN (False Negative): Eine Position im positiven Dataset wird von SINDI als eigen vorhergesagt.

- TN (True Negative): Negativliste, von SINDI als eigen vorhergesagt.
- FP (False Positive): Positivliste, von SINDI als fremd vorhergesagt.

Befindet sich ein Nukleotid weder in der Positiv- noch in der Negativliste, wird es bei der Bewertung ignoriert.

Das Ergebnis dieses Tests für Fenstergröße 15.000 bp und Schrittweite 1.000 bp¹ ist in Tabelle 1 dargestellt. Obwohl SINDI noch der Prototyp einer gänzlich neuen Methode ist, wird ein ähnliches Qualitätsniveau erreicht, wie von einigen etablierten Tools. Der große Vorteil von SINDI ist seine Einfachheit und Effizienz. Zum Vergleich: SIGI-CRF¹ – das beste Vorhersagetool auf diesem Dataset – verwendet eine Referenz-DB mit Tetramer-Signaturen aller annotierten Prokaryoten und für jede Eingabe wird die Viterbi-Dekodierung eines Conditional Random Fields ermittelt. SINDI erreicht nicht dieselbe Vorhersagegüte, ist aber deutlich einfacher und schneller; SINDI sollte sich ideal zur Kombination mit anderen Methoden eignen. Dies erscheint u. a. deshalb vielversprechend, weil die IND-Signatur andere Aspekte einer DNA-Sequenz berücksichtigt, als die etablierten Methoden.

Vorhersage-Werkzeug	TP	FP	TN	FN	Präzision	Sensitivität	Genauigkeit
sigi_hmm	4079062	339506	50299060	8297313	92,3%	33%	86,3%
Centroid	3178445	1848659	48789907	9197930	63,2%	25,7%	82,5%
islandpath_dimob	4403127	727502	49911064	7973248	85,8%	35,6%	86,2%
pai_ida	3980570	1875155	48763411	8395805	68%	32,2%	83,7%
islandpath_dinuc	6600991	5445095	45193471	5775384	54,8%	53,3%	82,2%
alien_hunter	9530982	15558642	35079924	2845393	38%	77%	70,8%
sigi_crf	6330115	489611	50148885	6046260	92,8%	52,1%	89,8%
sindi	5373139	5095770	45542726	7003236	51,32%	43,41%	80,80%

Tabelle 1 Vorhersagewerkzeuge und Ergebnisse (Zeile 1-6⁵, Zeile 7¹)

5. Ausblick

Tuning des Sliding-Window-Vorgehens inkl. Schwellenwertvergleich und –ermittlung sollte helfen, die Präzision deutlich zu erhöhen. Es sind Tests unter Verwendung einer Datenbank mit den IND-Signaturen annotierter Genome geplant. Mit dieser würde die Signatur eines Abschnitts A der zu untersuchenden Sequenz S mit den Signaturen in der Datenbank verglichen. Starke Ähnlichkeit deutet darauf hin, dass A durch HGT in S gelangt sein könnte. Auch durch die Speicherung der Signaturen konservierter Bereiche müssten sich Fortschritte erzielen lassen.

¹ Die Fenster sollten mindestens 5.000 Basenpaare (bp) enthalten, eine Schrittweite <1.000 bp bietet keinen Vorteil.

Insbesondere sollte versucht werden, SINDI mit anderen signaturbasierten Vorhersagemethoden zu kombinieren, um deren Qualität zu verbessern.

¹ Stindt et. al.: SIGI-CRF: Genomic Island Prediction with Conditional Random Fields, to appear 2017.

² Nair et al.: Visualization of genomic data using inter-nucleotide distance signals, *IEEE Genomic Signal Processing*, 2005.

³ Afreixo et. al: Genome analysis with inter-nucleotide distances, *BIOINFORMATICS*, p. 3064–3070, 2009.

⁴ Klich, 2017

⁵ M. Langille et. al: Evaluation of genomic island predictors using a comparative genomics approach, *BMC Bioinformatics*, 29 03 2008.

Prognose des freien Willens – Machbarkeit und erste Ergebnisse

Vanessa Vogel, Ingo Boersch

Technische Hochschule Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien

vogelv@th-brandenburg.de, boersch@th-brandenburg.de

Abstract: Der freie Wille eines Menschen ist eine urbane Hypothese und Inhalt angeregter Forschungstätigkeit. Dabei steht die Frage im Mittelpunkt, ob ein freier Wille existiert oder der Mensch durch das Unterbewusstsein gesteuert ist. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Experiment aus dem Bereich Mensch-Roboter-Interaktion entworfen und vorbereitet, das klären soll, ob der Mensch beim Versuch bewusst zufällig zu handeln, doch unbewusst in ein Muster verfällt. Die Voruntersuchung klärt kritische Probleme und begründet die Zuversicht in die Determiniertheit anhand der Prognose einer Zeitreihe menschlicher Aktionen.

1. Einleitung

1.1 Motivation

Jeder Mensch besitzt einen freien Willen. Dies ist eine Annahme, die wohl die meisten Menschen unterstützen. Zwar lassen sich in sozialen Interaktionen ohne Weiteres sich wiederholende Muster erkennen, Eric Berneⁱ nannte sie „Spiele der Erwachsenen“, die aus rationalen und irrationalen Gründen von den Teilnehmern nach bestimmten Regeln vollzogen werden, aber auch Berne geht von der freien Entscheidung aus, mit denen die „Spieler“ das Spiel abrechnen können. Zwar beeinflussen genetische Faktoren und Lebensumstände offensichtlich unsere Entscheidungsoptionen und die tatsächliche Entscheidung - aber letztendlich entscheiden wir selbst. Oder nicht?

Hirnforscher fanden Hinweise, dass der freie Wille möglicherweise eine Illusion ist. Benjamin Libet zeigte, dass sich die Aktion eines Probanden schon aus der neuronalen Aktivität ableiten lässt, bevor ihm die Entscheidung in das Bewusstsein dringtⁱⁱ. Hirnforscher bekennen sich provokant zur Einbettung des Bewusstseins als naturwissenschaftliches Phänomenⁱⁱⁱ: „Geist und Bewusstsein - wie einzigartig sie von uns auch empfunden werden - fügen sich also in das Naturgeschehen ein und übersteigen es nicht.“ Da die Frage nach dem freien Willen in Zeiten automatisierter datenbasierter Entscheidungen, mit dem Ziel, Menschen zu profilieren, in ihren Aktionen vorherzusagen und mit Nudges zu beeinflussen^{iv}, eine neue Relevanz erhält, entwerfen wir ein Experiment zur Untersuchung und Demonstration. Die Frage, ob ein freier Wille existiert, kann und soll im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird lediglich ein Teilbereich untersucht: Verfällt der Mensch in Muster, wenn er frei von Zwängen versucht, bewusst zufällig zu handeln? Diese Arbeit stellt das geplante Experiment und die Untersuchung zur Machbarkeit vor.

1.2 Das Experiment

In einer stark vereinfachten Entscheidungssituation hat der Proband zwei Möglichkeiten: den linken oder den rechten Arm zu heben. Die Entscheidung ist ihm überlassen, er bekommt die „freie Wahl“. Dabei wird ein möglichst zufälliges Heben motiviert. Der Proband steht frontal zu einem Auditorium (bspw. im Vorlesungssaal), hinter ihm außerhalb seines Blickfeldes befindet sich ein humanoider Roboter, der den Probanden beobachtet. Die Motivation zur Zufälligkeit wird gesteigert, in dem der Roboter ebenfalls den Arm hebt. Allerdings hebt der Roboter den Arm, bevor der Mensch den Arm hebt und zwar genau den Arm, den der Mensch heben wird. Für das Auditorium ist damit die Prognoseleistung des Roboters sichtbar und stellt ein unmittelbares Feedback zur Zufälligkeit im Handeln des Probanden dar. Der Versuch erfasst systematisch die Prognostizierbarkeit des zwangsbefreiten menschlichen Handelns. Wir erwarten, dass der Roboter nach kurzer Trainingszeit den nächsten zu hebenden Arm überwiegend korrekt vorhersagen kann und das Szenario damit gleichzeitig als Demonstration im Kontext von Ethikdiskussionen in der Lehre zu KI und Data Mining eingesetzt werden kann.

Kritische Probleme, die die Umsetzung gefährden können, sind zum einen die Robotik-Komponente, mit Aktorik und insbesondere der Bildverarbeitung bei unruhigem Hintergrund, als auch das Prognosemodul. Die Bildverarbeitung und Aktorik wurden im Vorgängerprojekt^v prototypisch gelöst und lassen keine größeren Probleme erwarten. Im Folgenden wird die Untersuchung zur Realisierbarkeit des Prognosemoduls näher beschrieben.

1.3 Abgrenzung

Es ist nicht Teil dieser Arbeit, dieses Projekt vollständig durchzuführen. Es soll lediglich die Lösbarkeit kritischer Probleme geprüft werden. Die Prognose binärer Aktionen eines Menschen anhand von Zeitreihen soll anhand eines Lernalgorithmus umgesetzt werden. Kann dies in einem Beispielszenario mit zufälligen vom Menschen erzeugten Daten mit hinreichender Güte demonstriert werden, so kann von der Machbarkeit dieses Teilaspektes ausgegangen werden.

2. Methode

Wir folgen hierbei pragmatisch dem Workflow eines Data-Mining-Prozesses^{vi}. Dazu müssen eine Reihe von Daten gesammelt werden, die für das Training des Prognosemodells und die Evaluierung der Prognosegüte verwendet werden können. Die Daten werden vorverarbeitet und für einen zu wählenden Lernalgorithmus kodiert. Das Lernverfahren wird hinsichtlich seiner Güte auf Trainingsdaten evaluiert und in den Parametern optimiert. Zur Schätzung der später zu erwartenden Prognosegüte erfolgt eine Modellerstellung mit allen Trainingsdaten und die Evaluierung dieses Modells auf bisher ungenutzten Testdaten. Die Schritte werden im Folgenden erläutert und in der folgenden Abbildung dargestellt.

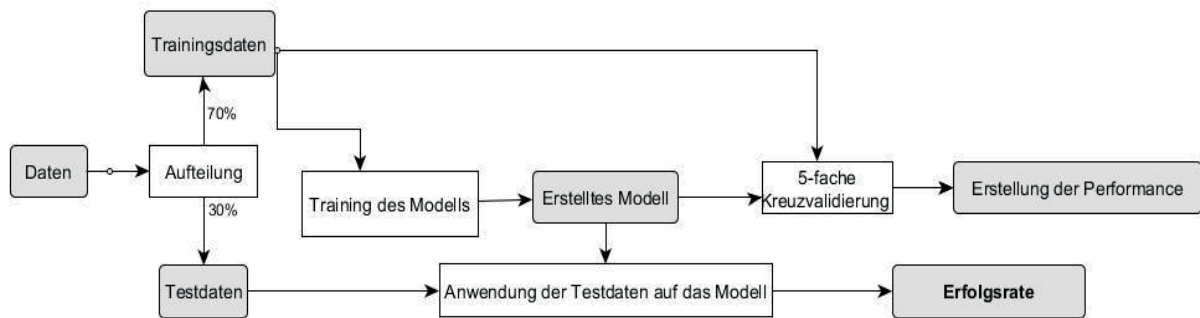


Abbildung 1: Data-Mining-Prozess des Experimentes

2.1 Datenauswahl

Als eine Datenmenge, die einen ähnlichen Zusammenhang wie beim späteren Armheben repräsentiert, wurde in einfacher Weise eine Folge zufälliger binärer Aktionen mit Mausklicks erzeugt. Dieses Vorgehen beruht auf einer Idee von Michael Feindt zur Demonstration^{vii} von NeuroBayes. Es wurde eine Wertereihe mit 624 Ereignissen aufgezeichnet, binär kodiert (1 für den linken Arm und die 0 für den rechten Arm) und als CSV-Datei gespeichert. Eine kurze explorative Analyse zeigt ein ungefähres Gleichgewicht beider Klassen in der Datenmenge.

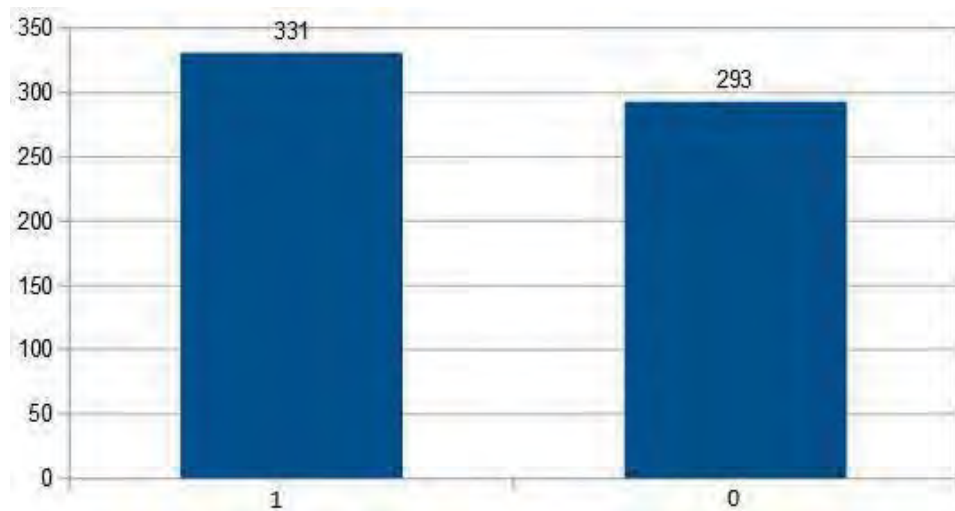


Abbildung 2: Relative Häufigkeiten der Klassen stimmen annähernd überein

2.2 Lernalgorithmus

Es existieren zahlreiche Lernverfahren für die Prognose von Zeitreihen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde für das Training der Datensätze der Armbewegungen die Support Vector Machine (SVM) gewählt. Bei der SVM handelt es sich um einen überwacht lernenden Klassifikator, der sowohl für lineare, als auch für nicht lineare Probleme in hochdimensionalen Merkmalsräumen eingesetzt werden kann. Bei einfachen Klassifikationsproblemen genügt eine lineare SVM, die die Klassen durch eine Hyperebene mit optimiertem Abstand zu den

Stützvektoren trennt. Es wird daher für die Machbarkeitsanalyse eine SVM mit linearem Kernel verwendet. Um das Modell der SVM zu trainieren wurden die Default-Parameter des Linearen Kernel verwendet.

2.3 Durchführung

Die Modellierung wurde in Python mit der Bibliothek Scikit-learn^{viii} umgesetzt. Bei Scikit-learn handelt es sich um eine Python-Bibliothek, die diverse Methoden für die Implementierung von maschinellen Lernverfahren beinhaltet, unter anderen auch für SVMs.

Um das Modell zu trainieren, wird zunächst die CSV-Datei eingelesen und in Trainings- und Testdaten geteilt. Dabei entsprechen zwei Drittel der Daten der Trainingsmenge und ein Drittel der Testmenge. Die Zeitreihe wurde mit Hilfe eines bewegenden Zeitfensters in Datensätze aufgeteilt. In dieser Arbeit wurde die Fenstergröße 25 verwendet, da diese bei der Parameteroptimierung auf den Trainingsdaten die beste Prognosegüte erzielte. Aus 25 aufeinanderfolgenden Zeichen einer Aktionsfolge wird somit die 26. Aktion vorhergesagt.

3. Ergebnisse und Fazit

Die SVM erreichte in einer 5-fachen Kreuzvalidierung auf den Trainingsdaten eine mittlere Erfolgsrate von 72%. Auf den Testdaten wurden abschließend 76% Erfolgsrate gemessen. Der Wert liegt deutlich über dem Wert des Default-Lerners, der stets die häufigste Klasse prognostiziert. Anhand des Ergebnisses sind wir zuversichtlich, die Aktionen eines Menschen, die er möglichst zufällig zu wählen versucht, aus der Beobachtung seiner bisherigen Aktionsfolge mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig vorherzusagen zu können.

4. Ausblick

Der Umfang einer Aktionshistorie von 25 Schritten ist für das Experiment zu lang, nächste Untersuchungen werden sich somit auf die Verkürzung des Beobachtungszeitraumes bei akzeptabler Prognosegüte konzentrieren. Ebenfalls soll das Erkennen periodischer Muster mit kurzer Periode getestet werden.

Die Realisierung des Experiments soll im Rahmen einer Masterarbeit erfolgen, in dem ein humanoider Roboter einen Menschen beobachtet und mit Hilfe eines trainierten Modells auf der Grundlage selbst gesammelter Zeitreihen eine Prognose erstellt. Wir sind gespannt auf die Reaktionen, wenn der Roboter der menschlichen Aktion ein Schritt voraus ist.

Literaturverzeichnis

ⁱ Berne, E. (2008). Spiele der Erwachsenen. Psychologie der menschlichen Beziehungen. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg

ⁱⁱ Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., and Pearl, D. K. (1983). Time of conscious

intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain* 106, 623–642.

ⁱⁱⁱ Das Manifest. Elf führende Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung. In: *Gehirn und Geist* 6/2004, S. 30-37, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg

^{iv} Thaler, R., and Sunstein C. (2008). *Nudge: improving decisions about health, wealth, and happiness*. New Haven: Yale University Press

^v Vogel V. (2016) Gestenerkennung anhand von Bildverarbeitung durch den humanoiden Roboter NAO, Ausarbeitung zum Masterprojekt, THB.

^{vi} Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Mag* 17(3):37–54

^{vii} Phi-T GmbH. Das unglaubliche Phi-T Maus-Spiel, <http://www.phi-t.de/mousegame/>, online 05.01.2017

^{viii} Pedregosa et al. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python, *JMLR* 12, pp. 2825-2830

Datenkommunikation mittels wireless M-Bus im Local Metrological Network am Smart Meter Gateway

Matthias Werner

Hochschule Merseburg, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

matthias_werner@gmx.net

Abstract

Die Energiewende erfordert die Einführung intelligenter Messsysteme. Daten sollen hierbei auch per Funk übertragen werden. Die Umsetzbarkeit der verbindlich vorgegebenen Kommunikationsprotokolle konnte nach detaillierter Analyse und prototypischer Reproduktion in Form einer Referenzimplementierung bewiesen werden. Durch eine Marktrecherche ermittelte kommerzielle Funkzähler wurden auf Konformität mit den Vorgaben getestet; auftretende Abweichungen erfordern ein Nachbessern der Zählerhersteller.

1. Einleitung

Der politische Kurs in Deutschland steuert seit Jahren auf einen Wandel in der Energieerzeugung zu. Damit einher geht auch die Notwendigkeit, die Energieinfrastruktur anzupassen. Neben einem Ausbau der Verteilnetze wird eine flexible Steuer- und Regelbarkeit sowohl bei der dezentralen Erzeugung als auch beim Verbrauch von Energie gefordert. Die hierzu vorgeschlagenen Technologien sind nur durch eine konsequent sichere digitale Vernetzung realisierbar. Die politischen Hürden zur Digitalisierung der Energiewende wurden im Laufe des Jahres 2016 überwunden. Doch sind die Hersteller von Smart-Metering-Systemen wirklich bereit für den bevorstehenden Rollout intelligenter Messsysteme?

Ein Forscherteam unter der Leitung von Prof. Dr. Uwe Heuert an der Hochschule Merseburg beschäftigt sich seit einigen Jahren mit diesem Thema. Ein bisher kaum beachteter Aspekt ist hierbei die Datenübertragung von Energiezählern mittels Funk. Die zugrunde liegende Masterarbeit beschäftigt sich daher ganz gezielt mit der drahtlosen Datenkommunikation im metrologischen Teil des wichtigsten Elementes der neuen digitalen Infrastruktur – dem Smart Meter Gateway¹. Auf Basis bestehender Normen wurde eine Referenzimplementierung erstellt und mit ihrer Hilfe bereits am Markt verfügbare Energiezähler auf Konformität mit diesen Kommunikationsprotokollen getestet.

2. Theoretische Vorgaben

Die Technische Richtlinie TR-03109² des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (kurz: BSI TR) spezifiziert, welche Normen und Standards einzuhalten sind. Diese Vorgaben sollen Datenschutz, Datensicherheit sowie Interoperabilität der

eingesetzten Geräte im *Local Metrological Network* (LMN), also der metrologischen Domäne der neuen Infrastruktur, gewährleisten. Da die Richtlinie in einem langwierigen Prozess entstand, verweist sie teilweise noch auf Entwurfspläne. In dieser Situation ist es essentiell, die aktuellen, konkreten und tatsächlich im Sinne des BSI anzuwendenden Spezifikationen der drahtlosen LMN-Schnittstelle herauszustellen.

2.1 EN 13757

Grundlage des *wireless Meter-Bus* (kurz: wM-Bus) ist die Europäische Normenreihe EN 13757³, insbesondere die Teile 3 und 4 in den aktuellen Fassungen. Die Bestimmungen in EN 13757-4 decken die ersten beiden Stufen des OSI-Schichtenmodells ab: Bitübertragung und Verbindungssicherung. Es werden eine Vielzahl von Betriebsarten definiert, von denen die derzeitige BSI TR jedoch nur die Varianten *S* und *T* referenziert. Das sogenannte synchrone Übertragungsschema regelt den zeitlich vorhersagbaren Versand periodischer Telegramme.

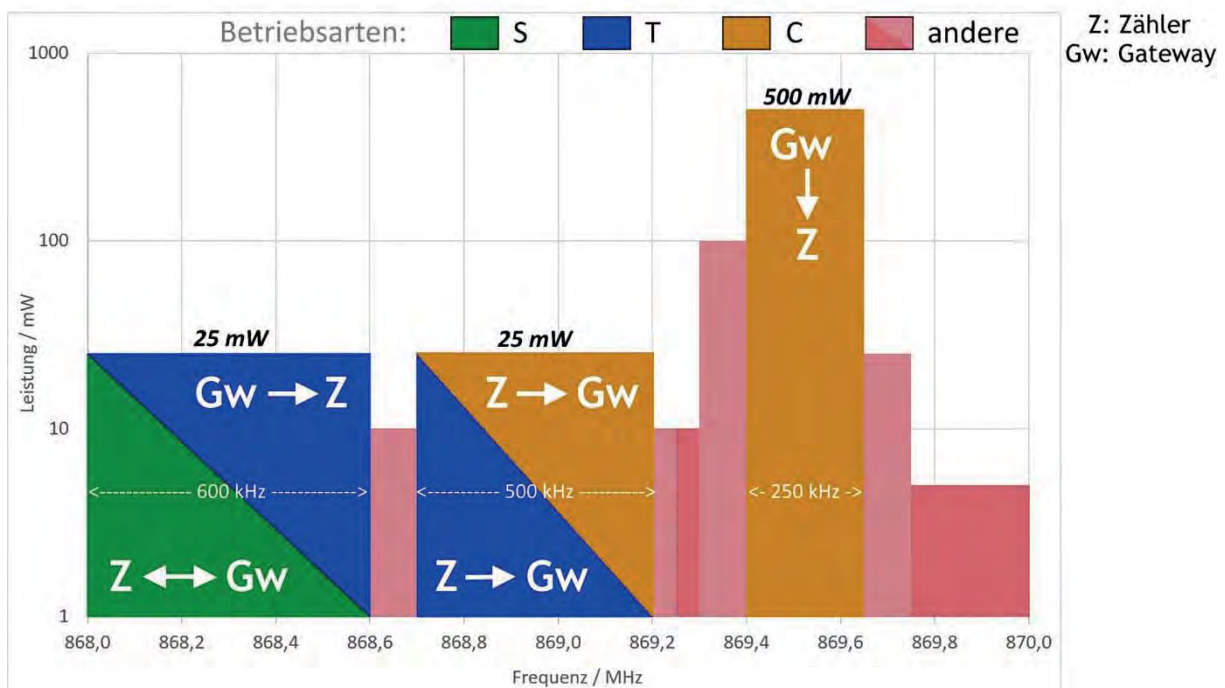


Abb. 1: Bandnutzung und zulässige Sendeleistung für wireless M-Bus nach EN 13757-4

Die Norm EN 13757-3 enthält Definitionen zur Umsetzung der OSI-Schichten 4 (Transport) und 7 (Anwendung). Andere Ebenen des OSI-Modells sind für wM-Bus nicht definiert. Die Transportschicht deklariert einerseits das benutzte Anwendungsprotokoll, also *wie* die Nutzdaten im letzten Teil des Telegramms „verpackt“ werden. Andererseits legt sie das angewendete kryptografische Verfahren fest.

2.2 OMS-Spezifikation

Entscheidend für das Erreichen der angedachten Datensicherheit ist die richtige Interpretation der sogenannten OMS-Spezifikation⁴ der vierten Generation. OMS steht für *Open Metering System* und stellt eine herstellerübergreifende und offen zugängliche Kommunikationsarchitektur zur Messwerterfassung in allen Energiesparten dar.

Die OMS-Spezifikation klärt, welche Definitionen aus EN 13757 gültig sind und führt sie näher aus. Zusätzlich wird eine Authentifizierungs- und Fragmentierungsschicht direkt unterhalb der Transportschicht eingeführt. Sie ermöglicht den Schutz der darüber liegenden Schichten durch den Einsatz des CMAC-Verfahrens zur Nachrichtenauthentifizierung und die Aufteilung langer Nachrichten in mehrere Telegramme. Außerdem werden moderne Verschlüsselungsverfahren verfügbar: für die unidirektionale Übertragung wird das symmetrische Verfahren AES-CBC mit Schlüsselableitung verwendet. Für bidirektionale Zähler ist das hybride TLS-Protokoll einsetzbar.

Jedes Gerät mit LMN-Funkschnittstelle ist mit einer klaren Kennzeichnung des eingesetzten Sicherheitsprofils zu versehen.

Das von der BSI TR vorgesehene M-Bus-Datenprotokoll ist sehr kompakt, erlaubt aber eine Vielzahl von Möglichkeiten, ein und denselben Messwert darzustellen. Dies widerstrebt dem Anspruch auf Interoperabilität zwischen den Geräten eines intelligenten Messsystems. Daher beschreibt die OMS-Spezifikation eine Harmonisierung der sogenannten Datenpunkte. Somit kann bei Einhaltung der Form jeder Anwendungsdatensatz einer korrespondierenden OBIS-Kennzahl⁵ zugeordnet werden, dies führt schließlich zur Interoperabilität bei Zählern und Gateways. Ein offizielles Zertifizierungsverfahren ist derzeit noch nicht verfügbar.

3. Ergebnisse

3.1 Referenzimplementierung

Im praktischen Teil der Untersuchung wurde eine Referenzimplementierung erstellt, die alle zuvor dargelegten Anforderungen in Form einer Software verwirklicht. Diese ist in der objektorientierten Sprache C# geschrieben und funktioniert als Parser für wM-Bus-Telegramme. Das Programm implementiert sämtliche Protokollschichten lückenlos und realisiert Empfang, Analyse, Darstellung und Bewertung unidirektionaler Funktelegramme.

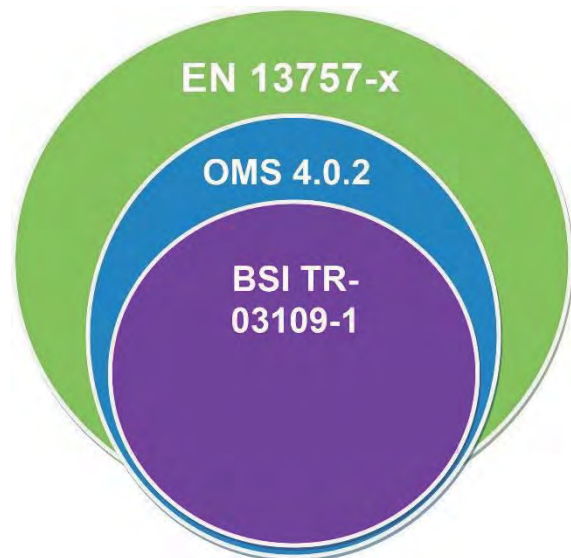


Abb. 2: Feinspezifikation der wireless M-Bus-Normen durch OMS und BSI

4. Ausblick

Eine Untersuchung der Umsetzbarkeit bidirektionaler drahtloser LMN-Kommunikation steht noch aus. Der Einsatz von TLS erfordert hohe Rechenleistung und damit deutlich potentere Mikrocontroller als derzeit in Funkzählern üblich. In vielen Energiesparten widerspricht dies jedoch dem Konzept batteriebetriebener Funkzähler, da leistungsfähige Prozessoren auch einen deutlich höheren Energieverbrauch mit sich bringen.

Das größte Hindernis für TLS über wM-Bus besteht nach Ansicht des Autors jedoch in den erlaubten Einschalt Dauern im benutzten Frequenzband. Wireless M-Bus ist ursprünglich nicht für die Übermittlung größerer Datenmengen konzipiert worden. Das Kontingent an erlaubter Sendezeit von Zählern und Gateways wird beim Einsatz von TLS stark belastet. Eine mögliche Abhilfe könnte die Erweiterung der BSI-spezifizierten Betriebsarten um den Funkmodus C darstellen.

Abschließend lässt sich klar urteilen, dass die Zählerhersteller zügig handeln müssen, damit BSI-konforme Funkzähltechnik in ausreichender Vielfalt für den Smart-Meter-Rollout verfügbar wird. Die angestrebte Interoperabilität der Geräte kann nur erreicht werden, wenn geeignete Prüfmittel zur Zertifizierung bereitgestellt werden. Die Resultate der dargelegten Untersuchung könnten zielgerichtet zur Entwicklung eines solchen Testsystems eingesetzt werden.

Referenzen und Erläuterungen

¹ Kommunikationseinheit, die elektronische Zähler zum intelligenten Messsystem aufwertet

² Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Technische Richtlinie BSI TR-03109-1, V. 1.0, 2013

³ DIN EN 13757-3/-4:2013: Kommunikationssysteme für Zähler und deren Fernablesung

⁴ OMS-Group: OMS Specification Volume 2 Primary Communication, Issue 4.0.2, 2014

⁵ dienen zur internationalen Identifikation von Messwerten beim elektronischen Datenaustausch

Tiefe Lernarchitekturen für die Mikroschlaferkennung im EEG

Martin Lachmann, David Sommer, Martin Weber, Martin Golz
Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik
m.golz@hs-sm.de

Abstract: Autoencoder-Netze werden hinsichtlich ihrer Eignung untersucht, an Biosignalen eine nichtlineare Dimensionsreduktion vorzunehmen. Als Bewertung dient die mittlere Klassifikationsgenauigkeit der Lernenden Vektorquantisierung und der Stützvektormethode. Dies wird verglichen mit der Bandmittelung, die in der EEG-Analyse meist zur Dimensionsreduktion eingesetzt wird. Erste Ergebnisse an einem Datensatz mit relativ kleinem Stichprobenumfang zeigen nur geringfügige Verbesserungen durch die Autoencoder.

1. Einleitung

Tiefe Lernarchitekturen (deep learning) entwickeln sich seit mehr als einer Dekade zu einer wichtigen Säule der Neuroinformatik. Sie bewähren sich vor allem bei Massendaten (big data), die zu umfangreich, zu komplex verteilt, zu schnelllebig und oftmals zu schwach strukturiert sind, um sie in semiautomatischen Prozessketten zu verarbeiten. Bisher konnten bahnbrechende Erfolge u.a. in der Objekt- und Szenenerkennung, Spracherkennung, -übersetzung und Genomik erzielt werden. Ein wichtiger Vorteil liegt im Verzicht auf Zielvariablen, so dass unüberwacht gelernt werden kann. Zudem werden Prozessstufen wie bspw. Vorverarbeitung, Datenfusion, Merkmalsextraktion und -reduktion nicht zwingend benötigt. Nachteilig sind ihre sehr hohen, numerischen Ressourcenanforderungen. Mittlerweile werden jedoch leistungsfähige, moduloffene Softwaresysteme für verteiltes und eingebettetes Rechnen kostenlos bereitgestellt. Mit einer typischen Architektur, dem tiefen Auto-Kodierer, wurde demonstriert¹, dass dessen Ausgangsvariablen sehr gut als Eingangsvektoren von Klassifikatoren vom Typ Stützvektormethode (SVM) geeignet sind und hohe Klassifikationsgenauigkeiten erzielbar sind. Dies soll hier in ähnlicher Weise am Beispiel von Biosignalaufzeichnungen erfolgen.

Dazu vergleichen wir die von tiefen Auto-Kodierern erzeugten Merkmalsvektoren mit zwei weiteren, in der Biosignalverarbeitung verbreiteten Erzeugungsvarianten: 1. das logarithmische Leistungsdichtespektrum und 2. dessen Vereinfachung durch Bandmittelung. Im Anwendungsgebiet der EEG-Analyse für die Erkennung von Mikroschlafereignissen (MSE) während monotoner Fahraufgaben sollen die Methoden miteinander empirisch verglichen werden. Da die MSE-Detektion im EEG bereits mit hohen Genauigkeiten demonstriert werden konnte², soll der schwierigere Fall der Prognose unmittelbar bevorstehender MSE hinzugezogen werden. Die Fragestellung lässt sich somit wie folgt zusammenfassen. Gelingt es, mit tiefen Auto-Kodierern Merkmalsvektoren für SVM-Klassifikatoren zu erzeugen, so dass mit hoher Genauigkeit eine MSE-Prognose ermöglicht wird. Wenn dies gelingt, könnte man in Zukunft auf zeitaufwendige und zudem semiautomatisch durchzuführende Optimierungen der Bandmittelung verzichten. Sowohl für die neurophysiologische Forschung als auch für Anwendungen wäre es

ein Fortschritt, wenn aus dem EEG von Fahrern heraus, eine zuverlässigere Prognose unmittelbar einsetzender, zerebraler „Abschaltprozesse“ möglich wäre.

2. Material und Methoden

2.1. Laborstudie

Die zu analysierenden EEG-Daten entstammen aus einer im Zeitraum Februar bis Mai 2007 im Fahrsimulationslabor der Hochschule Schmalkalden durchgeführten Studie, die im Auftrag des Baumaschinenherstellers Caterpillar, Troy IL, USA, erfolgte. In zwei Untersuchungs Nächten wurden von 16 Probanden (4 ♀, 12 ♂, Alter: $24,4 \pm 3,1$ Jahre) unter anderem das 8kanalige EEG mit den Elektrodenpositionen FP1, FP2, C3, C4, O1, O2, A1, A2 in acht 40minütigen Fahrtsitzungen im Zeitraum von 22:30 bis 8:30 Uhr aufgezeichnet³. Anhand von Videoaufzeichnungen der Augenregion konnten die Eintrittszeitpunkte und Längen von Mikroschlafepisoden (MSE) bestimmt werden. Da mit einer Wachzeit (time since sleep) von mindestens 14 Stunden die Fahrtsitzungen absolviert wurden, hohe Monotonie herrschte und während der üblichen Schlafzeit die fortwährenden Aufmerksamkeitsanforderungen bestanden, hatten alle Probanden eine Vielzahl an kurzen Einbrüchen in ihrer Wachheit, die sogenannten MSE. Sie wurden stets anhand von im Video beobachtbaren Verhaltensmerkmalen festgelegt, vor allem verlängerte Lidschlüsse und langsame, schweifende Augenbewegungen.

2.2. Signalsegmentierung und Merkmalsextraktion

Die EEG-Signalsegmente wurden einheitlich mit einer Länge von 4 s ausgeschnitten, sodass sowohl die Prognose von bevorstehenden MSE als auch deren Detektion untersucht werden kann. Bei der Prognose liegt das Segment vollständig vor dem Eintritt des MSE, so dass nur Informationen aus dem Vorfeld vorliegen; konkret wurde von 4 s bis 0 s vor dem MSE segmentiert. Bei der Detektion wurde von 1 s vor bis 3 s nach dem MSE-Eintrittszeitpunkt segmentiert. Die Segmentierungsparameter wurden empirisch optimiert. Aus Platzgründen wird dies hier nicht vorgestellt.

Bedingt durch die Segmentlänge $T = 4$ s und die Abtastrate $f_s = 256$ Hz ergeben sich 1.024 Stützstellen pro Segment und Kanal. Da bei der PSD-Berechnung das Phasenspektrum ignoriert wird, liegen 512 PSD-Werte bei den diskreten Frequenzen $f_k = 0; 0,25; 0,50; \dots; 128$ Hz ($k = 1; \dots; 512$) vor. Die nach logarithmischer Skalierung erhaltenen 512 LogPSD-Werte bilden für alle 8 EEG-Kanäle den Merkmalsvektor (Typ A) mit 4.096 Komponenten. Durch Bandmittelung werden für benachbarte Frequenzen mittlere LogPSD-Werte berechnet. Bspw. werden bei 2 Hz breiten Frequenzbändern 8 benachbarte LogPSD-Werte gemittelt und damit die Anzahl der Merkmale auf 1/8 reduziert, also 64 pro Kanal, und führt zu Merkmalsvektoren mit 512 Komponenten (Typ B). Werden alle 4.096 Merkmale des Typs A als Eingangsvektor des Tiefen-Auto-Kodierer-Netzwerks verwendet und dann auf eine festgelegte Anzahl, bspw. 20 oder 50, reduziert (Kap. 2.3), erhält man Merkmalsvektoren mit 20 bzw. 50 Komponenten (Typ C).

2.3 Autoen-Kodierer-Vielschichtsystem

In einem neuronalen Vielschichtsystem erzeugen die Neuronen der 1. Schicht nichtlineare Repräsentationen des Eingangsvektors (Abb. 1). In der 2. Schicht erzeugen sie nichtlineare Repräsentationen der Repräsentationen der 1. Schicht und liegen somit auf einer höheren Abstraktionsstufe. Beim Autoencoder-Vielschichtsystem sind zwei Aspekte charakteristisch. Zum einen befindet sich mittig eine Schicht, die sogenannte Kodierungsschicht, die deutlich weniger Neuronen als die Vorgängerschichten hat. Zum anderen folgen jenseits der Mitte spiegelsymmetrisch Schichten mit gleicher Neuronenanzahl und Gewichtsmatrix. Die letzte Neuronenschicht hat somit die gleiche Neuronenanzahl wie die Anzahl der Eingangsknoten, die gleich der Dimensionalität des Eingangsvektors ist. Im Verlaufe des Trainings wird versucht, den Ausgangsvektor \hat{x}_i als Approximation des Eingangsvektors x_i zu erzeugen. Über den gesamten Stichprobenumfang N wird mit sehr hohem numerischen Trainingsaufwand das Minimum des mittleren, quadratischen Approximationsfehlers (MSE, mean squared error) $E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2$ gesucht.

Am Ende des Trainingsprozesses kann die Kodierungsschicht dimensionsreduzierte Abbildungsvektoren g_i der Eingangsvektoren x_i erzeugen, die im Wesentlichen die zur Rekonstruktion der Eingangsvektoren erforderlichen Ausprägungen enthalten. Somit ist mehr oder weniger gut, je nach Höhe des MSE, eine nichtlineare Dimensionsreduktion erfolgt. Die Abbildungsvektoren können als Eingangsvektoren für einen Klassifikator dienen. Das Prinzip verdeutlicht ein Lehrbeispiel einer 4-3-4-2-Architektur (Abb. 1).

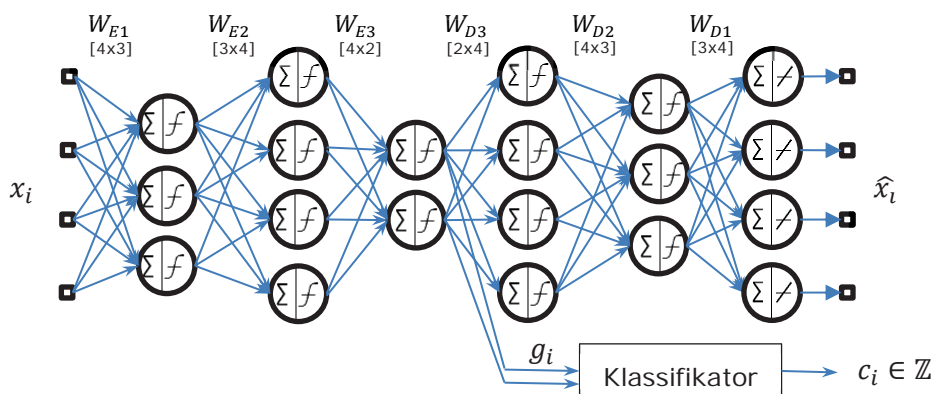


Abbildung 1: Autoencoder-Vielschichtsystem mit 4-3-4-2-Architektur zur Erzeugung von Abbildungsvektoren g_i und einem Klassifikator zur Erzeugung der Klassennummer c_i .

Das Training neuronaler Vielschichtsysteme stellt hohe Herausforderungen sowohl an die verwendete Algorithmik als auch an die Rechenleistung und den Arbeitsspeicherumfang. Aus Platzgründen soll das Vorgehen nicht näher vorgestellt werden, sondern nur mit einigen Stichwörtern umrissen werden. Das Training erfolgte schichtweise mit den Paradigmen „restricted Boltzmann machine“ (RBM)⁴ und „enhanced gradient“⁵, um im Vergleich zu alternativen Lernverfahren mit erheblich höherer Konvergenzgeschwindigkeit und zuverlässiger das MSE-Minimum zu erreichen. Zuerst werden die Gewichtsmatrizen W_{D1} , W_{E1} und die Neuronen-

schwellewerte der 1. Schicht durch RBM-Training optimiert, wobei $W_{E1} = W_{D1}^T$ gilt, danach W_{D2} , $W_{E2} = W_{D2}^T$ und die Neuronenschwellewerte der 2. Schicht usw. Anschließend wird das gesamte Vielschichtsystem nochmals trainiert (feinjustiert) mit dem Paradigma der Fehlerrückführung (error backpropagation)⁶, wobei jetzt $W_{Ei} \neq W_{Di}^T \forall i = 1, \dots, N_S$ gilt mit N_S als Anzahl der Schichten bis zur Kodierungsschicht ($N_S = 3$ in Abb. 1).

2.4 Stützvektormethode

Die Stützvektormethode (SVM, *support-vector machine*) ist eine vorwiegend zur Klassifikation eingesetzte Methode, die mit Paaren von Merkmalsvektoren g_i und Klassenzugehörigkeiten c_i bei gegebener Trainingsmenge $\{(g_i, c_i) | g_i \in \mathbb{R}^d, c_i \in \{-1, +1\}, i = 1, \dots, N\}$ die Parameter einer Trennfunktion $g \mapsto c$ im Trainingsverlauf optimiert. Konkret wird das Prinzip der Maximalspanne (*large margin*) verfolgt, bei dem die Parameter $w \in \mathbb{R}^d, b \in \mathbb{R}$ einer linearen Trennfunktion $w^T g + b = 0$ unter der Nebenbedingung optimiert werden, dass der Abstand der Trennfunktion zu den nächsten Merkmalsvektoren, den Stützvektoren, maximal wird. Es konnte bewiesen werden, dass dieses Optimierungsproblem mit Nebenbedingungen eindeutig lösbar ist⁷. Für die zugehörige Lagrange-Funktion $L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i (c_i(w g_i + b) - 1)$ mit den Lagrange-Multiplikatoren $\alpha_i > 0 \forall i = 1, \dots, N$ ist die Lösung in einem Sattelpunkt zu suchen, weil $L(w, b, \alpha)$ hinsichtlich w, b minimiert und hinsichtlich α maximiert werden muss. Die Lösung lässt sich explizit formulieren: $w_s = \sum_{i=1}^N \alpha_i c_i g_i$, wobei nur Stützvektoren zur Summe beitragen, für alle anderen Merkmalsvektoren g_i gilt: $\alpha_i = 0$. Der Parameter b lässt sich mit einem beliebigen Stützvektor $g_i, \alpha_i > 0$ berechnen mit: $b_s = c_i - w_s g_i$. Wenn die Trainingsmenge nicht linear separabel sein sollte, kann ein Fehlerterm $C = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \xi_i$ mit Schlupfvariablen $\xi_i \geq 0$ eingeführt werden, um Klassifikationsfehler zuzulassen (*soft margin*). Dies führt zu einer Beschränkung der Multiplikatoren auf das Intervall $0 \leq \alpha_i \leq C, \forall i = 1, \dots, N$. Der Regularisierungsparameter C muss, durch Minimierung des mittleren Klassifikationsfehlers, empirisch optimiert werden. Schlupfvariablen können auch bei linear trennbaren Klassen angewandt werden. Es werden dann bewusst Fehler im Training zugelassen, um dadurch eine größere Spanne der Trennfunktion zu erhalten. Es muss ein Kompromiss zwischen Spannenmaximierung und Anzahl der geduldeten Trainingsfehler gefunden werden, in dem für folgende erweiterte Lagrange-Funktion eine Sattelpunktlösung zu suchen ist:

$L(w, \xi, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^{N_{sl}} \xi_i^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i (c_i(w g_i + b) - 1 + \xi_i)$. Um nichtlineare Trennfunktionen zu erzeugen kann man über Kernfunktionen das Optimierungsproblem in einem Transformationsraum, dem sogenannten reproduzierenden Kernfunktions-Hilbert-Raum, implizit aufstellen und nach einer Lösung suchen. Die Kernfunktion $k(g_i, g)$ mit den Merkmalsvektoren g_i der Trainingsmenge und einem beliebigen Vektor g desselben Raums ist in den Lagrange-Funktionen anstelle von $w g_i$ einzusetzen. Hier wurde stets die Gauß-Funktion $k(g_i, g) = \exp(-\gamma \|g_i - g\|^2)$ mit dem freien Parameter γ eingesetzt, welcher ebenfalls empirisch optimiert werden muss.

3. Ergebnisse

Für den Vergleich der Merkmalsextraktionstypen (Kap. 2.3) wurden für Typ C zwei verschiedene Parameterwerte verwendet: die Neuronenanzahl der Kodierungsschicht wurde auf 20 bzw. 50 festgelegt und somit verschieden starke Kompressionen der 4.096 am Eingang anliegenden PSD-Werte erzwungen. Eine umfassende empirische Optimierung der Merkmalsanzahl n_M für Typ C, wie dies bei Typ B erfolgte, konnte aufgrund der hohen Rechenzeiten bisher nicht umfassend vorgenommen werden. Die Bewertung der Typen A, B, C erfolgt empirisch, in dem automatisch lernende Klassifikationsverfahren versuchen, eine möglichst hohe Klassifikationsgenauigkeit ACC zu erzielen, wobei die zufällige Partitionierung des Datensatzes in 90 % Trainings- und 10 % Testdaten 50mal wiederholt wurde. Zwei unterschiedliche Klassifikatoren wurden verglichen: optimierende, lernende Vektorquantisierung (OLVQ1) und SVM (Kap. 2.5) und deren wichtigste Parameter empirisch optimiert. Ein Beispiel ist der Kernfunktionsparameter γ der SVM, dessen Optimum bei $10^{-2,6}$ liegt (Abb. 2), denn hier ist die mittlere Klassifikationsgenauigkeit der Testmenge ACC_{TEST} maximal. Es zeigt sich, dass eine kleinschrittige Optimierung wichtig ist, denn ACC_{TEST} ist bei $\gamma = 10^{-2,0}$ bereits um fast 8 % gesunken.

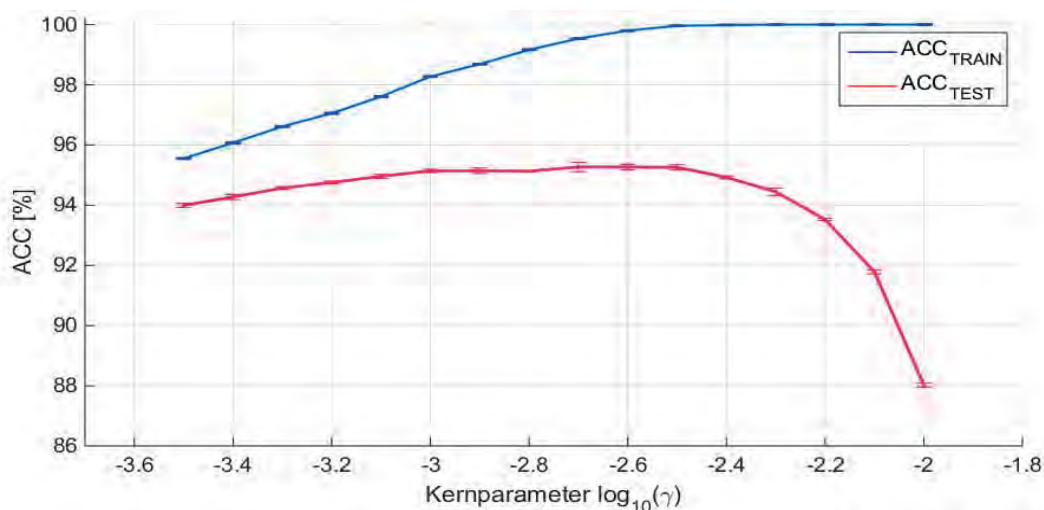


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Klassifikationsgenauigkeiten der Trainings- und Testmengen $ACC_{TRAIN}/_{TEST}$ über dem Kernfunktionsparameter γ der SVM für Merkmalsextraktionstyp B des Detektionsfalls. Der Klassifikationserfolg ACC_{TEST} (rot) ist mit 95,3 % maximal bei $\gamma = -2,6$.

Typ der Merkmalsextraktion	Fall	n_M	OLVQ1		SVM		
			ACC_{TRAIN} [%]	ACC_{TEST} [%]	ACC_{TRAIN} [%]	ACC_{TEST} [%]	
A	PSD ohne Mittelung	Prognose	4096	78,1 ± 0,7	73,1 ± 1,1	97,0 ± 0,0	87,7 ± 0,1
B	PSD Bandmittelung	Prognose	512	87,5 ± 0,7	81,5 ± 1,1	98,8 ± 0,0	89,6 ± 0,2
C	PSD Deep Learning	Prognose	50	90,4 ± 0,6	84,0 ± 1,1	94,9 ± 0,0	89,7 ± 0,2
C	PSD Deep Learning	Prognose	20	87,8 ± 0,3	82,7 ± 1,0	91,3 ± 0,0	88,8 ± 0,1
A	PSD ohne Mittelung	Detektion	4096	79,9 ± 0,5	75,4 ± 1,1	98,2 ± 0,0	94,1 ± 0,1
B	PSD Bandmittelung	Detektion	240	94,1 ± 0,4	91,2 ± 0,9	99,5 ± 0,0	95,3 ± 0,2
C	PSD Deep Learning	Detektion	50	94,9 ± 0,3	91,0 ± 1,0	99,1 ± 0,0	95,5 ± 0,2
C	PSD Deep Learning	Detektion	20	93,8 ± 0,4	89,8 ± 1,0	99,5 ± 0,0	94,5 ± 0,1

Tabelle 2: Klassifikationsgenauigkeiten für drei Merkmalsextraktionstypen (A, B, C) mit unterschiedlicher Merkmalsanzahl n_M für die beiden Anwendungsfälle MSE-Prognose und -Detektion. Die Klassifikatoren OLVQ1 und SVM werden hinsichtlich Mittelwert und Standardabweichung des Trainingserfolgs ACC_{TRAIN} und des Testerfolgs ACC_{TEST} verglichen.

Unterteilt für den Prognose- und Detektionsfall (Tab. 1, oben bzw. unten) werden für die unterschiedlichen Merkmalsextraktionstypen und ihren Parameter, die Merkmalsanzahl n_M , die mittleren Klassifikationsgenauigkeiten ACC_{TRAIN} , ACC_{TEST} für die Trainings- bzw. Testmenge sowie ihre Standardabweichungen aufgeführt. Diese beiden Ergebnisvariablen werden für OLVO1 und SVM vergleichend vorgestellt.

4. Diskussion

Entscheidend ist die Testgenauigkeit ACC_{TEST} , weil sie aufzeigt, wie sicher für das Training nie verwendete Daten dennoch klassifiziert werden können. Diese sogenannte Generalisierungsfähigkeit ist das eigentliche Ziel: an Trainingsdaten wird gelernt und optimiert in der Hoffnung, dass andere Stichproben des gleichen Prozesses ähnlich verteilt sind und somit von den Beispielen abgesehen und verallgemeinert werden kann. Maximale ACC_{TEST} erzielt stets SVM, OLVO1 ist teils gravierend schlechter. Erwartungsgemäß ist ACC_{TEST} durchweg niedriger für den Prognosefall. Die erhoffte Steigerung für Typ C trat nicht ein. Typ C mit $n_M = 50$ ist stets ebenbürtig zur optimierten Bandmittelung (Typ B). Typ B ist im Vergleich zu C einfacher zu berechnen, jedoch müssen dessen Parameter semiautomatisch optimiert werden. Typ C ist vollautomatisch extrahierbar, dafür aber sehr rechenaufwendig. Typische Rechenzeiten auf einem leistungsfähigen Multi-Core-PC liegen bei ca. 25 Stunden, eine GPU-Nutzung (GTX960) kann sie um Faktor 8 reduzieren. Ein Vorteil der tiefen Auto-Kodierer für die Genauigkeitssteigerung zeichnete sich nicht ab. Vielleicht muss der Stichprobenumfang N deutlich größer werden, damit diese Methode ihre Leistungsfähigkeit voll entfalten kann.

5. Zusammenfassung

Anhand von EEG-Messungen an übermüdeten Fahrern wurde drei Typen der Merkmalsextraktion anhand der Testgenauigkeiten von Klassifikationsverfahren verglichen. Es stellte sich heraus, dass Auto-Kodierer-Vielschichtsysteme keinen Genauigkeitserfolg erbringen.

¹ Vincent P, Larochelle H, Lajoie I, Bengio Y, Manzagol PA (2010) Stacked denoising autoencoders: Learning useful representations in a deep network. *J Machine Learning Research* 11: 3371-3408

² Golz M, Schenka A, Sommer D, Geissler B, Muttray A (2015) The role of expert evaluation for microsleep detection. *Current Directions in Biomedical Engineering* 1(1): 92-95

³ Golz M, Sommer D, Trutschel U, Sirois B, Edwards D (2010) Evaluation of fatigue monitoring technologies. *J Somnol* 14(3): 187-199

⁴ Bengio Y, Lamblin P, Popovici D, Larochelle H (2007) Greedy layer-wise training of deep networks. *Advances in neural information processing systems* 19: 153-160

⁵ Cho KH, Tapani R, Ihler AT (2011) Enhanced gradient and adaptive learning rate for training restricted Boltzmann machines. *Proc 28th Int Conf Machine Learning (ICML-11)*: 105-112

⁶ Hinton GE, Salakhutdinov RR (2006) Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science* 313(5786): 504-507

⁷ Boser BE, Guyon IM, Vapnik VN (1992) A training algorithm for optimal margin classifiers. *Proc 5th Ann Worksh Comput Learn Theory*: 144-152

Prototypische App zur Bedienung eines Gerätes zur Raumklimasteuerung

Nina Weber

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik

n.weber@stud.fh-sm.de

1. Abstract

Im vorliegenden Beitrag wird die App, zur Kommunikation mit der Klimasteuerung KST-20, vorgestellt. Diese soll als Fernbedienung arbeiten. Hierfür standen verschiedene drahtlose Kommunikationstechnologien zur Auswahl, wovon eine gewählt und implementiert wurde. Die App muss zudem die verschiedenen Funktionalitäten und Parameter der Klimasteuerung abbilden und dem Anwender zur Verfügung stellen. Ziel ist es, mit Hilfe der App, eine einfache Bedienung dem Anwender zu ermöglichen.

2. Klimasteuerung KST-20

Eine Klimasteuerung ist ein Gerät, das in unterschiedlichsten Anwendungen die automatisierte Ansteuerung von Aktoren in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen übernimmt. Dies bedeutet, dass durch kontrollierte Lüftungsmaßnahmen ein gewünschtes Raumklima erreicht und erhalten wird.

Die KST-20 (Abbildung 1) ist ein solches Steuerungsgerät. Es wird in einem Raum angebracht, verfügt über zwei Sensoren und misst die Temperatur und die relative Feuchte vom Innen- und Außenbereich.



Abbildung 1: Klimasteuerung KST-20¹

Drei Anwendungen lassen sich für die KST-20 unterscheiden. Die automatische und kontrollierte Raumentfeuchtung, die Raumlüftung in Anlehnung an die DIN Norm 1946-6 sowie eine temperaturabhängige Raumkühlung. Für alle drei Anwendungen ist die Kenntnis der klimatischen Bedingungen unbedingt erforderlich. Die Verarbeitung der Messsignale erfolgt in der KST-20. Zudem können für den jeweiligen Anwendungsfall spezifische Parameter eingestellt werden.

Zur Betrachtung des Raumklimas gehört auch die Messung der CO₂ Konzentration. Die KST-20 gibt es daher in drei verschiedenen Ausführungen. Diese unterscheiden sich durch die Funktionalität und den Grad der Einstellbarkeit von Parametern (Vgl. Tabelle 1).

	Basis	Standard	Spezial
Entfeuchtung	✓	✓	✓
Lüftung	✓	✓	✓
Kühlung	x	✓	✓
CO ₂	x	x	✓
Datenlogger integriert	x	x	✓

Tabelle 1: Geräteversionen im Überblick²

2.1. Entfeuchtung

Die Betriebsart *Entfeuchtung* eignet sich zum Schutz und zur Erhaltung der Bausubstanz von Immobilien sowie von Wertgegenständen, in den zu entfeuchtenden Räumen. Durch physikalisch richtige Entfeuchtung kann die Bildung von Schimmel und unangenehmen Gerüchen vermieden werden.³

In Räumen mit zu hoher Feuchtigkeit, kondensiert Wasser an kalten Wänden. Typischerweise sind dies Keller- und Nebenräume in Wohn- und Gewerbegebäuden sowie in Kirchen, Museen und Archiven.

Bei der Entfeuchtung misst die KST-20 die Temperatur und die relative Feuchtigkeit im Innenraum sowie außerhalb des Gebäudes. Aus diesen Messwerten wird die absolute Feuchte für die Innenraum- und die Außenluft ermittelt.¹ Die absolute Feuchte gibt den tatsächlichen Wasserdampfgehalt in Gramm in einem m³ Raumluft an. Mit Hilfe des Vergleichs der absoluten Feuchte innen und außen, entscheidet die KST-20, ob eine Raumlüftung vorteilhaft ist. Diese ist nur dann sinnvoll, wenn die absolute Feuchte außen geringer ist als innen.⁴

2.2. Lüftung

Die Betriebsart *Lüftung* setzt die Anforderungen an die Wohnraumlüftung aus der DIN Norm 1946-6 um. Die Norm unterscheidet verschiedene Stufen der Lüftung in einem Raum und berücksichtigt auch die Raumnutzung. Weiter fordert die Norm eine nutzerunabhängige Lüftung. Bedeutet, dass eine Lüftung des Raumes auch dann sichergestellt sein muss, wenn die Raumnutzer abwesend sind.⁵

Die Notwendigkeit dieser Betriebsart ergibt sich daraus, dass bei Neubauten und Sanierungen die Gebäudehüllen immer luftdichter werden und die natürliche Lüftung des Gebäudes unterbunden wird. Es entstehen Schimmel und Feuchteschäden und die hygienische Sauberkeit der Raumluft ist nicht gegeben.⁵

Die KST-20 stellt jederzeit die geforderte Grundlüftung des Wohnraumes sicher. Bei Lastspitzen durch Kochen oder Duschen schaltet die Steuerung die angeschlossene Aktorik in eine höhere Stufe, so dass eine Intensivlüftung durchgeführt werden kann.¹

2.3. Kühlung

Die Betriebsart *Kühlung* kann für die Kühlung von Serverräumen eingesetzt werden. Dabei legt der Anwender in der Klimasteuerung eine Innentemperschwelle fest. Wird diese Schwelle überschritten und die Innentemperatur liegt über der Außentemperatur startet die Kühlung mit der ersten Stufe. Die Kühlung läuft auf einer stärkeren Stufe, wenn die Innentemperatur deutlich höher ist als die Außentemperatur.¹

3. App für die Klimasteuerung

Um den aktuellen Entwicklungen im Bereich der Haus- und Gebäudetechnik gerecht zu werden, sollen die Geräte zeitgemäße Kommunikationsschnittstellen erhalten. Für die Kommunikation mit der KST-20 stehen verschiedene drahtlose Kommunikationstechnologien zur Auswahl: WLAN, Bluetooth und NFC.

Nach der Betrachtung der Kommunikationstechnologien hat sich ergeben, dass für die Datenübertragung zwischen der KST-20 und dem mobilen Endgerät NFC, wegen der geringen Reichweite, ungeeignet ist. Bluetooth bietet eine Geräte-zu-Geräte-Verbindung auf ca. 10 m Entfernung an, kann aber nicht in ein Heimatnetz integriert werden. Die drahtlose Kommunikationstechnologie WLAN ermöglicht eine Verbindung mit einer Reichweite von ca. 30 m, den Aufbau eines Netzes für die Kommunikation und die Möglichkeit in Zukunft die Datenübertragung über ein anderes Netz durchzuführen. Somit wird die Kommunikation über WLAN realisiert. Das mobile Endgerät wird mit Hilfe der App mit dem Netz der KST-20 verbunden und Daten darüber gesendet.

Die App für die KST-20 muss die drei Geräteausführungen unterstützen. Bei der Implementierung ist es wichtig, dass nur die Funktionen in der App angezeigt werden, die auch in der angeschlossenen KST-20 enthalten sind. Die App muss somit nicht nur zwischen den Geräten sondern auch zwischen den Betriebsarten und Aktoren unterscheiden. Die Tabelle 2 zeigt die unterschiedlichen Parameter je nach Geräteversion und Betriebsart.

Betriebsart	Entfeuchtung			Lüftung			Kühlung	
	Basis	Standard	Spezial	Basis	Standard	Spezial	Standard	Spezial
Untere Drehzahl	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
obere Drehzahl	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Delta absolute Feuchte	x	✓	✓	✓	✓	✓		
Frostschutztemperatur	✓	✓	✓					
Schaltuhr	x	✓	✓					
Trockenschutzfeuchte	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Wunschfeuchte				✓	✓	✓		
Schaltpunkt CO ₂				x	x	✓		
Schaltschwelle Kühlung							✓	✓

Tabelle 2: Parameter Betriebsarten²

3.1. Funktionen der App

Die Grundfunktionen der App entsprechen den Grundfunktionen der KST-20. Hierbei handelt es sich um die Anzeige der relativen und absoluten Feuchte für den Innen- und Außenbereich, die Innen- und Außentemperatur sowie die CO₂-Konzentration. Ist das mobile Endgerät über ein Netz mit der KST-20 verbunden, kann in der App die WLAN-Verbindung zu dem Gerät hergestellt werden. Zukünftig soll es ermöglicht werden, dass die Steuerung mit dem Heimatnetz verbunden ist und über dieses mit dem mobilen Endgerät kommuniziert.

Für die Konfiguration der KST-20 muss der Anwender eine Betriebsart und einen Aktor auswählen. Je nach Wahl der Betriebsart, wird die entsprechende Seite für die Betriebsart angezeigt. Die anderen beiden Betriebsarten bleiben dem Anwender verborgen. Da jeder Aktor spezifische Einstellungsmöglichkeiten bietet, passt sich das Layout daran an, sodass der Nutzer nur die Werte angezeigt bekommt und einstellen kann, die auch die KST-20 mit den angeschlossenen Aktoren anbietet. Über die WLAN-Verbindung werden die Eingabeparameter an die Steuerung übertragen und Messwerte können abgefragt werden. Der Anwender hat die Möglichkeit, die gemessenen Klimawerte zu speichern und in einem Diagramm darzustellen.

Da die App von der Displaygröße des mobilen Endgerätes, gegenüber der KST-20 profitiert, ermöglicht diese eine übersichtliche Bedienbarkeit sowie eine leichtere Einstellung der Parameter. Gewünscht ist, alle vorliegenden Werte dem Nutzer zur Verfügung zu stellen. Zudem sollen die Geräteinformationen, wie die Hardware- und Softwareversion auf der Startseite der App dargestellt werden.

3.2. Geführte Installation und Inbetriebnahme

Die App bietet eine geführte Installation und Inbetriebnahme der KST-20. Dabei ist es notwendig, diese beim ersten App-Start durchzuführen und dem Anwender Schritt-für-Schritt darzustellen, wie die Steuerung und die App für ihren Einsatz und für die Kommunikation miteinander konfiguriert werden. In diesen Schritten legt der Nutzer zusätzlich fest, welches Gerät er verwendet, welche Betriebsart er einsetzen möchte und welche Ventilatoren angeschlossen sind. Diese Seiten können später über die Einstellungen aufgerufen werden.

3.3. Aufbau der App

Die App besteht aus verschiedenen Seiten, die der Anwender einsehen kann. Diese sind über eine Navigationsleiste (Abbildung 3) zu erreichen. Die Startseite (Abbildung 2) zeigt die aktuellen Daten, wie die relative und absolute Feuchtigkeit und die Temperatur jeweils für den Innen- bzw. Außenbereich sowie den CO₂-Gehalt an. Zudem besteht die Möglichkeit die Werte abzuspeichern, um sie später in einem Diagramm (Abbildung 5) darzustellen. Die zweite Seite (Abbildung 4) stellt die Parameter für die Betriebsart zur Verfügung. Je nachdem welche Betriebsart ausgewählt wurde, wird die Seite für die Entfeuchtung, die Lüftung oder die Kühlung angezeigt.



Abbildung 2: Startseite²



Abbildung 3: Navigation²

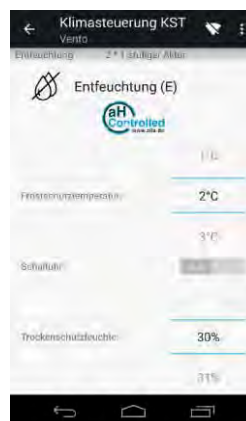


Abbildung 4: Entfeuchtung²

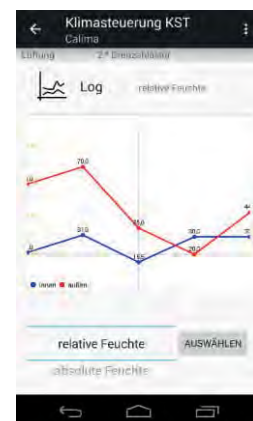


Abbildung 5: Log²

4. Ausblick

Durch die Kommunikation über WLAN ist eine leichte Bedienung der KST-20 möglich, da die Daten übersichtlich in der App dargestellt werden können. Um dem Anwender einen Mehrwert gegenüber der Klimasteuerung zu bieten, werden die Klimawerte in Diagrammform dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Dies lässt Rückschlüsse auf Entfeuchtungserfolge zu. Weiter ist es denkbar eine Wettervorhersage in die App zu integrieren, mit dessen Hilfe Empfehlungen dem Nutzer für die Lüftungszeit gegeben werden können. Dadurch dass die Kommunikation über WLAN stattfindet, soll im weiteren Entwicklungsverlauf, der Nutzer die Möglichkeit haben, die Klimasteuerung in sein bestehendes Heimnetz zu integrieren und über dieses die Kommunikation mit der Steuerung durchzuführen. Dadurch muss der Anwender für die Bedienung der KST-20 das Netz nicht mehr wechseln.

¹ ZILA GmbH, „Montage- und Betriebsanleitung KST-20 Vento Klimasteuerung,“, http://zila.de/images/dokumente/KST20/KST20_Vento_Handbuch_DE.pdf.

² Eigene Darstellung

³ ZILA GmbH, „Entfeuchtung mit absoluter Feuchte,“, <http://www.zila.de/de/service/publikationen/item/3-keller-schimmel-entfeuchten-absolute-feuchte-entfeuchten>.

⁴ ZILA GmbH, „aH-Controlled: Lüftung und Entfeuchtung für Wohlfühlklima und Bautenschutz,“, <http://zila.de/de/blog/haus-und-gebaeudetechnik/item/9-ah-controlled-lueftung-und-entfeuchtung-fuer-wohlfuehlklima-und-bautenschutz>.

⁵ LIMODOR, „Raumluftechnik - Lüftung von Wohnungen- nach DIN 1946-6,“, http://www.limot.de/Planungsordner/Kapitel_2_1946-6.pdf.

Entwicklung eines dezentralen, pseudonymen Zeitstempelsystems auf Basis der Ethereum-Blockchain

Jonas Bentke

Hochschule Mittweida, Fachbereich Informatik

jbentke@hs-mittweida.de

Abstract: Die dezentrale Plattform Ethereum ist ein Netzwerk von Knoten auf denen Anwendungen in Form von Smart Contracts ausgeführt werden können. Dieses Netzwerk basiert auf einer öffentlich zugänglichen Liste von Transaktionen, der sogenannten Blockchain. In dieser Arbeit wurde ein dezentrales Zeitstempelsystem auf Basis der Ethereum-Blockchain entwickelt.

1. Einleitung

Die Ethereum-Blockchain ist eine öffentliche Liste von Transaktionen, die über ein Peer-to-Peer Netzwerk auf allen Knoten, die mit dem Netzwerk verbunden sind, verteilt ist. Dadurch können Inhalte von Transaktionen, die in der Blockchain gespeichert sind, ausgelesen und verwertet werden. Die Ethereum Virtual Machine (EVM) ermöglicht das Ausführen von Programmen (Smart Contracts) auf Basis dieser Transaktionen. Die Tatsache, dass bereits getätigte Transaktionen praktisch nicht verfälscht werden können¹ und dass eine Anwendung ohne menschliches Zutun auf Transaktionen reagieren kann, eröffnen die Möglichkeit ein Zeiterfassungssystem zu entwerfen, welches dem Anbieter ermöglicht seinen Kunden Sicherheit in dem Maß zu gewähren, dass es dem Nutzer nicht möglich ist einmal gestempelte Zeiten im Nachhinein zu verfälschen. Einem Angestellten kann in diesem Zusammenhang zugesichert werden, dass der Arbeitgeber ihn korrekt abrechnet, da er zu jedem Zeitpunkt die Transaktionen in der Blockchain nachverfolgen kann. Da die Blockchain öffentlich zugänglich ist, muss zusätzlich gewährleistet werden, dass kein Dritter die Daten auswerten kann.

2. Vorgehensweise

In einem einfachen Zeitstempelsystem gibt es drei grundlegende Akteure: Mitarbeiter, Arbeitgeber und Stechuhr. Der Mitarbeiter kann drei Aktionen ausführen. Er kann einen Eingang stempeln, parallel dazu kann er einen Ausgang stempeln und er kann seine Zeitstempel² abrufen. Für das Stempeln von Ein- und Ausgang werden dem Mitarbeiter eine Nutzerkennung sowie ein Passwort zur Verfügung gestellt. Mit dem Passwort wird die Nutzerkennung des Mitarbeiters verschlüsselt, um das unerwünschte Abfragen der Arbeitszeiten durch Dritte zu verhindern. Zur Verschlüsselung sind sowohl symmetrische als auch asymmetrische Verfahren denkbar. Mit einem symmetrischen Verfahren wird derselbe Schlüssel zum Ver- und Entschlüsseln der Nutzerkennung genutzt. Dieses Verfahren kann zum Einsatz kommen, wenn von dem Mitarbeiter das Passwort beim Einstempeln abgefragt wird. Bei einem asymmetrischen Verfahren werden zwei Schlüssel erzeugt; ein öffentlicher und ein privater Schlüssel. Mit dem öffentlichen Schlüssel, der jedem bekannt ist, wird die Verschlüsselung durchgeführt. Der private Schlüssel wird zur Entschlüsselung genutzt und ist

nur dem Mitarbeiter und dem Arbeitgeber bekannt. Mit diesem Verfahren kann der öffentliche Schlüssel beispielsweise auf einer Magnetkarte gespeichert werden, womit keine weitere Abfrage an der Stechuhr von Nöten ist. Bei beiden Verfahren ist das Passwort bzw. der private Schlüssel nicht nur dem Mitarbeiter, sondern auch dem Arbeitgeber bekannt. Das hat den Grund, dass der Arbeitgeber seine Aktion, nämlich das Abrufen aller Zeitstempel um die Gehälter zu errechnen, ausführen kann. Die Stechuhr hat nun die Aufgabe zwischen den beiden anderen Akteuren zu vermitteln. Dazu hat sie folgende Aktionen zu tätigen: Sie nimmt die Ein- und Ausgangsstempel des Mitarbeiters entgegen und verschlüsselt seine Nutzerkennung. Dabei muss beachtet werden, dass nur Mitarbeiter und Arbeitgeber in der Lage sind, diese zu entschlüsseln. Des Weiteren hat die Stechuhr die Aufgabe diese Ein- und Ausgangsstempel in die Ethereum-Blockchain zu schreiben. Hierbei muss beachtet werden, dass es für einen Dritten nicht möglich sein darf, eine Transaktion einem Mitarbeiter zuzuordnen. Aufgrund der Beschaffenheit der Ethereum-Blockchain ist jede Transaktion öffentlich,³ was zur Folge hat, dass hier besondere Maßnahmen getroffen werden müssen. Um nun zu verhindern, dass durch heuristische Analysen bestimmte Zeitstempel bestimmten Absenderadressen zugeordnet werden können, werden alle Transaktionen von nur einer Ethereum-Adresse aus getätigt. Dies hat außerdem zur Folge, dass es einem Mitarbeiter nicht möglich ist von einem beliebigen Standort aus einen Zeitstempel einzutragen.

Zum Schreiben und Lesen der Stempelvorgänge kommt ein Smart Contract zum Einsatz. Da die Mitarbeiterdaten verschlüsselt hinterlegt sind, ist es nicht nötig weitere Zugriffsbeschränkungen einzurichten. Das Konzept ist in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1 – Grundkonzept – Quelle: Eigene Darstellung



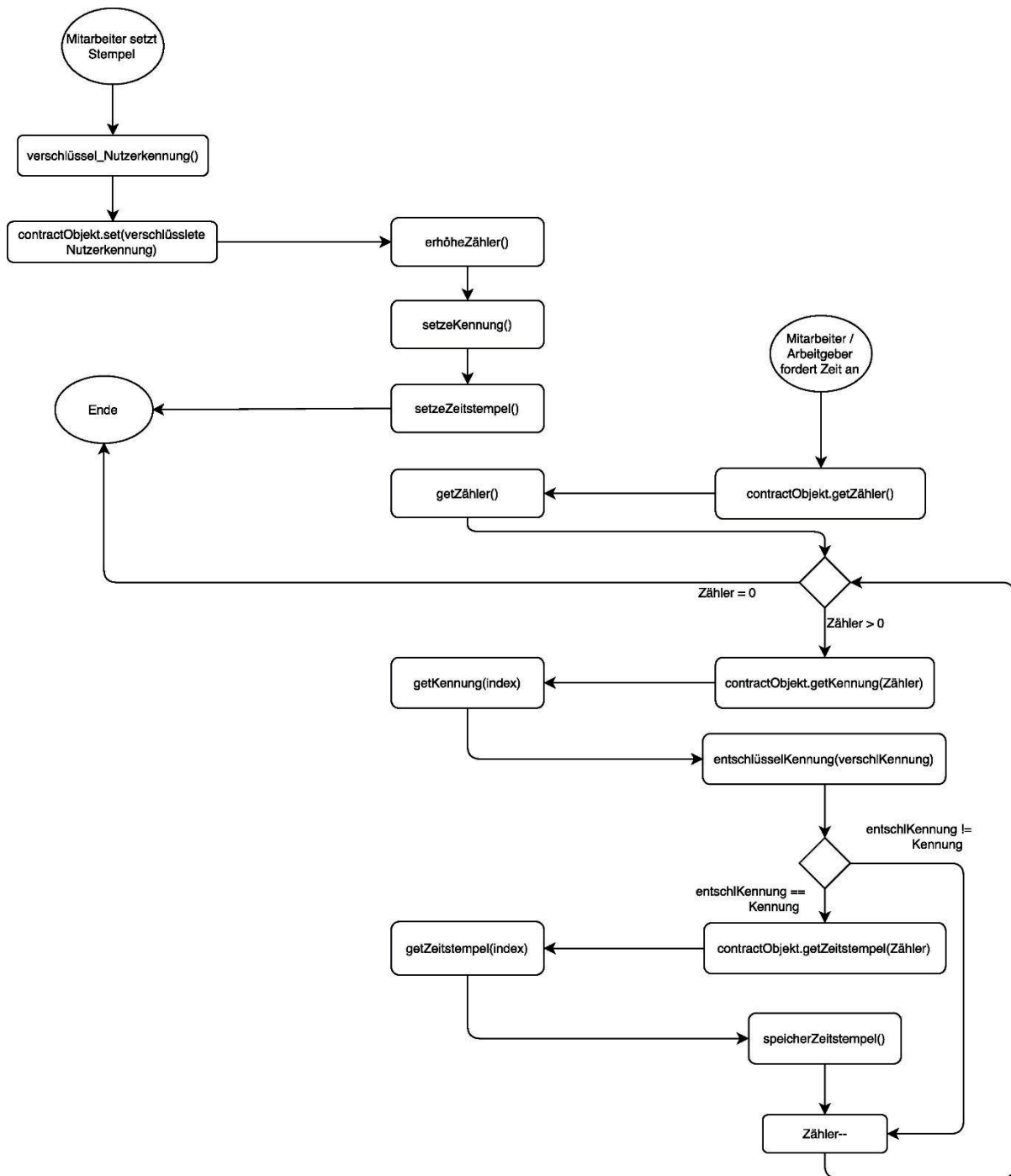
3. Ergebnisse

Als Stechuhr wurde ein Raspberry Pi 3⁵ (RP3) gewählt. Er besitzt genug Leistung, um die Ethereum-Blockchain zu synchronisieren und gleichzeitig die Eingaben des Mitarbeiters entgegenzunehmen. Des Weiteren verfügt er über ausgiebige Anschlussmöglichkeiten für Peripherie wie beispielsweise einen Magnetkartenleser. Durch seinen niedrigen Energiebedarf und die geringen Anschaffungskosten hat er einen erheblichen Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Zeiterfassungssystemen⁶. Auf dem RP3 läuft ein Ethereum-Client der sich mit der Ethereum-Blockchain synchronisiert. Hierfür bietet sich Parity⁷ an, welcher durch seine Warp-Synch-Technologie⁸ verhältnismäßig wenig Speicherplatz⁹ verbraucht und eine hohe Geschwindigkeit bietet. Die Anwendungen, sowohl der Client als auch die eigentliche Stechuhr, wurden in JavaScript verfasst und werden mittels Node.js¹⁰ ausgeführt. Die Stechuhr Anwendung, welche auf dem RP3 läuft, nimmt die Nutzerkennung und das Passwort des Mitarbeiters entgegen. Mithilfe der Bibliothek CryptoJs¹¹ wird die Nutzerkennung mit dem Passwort verschlüsselt. Zur Verschlüsselung wurde ein AES-Verfahren gewählt. Es setzt automatisch Salt¹² ein, um Muster zu verschleiern. Nun wird mithilfe eines erstellten Smart Contract Objektes eine Methode aufgerufen, die den verschlüsselten Wert in die Ethereum-Blockchain schreibt.

Der Smart Contract ist so aufgebaut, dass er eine interne Datenstruktur, ein so genanntes „Struct“⁴, nutzt, um sowohl den Zeitstempel als auch die verschlüsselte Nutzerkennung zu speichern. Immer wenn die Methode zum Setzen eines Zeitstempels aufgerufen wird, schreibt der Smart Contract einen neuen Eintrag in ein Mapping⁴, welches sich aus mehreren Structs zusammensetzt. Parallel dazu wird ein Zähler erhöht, welcher die Anzahl der Einträge im Mapping speichert. Beim Ausführen dieser Funktionalität wird ein Zeitstempel gesetzt. Dieser Zeitstempel ist eine globale Variable der Blockchain. In dieser werden die Sekunden gezählt, die seit der Erstellung der Blockchain vergangen sind. Somit ist es möglich, durch Subtraktion des Zeitstempels „Ankunft“ vom Zeitstempel „Verlassen“ die genaue Arbeitszeit zu bestimmen. Zuletzt verfügt der Smart Contract über get-Methoden, um Mitarbeiternummer und Arbeitszeit anhand des Mapping-Indizes zu erhalten und eine get-Methode um den Zähler des Mappings zu erfragen.

Für die Client Anwendung wurde ebenfalls auf JavaScript zurückgegriffen. Mit dieser Anwendung kann der Mitarbeiter als auch der Arbeitgeber auf die gestempelten Arbeitsstunden zugreifen. Dies erfolgt mit einer Funktion welche zuerst mithilfe des Smart Contract Objektes den Zähler des Mappings erfragt. Mit diesem Zähler wird jetzt durch das Mapping iteriert und jeder Eintrag mittels der CryptoJs Bibliothek und dem Passwort des Mitarbeiters entschlüsselt. Wenn kein Wert von der Entschlüsselungsfunktion zurückgegeben wird, handelt es sich um den Eintrag eines anderen Mitarbeiters. Nachdem alle Einträge durchlaufen wurden, sind dem Mitarbeiter seine Arbeitszeiten bekannt. Abbildung 2 zeigt ein Ablaufdiagramm welches dieses Szenario darstellt.

Abbildung 2 – Anwendungsfalldiagramm – Quelle: Eigene Darstellung



4. Ausblick

Die Nutzbarkeit der vorgestellten Anwendung kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar vorausgesagt werden, da die Ethereum-Plattform noch sehr jung ist und sich fortlaufend weiterentwickelt. Die Hacker Angriffe¹³ welche zum Zeitpunkt der Konzeptentwicklung auftraten, verursachten eine enorme Rechenlast, welche nicht von einem Single-Board-Computer gestemmt werden konnte. Jedoch durch Entwicklung neuer Synchronisationstechnologien des Parity-Clients und einem Hardfork¹⁴ auf der Blockchain

wurde dieses Problem gelöst. Zum anderen ist durch die enorme Schwankung des Wechselkurses der Ethereum-Währung Ether¹⁵ nicht klar, ob sich ein solches System rentiert, da für jede Transaktion eine Gebühr verlangt wird. Zum Zeitpunkt der Arbeit beliefen sich die Kosten der Transaktion, welche den Zeitstempel setzt, auf 0,02 €. Ausgehend von einem 50 Mann starken Unternehmen und 4 Transaktionen am Tag pro Mitarbeiter belaufen sich die Kosten auf rund 224 € pro Jahr (bei 26 Urlaubstagen).

Durch die Funktionalitäten der Ethereum-Plattform hat das System noch enorme Ausbaumöglichkeiten. Jeder Mitarbeiter könnte durch einen Smart Contract beispielsweise automatisch sein Gehalt überwiesen bekommen. Diese Überweisung könnte auf der Arbeitszeit beruhen, welche von dem hier vorgestellten Zeiterfassungssystem registriert wurde. Somit muss der Arbeitgeber nur Ether auf den Smart Contract überweisen welcher automatisch die Mitarbeiter bezahlt. Besonders interessant ist ein solches System für Firmen in der Zeitarbeitsbranche. Je nachdem wie sich die Ethereum-Plattform zukünftig in die Gesellschaft eingliedert, könnten ebenfalls Rentenbeiträge, Versicherungen und Steuern automatisch abgerechnet werden. Dies könnte den Unternehmen und dem Staat viel Zeit und Geld sparen.

Quellen

¹ „The great chain of being sure about things“, <http://www.economist.com/news/briefing/21677228-technology-behind-bitcoin-lets-people-who-do-not-know-or-trust-each-other-build-dependable>, 3. Januar 17:28

² Hierbei handelt es sich um die Zeit welche seit der ersten Transaktion der Blockchain vergangen ist. Praktisch lässt sich hieraus die Zeit errechnen welche zwischen zwei Transaktionen vergangen ist. „Expressions and Control Structures“, <https://solidity.readthedocs.io/en/latest/control-structures.html>, 3. Januar 17:31

³ Jeder der sich mit dem Netzwerk synchronisiert, hat den gesamten Inhalt der Blockchain lokal auf seinem System gespeichert und kann diesen auslesen.

⁴ „Types“, <https://solidity.readthedocs.io/en/latest/types.html>, 3. Januar 17:39

⁵ „Raspberry Pi“, <https://www.raspberrypi.org/products/>, 3. Januar 17:52

⁶ „Elektronische Zeiterfassungssysteme zur Personal- und Arbeitszeiterfassung“, <http://www.megzeit.de/zeiterfassungssysteme/>, 3. Januar 17:54

⁷ „Parity“, <https://ethcore.io/index.html>, 3. Januar 17:56

⁸ „Warp Sync“, <https://github.com/ethcore/parity/wiki/Warp-Sync>, 3. Januar 18:07

⁹ „Parity“, <https://ethcore.io/parity.html>, 3. Januar 18:00

¹⁰ „About Node Js“, <https://nodejs.org/en/about/>, 3. Januar 18:02

¹¹ „crypto-js“, <https://www.npmjs.com/package/crypto-js>, 3. Januar 18:05

¹² Rebecca Kirsch, „Passwort – Sicherer mit Hash und Salt“, <https://www.datenschutzbeauftragter-info.de/passwort-sicherer-mit-hash-und-salt/>, 3. Januar 17:49

¹³ Jeffrey Wilcke, „The Ethereum Blockchain is currently undergoing a DOS attack“, <https://blog.ethereum.org/2016/09/22/ethereum-network-currently-undergoing-dos-attack/>, 3. Januar 18:06

¹⁴ Hudson Jameson, „Hard Fork No. 4: Spurious Dragon“, <https://blog.ethereum.org/2016/11/18/hard-fork-no-4-spurious-dragon/>, 3. Januar 18:10

¹⁵ „Der aktuelle Ether (ETH) Kurs im Überblick“, <https://www.btc-echo.de/ether-kurs/>, 3. Januar 18:11

Image based wafer defect analysis

Frederic Ringsleben, Thomas Haenselmann

Hochschule Mittweida, Fakultät Computer- und Biowissenschaften

ringsleb@hs-mittweida.de thomas.haenselmann@hs-mittweida.de

Abstract: This paper propose a solution for wafer defect analysis based on macroscopic image captures. The main attention is a simplified camera set-up effort. In this way, algorithms have to compensate the disturbing effects. Therefore, this effects need not to be consider to the setting up of camera. In this context, algorithms are presented for circle recognition, pattern segmentation and classifying, which deals with posed Problem.

1. Motivation

In contrast to the automotive industry, only few applications of image recognition currently exist in semiconductor industry¹. Thus, the focus in this work is an error detection in wafer manufacturing. Prior solutions on error detection in wafer manufacturing exists. These solutions are mostly cost intensive microscopic inspections. A second problem of these inspections is that they are separate tools that reduce the throughput.

Thus, this research will deal with macroscopic stable error detection of wafers. In this sense, there are two main issues to solve. Firstly error detection itself. Means to classify errors in wafer manufacturing, e.g. thin wafer cracks or laminate failures. Second, the expense of integration of image recognition is to be reduced. The cost can be reduced, if setup steps could be simplified. This is possible, if algorithms compensate this installation effort.

2. Problems

Due to the vision, there are some Problems to solve. First, consider the input scenario for image processing of a wafer. Multiple closed processing tools build-up the wafer manufacturing. Between these processing tools, the wafer is freely handled. An image with disturbing artefacts could be taken between these processing steps, just because it is helpful to detect error as early as possible to reduce costs. In this scenario, we want to create solid algorithms, which identify the wafer and detect different error patterns. The error patterns could be e.g. micro cracks, coating errors, discoloration or particles. Because of the desired low installation effort, bad conditions like reflection or iridescence on the wafers emerge. These conditions must be distinguished from error patterns.

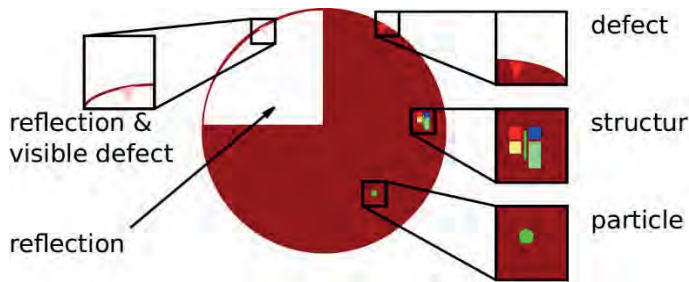


Figure 1: Errors and Conditions

3. Solutions

Under the condition of minimal camera installation effort, there are the following implementation steps:

- detect wafers in a scene and adjust the view
- reduce bad conditions or distinguish them from error pattern
- classify the error pattern

3.1 Wafer calibration

First, the wafer must be identified in the image. The Problem of wafer recognition is to detect a disc in a 3D scenario under bad conditions, as described above. 2D circles with known conditions can easily be detected by hough transform². For circles in 3D scenario, various approaches can be found. Most of these are ellipse detection algorithms based on hough transform like Tsuji et al.³. Alternatives were invented, for example, by Xie et al.⁴ or Baseski et al.⁵. Nevertheless, a stable detection algorithm is needed and must be evaluated for bad conditions.

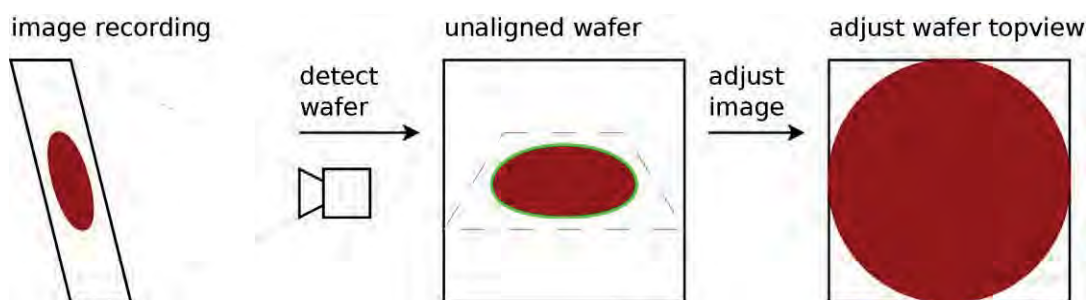


Figure 2: Wafer detection and calibration

After wafer detection, parameter can be determined to geometrical by transform the scene of a wafer ellipse to a planar 2D circle. This was shown by Carlbom et al.⁶. This yields a virtual top view, and do not need a perpendicular camera setup.

3.2 Bad condition reducing

The next step is to reduce backlight or machine part reflections on the wafer. By adjusting the scenario or the optics, most optical problems like reflections or shadows can easily be reduced or removed. Here physical solutions could be the using of polarised light to reduce light reflections or modify the background for taking optimal images. As described in section 1. (Motivation), the setup effort should be reduced. If algorithms deal with these optical problems, the setup effort of the image capturing could be decreased. Due to the existing physical solution, there are no algorithms for such problems. Possible solutions could look like the following:

On the one hand, we can use the difference between a newly captured image and an average image derived from prior images. In the best case, only the error pattern remains. In the worst case undesired artefacts of a captured and the average image remains. For the worst-case scenario, multiple solutions are possible. We could use thresholding for filtering the difference or leave the condition as is, detect it as pattern and classify them afterwards. This has the advantage that the classification characteristics of condition pattern modifies.

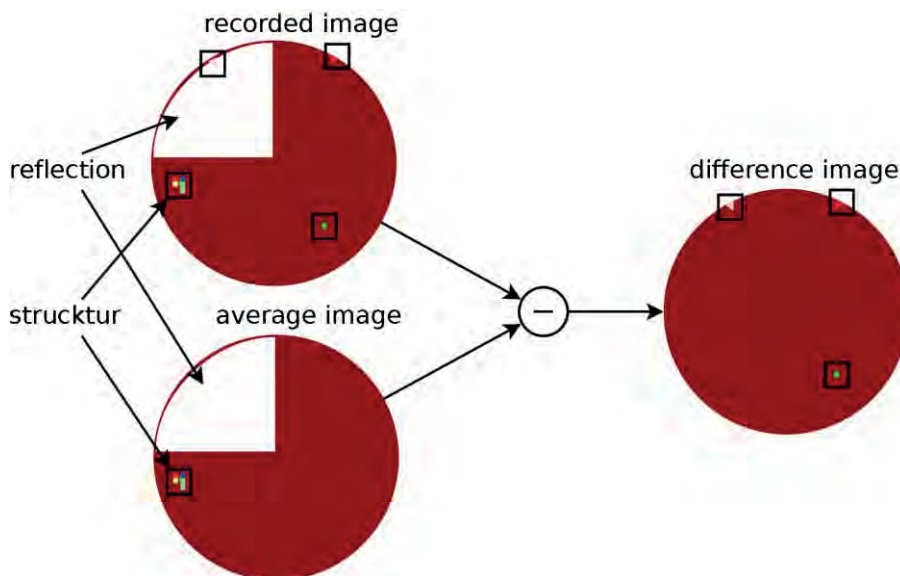


Figure 3: difference image

On the other hand, we can recognize every pattern on a wafer. This recognition made be possible by segmentation methods. Segmentation methods can be divided in pixel oriented, edge based, region based and model based methods⁷. Due to the obtained information, not every algorithm is equally useful. Because the obtained information must be classified afterwards for distinguishing errors and condition patterns, an algorithm is needed which produces the best classification characteristics. Often multiple algorithms must be applied in sequence. Thus, for example after the pixel oriented thresholding method other algorithms like watershed⁸, region growing or k-means⁹ can used to isolate a region. Before region based

methods can be applied, edge based methods like canny¹⁰, sobel, laplace or livewire¹¹ are also helpful. Only model-based methods require prior domain knowledge in order to perform segmentation. Most common model based methods are the hough transform or template matching. After segmentation, we get some patterns from a wafer image.

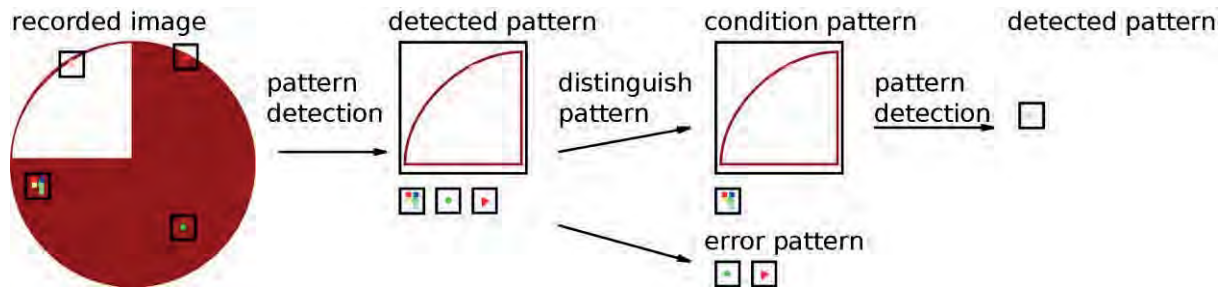


Figure 4: pattern segmentation with distinguish error and condition pattern

However, among these patterns are errors and bad conditions. Thus, we have to classify these patterns in order to distinguish between error and condition patterns. If possible the next step is to verify, whether condition patterns contain errors or not. Therefore, the segmentation has to be applied recursively to this condition to check if they also contain patterns.

3.3 Error classification

After the pattern segmentation from wafer, these patterns need to be classified. For classification, we need the correct characteristics of the patterns and an efficient classification procedure. In recent years classification procedures improved, especially in the neural network area. Well-known classification procedures are the naive Bayes classifier, the k-nearest neighbour¹² or the neural network classification like fuzzy min-max neural network classifier¹³. The features based on a selection of pattern characteristic are necessary as input for classification procedures. Therefore, colour, shape, size or location of the pattern classifies the error. The result should be the right class of a pattern. The most important factor are the selected features. It is also possible to distinguish between the error and the environmental condition.

4 Conclusion

In this work, we presented the idea of monitoring processes with a small setup effort in the semiconductor industry by means of camera solutions. It is necessary to check whether ambient conditions superimpose errors, when setting up the camera, so that errors can be detected at all. It is, however, important to verify which algorithms are as robust as possible in the context of the presented problem.

ACKNOWLEDGEMENT

A part of the work has been performed in the project Power Semiconductor and Electronics Manufacturing 4.0 - (Semi40), under grant agreement No 962466. The project is cofounded by grants from Austria, Germany, Italy, France, Portugal and - Electronic Component Systems for European Leadership Joint Undertaking (ECSEL JU). Thanks a lot to the sensor team of Infineon Technologies Dresden GmbH for the cooperation within the project.



Reference

- ¹ H. Heinol-Heikkinen, Growth Market Machine Vision, VDMA, 2016.
- ² P. Hough, *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*, United States Patent Office, 1962.
- ³ Tsuji und Matsumoto, „Detection of Ellipses by a Modified Hough Transformation,“ *{IEEE} Transactions on Computers*, C-27, pp. 777-781, aug 1978.
- ⁴ Y. Xie und Q. Ji, „A new efficient ellipse detection method,“ in *Object recognition supported by user interaction for service robots*.
- ⁵ E. Baseski, D. Kraft und N. Krüger, „A Hierarchical 3D Circle Detection Algorithm Applied in a Grasping Scenario,“ in *{VISAPP} (2)*, 2009.
- ⁶ I. Carlbom und J. Paciorek, „Planar Geometric Projections and Viewing Transformations,“ *{ACM} Computing Surveys*, Bd. 10, pp. 465-502, dec 1978.
- ⁷ B. Jähne, *Digitale Bildverarbeitung*, Springer-Verlag GmbH, 2013.
- ⁸ S. Beucher und C. Lantuéjoul., „Use of watersheds in contour detection,“ in *Int. Workshop Image Processing, Real-Time Edge and Motion Detection/Estimation*, 1979.
- ⁹ S. Lloyd, „Least squares quantization in PCM,“ *{IEEE} Transactions on Information Theory*, Bd. 28, pp. 129-137, mar 1982.
- ¹⁰ J. O. H. N. CANNY, „A Computational Approach to Edge Detection,“ in *Readings in Computer Vision*, Elsevier BV, 1987, pp. 184-203.
- ¹¹ E. Mortensen, B. Morse, W. Barrett und J. Udupa, „Adaptive boundary detection using live-wire two-dimensional dynamic programming,“ in *Proceedings Computers in Cardiology*.
- ¹² T. Cover und P. Hart, „Nearest neighbor pattern classification,“ *{IEEE} Transactions on Information Theory*, Bd. 13, pp. 21-27, jan 1967.
- ¹³ P. K. Simpson, „Fuzzy min-max neural networks. I. Classification,“ *{IEEE} Transactions on Neural Networks*, Bd. 3, pp. 776-786, 1992.

Ungenauigkeiten und deren Ursachen beim Dead Reckoning

Maik Benndorf, Thomas Haenselmann

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

{benndorf, haenselm}@hs-mittweida.de

Abstract: Die Navigation ist ein wichtiges Feature moderner Smartphones. In der Regel wird dazu das Global Positioning System (GPS) genutzt. Dazu muss jedoch eine direkte Sicht zu den Satelliten bestehen. Durch diese Bedingung lässt sich dieses System kaum in Gebäuden einsetzen. Eine Alternative bietet das Dead Reckoning (dt: Koppelnavigation). Dieses Verfahren und die dabei auftretenden Fehler werden in dieser Arbeit anhand von Experimenten vorgestellt.

1. Motivation und Vorarbeiten

Aktuelle Mobiltelefone können weit mehr als nur telefonieren. Sie werden unter anderem als Navigationssystem eingesetzt. Dieses System nutzt zur Bestimmung der aktuellen Position in der Regel GPS. Mit GPS kann abhängig von der Signalstärke eine Genauigkeit von bis zu einem Meter erreicht werden¹. Eine Bedingung für eine geringe Abweichung ist eine direkte Sicht zu den Satelliten. Das bedeutet, dass dieses System in Gebäuden nur begrenzt genutzt werden kann. Die Indoornavigation hat sich in den letzten Jahren zu einem aktuellen Forschungsthema entwickelt, in dem verschiedene Lösungen erforscht wurden. Einige Arbeiten² verwenden z.B. die Feldstärken von WLAN-Netzwerken zur Bestimmung der aktuellen Position. Während dieses System in großen Gebäuden mit vielen Accesspoints recht gut funktioniert, lässt es sich in Gebäuden mit wenigen Accesspoints nur begrenzt einsetzen.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der aktuellen Position bietet ein Verfahren, das Dead Reckoning³ genannt wird. Dabei wird die aktuelle Position aus der letzten Position und der von dieser Position ausgehenden Entfernung und Richtung bestimmt. Die letzte Position kann dabei entweder eine berechnete oder muss im Falle eines Startpunktes eine bekannte Position sein. Dabei ist dieses Verfahren sehr fehleranfällig, da sich die Fehler der errechneten Positionen zunehmend aufsummieren. Nichtsdestotrotz wurde es schon viele Jahrhunderte vor allem in der Seefahrt eingesetzt⁴. Zur Bestimmung der zurückgelegten Entfernung und Richtung kamen Fahrtenmesser und Kompass zum Einsatz. In einem Smartphone ersetzt der Beschleunigungssensor den Fahrtenmesser und das Gyroskop bzw. der Magnetsensor den

Kompass. Das Problem der kumulierenden Fehler bleibt jedoch bestehen, da auch die Messwerte der Sensoren in der Regel mit einem Messfehler behaftet sind. In dieser Arbeit werden einige auftretende Fehler und deren Einfluss auf die Bestimmung der aktuellen Position präsentiert bzw. Lösungen vorgeschlagen, wie diese Fehler minimiert werden können.

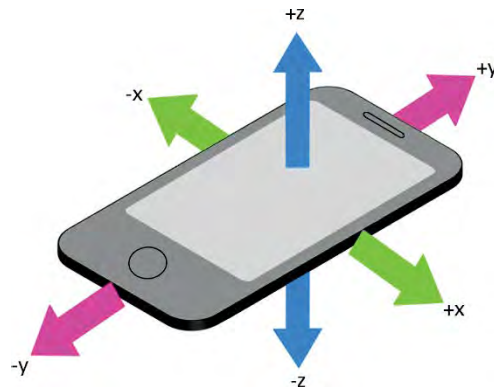


Abbildung 1: Ausrichtung der Achsen am Smartphone

Diese Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 (Vorgehen) werden die auftretenden Messfehler anhand von Experimenten vorgestellt. Im letzten Kapitel (3) wird diese Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf die Weiterentwicklung gegeben.

2. Vorgehen

In unseren Experimenten kommt ein Smartphone der Marke Motorola mit dem Betriebssystem Android zum Einsatz. Zur Ermittlung der Entfernung und der Orientierung werden die folgenden Sensoren verwendet: Mit dem Beschleunigungssensor werden die auftretenden Beschleunigungen entlang der drei Achsen (siehe Abbildung 1) eines Mobiltelefons gemessen. Das Gyroskop misst die Rotationsgeschwindigkeit um diese drei Achsen herum und mit dem Magnetsensor können Änderungen im magnetischen Feld in Achsrichtung bestimmt werden. Ein Überblick über die Spezifikation der verwendeten Sensoren gibt die folgende Tabelle (1).

Tabelle 1: Sensorspezifikation

Name	Hersteller	Version	Auflösung	Max Range	Power
Acceleration Sensor	Bosch Sensortec GmbH	3060102	104 Hz	156.88	0.13
Gyroscope Sensor			262 Hz	2500	5
Magnetic Field Sensor			3 Hz	1600	0.5

2.1 Orientierung

Zur Bestimmung der Orientierung bietet sich der Magnetsensor an. Ein Problem dieses Sensors ist seine geringe Auflösung (Tabelle 1). Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Orientierung bietet das Gyroskop. Dessen Messwerte sind mit einem Messfehler versehen, der Gyroskopdrift bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um eine Abweichung, die im Stillstand (keine Rotation) des Gerätes gemessen werden kann⁵. Diesem Problem kann jedoch mit einer

Kalibrierung des Sensors entgegen werden. Dazu wird die Rotationsgeschwindigkeit im Ruhestand gemessen und von den Messwerten abgezogen. Diese Methode birgt jedoch die Gefahr, dass sich die Abweichung über die Zeit verändert. Eine weitere Möglichkeit bietet die Fusion der einzelnen Sensoren, um die korrekte Orientierung zu bestimmen. Bei einer solchen Fusion werden die Vorteile der einzelnen Sensoren gebündelt und die Nachteile minimiert. Für die Orientierung wird aus den Messwerten des Beschleunigungssensors ein Richtungsvektor bestimmt. Dieser Vektor anschließend mit den Messwerten des Magnetsensors kombiniert, wodurch sich die Messwerte dessen Fehler minimiert wird. Im Anschluss daran werden die so fusionierten Daten mit den Daten des Gyroskops kombiniert. Somit lässt sich die Rotation sehr genau bestimmen. In unserem ersten Experiment wurde das Smartphone (auf dem Tisch liegend) 360 Grad um die Z-Achse rotiert.

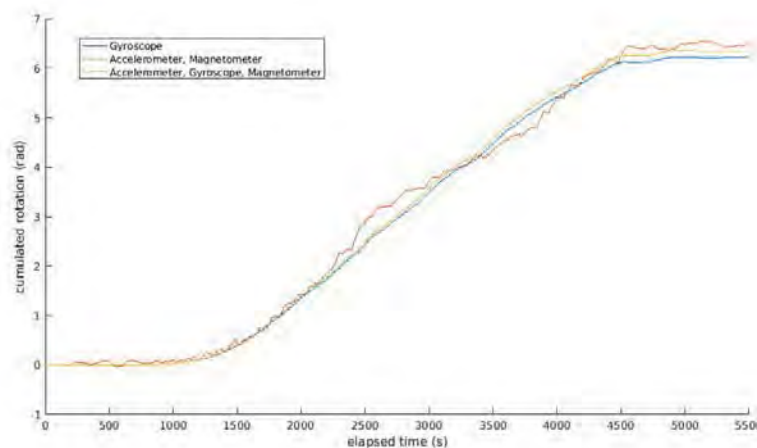


Abbildung 2: Kumulierte Rotation für Gyroskop und fusionierte Sensoren

Abbildung 2 können die kumulierten Messwerte der einzelnen Sensoren entnommen werden. Dabei weisen die fusionierten Messwerte nach eine 360 Grad (2π) die geringste Abweichung ($-0,0781$) auf.

2.2 Distanz

Während die Abweichung in der Orientierung relativ gering ist, stellt die Entfernung eine große Herausforderung dar. Mit dem folgenden Experiment wurde die Abweichung der errechneten Streckenlänge von der tatsächlichen Streckenlänge bestimmt. Dazu wurde eine zuvor vermessene Strecke von 10 Metern abgescritten. Das Smartphone befand sich während dieser Messung in der Hand des Probanden. Zur Bestimmung der Entfernung werden die Messwerte des Beschleunigungssensors herangezogen. Durch das Integrieren dieser Werte kann die Geschwindigkeit und anschließend die zurückgelegte Entfernung bestimmt werden. Dabei geben die Messwerte des Beschleunigungssensors die totale Beschleunigung wieder. Diese wird nach der folgenden Formel gebildet:

$$acc_{total} = gravity + acc_{linear}$$

Diese Formel zeigt, dass die Gravitation ein Bestandteil der Messwerte ist. Im Idealfall, wenn sich das Gerät mit der Z-Achse in Lotrichtung bewegt, wirkt sich die Kraft nur auf die Messwerte dieser Achse aus. Android bietet mit dem linearen Beschleunigungssensor einen virtuellen Sensor, bei dem die Gravitation durch einen Algorithmus entfernt wird. Dieser Sensor ist jedoch nicht auf allen Geräten vorhanden (abhängig von Hersteller und Android Version), deshalb haben wir uns dazu entschlossen, die lineare Beschleunigung zu errechnen. Dazu wurden zunächst die auftretenden Beschleunigungen im Ruhezustand ermittelt und daraus der Einfluss je Achse bestimmt.

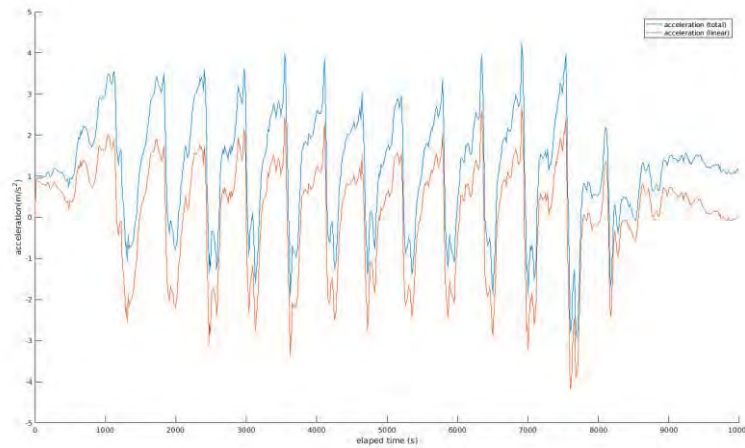


Abbildung 3: Vergleich lineare und totale Beschleunigung

Abbildung 3 zeigt einen Vergleich zwischen der totalen und der linearen Beschleunigung. Um die Distanz bestimmen zu können, muss zunächst die aktuelle Geschwindigkeit bestimmt werden. Dazu wird die Beschleunigung nach der folgenden Formel integriert:

$$v_n = \sum_{i=0}^n (a_i * t)$$

Wobei v_n die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt n , a_i die auftretende Beschleunigung an der Stelle i und t die vergangene Zeit zwischen zwei Messungen angibt. Nachdem so die Geschwindigkeit ermittelt werden konnte, muss diese ein weiteres Mal integriert werden, um die zurückgelegte Distanz zu bestimmen. Abbildung 4 können die auftretende Beschleunigung, die Geschwindigkeit und die zurückgelegte Distanz entnommen werden. Dabei beläuft sich die Distanz in diesem Messversuch auf 6.4548 Meter. Die Differenz verglichen mit der Literatur ist zwar durchaus üblich aber dennoch sehr hoch. Dafür gibt es verschiedene Ursachen. Eine dieser Ursachen ist der Messfehler des Sensors. Eine weitere Ursache ist die nicht korrekt bestimmte Gravitationskraft. Dieser Fehler tritt dann auf, wenn sich die Z-Achse nicht in Lotrichtung befindet. Um diesen Fehler zu evaluieren, haben wir dieses Experiment etwas angepasst. Statt das Telefon in der Hand zu halten, haben wir uns für einen Rollator entschieden. Auf dem

Rollator wurde das Smartphone parallel zur Erdoberfläche und in Y-Richtung befestigt.

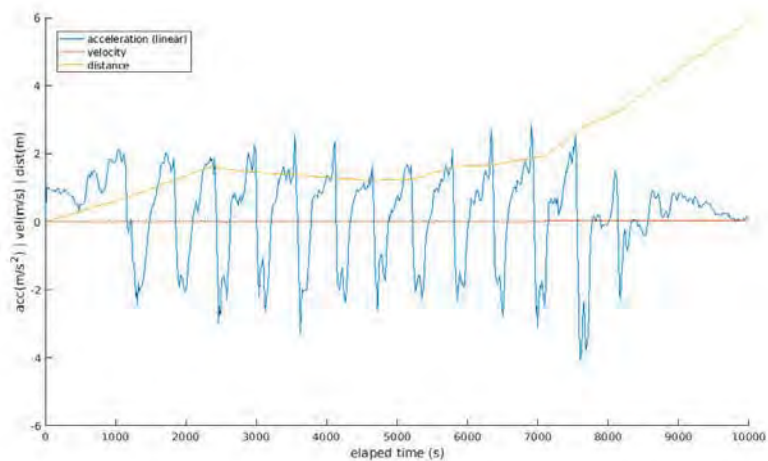


Abbildung 4: Ermittelte Distanz

Abbildung 5 zeigt die Messergebnisse für diesen Versuch. Dabei konnte eine zurückgelegte Distanz von 9,866 Metern ermittelt werden. Der Unterschied zum vorhergehenden Versuch ist

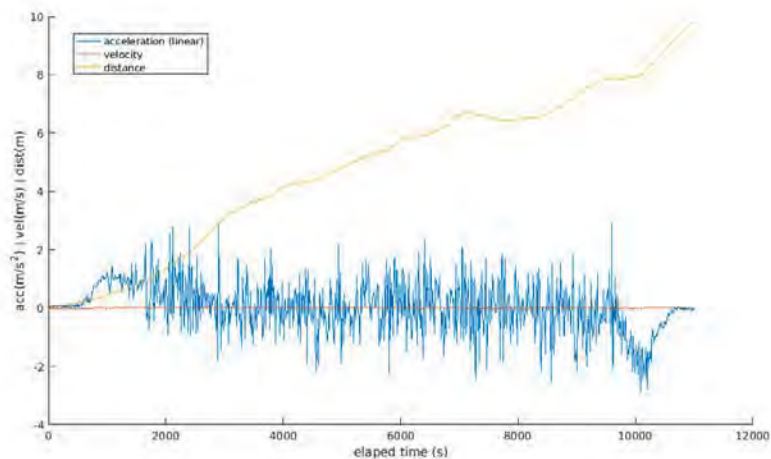


Abbildung 5: Ermittelte Distanz Rollator

recht deutlich und zeigt, welchen großen Einfluss die korrekte Bestimmung der Gravitation auf die errechnete Strecke hat.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Messfehler einer Positionsbestimmung mittels Bewegungssensoren vorgestellt. Nachdem die auftretenden Fehler ermittelt wurden, werden diese in weiteren Arbeiten minimiert. Ein Ansatz dazu ist z.B. die Berechnung der Lage des Telefons, um damit den Einfluss der Gravitation für die jeweilige Achse exakt bestimmen zu können. Daneben können Filter eingesetzt werden, um das Eingangssignal für die Berechnungen zu optimieren. Daneben müssen weitere Experimente durchgeführt werden, um die Ergebnisse statistisch zu belegen.

Quellen

¹ Hughes, W. J. (2016) *Global Positioning System (GPS)... Performance Analysis Report*. <http://bit.ly/2jrZrGJ> abgerufen am 30.01.2017.

² Khalajmehrabadi, A., et. al. (2016). Modern WLAN Fingerprinting Indoor Positioning Methods and Deployment Challenges. arXiv preprint arXiv:1610.05424.

³ Liao, J. K., et. al. (2016). The Performance Analysis of Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning and Wireless Locating Technology for Indoor Navigation Application. *Inventions*, 1(4), 25.

⁴ Baker, A. (2016) *Cambridge Digital Library*. <http://bit.ly/2knKDnl> abgerufen am 31.01.2017.

⁵ SensorWiki.org. (2016) *Gyroscope*. <http://bit.ly/1FCafvM> abgerufen am 30.01.2017

Lebenswissenschaften

One Step further towards Molecular Evolution: Structural Analysis of Class II Aminoacyl tRNA Synthetases

Sarah Krautwurst¹, Christoph Leberecht^{1,2}, Sebastian Bittrich^{1,2}, Sebastian Salentin², Florian Kaiser^{1,2}, V. Joachim Haupt², Michael Schroeder² and Dirk Labudde^{1,*}

¹University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

²Biotechnology Center (BIOTEC), TU Dresden, Tatzberg 47-49, 01307 Dresden, Germany

*corresponding author: dirk.labudde@hs-mittweida.de

Abstract:

Aminoacyl tRNA synthetases (aaRS) are key enzymes in protein biosynthesis. Understanding the complex interactions between aaRS and their ligands can help to shed light on an early phase in molecular evolution.

Here we propose a workflow to annotate characteristic interaction patterns by combining two tools for the analysis of binding sites and function-relevant amino acids: Fit3D and the Protein-Ligand Interaction Profiler (PLIP).

1. Introduction

The code of life is organized in codons and universal among all organisms. The assignment between codon and amino acid implies that it was already present in a common ancestor of all organisms known today. This mechanism can be treated as the real implementation of the genetic code and the molecular machinery that interprets this code is just as important as the genetic information itself¹. The genetic code and the set of canonical amino acids that evolved over the course of evolution can be investigated in terms of their age based on different properties (see references^{2,3}). It is conceivable that the formation of the genetic code was intertwined with the manifestation of the naturally occurring amino acids.

In general, the ability to form molecular couplings of nucleic and amino acids is essential for the protein biosynthesis common to all living beings^{4,5} and realized by an archaic class of enzymes: aminoacyl tRNA synthetases. These enzymes load tRNA molecules with their corresponding amino acid by activating it with a molecule of ATP (aminoacylation), followed by ligation to the tRNA. Hence, the fusion of glutamine (Gln) and its corresponding tRNA molecule can be written as a two-step reaction:



To realize this reaction one type of aaRS enzyme exists for each canonical amino acid. These types are divided into two classes (I and II) based on their catalytic domain⁴.

Nevertheless, about half of aaRSs show lower specificity in binding than others and therefore require editing mechanisms to prohibit errors in protein synthesis. Editing can happen at both stages of pre- and post-transfer of the amino acid to its tRNA. Post-transfer editing of misacylated tRNAs through hydrolysis is well studied, but pre-transfer editing of misactivated

amino acids needs further research due to the difficulties in isolation and characterization^{6,7,8}. Fersht and Dingwall proposed that pre-transfer editing is solely necessary for sorting out amino acids smaller than the specific substrate while post-transfer editing is needed for rejecting isosteric substances⁹. These processes should be accompanied by an induced fit which refers to a drastic rearrangement of the protein's conformation.

There is still an undeniably high demand for research that contributes to the understanding of the molecular mechanisms driving this information processing machinery. All previous studies only focused on single aaRS structures or a small number of them. In this study, all 381 available structures were computationally analyzed for the first time. In general, the proposed workflow could be able to tackle other protein families where a large amount of structures is available and, thus, manual annotation is rendered unfeasible.

2. Objective

We aimed at the development of an integrative computational workflow to identify conserved binding site residues. This workflow was exemplarily applied to class II aaRS structures. Further, by conducting extensive geometrical characterization of the identified conserved binding residues, the mechanism was studied to explain how ligand recognition occurs in aaRS class II enzymes. In particular, we wanted to determine whether an induced fit can be observed during ligand binding - a key aspect in order to understand how the function of a protein is realized.

3. Methods

Utilizing Pfam annotation¹⁰ 381 protein structures for both aaRS classes were selected from the Protein Data Bank (PDB)¹¹. We studied all structures by two established structural bioinformatics tools: the PLIP¹² and Fit3D¹³. PLIP allows the detection of characteristic interactions with amino acids surrounding the investigated ligand. Based on the initial data set manual inspection of binding site residues and their ligand interactions was conducted using annotations by PLIP. Mere visual inspection of class II interaction patterns unveiled a pattern of two arginine residues forming conserved salt bridges with a phosphate group of the ligand. We termed this pattern *arginine tweezers* due to the diametrical fixation of the ligand in between the arginine residues.

To facilitate the automatic annotation of this conserved interaction pattern a structure-guided multiple sequence alignment (MSA) using T-Coffee expresso¹⁴ was employed to enable the renumbering of all 152 class II structures according to the outcome of the alignment. Subsequently, consistent residue numbers could be assigned to both arginines, such that this conserved pattern could be easily retrieved. The arginine tweezers were analyzed geometrically by measuring their alpha carbon distance $d_{C\alpha}$ as well as the relative orientation of their side-chains described by the angle θ between the respective plane connecting the alpha carbon and the carbon of the guanidinium group of each arginine (Figure 1A).

Furthermore, we screened the whole PDB for pairs of arginines interacting with a phosphate group by salt bridges: Data from 264,312 salt bridge interactions obtained with PLIP was analyzed regarding their geometrical properties in the same manner to compare the *arginine tweezers* to other frequently occurring arginine-arginine phosphate binding patterns.

4. Results and Discussion

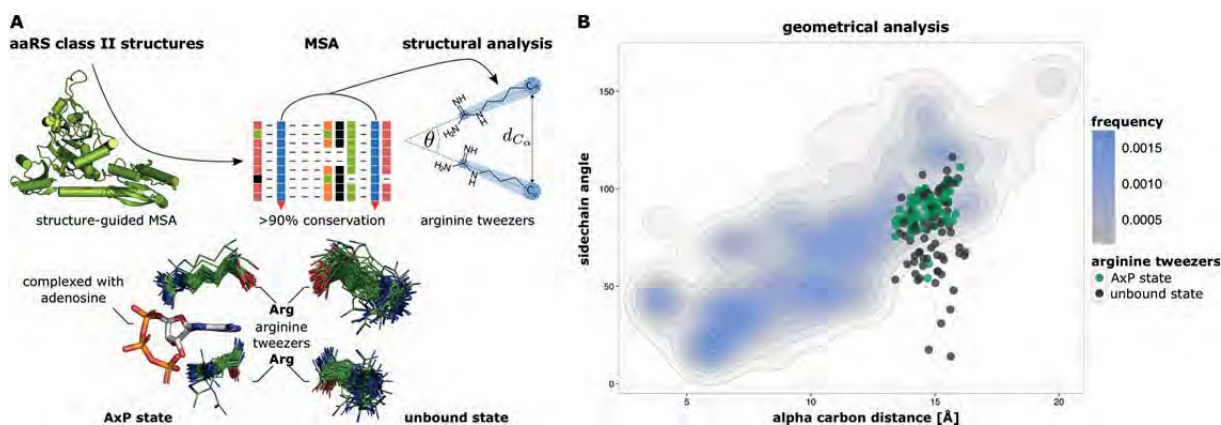


Figure 1: (A) The workflow to identify conserved binding site residues. The developed method was exemplarily applied to class II aaRS structures, where a first manual inspection of binding sites using PLIP pointed towards a highly conserved binding site pattern consisting of two arginines fixating the adenosine part of the ligand (*arginine tweezers*). This pattern occurs in two states: complexed with an adenosine ligand (AxP state) and uncomplexed (unbound state). The alignments were generated with Fit3D. (B) Geometrical analysis of *arginine tweezers*. The sidechain orientation is plotted against the distance of arginine alpha carbon atoms.

The results of the geometrical analysis are depicted in Figure 1B. The scatter plot represents the conformation of arginine pairs found in the aaRS data set. The average alpha carbon distance d_{C_α} amounts to 14.79 ± 0.64 Å, whereas the average sidechain angle θ is $84.65 \pm 16.18^\circ$ for both states. Furthermore, the arithmetic mean as well as the standard deviation for the alpha carbon distance do not differ significantly between both states. However, for the AxP state, i.e. if the ligand is present, both arginines are oriented in an almost orthogonal way of $90.58 \pm 8.15^\circ$. If the ligand is absent, the angle is sharper with a value of $77.68 \pm 20.10^\circ$. Visual inspection of alignments generated with Fit3D (bottom of Figure 1A) shows much more spatial variance if no AxP is present. This fact is also manifested in a significantly increased standard deviation for the unbound state. A Mann-Whitney U test shows the inequality of both distributions (p -value: $3.0e^{-06}$) related to the increased degree of freedom regarding the arrangement of the arginines as a bound ligand prohibits certain conformations.

The background contour plot describes the observed salt bridge interaction of arginine pairs interacting with phosphate in the PDB and unveils an intrinsic correlation between alpha carbon distance and side-chain angle. The conformation of AxP state arginine pairs found explicitly in the aaRS data set is in agreement with the background distribution. Whereas unbound arginine tweezers cannot be directly compared with the background distribution as those entries do not characterize pairs of arginines interacting with a phosphate group of

adenosine. This fact explains why most members of the unbound state differ significantly from the background distribution.

5. Conclusions

By integrating established software for structural bioinformatics we were able to develop a semi-automated workflow to identify conserved binding site residues. This workflow was successfully applied to class II aaRS structures, where a pair of conserved arginines could be identified that is crucial for ligand binding. These findings are in agreement with literature, where pairs of arginines residues are known for their interactions with phosphate groups¹⁵. Furthermore, the low variance in alpha carbon distances implies that the active site topology does not change severely. Hence, our analysis clearly shows that no induced fit is happening for the substrate processing of class II aaRS.

6. Outlook

We envision that the presented pipeline could be valuable to identify conserved binding site patterns for arbitrary proteins where a reasonable data set of structures is available. Further work should allow to shed new light on the evolutionary trace of aaRS enzymes, especially when applying the presented workflow to class I structures and comparing the process of ligand recognition.

References

- [1] D. G. Gibson *et al.*, "Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome," *Science*, vol. 329, no. 5987, pp. 52–56, Jul. 2010.
- [2] D. J. Brooks, J. R. Fresco, A. M. Lesk, and M. Singh, "Evolution of amino acid frequencies in proteins over deep time: inferred order of introduction of amino acids into the genetic code," *Mol. Biol. Evol.*, vol. 19, no. 10, pp. 1645–1655, Oct. 2002.
- [3] B. K. Davis, "Molecular evolution before the origin of species," *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, vol. 79, no. 1–3, pp. 77–133, 2002.
- [4] M. Ibba and D. Söll, "Aminoacyl-tRNA Synthesis," *Annu. Rev. Biochem.*, vol. 69, no. 1, pp. 617–650, 2000.
- [5] P. R. Wills, "Spontaneous mutual ordering of nucleic acids and proteins," *Orig. Life Evol. Biosph.*, vol. 44, no. 4, pp. 293–298, Dec. 2014.
- [6] A. Dock-Bregeon *et al.*, "Transfer RNA-mediated editing in threonyl-tRNA synthetase. The class II solution to the double discrimination problem," *Cell*, vol. 103, no. 6, pp. 877–884, Dec. 2000.
- [7] S. A. Martinis and M. T. Boniecki, "The balance between pre- and post-transfer editing in tRNA synthetases," *FEBS Lett.*, vol. 584, no. 2, pp. 455–459, Jan. 2010.
- [8] K. E. Splan, M. E. Ignatov, and K. Musier-Forsyth, "Transfer RNA modulates the editing mechanism used by class II prolyl-tRNA synthetase," *J. Biol. Chem.*, vol. 283, no. 11, pp. 7128–7134, Mar. 2008.
- [9] A. R. Fersht and C. Dingwall, "Evidence for the double-sieve editing mechanism in protein synthesis. Steric exclusion of isoleucine by valyl-tRNA synthetases," *Biochemistry*, vol. 18, no. 12, pp. 2627–2631, Jun. 1979.
- [10] R. D. Finn *et al.*, "The Pfam protein families database: towards a more sustainable future," *Nucleic Acids Res.*, vol. 44, no. D1, pp. D279–85, Jan. 2016.
- [11] H. M. Berman, "The Protein Data Bank," *Nucleic Acids Res.*, vol. 28, no. 1, pp. 235–242, 2000.
- [12] S. Salentin, S. Schreiber, V. J. Haupt, M. F. Adasme, and M. Schroeder, "PLIP: fully automated protein-ligand interaction profiler," *Nucleic Acids Res.*, vol. 43, no. W1, pp. W443–7, Jul. 2015.
- [13] F. Kaiser, A. Eisold, S. Bittrich, and D. Labudde, "Fit3D: a web application for highly accurate screening of spatial residue patterns in protein structure data," *Bioinformatics*, vol.

32, no. 5, pp. 792–794, 2015.

- [14] C. Notredame, D. G. Higgins, and J. Heringa, "T-Coffee: A novel method for fast and accurate multiple sequence alignment," *J. Mol. Biol.*, vol. 302, no. 1, pp. 205–217, Sep. 2000.
- [15] A. Gutteridge and J. M. Thornton, "Understanding nature's catalytic toolkit," *Trends Biochem. Sci.*, vol. 30, no. 11, pp. 622–629, 2005.

Parameter Estimation as a Stepping Stone for Simulations in Systems Biology

Christoph Leberecht^{1,2} and Dirk Labudde^{1,*}

¹ University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

² Biotechnology Center (BIOTEC), TU Dresden, Tatzberg 47-49, 01307 Dresden, Germany

* corresponding author: dirk.labudde@hs-mittweida.de

Abstract: We showcase a strategy to model processes in natural systems, based on the natural attributes of chemical entities. The application of this strategy together with the definition of modules for natural phenomena enables the rapid prototyping of models for systems biology. To realize this approach, we are developing an application user interface (API) called SiNGA in the Java programming language.

1 Background

Simulation and modelling is becoming increasingly important in many areas of natural and engineering sciences. As systems in life sciences get increasingly complex, computer simulations are required to understand their natural behaviour and make prediction about their future development¹.

Models are a mean of representing reality. Natural systems however are most often too complex for models to express the entirety of their features. Therefore, models must be abstract depictions that aim to represent the phenomenon in question. After the development of a model, simulations are used to calculate their progression. A significant task of systems biology and mathematical biology is the modelling of biological systems. In 2001, Tomita proposed that systems biology should rise to a grand challenge of the 21st century, to create a cellular model describing the processes and interactions of the entirety of a cell². Karr et al. proposed a model of *Mycoplasma genitalium* and demonstrated the possibility to predict the phenotype from the genotype using a complex mathematical model³. They used multiple previously proposed and published modelling approaches to model subsystems of the cell and integrated them into one whole-cell model. By studying over 900 publications they carefully extracted experimentally observed parameters, that are indispensable for the simulation.

In the last decades, an incredible amount of data has been collected in all areas of physics, chemistry and biology⁴. This data is stored in many data formats across different databases, that are accessible using web interfaces. Most of this stored information can be accessed automatically using software. The usage of this recorded data in simulations enables rapid implementation of models, that can be used as a starting point to setup a simulation. In refinement steps those parameters can be further fine-tuned to describe natural systems more accurately.

We propose an API called *Simulation of Natural System using Graph Automata (SiNGA)*, that is able to estimate the parameters needed for simulations, using data from databases where possible and estimation approaches, where no data is available. The aim of this project and framework is the creation of reusable modules that represent different processes in cells, e.g. chemical reactions, diffusion, or transport through membranes. The long-term goal is the creation of a framework where different systems can be simulated using the same fundamental principles and automatically determined parameters. We hope that this decreases the hurdle to create a model for the determination of experimental setups. Therefore, this framework can help researchers to speed up the definition and parameter estimation process while modelling different systems using a simple building block-esque setup. Furthermore, with an intuitive setup of the system more researchers can use simulations in their everyday laboratory work and possibly reduce the number of experiments that need to be performed. Especially, very expensive and ethically questionable animal trials may be reduced by examining some experimental setups with simulated cellular animal models first.

2 Methods

2.1 Modelling and Simulation

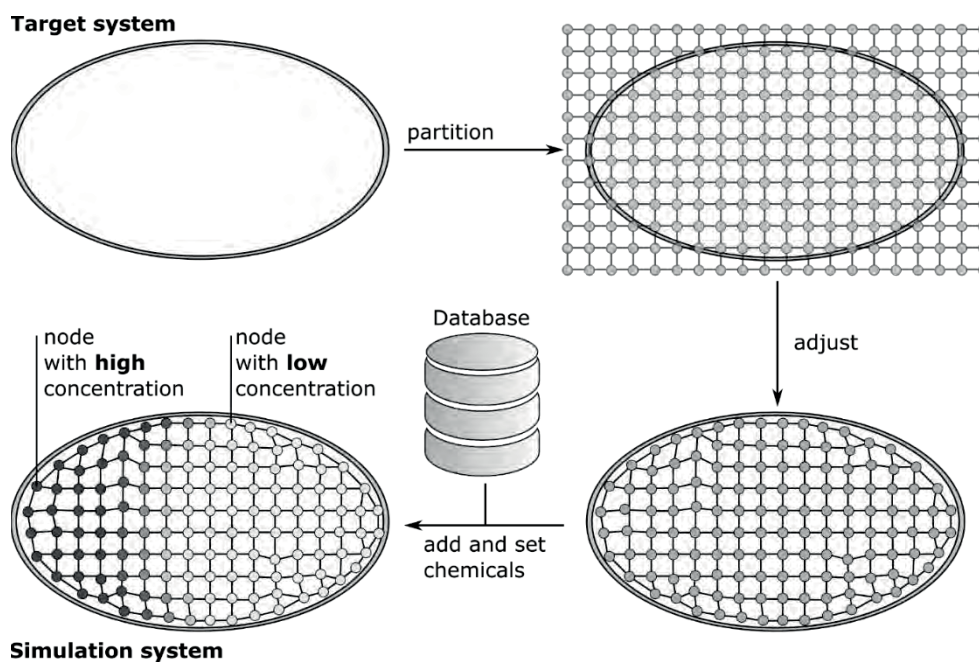


Figure 1: The target system that is to be simulated is partitioned into sub systems using a net-like graph. Further the system can be rearranged to cover the simulation space uniformly. Afterwards chemicals can be imported from databases into the simulation system.

A system to model the temporal and spatial changes cellular systems was developed. This model allows for the concurrent simulation of multiple chemicals inside of cells using graph automata⁵. First the individual cellular shape is divided into subspaces, that are simulated

individually but are allowed to interact and exchange information. Further the required chemicals are imported into the system (see Figure 1).

Different modules are now available to define the changes that are accumulated in every time step, for example the change in concentration that is resulting from passive diffusion or different chemical reactions.

The parameters for those models are either imported from databases or estimated using regression models. Finally, the system can be simulated. Thus, of the implicit definition of the model, the system can be interacted with at any point during computation. An initial publication defining the setup and definition of the model is currently under revision.

2.2 Parameter Estimation

Each process inside the cell is driven by certain aspects and attributes of the components it influences. Hence, to simulate those processes accurately specific attributes are urgently required. If the parameters for a process are available from any of the supported databases, they are included into the data model directly. Further, if the parameters are not available, estimation algorithms can be used to calculate those parameters from readily available attributes of the chemical species in question. In that case those attributes are imported and used to initialize the simulation. Naturally, the user has the possibility to alter those parameters. As an example, the requirements of the diffusion module will be considered. The master equation to simulate diffusion is formulated as follows:

$$\omega_{f_c}^{Dif}(s_j) = \Delta f_c(v_k, s_i) = f_d(s_i) \cdot \sum_{f_c(s_i) \in M_{v_k}} f_c(s_i) - f_d(s_i) \cdot deg(v_k) \cdot f_c(v_k, s_i)$$

Here a value rule ω for the concentration f_c of a chemical s_i defines the difference in concentration Δf_c in a subspace v_k , depending on the neighbouring subspaces given as a set M . Passive Diffusion is depending on the diffusivity f_d , representing the movement speed of a solute in solution⁶. The diffusivity is influenced by the molar weight and molar volume of the solute (larger and heavier solutes move slower). Different Methods exist to estimate the diffusivity using molar weight or the molar volume amongst other parameters. Hayduk and Laudie developed a correlation for molecules solved in aqueous solutions⁷. This correlation is especially optimized for small molecules in water at room temperature:

$$f_d = 13.26 \times 10^{-5} \frac{1}{\eta^{1.4} V^{0.589}}$$

Where, η is the dynamic viscosity of the solution and V is the molar volume of the solute. With the implementation of this correlation the diffusivity can be estimated with an average error of 0.7%.

By defining pipelines for parameter retrieval and backup solutions for each module, it is possible to assign approximations to each parameter needed to perform the simulation.

3 Implementation

We developed the API *SINGA* in the Java programming language. We provide the source code on GitHub (github.com/cleberecht/singa) under GNU General Public License Version 3. With the API it is possible to define simulations. There are methods implemented to create graphs to span the simulation space uniformly, such as grid graphs (as seen in Figure 1). Different modules can be added that affect the concentration of species in the graph during simulation. Currently implemented are the already mentioned free diffusion and chemical reactions. Species can be imported using the Databases *UniProt*⁸ for enzyme and protein data, as well as *ChEBI*⁹ and *PubChem*¹⁰ for small molecule data. Additionally, chemicals referenced in *SBML* files can be imported¹¹. The algorithmic progression of the simulation is depicted in Figure 2.

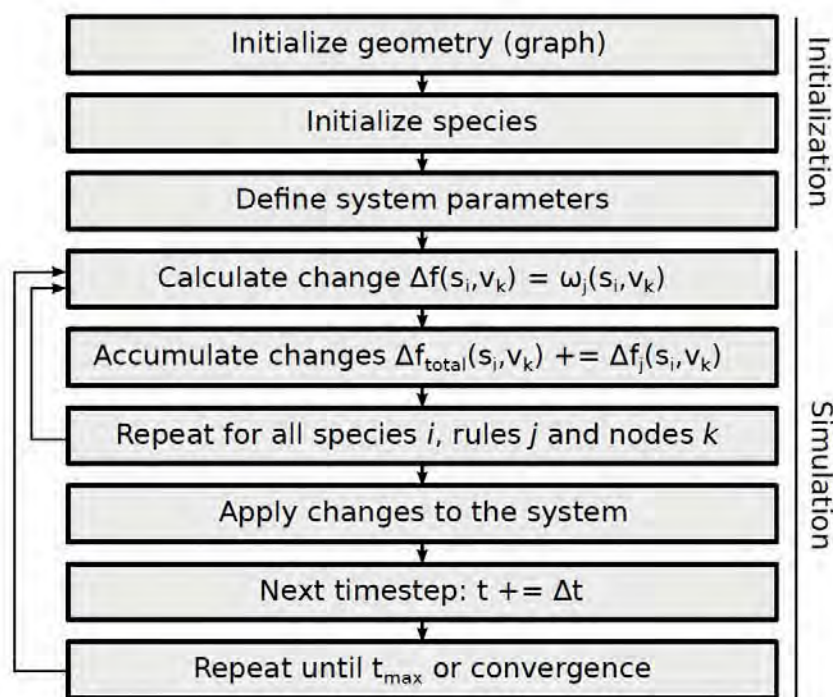


Figure 2: A flowchart describing the initialization process followed by the steps that are traversed during simulation.

4 Conclusions and Further Prospects

As simulations become increasingly important, it becomes also more important to allow researchers to incorporate them into their everyday life. Therefore, we propose a simulation and modelling system to quickly setup models using parameter estimation and readily available data. Still, lots of work has to be put into finetuning the available modules, such that they represent the phenomenon as accurately as possible, using experiments to validate them where possible. A module to simulate passive diffusion across biological membranes is

currently under development and active membrane transport as well as the influence of genetic mutations are on the horizon. Further development of the graphical user interface will provide an intuitive way to setup, perform and interact with simulations.

5 References

- [1] B. Di Ventura, C. Lemerle, K. Michalodimitrakis and L. Serrano, "From in vivo to in silico biology and back," *Nature*, vol. 443, pp. 527-533, 2006.
- [2] M. Tomita, "Whole-cell simulation: a grand challenge of the 21st century," *Trends in biotechnology*, vol. 19, pp. 205-210, 2001.
- [3] J. R. Karr, J. C. Sanghvi, D. N. Macklin, M. V. Gutschow, J. M. Jacobs, B. Bolival, N. Assad-Garcia, J. I. Glass and M. W. Covert, "A whole-cell computational model predicts phenotype from genotype," *Cell*, vol. 150, pp. 389-401, 2012.
- [4] V. Marx, "Biology: The big challenges of big data," *Nature*, vol. 498, pp. 255-260, 2013.
- [5] A. Wu and A. Rosenfeld, "Cellular graph automata. I. basic concepts, graph property measurement, closure properties," *Information and Control*, vol. 42, pp. 305-329, 1979.
- [6] A. Fick, "Ueber diffusion," *Annalen der Physik*, vol. 170, pp. 59-86, 1855.
- [7] W. Hayduk and H. Laudie, "Prediction of diffusion coefficients for nonelectrolytes in dilute aqueous solutions," *AIChE Journal*, vol. 20, pp. 611-615, 1974.
- [8] U. Consortium and others, "UniProt: a hub for protein information," *Nucleic acids research*, p. gku989, 2014.
- [9] J. Hastings, P. de Matos, A. Dekker, M. Ennis, B. Harsha, N. Kale, V. Muthukrishnan, G. Owen, S. Turner, M. Williams and others, "The ChEBI reference database and ontology for biologically relevant chemistry: enhancements for 2013," *Nucleic acids research*, vol. 41, pp. D456--D463, 2013.
- [10] S. Kim, P. A. Thiessen, E. E. Bolton, J. Chen, G. Fu, A. Gindulyte, L. Han, J. He, S. He, B. A. Shoemaker and others, "PubChem substance and compound databases," *Nucleic acids research*, p. gkv951, 2015.
- [11] M. Hucka, A. Finney, H. M. Sauro, H. Bolouri, J. C. Doyle, H. Kitano, A. P. Arkin, B. J. Bornstein, D. Bray, A. Cornish-Bowden and others, "The systems biology markup language (SBML): a medium for representation and exchange of biochemical network models," *Bioinformatics*, vol. 19, pp. 524-531, 2003.

Sozialwissenschaften

„Alltagskompetenz-Training – Entspannt und sicher durch den Alltag“ – Ein Trainingskonzept für Menschen mit geistiger Behinderung

Julia Knuhr, Gabriele Helga Franke & Melanie Jagla

Hochschule Magdeburg -Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften

julia@tknuhr.de

Abstract: Der Bildungssektor für intelligenzgeminderte Menschen beinhaltet bereits eine große Bandbreite differenzierter Kursangebote. Standardisierte, auf einem psychologischen Fundament aufbauende Trainingsmanuale sind dagegen nur wenige zu finden. Die Entwicklung eines solchen Programms sowie die erstmalige Erprobung samt ihrer Ergebnisse werden kurz dargestellt.

1. Hintergrund und Ziel

Die Beschreibung der Weltgesundheitsorganisation (WHO), nach der eine geistige Behinderung durch eine Beeinträchtigung der Intelligenz gekennzeichnet ist, aufgrund derer eine verminderte Fähigkeit besteht, neue bzw. komplexe Informationen zu verstehen und neue Fertigkeiten zu lernen und anwenden zu können, wird zugrunde gelegt. Durch eine geistige Behinderung wird ebenfalls die soziale Kompetenz beeinträchtigt, was es den Betroffenen erschwert, ein unabhängiges Leben zu führen. Zudem müssen diese Einschränkungen vor dem Erreichen des 18. Lebensjahres begonnen und auf die Entwicklung langfristige Auswirkungen haben.^[9]

Durch die vorliegenden Einschränkungen wird die Anpassung betroffener Personen an die alltäglichen Anforderungen des Lebens erschwert. Je nach Ausprägung sind Schwierigkeiten im Bereich der eigenständigen Versorgung, im Erlernen von schulischen oder beruflichen Fähigkeiten sowie in der emotionalen und sozialen Entwicklung die Folge.^[1] Dabei können die bestehenden Problemfelder unterschiedlichen Bereichen zugeordnet und grundlegend zwei Gruppen unterschieden werden. Zum einen gibt es Fähigkeitseinschränkungen, die die geistig behinderte Person persönlich betreffen, zum anderen zeigt sich ein großer Mangel an Kompetenzen, wenn es um die Interaktion mit anderen Menschen bzw. der Gesellschaft geht.^{[1][2]} Aus den gegebenen Defiziten betroffener Personen ergibt sich nicht nur die Notwendigkeit einer besonderen Betreuung, sondern auch einer speziellen und gezielten Förderung. Zwar bietet der Zweig der Bildung geistig behinderter Erwachsener eine Vielzahl unterschiedlicher Kurse an^[3] standardisierte, psychologisch fundierte Trainingsmanuale existieren jedoch bisher recht wenige. Ebenso wird das Gebiet der Alltagskompetenzen, also Fähigkeiten, welche im alltäglichen Leben von Nutzen sind, dabei noch nicht abgedeckt. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, ein Trainingsmanual für die Arbeit mit Menschen mit geistiger Behinderung zu entwickeln, welches den Ausbau persönlicher Fertigkeiten und Kompetenzen betroffener Personen ermöglicht.

2. Methodik

2. 1. Entwicklung des Manuals

Methodisch basiert die Arbeit auf einer umfassenden Literaturrecherche, in der Wissen über die grundlegenden theoretischen Konstrukte der „geistigen Behinderung“ (ausführlich z.B.^[6]) und „Alltagskompetenzen“ (z.B.^[8]) zusammengetragen wurde. Die gefundenen Texte dienen zu großen Teilen der Zusammenstellung des theoretischen Grundlagenwissens.

An einigen Stellen konnten ebenfalls die persönlichen Erfahrungen der Erstautorin, welche bei der Arbeit in einem Wohnheim für Menschen mit geistiger Behinderung gesammelt wurden, einfließen, um das zuvor Aufgeführte zu unterstützen oder anhand von Beispielen zu veranschaulichen. Während eines intensiven Gedanken-, Ideen- sowie Erfahrungsaustauschs mit den Mitarbeitern der Einrichtung, in der das Manual erstmals erprobt wurde, konnten bereits die Schwerpunkte festgelegt werden, welche innerhalb der Trainingssitzungen behandelt werden sollten. Für die Erstellung des Manuals dienen bereits bestehenden Trainingsmanuale, vor allem aus dem Kinder- und Jugendbereich, zur weiteren Inspiration (z.B.^[7]). In erster Linie gingen Abfolge, Methoden und Inhalte der einzelnen Module aus eigenen Überlegungen hervor. Grundlage für den theoretischen Input, der während der einzelnen Sitzungen gegeben wird, bildete ebenso eine ausführliche Recherche.

2.2. Inhalte und Rahmenbedingungen des Trainings

Innerhalb der einzelnen Module werden vier große Themenschwerpunkte behandelt:

- Stress
- Konflikte
- Emotionen und
- Kommunikation.

Als Zielgruppe sollen Menschen mit leichter bis mittelgradiger Intelligenzminderung ab einem Alter von 18 Jahren angesprochen werden. Eine Teilnehmerzahl von 4 bis 6 Person wird dabei als optimal eingeschätzt, um eine angenehme Lern- und Arbeitsatmosphäre zu gestalten.

Angewandt werden kann dieses Trainingskonzept im ambulanten, stationären und auch teilstationären Bereich. Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Module aufeinander aufbauen und es sich somit um einen geschlossenen Zyklus handelt, der in der gleichen Gruppenzusammensetzung durchlaufen werden soll.

Das Manual beinhaltet insgesamt sieben Veranstaltungen, welche mit einer Sitzungsfrequenz von einem Treffen pro Woche stattfinden sollten. Die Dauer beträgt dabei jeweils 60 Minuten, von denen 45 Minuten thematisch geplant wurden und 15 Minuten als Reservezeit zur Verfügung stehen. Eine Übersicht über die einzelnen Sitzungen und ihrer Inhalte findet sich in der Tabelle 1.

Tabelle 1. Module des Alltagskompetenz-Trainings

Einheit	Thema	Inhalte
1. Termin	Einführungsveranstaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Kennlernrunde - Erläuterung des Ablaufs - Erfragen schwieriger Alltagssituationen - Aufstellen der Gruppenregeln
2. Termin	Stressmanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Wann gerate ich in Stress und wie fühlt sich das an? - Mittel gegen Stress
3. Termin	Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> - Erläuterung verbale und nonverbale Kommunikation - Entstehung von Missverständnissen
4. Termin	Gefühle I	<ul style="list-style-type: none"> - Übersicht der Emotionen
5. Termin	Gefühle II	<ul style="list-style-type: none"> - Vertiefung eines bestimmten Gefühls
6. Termin	Soziale Kompetenz	<ul style="list-style-type: none"> - Einführung des PIP-Plans zur Problemlösung - Erarbeitung angemessener Verhaltensweisen in Konfliktsituationen
7. Termin	Abschlussitzung	<ul style="list-style-type: none"> - erneutes Abfragen schwieriger Situationen - Vergabe der Urkunden - Rückmeldung der Teilnehmer zum Trainingsprogramm

Die Durchführung der Trainingsstunden kann von einem/-r pädagogisch-psychologisch ausgebildeten Gruppenleiter/-in geleistet werden, der/ die bereits über die Grundzüge des benötigten Wissens verfügt. Ansonsten finden sich am Ende jedes Moduls zusätzliche Literaturempfehlungen, die eine Einarbeitung in die jeweilige Thematik ermöglichen sollen. Interaktives Arbeiten steht für die Durchführung an erster Stelle. Mit den zahlreichen alltagsnahen Beispielen, Übungen und Spielen wurde diese Notwendigkeit bedacht. Zur Erhöhung des Lernerfolgs besteht zusätzlich die Möglichkeit, Handouts zu den jeweiligen Sitzungen auszuteilen. Um den Teilnehmenden schon zu Beginn der Sitzungen eine gewisse

Struktur vorgeben zu können, wurde zu jedem Termin ein Verlaufsplan erstellt. Dieser Plan wird vor dem Beginn jeder Stunde gut sichtbar aufgehängt und der Gruppe erläutert. Unbedingt zu beachten ist die Verwendung der Leichten Sprache.^[5] Die erste Erprobung dieses Trainingsprogramms erfolgte im Frühjahr 2016 in Zusammenarbeit mit der Behindertenhilfe der Pfeifferschen Stiftungen in Magdeburg.

3. Ergebnisse

3.1. Beschreibung der Stichprobe

Am ersten Durchlauf des Alltagskompetenz-Trainings nahmen fünf Personen teil, bei denen eine leichte Intelligenzminderung vorlag. Ausgewählt wurden sie von den Mitarbeitern der Einrichtung. Die zwei Frauen und drei Männer waren im Alter zwischen 29 und 63 Jahren und lebten im Ambulant und Intensiv Betreuten Wohnen der Pfeifferschen Stiftungen. Diese Wohnformen werden mit je 3,5 Betreuungsstunden pro Woche bzw. für den intensiv betreuten Bereich mit 8-10 Stunden begleitet. Vier der Teilnehmer/-innen waren in den Werkstätten für geistig behinderte Menschen der Pfeifferschen Stiftungen tätig, der fünfte Teilnehmer war bereits berentet. Während eine Teilnehmerin schon mehrfach Erfahrung mit der Teilnahme an solchen Kursangeboten sammeln konnte, befanden sich zwei andere Teilnehmer gleichzeitig in psychiatrischer/ psychologischer Behandlung.

3.2. Ergebnisse des ersten Durchlaufs

Grundlegend ist der erste Durchlauf des Alltagskompetenz-Trainings als erfolgreich zu bewerten. Das Trainingsprogramm erhielt sowohl von den Teilnehmern/-innen als auch von Seiten der Einrichtung eine durchweg positive Rückmeldung. Inhaltlich und methodisch wurde es gut angenommen und ebenso konnten entsprechende Lerneffekte erzielt werden.

Um dies zu stützen, sollen an dieser Stelle einige Rückmeldungen der Teilnehmer zitiert werden:

- „Das war jut gewesen.“
- „Das hat mir hier wirklich sehr geholfen und wir wurden auch gut unterstützt.“
- „Oh schade, dass das das letzte Mal ist. Könnte hier auch noch weitermachen.“
- „Das hat gutgetan, mal so zu reden.“
- „Nee, also ich kann hier nix beklagen dran.“

Während der direkten Arbeit konnten zudem viele der in den theoretischen Grundlagen angeführten Aspekte bestätigt werden. Die Beispiele zu Alltagsproblemen von Menschen mit geistiger Behinderung, welche im Theorieteil des Manuals besprochen werden, wurden aus einer großen Menge unter der Prämisse, eine hohe Relevanz im Alltag zu besitzen, ausgewählt. Während der ersten Erprobung konnte dies belegt werden.

Aus Sicht der Gruppenleitung sind hingegen noch einige Modifikationen vorzunehmen.

Eine Niederschrift der Arbeitsanweisungen und Theorieblöcke in Leichte Sprache ist unbedingt notwendig, da sich eine spontane Umformulierung als schwerer herausgestellt hat, als zuvor angenommen wurde.

Ebenso ist es empfehlenswert, die zu vermittelnde Theorie angemessener aufzubereiten, sodass sie einerseits für die Teilnehmenden besser verständlich wird und andererseits für die Gruppenleitung einfacher zu vermitteln ist.

Bezüglich der Handouts sollte an der Kombination aus Bild und Schrift gearbeitet werden. Piktogramme sollten vermehrt Anwendung finden, um sie für möglichst alle Teilnehmer erklärbar zu machen.

Als problematisch erwies sich zudem das Zeitmanagement. Um dem Bedürfnis der Teilnehmer nach gemeinsamem Austausch gerecht zu werden und gleichzeitig die geplanten Inhalte besprechen zu können, reicht die angesetzte Zeit von mindestens 45 bzw. maximal 60 Minuten unter Umständen nicht aus.

4. Diskussion und Ausblick

Geistig behinderte Menschen sehen sich in ihrem Alltag mit einer Reihe von Herausforderungen konfrontiert, deren Bewältigung ihnen aufgrund ihrer körperlichen und kognitiven Einschränkungen^[4] nicht immer leichtfällt. Daraus lässt sich die spezielle Förderung und Unterstützung für diese Personengruppe ableiten.

Der Bedarf an Weiterbildungsmöglichkeiten für geistig behinderte Erwachsene ist enorm, jedoch kann er in den wenigsten Fällen adäquat abgedeckt werden. Ziel war es daher, diesen Sektor mit der Erstellung eines Manuals zum Training der Alltagskompetenzen zu erweitern. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde mit diesem Beitrag eindeutig vollzogen. Dennoch besteht künftig weiterer Forschungsbedarf, um Modifikationen und Erweiterungen vornehmen zu können.

Bezüglich des Zeitmanagements stellt sich die Frage, wie in Zukunft mit der geringen zur Verfügung stehenden Zeit umzugehen ist, ob Inhalte gestrichen und damit mehr Zeit zur individuellen Gestaltung zur Verfügung gestellt wird oder, ob der Fokus auf die Lerninhalte gelegt wird. Da hierfür derzeit noch keine „Lösung“ ersichtlich scheint, sind weitere Erprobungen notwendig. Des Weiteren ist anzunehmen, dass sich in weiteren Durchläufen zeigen wird, welche Möglichkeit für ein gelungenes Arbeiten mit dem Manual bedeutsamer ist. Dabei stellt sich ebenso die Frage, wie viel Wissensvermittlung tatsächlich möglich, machbar oder ganz und gar nötig ist, um die Lerneffekte des Trainings als erfolgreich bezeichnen zu können.

Bisher erfolgte lediglich eine einmalige Durchführung in einer Gruppe, welche gute kognitive Voraussetzungen mitbrachte. Intention war es, das Trainingsprogramm in möglichst vielen unterschiedlichen Bereichen einsetzen zu können. Dahingehend werden in Zukunft weitere Durchläufe stattfinden. Spannend wird dabei, zu sehen, ob die angedachte, flexible Anpassung des Lernniveaus an die jeweils mitgebrachten Fähigkeiten umsetzbar ist.

Ferner sollte das Manual zusätzlich um eine angemessene Evaluationsmethode erweitert werden, die eine direkte Messung der Lernerfolge der Teilnehmer möglich macht. Zusammenfassend lässt sich, unter Beachtung der angeführten Überarbeitungspunkte, noch einmal der erste Erfolg des Alltagskompetenz-Trainings herausstellen. Das Interesse der Behinderteneinrichtung an einer weiteren Zusammenarbeit lässt auf genügend Chancen zur optimalen Überarbeitung und Erweiterung des Manuals hoffen.

5. Literatur

- [1] Charlier, N. (2016). Intelligenzminderung. In N. Charlier (Hrsg.), *Somatische Differenzialdiagnosen psychischer Symptome im Kindes- und Jugendalter* (S. 93-108). Berlin: Springer- Verlag.
- [2] DIMDI (2017). ICD-10. Kapitel V. Psychische und Verhaltensstörungen (F00-F99). Verfügbar unter: <http://www.dimdi.de/static/de/klassi/icd-10-gm/kodesuche/onlinefassungen/htmlgm2017/#V>.
- [3] Fornefeld, B. (2002). *Einführung in die Geistigbehindertenpädagogik. Mit 5 Tabellen und 59 Übungsaufgaben* (2., durchges. Aufl.). München: Reinhardt.
- [4] Irblich, D. & Stahl, B. (2003). *Menschen mit geistiger Behinderung. Psychologische Grundlagen, Konzepte und Tätigkeitsfelder*. Göttingen: Hogrefe.
- [5] Lebenshilfe Bremen. (2013). *Leichte Sprache - Die Bilder*. Marburg: Verlag der Bundesvereinigung Lebenshilfe e. V.
- [6] Neuhäuser, G. (2013). *Geistige Behinderung. Grundlagen, Erscheinungsformen und klinische Probleme, Behandlung, Rehabilitation und rechtliche Aspekte* (4., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- [7] Petermann, F., Koglin, U., Netzke, H. & von Marees, N. (2013). *Verhaltenstraining in der Grundschule – Ein Programm zur Förderung emotionaler und sozialer Kompetenzen* (2). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- [8] Runte, R. & Müller, R. (2015). Wer sind eigentlich diese "Personen mit eingeschränkter Alltagskompetenz"? *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*. Berlin: Springer.
- [9] Weltgesundheitsorganisation. (2016). *Gesundheitsthemen*. Verfügbar unter: <http://www.euro.who.int/de/health-topics/noncommunicable-diseases/mental-health/news/news/2010/15/childrens-right-to-family-life/definition-intellectual-disability>.

Modifikation der Mini-Symptom-Checkliste (Mini-SCL) für Menschen mit geistiger Behinderung

Daniela Schreckenbach, Melanie Jagla, Martin Häring & Gabriele Helga Franke
Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften
daniela.schreckenbach@gmail.com

Abstract: Trotz des vermehrten Auftretens psychischer Störungen bei Menschen mit geistiger Behinderung fehlen spezielle Diagnoseinstrumente für diese Personengruppe. Die Modifikation der Mini-Symptom-Checkliste (Mini-SCL) für Menschen mit Intelligenzminderung ergab bei ihrer Durchführung im Jahr 2015 mit 30 Probanden im AWO Fachkrankenhaus Jerichow eine hohe Akzeptanz und 33% weniger fehlende Werte als in der originalen Version. Eine Prüfung an einer größeren Stichprobe sollte folgen.

1. Hintergrund & Ziel

Bei Menschen mit geistiger Behinderung treten psychische Erkrankungen bis zu dreimal häufiger auf als in der Allgemeinbevölkerung. Dabei stellen Angststörungen und unipolare Depressionen mit einer 12-Monats-Prävalenz von 15,3% sowie 7,7% zwei der häufigsten psychischen Störungen dar. Somatisierungsstörungen sind mit einer Häufigkeit von 3,5% vertreten¹.

Eine adäquate Diagnostik mittels der Beurteilung durch den Patienten selbst ist dabei für eine erfolgreiche Therapie erstrebenswert, da auf diese Weise wesentlich weitreichendere Informationen zu erlebten Emotionen erfasst werden können². Trotz umfangreicher Erweiterung der Forschung auf diesem Gebiet sind immer noch zahlreiche notwendige Bearbeitungsgebiete identifizierbar³. So ist hier die oft genutzte Erfassung psychischer Belastung mittels der Symptom-Checkliste-90®-Standard (SCL-90®-S)⁴ oder ihrer Kurzform Mini-SCL⁵ aufgrund von Einschränkungen im Bereich der Kommunikation und Introspektion⁶ häufig nicht möglich.

Innerhalb einer Arbeitsgruppe an der Hochschule Magdeburg-Stendal unter der Leitung von Frau Jagla und Frau Prof. Dr. Franke entstanden seit dem Jahr 2013 mehrere Modifikationen einzelner Skalen der SCL-90-®-S für Menschen mit geistiger Behinderung. Auf Grundlage der bereits existierenden Überarbeitungen der Skalen Somatisierung und Depressivität⁷⁻⁸ und unter Ergänzung der Items für die Skala Ängstlichkeit hat die vorliegende Studie die Modifikation und Erprobung der Mini-SCL für Menschen mit geistiger Behinderung zum Ziel.

2. Methodik

Auf der Station für Verhaltenstherapie für Menschen mit geistiger Behinderung des AWO Fachkrankenhauses Jerichow wurden zwischen Juni und November 2015 Daten von 30 Probanden erhoben.

Auf Grundlage der Forschungsfrage, ob eine Übersetzung der Items der Mini-SCL eine bessere Verständlichkeit und Durchführbarkeit für Menschen mit geistiger Behinderung schafft, wurde der Intelligenzquotient mittels Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (WIE) erfasst. Dieser erlaubt die Berechnung eines Gesamt-, Verbal- und Handlungsintelligenzquotienten⁹. Anschließend folgte die Durchführung der Mini-SCL im Original und in der modifizierten Version (Mini-SCL-M). Die Mini-SCL setzt sich aus jeweils sechs Items der Skalen Somatisierung, Depressivität und Ängstlichkeit zusammen, deren Summenwerte die Ermittlung eines globalen Kennwertes (Global Severity Index - GSI) ermöglichen. Die Güte des Verfahrens gilt als belegt. Zur Auswertung liegt eine bevölkerungsrepräsentative Normstichprobe vor, welche eine Beurteilung anhand von alters- und geschlechtsbezogenen T-Werten zulässt⁵.

Für den Einsatz bei Menschen mit Intelligenzminderung erfolgte eine Übersetzung der 18 Items und der Instruktion der Mini-SCL in leichte Sprache sowie eine Ergänzung mittels Piktogrammen. Zusätzlich wurde die Instruktion auf insgesamt drei Seiten und jedes Item einzeln auf einer Seite in der Größe DIN A5 dargestellt. Das ursprünglich fünfstufige Antwortformat wurde auf ein dreistufiges (Nein – Ja, etwas – Ja, viel) reduziert und mit entsprechenden Piktogrammen ergänzt; die Antwortoptionen erscheinen, wie in Abbildung 1 dargestellt, nun für die Probanden dauerhaft sichtbar am unteren Rand.



Abbildung 1: Item 1 der Mini-SCL-M mit Antwortformat

Da bei den Items ‚Herz- oder Brustschmerzen‘ und ‚Taubheit oder Kribbeln in einzelnen Körperteilen‘ mehrere Teilaspekte erfragt werden, wurden diese in separate Fragen getrennt. Die Testleitung erfasste während der Durchführung der Mini-SCL-M das Ausmaß an notwendiger Hilfestellung in den Kategorien ‚vorlesen‘, ‚Text erklären‘, sowie ‚Text und Bilder erklären‘.

Sowohl der WIE als auch die Mini-SCL wurden mittels Handbuch ausgewertet. Für die Mini-SCL-M wurden die drei Antwortkategorien mit den Werten 0-2 aufsummiert. Eine statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels IBM SPSS Statistics 20.

3. Ergebnisse

3.1 Stichprobenbeschreibung

Von den 30 durchschnittlich 38 Jahre alten (SD 12, Min 19, Max 58) Probanden waren 53.3% männlich; die Tabelle 1 stellt weitere Ergebnisse dar.

Schulbildung				
Lernbehindertenschule	Geistigbehindertenschule	Körperbehindertenschule	Hauptschule	unbekannt
63.3%	20%	6.7%	3.3%	6.7%
Ausbildung				
keine	Teilfacharbeiter	Theoriegeminderte Ausbildung		
80%	13.3%	6.7%		

Tabelle 1: Stichprobenbeschreibung

3.2 Ergebnisse der Testverfahren

Die IQ-Diagnostik mittels WIE⁹ ergab bei jeweils 50% der Teilnehmer eine mittelgradige (F71) bzw. leichte (F70) Intelligenzminderung.

Für die Mini-SCL war ein maximaler Wert von 72 Punkten erreichbar. Zehn der Teilnehmer konnten diese aufgrund schwerwiegender Verständnisprobleme nicht ausfüllen. Die übrigen Probanden vergaben durchschnittlich 10 Punkte (SD 9, Min 0, Max 25, Fehlende Antwort: 2%).

Für die Mini-SCL-M war ein maximaler Wert von 40 erreichbar. Alle Teilnehmer konnten den modifizierten Fragebogen beantworten. Dabei vergaben sie durchschnittlich 8 Punkte (SD 6, Min 0, Max 22).

3.3 Ergebnisse der vertieften Analyse

Eine Korrelation der Summenwerte nach Spearman ergab einen hohen Zusammenhang auf dem Signifikanzniveau von $p < 0.01$ ($r = 0.88$). Die differenzierte korrelative Betrachtung der einzelnen Items zeigt eine signifikante Korrelation der Mehrzahl der Items (55.6%), weshalb auf eine statistische Vergleichbarkeit der beiden Verfahren geschlossen werden kann.

In Tabelle 2 ist detailliert die benötigten Hilfestellungen für die Mini-SCL-M dargestellt. Es wurde deutlich, dass 46.7% der Probanden keine Hilfe bei der Beantwortung der Fragen benötigten. Bei fünf der Items waren noch weitere Hilfestellungen als vorlesen notwendig.

Nr.	Item	keine	Vorlesen	Text erklären	Text und Bilder erklären
1	Ohnmachts- oder Schwindelgefühlen	15 (50%)	15 (50%)		
2	dem Gefühl, sich für nichts zu interessieren	14 (46,7%)	13 (43,3%)	1 (3,3%)	2 (6,7%)
3	Nervosität oder innerem Zittern	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
4	Herzschmerzen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
5	Brustschmerzen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
6	Einsamkeitsgefühlen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
7	dem Gefühl, gespannt oder aufgeregt zu sein	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
8	Übelkeit oder Magenverstimmungen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
9	Schwermut	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
10	plötzlichem Erschrecken ohne Grund	14 (46,7%)	14 (46,7%)	1 (3,3%)	1 (3,3%)
11	Schwierigkeiten beim Atmen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
12	dem Gefühl, wertlos zu sein	14 (46,7%)	15 (50%)	1 (3,3%)	
13	Schreck- oder Panikanfällen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
14	Taubheit in einzelnen Körperteilen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
15	Kribbeln in einzelnen Körperteilen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
16	einem Gefühl der Hoffnungslosigkeit angesichts Ihrer Zukunft	14 (46,7%)	15 (50%)	1 (3,3%)	
17	so starker Ruhelosigkeit, dass Sie nicht still sitzen können	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
18	Schwächegefühl in einzelnen Körperteilen	14 (46,7%)	15 (50%)	1 (3,3%)	
19	Gedanken, sich das Leben zu nehmen	14 (46,7%)	16 (53,3%)		
20	Furchtsamkeit	14 (46,7%)	16 (53,3%)		

Tabelle 2: Häufigkeiten der gegebenen Hilfestellungen n (%)

Aufgrund der Bearbeitung konnten 99.8% der Items der Mini-SCL-M erfolgreich beantwortet werden. Mit einer Quote von 65.4% werden deutlich weniger erfolgte Beantwortungen bei der Mini-SCL erkennbar.

Es wurde angenommen, dass Teilnehmer mit einer mittelgradigen Intelligenzminderung mehr Hilfestellung benötigen als Teilnehmer mit einer leichten Intelligenzminderung. Diese Hypothese konnte mittels Mann-Whitney-U-Test bestätigt werden (s. Tabelle 3).

statistische Prüfung	gesamt	keine	vorlesen
Z	-2,355	-2,004	-2,583
sig. (2 seitig)	0,019	0,045	0,010

Tabelle 3: Signifikante Unterschiede des Hilfebedarfs zwischen leichter und mittelgradiger Intelligenzminderung nach Mann-Witney-U

4. Diskussion

Besonders im deutschen Sprachraum ist auch weiterhin ein deutlicher Mangel an Selbstbeurteilungsinstrumenten für Menschen mit Intelligenzminderung erkennbar⁷. Die vorliegende Modifikation der Mini-SCL möchte bestehenden Hindernissen bei der Anwendung relevanter psychometrischer Testverfahren⁶ entgegenwirken. Die Modifikation der Mini-SCL wurde gut angenommen und eine Bearbeitung durch Menschen mit geistiger Behinderung ermöglicht. Trotzdem ist aufgrund der unbefriedigenden Standardisierung bestehender Instrumente¹ eine geeignet große Normierungsstichprobe für die neu entstandenen Mini-SCL-M wünschenswert.

Insgesamt konnten bereits gewonnene Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge erfolgreich aufgenommen werden, weshalb mit den entstandenen Formatvorlagen und einheitlichen Piktogrammen ein weiterer Eckpfeiler für eine Forschung auf dem Gebiet der Schaffung von Messinstrumenten und Texten für Menschen mit geistiger Behinderung entstand. Wünschenswert wäre die Modifikation der übrigen Skalen der SCL-90®-S, so dass bei der Diagnostik von Menschen mit Intelligenzminderung zukünftig ein komplettes Testinstrument zur Verfügung steht.

5. Literatur

¹Schanze, C. (2014). Intelligenzminderung und psychische Störung - Grundlagen, Epidemiologie, Erklärungsansätze. In C. Schanze (Hrsg.), *Psychiatrische Diagnostik und Therapie bei Menschen mit Intelligenzminderung. Ein Arbeits- und Praxisbuch für Ärzte, Psychologen, Heilerziehungspfleger und -pädagogen* (2. Aufl., S. 21–29). Stuttgart: Schattauer.

²Bramston, P. & Fogarty, G. (2000). The assessment of emotional distress experienced by people with mild intellectual disabilities: A study of different methodologies. *Research in developmental disabilities* (21), 487–500.

³Bertelli, M. O., Rossi, M., Scuticchio, D., Bianco, A. & Salerno, L. (2015). The assessment of psychiatric disorders in intellectual disability: The state of the art. *Journal of Intellectual Disability* (3), 138–146.

⁴Franke, G. H. (2014). *SCL-90®-S Symptom-Checklist 90®-Standard*. Göttingen: Hogrefe.

⁵Franke, G.H. (2016). *Mini-SCL*. Göttingen: Hogrefe.

⁶Schmidt, H. & Meir, S. (2014). Strukturelle und methodologische Besonderheiten in der Diagnostik bei geistig Behinderten. In C. Schanze (Hrsg.), *Psychiatrische Diagnostik und*

Therapie bei Menschen mit Intelligenzminderung. Ein Arbeits- und Praxisbuch für Ärzte, Psychologen, Heilerziehungspfleger und -pädagogen (2. Aufl., S. 30–33). Stuttgart: Schattauer.

⁷Jagla, M., Schreckenbach, D., Stöwe, A., Eichner, T., Staudt, E., Müller, J. & Franke, G.H. (2015). Psychodiagnostik bei Menschen mit geistiger Behinderung. In DRV-Schriften Band 107 (Hrsg.), *Psychische Störungen – Herausforderungen für Prävention und Rehabilitation* (S. 112–113). Berlin: DRV.

⁸Stöwe, A., Jagla, M. & Franke, G. H. (2015). Übersetzung der SCL-90®-S in die leichte Sprache: Die Somatisierungsskala. In M. Knaut (Hrsg.), *16. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz ost- und mitteldeutscher Fachhochschulen* (S. 358–363). Berlin: Berliner Wissenschaftsverlag.

⁹Aster, M., Neubauer, A. & Horn, R. (1996). *Wechsler Intelligenztest für Erwachsene – WIE. Manual*. Übersetzung und Adaption des WAIS III von David Wechsler. Frankfurt am Main: Harcourt Test Services.

Sind Geschwister von Kindern mit Autismus-Spektrum-Störungen belastet und in ihrer Lebensqualität eingeschränkt? Eine mixed-methods Pilotstudie.

Melanie Jagla¹, Jennifer Schenk¹, Monika Bullinger², Petra Hampel³ & Gabriele Helga Franke¹

¹ Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften

² Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf; Abteilung für Medizinische Psychologie

³ Europa-Universität Flensburg; Instit. f. Gesundheits-, Ernährungs- und Sportwissenschaften

Kontakt: jagla.melanie@gmail.com

Abstract: Die vorliegende Pilotstudie zeigt, dass sich Geschwisterkinder von Kindern mit Autismus-Spektrum-Störungen als leicht bis mittel belastet, aber ohne Einschränkungen in der Lebensqualität beurteilen; die Eltern schätzen die Belastung ebenso, die Lebensqualität etwas höher ein. In den Interviews berichteten die Geschwisterkinder, dass sie sich vor allem durch Autismus-assoziiertes Verhalten „genervt“ fühlen.

1. Hintergrund & Ziel

Geschwisterkinder von chronisch kranken und/ oder behinderten Kindern wachsen in einer sehr besonderen Lebenssituation auf, die eine Vielzahl von Belastungen, aber auch Ressourcen in sich birgt. Studien, deren Ergebnisse oft divergent sind, zeigen auf, dass die gesunden Geschwister unter einer herabgesetzten (gesundheitsbezogenen) Lebensqualität leiden und eine erhöhte Vulnerabilität für die Ausprägung von Verhaltensproblemen bis hin zu psychischen Störungen haben¹⁻⁵.

Autismus-Spektrum-Störungen (ASS) sind durch Beeinträchtigungen des Sozialverhaltens und der Kommunikation sowie durch repetitiv-stereotypes Verhalten gekennzeichnet und treten mit einer Prävalenz von ca. 1% auf⁶. Aufgrund des frühen Auftretens und des chronischen Verlaufs der ASS⁶ und der mit der ASS verbundenen Symptome, ergeben sich für die Eltern, aber auch für die Geschwister besondere Lebensumstände. Die Metaanalyse von Ferraioli und Harris⁷ weist insgesamt darauf hin, dass sich Geschwister von Kindern mit ASS in ihrer kognitiven und emotionalen Entwicklung gegenseitig beeinflussen, dass die Mehrheit der Geschwisterkinder aber keine Auffälligkeiten hinsichtlich der kognitiven oder emotionalen Entwicklung, über die Lebensspanne hinweg, zeigt. Eher gegensätzliche Ergebnisse zeigt die Metaanalyse von Orsmond und Seltzer⁸, da hier Belege dafür wurden, dass Geschwisterkinder von Kindern mit ASS in der Kindheit eine ‚typische Entwicklung‘ in Hinblick auf Kommunikation und Sozialverhalten durchlaufen und dass jugendlichen Geschwisterkinder aufgrund der Lebenssituation ein höheres Risiko für Anpassungsprobleme und damit für Verhaltensauffälligkeiten haben.

Studien zeigen sowohl positive als auch negative Entwicklungsverläufe von Geschwisterkindern von Kindern mit ASS: einerseits werden vermehrt prosoziales Verhalten, eine gute Anpassung^{9,10}, eine gute emotionale Entwicklung, wenn keine weiteren demografischen Risiken vorliegen¹¹ sowie insgesamt eine gute Sozialkompetenz und bei Schwestern ein positives Selbstkonzept¹² beschrieben. Andererseits finden sich auch immer wieder Hinweise, dass die (jüngeren) Geschwisterkinder Verhaltensprobleme¹², subklinische Symptome psychischer Störungen wie Angst¹³ bzw. psychische Störungen nach DSM¹⁴ aufweisen.

Die vorliegende Pilotstudie hat zum Ziel, die Lebenssituation von Geschwisterkindern von Kindern mit ASS mit einem mixed-methods-Design zu untersuchen.

2. Methodik

Es wurden fünf gesunde Geschwisterkinder von Kindern mit ASS (siehe Tabelle 1) im Alter zwischen 12 und 15 Jahren ($M=13$, $SD=2$), die die Realschule oder das Gymnasium besuchten und jeweils ein Elternteil (43 Jahre, $SD=5$, Spanne 36-48) sowohl mit Hilfe von psychologischen Testverfahren hinsichtlich der Lebensqualität und der Belastungen als auch im leitfadengestützten Interview hinsichtlich der Belastungen, aber auch der Ressourcen befragt.

Die Datenerhebung fand von Ende April bis Anfang Juni 2015 in Magdeburg statt. Die Auswertung der Testverfahren erfolgte laut Handanweisungen, die Interviews wurden mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring¹⁵ ausgewertet.

Tabelle 1: Stichprobenbeschreibung

	Familie A	Familie B	Familie C	Familie D	Familie E
Alter der Geschwister	12 Jahre	15 Jahre	12 Jahre	15 Jahre	12 Jahre
Geschlecht der Geschwister	Weiblich	Männlich	Männlich	Weiblich	Männlich
Alter der Eltern	36 Jahre	47 Jahre	48 Jahre	41 Jahre	45 Jahre
Geschlecht des Elternteils	Weiblich	Männlich	Weiblich	Weiblich	Weiblich

Zur Erfassung der Lebensqualität wurde der KINDL^R, ein 24 likert-skalierte Items umfassendes Verfahren, das die Dimensionen Körper, Psyche, Selbstwert, Familie, Freunde, Schule und ein Globalmaß abbildet sowie als reliables und valides Messinstrument gilt¹⁶, eingesetzt.

Zur Früherkennung der psychischen Belastung wurde der LARES-Geschwisterkinder-Fragebogen genutzt. Hierbei handelt es sich um ein diagnoseübergreifend einsetzbares, aus 13 bzw. 14 Items bestehendes Verfahren, das einerseits Risikogruppen insgesamt aufzeigt, andererseits aber auch in den Teilbereichen Krankheitswissen, Schulkompetenz, Geschwisterbeziehung, Soziale Integration und Familiäre Belastung differenziert¹⁷.

Beide Testverfahren wurden in der Selbstbeurteilung durch das Geschwisterkind und in der Fremdbeurteilung durch ein Elternteil, die das Befinden ihres Kindes einschätzten, erhoben.

3. Ergebnisse

3.1 Lebensqualität

Die Geschwisterkinder beschrieben eine der Normstichprobe ähnliche Lebensqualität. Die Skalen Körper und Psyche lagen unterhalb, die Skala Selbstwert leicht, die Skalen Familie, Freunde und Schule deutlicher oberhalb der Werte der Normstichprobe. Die Eltern beschrieben eine herabgesetzte Lebensqualität der Geschwister bei der Skala Familie, alle weiteren Skalen lagen über den Werten der Normstichprobe. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs war eine statistische Prüfung nicht möglich; in Tabelle 2 sind die deskriptiven Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 2: Darstellung der KINDL^R-Ergebnisse im Selbst- und Fremdurteil mit Bezug zu den Normdaten

Skala	Geschwister		Eltern	
	M/SD	Norm	M/SD	Norm
Körper	66.25/ 22.79	70.63/17.31	63.75/ 28.09	64.00/ 18.44
Psyche	76.25/ 17.34	80.31/ 14.88	75.00/ 4.42	69.44/ 17.75
Selbstwert	58.75/ 12.98	57.88/ 20.56	63.75/ 11.18	56.06/ 19.50
Familie	82.50/ 10.27	77.69/ 17.13	67.50/ 12.02	79.38/ 17.75
Freunde	78.75/ 17.46	71.44/ 18.25	76.25/ 19.47	67.94/ 18.13
Schule	68.75/ 13.26	64.56/ 21.88	71.25/ 14.39	65.63/ 18.06
Gesamt	71.88/ 10.85	70.58/ 11.94	69.58/ 7.98	56.58/ 13.15

3.2 Psychische Belastung

Sowohl die Geschwisterkinder als auch die Eltern beschrieben insgesamt eine leichte bis mittlere Belastung. Die Geschwister gaben an, dass die Geschwister-Beziehung und die Schulkompetenz die stärksten Faktoren für die Belastung waren, gefolgt von Belastung durch Krankheitswissen und soziale Integration; der Bereich Familie wurde kaum als belastend wahrgenommen. Von den Eltern wurde ebenfalls eine leichte bis mittlere Belastung abgegeben, allerdings zeigte sich hier eine andere Gewichtung der Belastungsbereiche. Zur Verdeutlichung der Ergebnisse ist in Abbildung 1 exemplarisch das Profil von Familie A, in dem sowohl die Ergebnisse des Geschwisterkindes (Raute) als auch der Mutter (Dreieck) eingetragen sind, dargestellt.

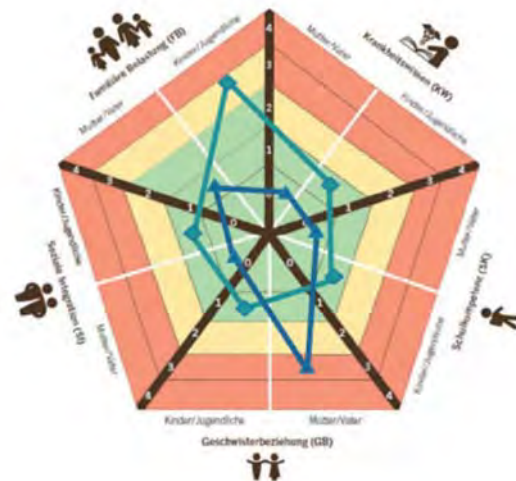


Abbildung 1: Grafische Auswertung LARES – Familie A

exemplarisch das Profil von Familie A, in dem sowohl die Ergebnisse des Geschwisterkindes (Raute) als auch der Mutter (Dreieck) eingetragen sind, dargestellt.

3.3 Interviews

Die Interviews mit den Eltern dauerten im Durchschnitt 27 Minuten, die mit den Geschwisterkindern 17 Minuten. Sowohl für die Eltern als auch für die Geschwisterkinder wurden die aus

der Literatur ableitbaren Kernthemen (1) Belastungen und (2) Ressourcen als Grundlage genutzt, weiterhin wurden die Bereiche (3) Familie und (4) Unterstützung sowie jeweilige Subkategorien identifiziert und mit Ankerbeispielen belegt. Als Belastungen wurden z.B. vermehrt Aufgaben bzw. Verpflichtungen im Haushalt, Verantwortungsübernahme für das/ die Geschwister mit ASS, Schwierigkeiten hinsichtlich der Geschwisterbeziehung, Schwierigkeiten in der Schule oder mit Gleichaltrigen (z.B. Hänseleien wegen des Geschwisters mit ASS) klassifiziert.

Die Interviews zeigten, dass die Geschwisterkinder oft die Verantwortung für ihre Geschwister mit ASS übernehmen müssen, was teils zu Überforderung und somit zu Belastungen führen kann. Die Eltern beschrieben, dass sie davon ausgehen, dass die gesunden Kinder kaum unter der ASS des Geschwisters leiden; die Geschwisterkinder gaben allerdings an, dass sie sich oft durch das ASS-assoziierte Verhalten ihrer Geschwister „genervt“ fühlen. Die Eltern gaben an, dass sie alle Kinder gleichbehandeln, die Geschwisterkinder beschrieben, dass sie sich von ihren Eltern teilweise „ungerecht behandelt“ fühlen. Die Geschwisterkinder gaben an, dass sie sich wünschen, dass ihre Geschwister nicht mehr unter Autismus leiden oder dass sich ihre Geschwister "normal" verhalten würden.

Zur Verdeutlichung der verschiedenen Perspektiven zeigt Tabelle 3 Ausschnitte aus den Interviews mit Familie A.

Tabelle 3: Textbeispiele aus dem Interview Familie A – Mutter, Kategorie Belastungen

Subkategorie	Mutter	Tochter
Verantwortung für das Geschwister mit ASS	„... Dass wir ihn dann wirklich zu zweit, zu dritt ins Taxi bugsieren mussten. Dass meine große Tochter teilweise mitfahren musste im Taxi, damit er sich halt nicht abschnallt und während der Fahrt vielleicht sogar versucht aussteigen oder so.“ (Zeilen 140-141)	
Verantwortung für die Geschwister	"Auch wenn ich zur Elternversammlung muss oder so, dann kümmert sich S. um alle. Die hat da so, die bringt sie dann ins Bett und so." (Zeilen 195-196)	„Ja. Zum Beispiel wenn Mama auf Elternversammlung ist oder wenn sie z.B. mit, ich sag jetzt mal Klara oder Karl irgendwie, keine Ahnung, zum Zahnarzt muss. Dann pass ich halt auf die anderen auf. Ja, und dann klappt das auch, eigentlich. Meistens.“ (Zeilen 161-163)
ASS-assoziiertes Verhalten		„... na solche Wutanfälle. Auf den Boden schmeißen, nichts mehr sagen, nichts mehr machen, einfach nur noch schreien. Sowas ist halt nervig. Ja.“ (Zeilen 101-103)

4. Diskussion

Studien zeigen, dass das Zusammenleben mit einem chronisch kranken oder behinderten Kind bei den gesunden Geschwisterkindern zu einer verminderten Lebensqualität und einer erhöhten Vulnerabilität für die Entwicklung von internalisierenden und externalisierenden Problemen führen kann¹⁻⁵. Besonders bei Geschwistern von Kindern mit ASS wurde dies beobachtet⁷⁻¹⁴, wobei aber auch positive Entwicklungen durch das Zusammenleben mit einem Kind mit ASS beschrieben wurden⁹⁻¹².

Die Ergebnisse dieser Pilotstudie mit einer sehr kleinen Stichprobe -wodurch die Ergebnisse nicht generalisiert werden können und mehr Forschungsbedarf besteht- zeigten, dass es hinsichtlich der selbstberichteten Lebensqualität (KINDL^R) der Geschwisterkinder von Kindern mit ASS keine Auffälligkeiten gab, dass aber leichte bis mittlere Belastungen in verschiedenen Lebensbereichen vorlagen (Lares). Die von Eltern eingeschätzte Lebensqualität der Kinder lag teilweise über den Werten der Normstichprobe; die Eltern beschrieben ebenfalls verschiedene Belastungsbereiche.

Die Ergebnisse der Interviews zeigten, dass sowohl die Geschwisterkinder als auch die Eltern Belastungen, aber auch Ressourcen (z.B. Hobbies) beschrieben. Die Eltern gaben an, dass sie alle Kinder der Familie gleich behandeln würden, die Geschwisterkinder beschrieben, dass sie sich teilweise von den Eltern ungerecht behandelt fühlen. Weiterhin machten die Geschwisterkinder deutlich, dass sie sich durch die ASS-assoziierten Verhaltensweisen ihrer Geschwister „genervt“ fühlen; sowohl die Eltern als auch die Geschwisterkinder gaben an, dass Verantwortung für die Geschwister mit ASS übernommen werde. Weiterhin wurde erwähnt, dass es Unterstützung für die Kinder mit ASS gab, dass aber kaum Unterstützungsangebote für die Geschwisterkinder vorlagen. Hier sollten flächendeckend Angebote, wie z.B. „Supporting Siblings“¹⁸ etabliert werden, um Geschwisterkinder von chronisch kranken oder behinderten Kindern insgesamt zu unterstützen und ihre Ressourcen zu aktivieren.

5. Literatur

¹ Alderfer, M.A., Long, K.A., Lown, E.A., Marsland, A.L., Ostrowski, N.L., Hock, J.M. & Ewing, L.J. (2010). Psychosocial adjustment of siblings of children with cancer: a systematic review. *Psycho-Oncology*, 19, 789-805.

² O'Brien, I., Duffy, A. & Nicholl, H. (2009). Impact of childhood chronic illnesses on siblings: a literature review. *British Journal of Nursing*, 18(22), 1358-1365.

³ Sharpe, D. & Rossiter, L. (2002). Siblings of children with a chronic illness: a meta-analysis. *Journal of Pediatric Psychology*, 27(8), 699-710.

⁴ Vermaes, I.P.R., van Susante, A.M. & van Bakel, H.J.A. (2012). Psychological functioning of siblings in families of children with chronic health conditions: A meta-analysis. *Journal of Pediatric Psychology*, 37, 166-184.

⁵ Williams, P.D. (1997). Siblings and pediatric chronic illness: A review of the literature. *International Journal of Nursing Studies*, 34(4), 312-323.

⁶ Meyer-Lindenberg, A. (2011). Autismusspektrumstörungen. *Der Nervenarzt*, 82, 551-552.

- ⁷ Ferraioli, S.J. & Harris, S.L. (2010). The impact of autism on siblings. *Social work in mental health*, 8(1), 41-53.
- ⁸ Orsmond, G.L. & Seltzer, M.M. (2007). Siblings of individuals with autism spectrum disorder across the life course. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 13, 313-320.
- ⁹ Kaminsky, L. & Dewey, D. (2001). Siblings relationships of children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(4), 399-409.
- ¹⁰ Kaminsky, L. & Dewey, D. (2002). Psychosocial adjustment in siblings of children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(2), 225-232.
- ¹¹ Macks, R.J. & Reeve, R.E. (2007). The adjustment of non-disabled siblings of children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1060-1067.
- ¹² Verté, S., Roeyers, H. & Buysse, A. (2003). Behavioural problems, social competence and self-concept in siblings of children with autism. *Child: Care, Health & Development*, 29, 193-205.
- ¹³ Shivers, C.M., Deisenroth, L.K. & Taylor, J.L. (2013). Patterns and predictors of anxiety among siblings of children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43, 1336-1346.
- ¹⁴ Pilowsky, T., Yirmiya, N., Doppelt, O., Gross-Tsur, V. & Shalev, R. S. (2004). Social and emotional adjustment of siblings of children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 855-865.
- ¹⁵ Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*: Weinheim: Beltz.
- ¹⁶ Ravens-Sieberer, U. & Bullinger, M. (2000). KINDL^R – Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen. Online verfügbar. URL: <http://www.kindl.org/deutsch/manual/>. (letzter Zugriff am 08.01.2017, 17:00 MEZ)
- ¹⁷ Kusch, M., Hudde-Korte, K. & Knauer, B. (2011). LARES-Geschwisterkinder. Validierung eines psychosozialen Screeninginstrumentes für Geschwister von Kindern mit besonderem Versorgungsbedarf. Unveröffentlichter Abschlussbericht. ISPA-Bunter Kreis Nachsorge gGmbH Augsburg & Institut für Gesundheitsförderung und Versorgungsforschung gGmbH an der Ruhr-Universität Bremen.
- ¹⁸ Kowalewski, K., Wiese, J., Spilger, T., Podeswik, A., Stachura, C., Jagla, M. & Hampel, P. (2014). SuSi. Supporting Siblings. Der Präventionskurs für Geschwister chronisch kranker, schwerkranker und/oder behinderter Kinder. Handbuch mit Arbeitsmaterialien. Augsburg: Bundesverband Bunter Kreis e.V.

Das Erscheinungsbild von Personen beeinflusst die soziale Akzeptanz von Alkoholkonsum

Eric Rudolph/Julia L. Greiner/Laura L. Lenz/

Matthias Haseneder/Susann Pichotta/Tessa Abraham

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften,

Fachbereich Medieninformatik und interaktives Entertainment

erudolp1@hs-mittweida.de / jgreiner@hs-mittweida.de / lrenz1@hs-mittweida.de /

mhasened@hs-mittweida.de / spichott@hs-mittweida.de / tabraham@hs-mittweida.de

Abstract:

Der Konsum von Alkohol ist nach wie vor besorgniserregend. Nicht wenige Studien haben die negativen Auswirkungen von Alkohol aufgezeigt, dennoch zählt Deutschland weltweit zu den Ländern mit dem meisten pro Kopf Konsum von alkoholischen Getränken. Der Missbrauch von Alkohol wird bei gepflegtem Aussehen kaum beachtet und meistens toleriert. In diesem Paper wird eine nähere Betrachtung dieses Phänomens vorgestellt.

1. Einleitung

Laut Bundesministerium für Gesundheit konsumieren in Deutschland 9,5 Millionen Menschen Alkohol in gesundheitlich riskanter Form. Als alkoholabhängig gelten dabei ca. 1,8 Millionen.¹ In Deutschland gehört Alkohol zum Alltag. Egal ob abends das Feierabendbier, am Wochenende ein gemütliches Gläschen Wein oder im Nachtleben der ein oder andere Cocktail. Ebenso wie Alkohol spielt auch ein gepflegtes Äußeres schon immer eine große Rolle in unserer Gesellschaft. In unserer schnelllebigen Zeit sind Aussehen und Attraktivität wichtiger denn je. Wie Studien herausfanden haben attraktive Menschen gewisse Vorteile gegenüber unattraktiven Personen. Im Folgenden gehen wir sowohl näher auf Studien zum Thema Alkohol als auch auf Studien zum Thema Attraktivität ein.

Wir beschäftigen uns mit der Hypothese: Nehmen wir den Konsum mehrerer Biere eines gepflegten Mannes im schicken Anzug weniger besorgniserregend wahr, als den Konsum mehrerer Biere eines ungepflegten Mannes im Jogginganzug auf der Parkbank? Beeinflusst das Erscheinungsbild von Personen die soziale Akzeptanz von Alkoholkonsum?

2. Erste Erkenntnisse

Zur Untermauerung unserer Hypothese entschieden wir uns für eine Online-Umfrage. Um erste Ergebnisse zu erhalten befragten wir 100 Freiwillige. Mit Hilfe mehrerer Gegenüberstellungen von je zwei Bildern mussten die Teilnehmer die immer gleichen Fragen beantworten. Unter den Teilnehmern befanden sich zu fast gleichen Teilen männliche als auch weibliche Personen. Ein Großteil der Befragten bestand aus jungen Erwachsenen im Alter zwischen 19 und 24 Jahren. Die Ergebnisse waren eindeutig und bestätigen unsere Hypothese. Wie vermutet reagierten nahezu alle Befragten positiv auf die Bilder, welche gepflegte Menschen bei dem Konsum von Alkohol in einem guten Licht darstellten und negativ auf die Bilder, die ungepflegte Menschen bei Alkoholkonsum zeigten.

3. Forschungshintergrund

In der deutschen Gesellschaft wird sowohl der Anlass des Konsums als auch die Wahl des Alkohols oftmals als Repräsentation des sozialen Standes angesehen. Alkoholkonsum in Deutschland fällt in die Kategorie der Permissivkultur, das heißt, dass der Konsum durchaus erlaubt und anerkannt ist, der Rausch hingegen nur bedingt akzeptiert wird.² Blickt man über die Grenzen hinaus, stellt man fest, dass nicht alle Länder so tolerant mit dem Thema umgehen, wie es in Deutschland der Fall ist. In den USA ist Alkohol bis auf wenige Ausnahmen erst mit Vollendung des 21. Lebensjahres erhältlich und der Konsum in der Öffentlichkeit oft verboten. Zwar werden die Gesetze von jedem Bundesstaat separat gehandhabt, trotzdem gaben ca. 50% aller Zehntklässler an, dass sie schon mal zu viel getrunken haben und 41% der Neuntklässler gaben zu Protokoll, schon einmal Alkohol probiert zu haben. Eine Studie belegt, dass bei mehr als 40% der Schüler mit schulischen Problemen Alkohol ein Faktor ist, ebenso wie bei 28% der High-School-Abbrecher.³

In England beobachtet man derzeit einen deutlichen Anstieg des exzessiven Alkoholkonsums unter Jugendlichen. Die Ursache hierfür wird in der attraktiven Darstellung von Alkohol in der Werbung gesehen, welche vor allem junge Menschen zum Trinken verführt. Die BMA (2008) bestätigt einen ständigen Anstieg des Alkoholkonsums seit 1950 und weitere Studien zeigen, dass Männer oft mehr Alkohol trinken als Frauen.⁴

Einer der Gründe warum Alkohol konsumiert wird sind die positiven Auswirkungen bei geringem Konsum. Eine Reduzierung der eigenen Ängste, oder eine geringere Schmerzwahrnehmung, insbesondere bei älteren Menschen, sind nur zwei Aspekte.⁵ Doch auch diese haben Schattenseiten. Laut der polizeilichen Kriminalstatistik von 2015 sinkt in den letzten Jahren die Anzahl der Kriminalfälle unter Alkoholeinfluss, dennoch stehen 10% der Tatverdächtigen unter Alkoholeinfluss.⁶

Bei größerem Alkoholkonsum sind die Nebenwirkungen gravierender. Nicht nur der vorübergehende Verlust von Sensorik und motorischen Fähigkeiten fällt hier ins Auge, sondern insbesondere die Langzeitfolgen, wie Leber- und Gehirnschäden. Alkohol wird meist über den Verdauungstrakt aufgenommen und verursacht hier ebenfalls Schäden, die oftmals nicht in Betracht gezogen werden. Die Auswirkungen auf das Herz und den Blutkreislauf dürfen ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden. Nicht nur gesundheitlich kann Alkohol einen negativen Einfluss haben. Von einem finanziellen und wirtschaftlichen Standpunkt aus kann es ebenfalls zu Einschnitten kommen. Der Missbrauch von Alkohol kann in manchen Fällen nicht nur ein teures Vergnügen sein, sondern auch zu Verlust des Arbeitsplatzes und somit in eine Spirale des Abstiegs führen.⁵

Wir haben uns sowohl mit dem Thema Alkohol als auch mit dem Thema Attraktivität auseinandergesetzt. Daniel Hamermesh, Professor der University of Texas, fand heraus, dass Menschen, die als attraktiv eingestuft werden 3-4% mehr verdienen als Menschen, die als unattraktiv eingestuft werden. Des Weiteren stellte er fest, dass attraktive Personen eher eingestellt und schneller befördert werden. Außerdem ist er der Auffassung, dass zum Beispiel attraktive Versicherungsverkäufer mehr verkaufen, weil Kunden gegenüber unattraktiven Verkäufern misstrauischer sind.⁷ Eine weitere Studie kam zu der Erkenntnis, dass Menschen mit Hautunreinheiten und Schönheitsfehlern bei einem Interview eher negativ bewertet wurden, weil weniger Informationen im Gedächtnis blieben. Je mehr sich der Interviewpartner auf Gesichtsmarkmalen konzentrierte, desto weniger konnte er über die Person sagen oder warum er sie schlechter bewertet hatte.⁸ Durch den Haloeffekt tendiert der Mensch dazu Andere in unterschiedlichsten Lebensbereichen nach seinen positiven und negativen Merkmalen zu beurteilen. Diese Eindrucksverzerrung bewirkt, dass Menschen die als attraktiv gelten eher positive Charaktereigenschaften zugeschrieben bekommen. Deshalb wird attraktiven Personen öfter Intelligenz, Beliebtheit und eine höhere berufliche Kompetenz nachgesagt. Attraktive Personen werden oftmals anders behandelt, als unattraktive. Ihnen wird mehr Aufmerksamkeit geschenkt, mehr Offenheit entgegengebracht und öfter Unterstützung und Hilfeleistung angeboten. Schlanken und durchtrainierten Menschen werden zudem Selbstbeherrschung und Leistungsfähigkeit sowie weitere positive Eigenschaften zugeschrieben.⁹

4. Zusammenfassung

Es gibt Studien zum Thema Attraktivität und wie dies Bewerbungsverfahren oder ähnliches positiv beeinflusst. Genau so gibt es Studien über die negativen Auswirkungen von Alkoholkonsum. Doch der Bezug zwischen Attraktivität und dem akzeptierten Konsum von Alkohol hat bislang wenig bis gar keine wissenschaftliche Beachtung gefunden. Unsere Hypothese hat sich erstmal bekräftigt, doch sollte man nun spezifischere Experimente und

Umfragen durchführen um ein klares Bild der aktuellen Situation zu bekommen.
Weiterführend stellt sich die Frage wie man dieses Bild, wenn es sich weiterhin bestätigt ändern kann.

¹ Bundesministerium für Gesundheit, Oktober 2015

² vgl. Claudia Biss, „Alkoholkonsum und Trunkenheitsdelikte in Russland mit vergleichenden Bezügen zu Deutschland“, LIT Verlag Hamburg, 2006 S.96

³ H.Wagner, „Alcohol – the Straight Facts“, Chelsea House, 2003

⁴ Barrie Gunter, Anders Hansen, Maria Touri, „Alcohol Advertising and Young People’s Drinking Representation, Reception and Regulation“, palgrave macmillan, 2010

⁵ Alan Cornwell and Vicky Cornwell, „Drugs, Alcohol and Mental Health“, Cambridge University Press, 1987

⁶ Die Kriminalität in der Bundesrepublik Deutschland – Polizeiliche Kriminalstatistik 2015, April 2016

⁷ Daniel Hamermesh, Beauty Pays: Why Attractive People Are More Successful, 2011

⁸ Juan M. Madera, Michelle R. Hebl, Discrimination against facially stigmatized applicants in interviews: an eye-tracking and face-to-face investigation, 2011

⁹ Daniel Burghardt, Schönheit als Kapital, 2012

Kontrafaktische Schätzung des Einflusses der Wahlbeteiligung von Nicht-Wählern auf die
Bundestagswahl 2009 und 2013

Jacob Wunderwald

Hochschule Merseburg

Jacob.wunderwald@hs-merseburg.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
2.	Wie schätzt man das Wahlverhalten von Nichtwählern?	2
3.	Modelle der Wahlentscheidung: Unabhängige Variablen	2
4.	Ergebnisse: Hypothetische Ergebnisse bei höherer Wahlbeteiligung.....	3
5.	Fazit	4
	Literatur	5

1. Einleitung

Die Bundestagswahl 2013 ist vorbei, das Wahljahr 2017 im vollen Gange. Die CDU hat 2009 mit fast 42 Prozent der Wählerstimmen die Wahl eindeutig gewonnen, während die FDP eine historische Niederlage erlebt hat. Allerdings spiegelt dieses Ergebnis nicht die komplette Meinung aller Bundesbürger wieder. Nur 70,8 Prozent haben sich tatsächlich an den Wahlen beteiligt und nur 69,8 Prozent der Wahlberechtigten haben gültige Stimmen abgegeben. Eine niedrige Wahlbeteiligung kann, wenn bei ihr bestimmte Gruppen systematisch proportional unterrepräsentiert sind und sich deren politische Präferenzen und Interessen systematisch von denen der restlichen Wahlbevölkerung unterscheiden, zu einigen demokratietheoretischen Problemen führen, wie bspw. einer verzerrten Gesetzgebung infolge einer möglichen Unterrepräsentation linker Parteien.ⁱ

Würde sich die Wahlbeteiligung bis zum realistisch Machbaren steigern, würden sich dann die Stimmanteile der Parteien und die Zusammensetzung des Parlaments ändern? Und hätte dies Einfluss auf die Regierungsbildung?

2. Wie schätzt man das Wahlverhalten von Nichtwählern?

Im Beitrag soll, analog zum Vorgehen Ulrich Kohlers, das kontrafaktische Abstimmungsverhalten der Nichtwähler*innen (NW), bzw. ihre aggregierte Wahrscheinlichkeit, für eine Partei zu stimmen, aus bestimmten, vorab theoretisch ausgewählten Merkmalen, mittels multinominaler logistischer Regression aus dem Datensatz der GLES-Nachwahl-Querschnittsstudie 2009 mit dem Statistikprogramm stata geschätzt werden.ⁱⁱ Dabei ist die zentrale Annahme, dass Nichtwähler*innen prinzipiell analog zu Wähler*innen mit korrespondierenden Eigenschaften ihre Wahlentscheidung treffen würden, wenn sie wählen würden. So kann zunächst ein Regressionsmodell für die in der Umfrage berichtete Wahlentscheidung derjenigen, die gewählt haben, erstellt werden.ⁱⁱⁱ Dieses wird dann auf die NW übertragen und angewandt, aus deren durch die Umfrage bekannten Eigenschaften dann durch das Regressionsmodell die für alle NW aggregierte Wahrscheinlichkeit der kontrafaktischen Wahl einer Partei errechnet wird. Da in älteren Wahlumfragen verschiedene Items fehlten, die eine Abschätzung der Wahlentscheidung gestatten, musste sich Kohler auf soziostrukturelle Faktoren und den Grad des politischen Interesses konzentrieren. Bei neueren Befragungen wurden hingegen zahlreiche weitere Faktoren erfasst, die in ein verbessertes Regressionsmodell zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der Parteiwahl von NW und den entsprechenden kontrafaktischen Konsequenzen höherer Wahlbeteiligung für Stimmanteile, Sitze und Koalitionsmöglichkeiten der Parteien einfließen sollen. Ebenso wurden die weiteren Schritte zur Bestimmung der Sitzverteilung und Möglichkeiten der Koalitionsbildung im Wesentlichen von Kohler übernommen und auf die Gegebenheiten einer einzelnen Wahlbefragung angepasst. Sein Vorgehen wird also repliziert, allerdings wird ein umfangreicheres Regressionsmodell zugrunde gelegt.

3. Modelle der Wahlentscheidung: Unabhängige Variablen

Es existieren diverse Modelle zur Erklärung der Wahlentscheidung, welche hier nicht im Einzelnen referiert werden können. Allerdings werden einige genutzt, um unabhängige

Variablen für das Regressionsmodell zu gewinnen. In den angegebenen Quellen finden sich zumeist weiterführende Verweise, insbesondere zur grundlegenden Literatur. Im Anhang findet sich zudem eine Tabelle mit einer Operationalisierungsübersicht der unabhängigen Variablen für das Regressionsmodell. Je nach Theoriefamilie und Schule bestehen unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich der Bedeutung der jeweiligen Faktorengruppen, wobei auch von einer Überlagerung auszugehen ist.^{iv} Um der aufgrund von Dealignment und vergleichbaren Entwicklungen möglicherweise gestiegenen Bedeutung von eher kurzfristigen Faktoren Rechnung zu tragen, wird auch die Kandidatenpräferenz der Befragten berücksichtigt. Die soziale Schichtzugehörigkeit eines Menschen hat Einfluss darauf, was er wählt. Daher ist es von Bedeutung, und wird auch in allen gesichteten Wahlstudien so gehandhabt, den Einfluss von Alter, Herkunft aus Ost- oder Westdeutschland, Bildungsniveau, Familienstand, Religiosität, Haushaltseinkommen, Erwerbs- und Berufsstatus sowie Gewerkschaftsmitgliedschaft zu kontrollieren. Pettersen und Rose^v nutzen die Sympathie oder Haltung einer Partei gegenüber als Indikator für die Wahrscheinlichkeit, diese zu wählen und erzielten damit gute Ergebnisse. Aus diesem Grund werden die entsprechenden Variablen in das Modell aufgenommen. Distanz- oder Nähemodelle der Wahlentscheidung basieren auf der Annahme, dass sowohl Parteien wie auch Wähler eine Position zu verschiedenen Sachfragen wie bspw. der Höhe staatlicher Sozialleistungen und damit verbunden der Steuerbelastung einnehmen und diese in Kombination die Wahlentscheidung beeinflussen.^{vi} Es liegt nahe, davon auszugehen, dass als besonders wichtige und dringlich empfundene Probleme einen Einfluss auf die Wahlentscheidung haben können. Eng damit verbunden ist zudem die Einschätzung, welche Partei zur Lösung der Probleme am besten geeignet wäre, allerdings ergeben sich hier Überschneidungen zu anderen Items und Theorien.^{vii}

4. Ergebnisse: Hypothetische Ergebnisse bei höherer Wahlbeteiligung

Die wesentlichen Ergebnisse der Stimm- und Mandatsverteilung im Vergleich zwischen den realen Ergebnissen, denen bei den NW und den kombinierten kontrafaktischen lassen sich aus der Tabelle ablesen und können anhand der do-files und Datensätze nachvollzogen werden. Die Maximal- und Minimalwerte der kontrafaktischen Mandatsverteilung sind mit Vorsicht zu genießen, da die Sitzanzahl im Parlament konstant bleibt und somit nicht alle Parteien gleichzeitig ihr Minimum oder Maximum erreichen könnten. Es wurde für jedes einzelne Bootstrap-Sample die entsprechende Mandatsverteilung errechnet und anschließend aus den Ergebnissen der 95%-Konfidenzintervall bestimmt.

Generell zeigt sich wie erwartet, dass Parteien links der Mitte von einer Beteiligung von NW wahrscheinlich profitiert hätten. Je linker eine Partei, desto mehr hätte sie gemessen in Stimmanteilen von der Beteiligung der NW profitiert, je rechter, desto mehr verloren. Allein die SPD und die Grünen hätten am unteren Ende des Konfidenzintervalls minimale Verluste hinnehmen müssen. Bürgerliche Parteien hätten in jedem Fall Verluste eingefahren. Wenig überraschend ist der hohe Anteil von hypothetischen Stimmen für die ‚sonstigen‘ Parteien.

Auswirkungen einer höheren Wahlbeteiligung von Nichtwählern^{viii}

	CDU/CSU	SPD	FDP	Grüne	Linke	Sonstige
realisierte Stimmanteile	33,79%	23,03%	14,56%	10,70%	11,88%	6,01%
realisierte Sitze	239	146	93	68	76	0
Stimmanteile bei NW (MW)	19,84%	27,33%	9,06%	13,26%	18,99%	11,52%
obere Grenze 95% KI	23,88%	31,95%	11,86%	16,59%	23,14%	15,47%
untere Grenze 95% KI	16,04%	22,75%	6,51%	10,05%	15,30%	8,01%
NW: Diff. MW zu Realergebnis (in Prozentpunkten)	-13,95	4,30	-5,51	2,55	7,10	5,51
NW: untere Diff. MW zu Ergebnis (in Prozentpunkten)	-17,76	-0,29	-8,05	-0,66	3,41	2,00
NW: obere Diff. MW zu Ergebnis (in Prozentpunkten)	-9,92	8,92	-2,70	5,88	11,25	9,46
Kontrafakt. Stimmverteilung NW + W	30,62%	24,01%	13,31%	11,29%	13,50%	7,26%
Diff. MW zu Realergebnis (in Prozentpunkten)	-3,17	0,98	-1,25	0,59	1,62	1,25
untere Grenze Ergebnis NW + W	29,75%	22,97%	12,72%	10,56%	12,66%	6,47%
obere Grenze Ergebnis NW + W	31,54%	25,07%	13,95%	12,05%	14,45%	8,17%
Gesamtsitze NW+W nach MW inkl. ÜM	221	155	86	73	87	0
Gesamtsitze NW+W untere Grenze 95% KI	216	148	82	68	82	0
Gesamtsitze NW+W obere Grenze 95% KI	227	162	90	78	93	0
Gesamtsitze: Diff. MW zu Realergebnis	-18	9	-7	5	11	0
Gesamtsitze: untere Diff. MW zu Ergebnis	-23	2	-11	0	6	0
Gesamtsitze: obere Diff. MW zu Ergebnis	-12	16	-3	10	17	0

5. Fazit

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass bei einer höheren Wahlbeteiligung, wie sie bereits zu Bundestagswahlen vorlag, mitunter erhebliche Auswirkungen für Mehrheitsverhältnisse und Koalitionsbildungsmöglichkeiten hätten bestanden haben können. Wie diese rechnerischen Möglichkeiten genutzt worden wären, muss an anderer Stelle untersucht werden. Aber

zumindest zeigt sich ein weiterer Anhaltspunkt dafür, dass niedrige Wahlbeteiligung zulasten des Anteils eher linker Parteien geht und dadurch indirekt ‚bürgerliche‘ Parteien profitieren. Neben dieser materiellen Problematik niedriger Wahlbeteiligung wirft das Fernbleiben von Millionen von Staatsbürgern vom zentralen Entscheidungsmechanismus einer repräsentativen Demokratie jedoch zahlreiche weitere demokratietheoretische und –praktische Probleme auf. Ebenso liegen zahlreiche Studien zu den Gründen der Nichtwahl vor, die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen zudem darauf hin, dass die Wähler bürgerlicher Parteien sich eher motivieren konnten oder besser mobilisiert wurden, als die potentiellen Wähler eher linker Parteien. Diese Schlussfolgerung wird auch durch die Ergebnisse sozialräumlicher Aggregatsdatenanalysen gedeckt.^{ix}

Desiderat bleibt ein differenziertes Wahlbeteiligungsmodell, was beim Auffüllen der jeweiligen NW bis zur kontrafaktisch gesetzten Wahlbeteiligungsquote deren individuelle Wahrscheinlichkeit der Teilnahme realitätsnäher abbilden kann. Dabei müssten bspw. Faktoren wie Grund des Nichtwählens, Mobilisierungswirkungen von Wahlkampagne etc. berücksichtigt werden, um differenziert Gruppen von NW erfassen zu können und bessere Modelle zu erstellen.

Literatur

Arzheimer, K. / Schoen, H. (2005): Erste Schritte auf kaum erschlossenem Terrain. Zur Stabilität der Parteiidentifikation in Deutschland. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 46, Heft 4. S. 629-654.

Bernhagen, P./ Marsh, M. (2010): Missing Voters, Missing Data: Using Multiple Imputation to Estimate the Effects of Low Turnout. Journal of Elections, Public Opinion and Parties, Jg. 20, Nr. 4. S. 447-472.

Bernhagen, P./ Rose, R. (2012): Simulieren oder fragen? Strategien zur Ermittlung der politischen Folgen niedriger Wahlbeteiligung am Beispiel der Europawahlen 2009. Methoden - Daten - Analysen, Jg. 6, Heft 2, S. 133-156.

Debus, M. (2010): Soziale Konfliktlinien und Wahlverhalten: Eine Analyse der Determinanten der Wahlabsicht bei Bundestagswahlen von 1969 bis 2009. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Jg. 62, Nr. 4. S. 731-749.

Fisher, S. D. (2007): (Change in) turnout and (change in) the left share of the vote. Electoral Studies, Jg. 26. S. 598-611.

Goerres, A. (2010): Die soziale Norm der Wahlbeteiligung. Eine international vergleichende Analyse für Europa. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 51. S. 275–296.

Güllner, M. (2013): Nichtwähler in Deutschland. Forsa-Studie im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung, Forum Berlin.

Hansford, T. G./ Gomez, B. T. (2010): Estimating the Electoral Effects of Voter Turnout. American Political Science Review, Jg. 104, Nr. 2. S. 268-288.

Herrmann, M. (2008): Moderat bevorzugt, extrem gewählt. Zum Zusammenhang von Präferenz und Wahlentscheidung in räumlichen Modellen sachfragenorientierten Wählens. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 49, Nr. 1. S. 20-45.

Klein, M. (2006): Jenseits von Distanz und Richtung. Die Verbundmessung von Politikpräferenzen im Vergleich mit dem Distanz- und dem Richtungsmodell des Wählens – empirische Befunde eines Methodenexperiments. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 47, Heft 4. S. 595-617.

Knutsen, O. (2006): Class Voting in Western Europe. A Comparative Longitudinal Study. Lanham: Lexington Books.

Kohler, U. (2011): Estimating the potential impact of nonvoters on outcomes of parliamentary elections in proportional systems with an application to German national elections from 1949 to 2009. Electoral Studies, Jg. 30, Nr. 3. S. 497-509.

Rattinger, H./ Roßteutscher, S./ Schmitt-Beck, R./ Weßels, B. (2011): Nachwahl-Querschnitt (GLES 2009) ZA5301 Datenfile Version 4.0.0. Köln: GESIS Datenarchiv.

Rohrschneider, R./ Schmitt-Beck, R./ Jung, F. (2010): Short-Term Factors versus Long-Term Values: Testing Competing Explanations of Electoral Choice. Paper prepared for delivery at the German 2009 election conference, University of Kansas, Lawrence, April 26, 2010.

Schäfer, A. (2012): Beeinflusst die sinkende Wahlbeteiligung das Wahlergebnis? Eine Analyse kleinräumiger Wahldaten in deutschen Großstädten. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 53, Heft 2. S. 240-264.

ⁱ Fisher, S. D. (2007): (Change in) turnout and (change in) the left share of the vote. Electoral Studies, Jg. 26. S. 598-611.

Bernhagen, P./ Marsh, M. (2010): Missing Voters, Missing Data: Using Multiple Imputation to Estimate the Effects of Low Turnout. Journal of Elections, Public Opinion and Parties, Jg. 20, Nr. 4. S. 447-472.

Bernhagen, P./ Rose, R. (2012): Simulieren oder fragen? Strategien zur Ermittlung der politischen Folgen niedriger Wahlbeteiligung am Beispiel der Europawahlen 2009. Methoden - Daten - Analysen, Jg. 6, Heft 2, S. 133-156.

ⁱⁱ Kohler, U. (2011): Estimating the potential impact of nonvoters on outcomes of parliamentary elections in proportional systems with an application to German national elections from 1949 to 2009. Electoral Studies, Jg. 30, Nr. 3. S. 497-509.

ⁱⁱⁱ Gegen diese Annahme spricht allerdings prinzipiell: "But we can not know with certainty what the vote choice of non-voters would be if they turned into voters, regardless of what they say, or how their sociodemographic peers vote" (Marsh/Bernhagen 2006: 3).

^{iv} Rohrschneider, R./ Schmitt-Beck, R./ Jung, F. (2010): Short-Term Factors versus Long-Term Values: Testing Competing Explanations of Electoral Choice. Paper prepared for delivery at the German 2009 election conference, University of Kansas, Lawrence, April 26, 2010.

^v Rattinger, H./ Roßteutscher, S./ Schmitt-Beck, R./ Weßels, B. (2011): Nachwahl-Querschnitt (GLES 2009) ZA5301 Datenfile Version 4.0.0. Köln: GESIS Datenarchiv.

^{vi} Klein, M. (2006): Jenseits von Distanz und Richtung. Die Verbundmessung von Politikpräferenzen im Vergleich mit dem Distanz- und dem Richtungsmodell des Wählens – empirische Befunde eines Methodenexperiments. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 47, Heft 4. S. 595-617.

^{vii} Debus, M. (2010): Soziale Konfliktlinien und Wahlverhalten: Eine Analyse der Determinanten der Wahlabsicht bei Bundestagswahlen von 1969 bis 2009. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Jg. 62, Nr. 4. S. 731-749.

^{viii} Siehe auch Abbildung 1 und 2 im Anhang.

^{ix} Schäfer, A. (2012): Beeinflusst die sinkende Wahlbeteiligung das Wahlergebnis? Eine Analyse kleinräumiger Wahldaten in deutschen Großstädten. Politische Vierteljahresschrift, Jg. 53, Heft 2. S. 240-264.

Alkoholabhängigkeit und Depression – Erklärungsansätze zu Entstehung und Komorbidität

André Schilling, Simon Reinle, Claudia Wendel & Michael Kraus
Hochschule Magdeburg-Stendal, Rehabilitationspsychologie M.Sc.
simon.reinle@gmx.de

Abstract:

Erklärungsmöglichkeiten für das gemeinsame Auftreten von Alkoholabhängigkeit und Depression werden anhand der Pathogenese beider Störungen diskutiert. Auf biologischer, psychologischer und -sozialer Ebene ließen sich zahlreiche Querverbindungen ziehen. Das gemeinsame Auftreten lässt sich als das Resultat einer Interaktion zugrundeliegender komplexer Faktoren verstehen. Die Ergebnisse bieten eine Grundlage zur Konzeption psychoedukativer Ansätze im Rahmen einer psychotherapeutischen Behandlung.

1. Hintergrund & Ziel

Europaweit zählten Alkoholabhängigkeit mit einer 12-Monats-Prävalenz von 3,4 % und unipolare Depressionen mit 6,9 % im Jahr 2011 zu den sieben häufigsten psychischen Störungen. Anhand des Konzeptes der Global Burden of Disease, bei dem verlorene Lebenszeit und gesundheitliche Einschränkungen berücksichtigt werden, wurde festgestellt, dass alkoholbezogene Störungen die dritt-, und unipolare Depressionen gar die belastendste psychische Störung darstellen¹. Bei Alkoholabhängigen tritt zusätzlich eine depressive Symptomatik mit Prävalenzraten von 30 bis 60 % auf².

Es werden Erklärungsmöglichkeiten für das gemeinsame Auftreten von Alkoholabhängigkeit und Depression anhand gewonnener Erkenntnisse zur Pathogenese beider Störungen diskutiert. Dazu werden ermittelte Querverbindungen bei der Entstehung auf biologischer, psychologischer und -sozialer Ebene untersucht. Um die beiden Störungen in einen ätiologischen Zusammenhang zu bringen, werden in einem zweiten Schritt Erklärungsansätze zur Komorbidität diskutiert. Die Beantwortung der Leitfragen:

1. Existieren Zusammenhänge in der Pathogenese von Alkoholabhängigkeit und Depression?
2. Um welche Art des Zusammenhangs handelt es sich?

kann als Grundlage zur Konzeption psychoedukativer Ansätze im Rahmen einer integrativen psychotherapeutischen Behandlung dienen.

2. Methodik

Es erfolgte eine Literaturrecherche in den Literaturdatenbanken: PubMed, SpringerLink, SagePub, WISO und Google Scholar. Suchbegriffe lauteten: *alcoholism, depression, comorbidity, Entstehungstheorien, Genetik*.

3. Ergebnisse

3.1 Pathogenetische Zusammenhänge?

- Biologische Ebene: Familien- und Zwillingsstudien zeigten aufgrund familiärer Häufung, dass genetische Faktoren an der Pathogenese beider Störungen beteiligt sind. Vermutlich moduliert der Verwandtschaftsgrad das Erkrankungsrisiko sowohl für Depression als auch Alkoholabhängigkeit. Biologisch Verwandte ersten Grades von Alkoholabhängigen bzw. Depressiven sind gefährdeter, an der jeweiligen Störung zu erkranken, als Verwandte zweiten Grades³. Adoptionsstudien zeigten hingegen nicht-signifikante oder nur teilweise belegte genetisch Einflüsse für Depressionen und legen nahe, dass diese für die Pathogenese zwar bedeutsam sein mögen, Umweltbedingungen aber eine entscheidendere Rolle zu spielen scheinen⁴. Während als Ursache für Alkoholabhängigkeit die Enzyme ADH und ALDH sowie das Dopaminrezeptor-2-Gen im Vordergrund stehen^{5; 6}, werden bei der Depression Genvarianten des serotonergen Systems fokussiert^{7; 8}. In beiden Fällen kann die Entstehung auf eine gestörte Neurotransmission zurückgeführt werden. Für Dopamin, Serotonin und Noradrenalin kann übergreifend eine Fehl- bzw. eine Unterfunktion im Entstehungsverlauf festgestellt werden^{5; 9; 10; 11}.
- Psychologische Ebene: Psychologische Erklärungsansätze sind heterogen. Während die Depression innerhalb der Verstärker-Verlust-Theorie durch einen Mangel positiver Erlebnisse bzw. ein Übermaß negativer Erfahrungen begünstigt wird, lässt sich der Alkohol im Rahmen der operanten Konditionierung als Mittel betrachten, welches dazu dient, positive Konsequenzen herbeizuführen bzw. negative zu vermeiden^{9; 8; 12; 13}. Eine weitere Querverbindung besteht zwischen der intermittierenden Verstärkung des operanten Konditionierens bei der Alkoholabhängigkeit und dem sekundären Krankheitsgewinn bei der Depression im Rahmen des Verstärker-Verlust-Modells. Bei beiden Erklärungsansätzen wirkt ein zunächst positiver Effekt (unregelmäßiges oder reduziertes Trinkverhalten bzw. soziale Unterstützung) der Krankheit scheinbar entgegen, trägt jedoch langfristig zu einer Verschlimmerung der Symptome bei^{8; 14}. Ein weiterer Zusammenhang ließ sich zwischen der Kognitiven Theorie der Sucht und dem Kognitiven Modell der Depression finden. Die der Abhängigkeitsentwicklung zugrundeliegenden Grundüberzeugungen und Grundannahmen können mit den dysfunktionalen Schemata der Depression in Verbindung gebracht werden, da sie jeweils den Ausgangspunkt für weiterführende, in die jeweilige Störung mündende Kognitionen darstellen^{15; 16}. Anhand der psychoanalytischen Erklärungsansätze war festzustellen, dass sowohl bei Alkoholabhängigkeit als auch Depression im Rahmen triebdynamischer Ansätze von einer oralen Fixierung als möglichem Ursprung der jeweiligen Störung gesprochen wird^{17; 18}. Weiterhin ist das Selbstwertgefühl nach den selbstpsychologischen Ansätzen an der Entstehung beider Störungen wesentlich beteiligt^{9; 17; 18}. Vertreter der Ich-Psychologie postulieren eine intrapsychische Spannung des Ichs sowohl bei Alkoholabhängigkeit als auch bei der Depression.

Schließlich spielt die frühkindliche Mutter-Kind-Beziehung gemäß objektpsychologischer Ansätze eine wesentliche Rolle für die Entstehung beider Störungen¹⁷.

- Psychosoziale Ebene: Zur Erklärung der Alkoholabhängigkeit liegen im Gegensatz zur Depression eine Vielzahl soziologischer Ansätze vor. Eine Parallele zwischen Alkoholabhängigkeit und Depression besteht darin, dass die Beeinträchtigung sowie das Fehlen sozialer Beziehungen zur Manifestation der Störungen beitragen können¹⁹; ²⁰. Darüber hinaus konnten die Familiengröße bzw. der Status als alleinerziehender Elternteil als Risikofaktor festgestellt werden^{20; 21; 22; 23}. Arbeitsplatzstress, geringes Einkommen im Rahmen beruflicher Gratifikationskrisen sowie Arbeitslosigkeit gelten als arbeitsbezogene Risikofaktoren^{20; 23; 24}.

3.2 Konkreter Zusammenhang?

Es liegt ein breites Spektrum an Erklärungsansätzen zur Komorbidität vor. Im Hinblick auf Alkoholabhängigkeit und Depression ist zu erkennen, dass unterschiedliche Studien verschiedenen Erklärungsansätzen (*direkt kausal, indirekt kausal, wechselseitig und gemeinschaftlicher ätiologischer Faktor*) zugeordnet werden können. Im Modell der *Komorbidität bei zugrundeliegenden komplexen Faktoren* wird angenommen, dass mehrere Faktoren an der Entstehung von Alkoholabhängigkeit und Depression beteiligt sind und in komplexer Wechselwirkung zueinander stehen. Es handelt sich um einen integrativen Ansatz, in den jeder der vier zuvor aufgeführten Erklärungsansätze als Spezialfall integriert werden könnte²⁵.

4. Diskussion und Ausblick

Insgesamt zeigen die Ergebnisse vielfältige biopsychosoziale Zusammenhänge bei der Pathogenese von Alkoholabhängigkeit und Depression auf und stellen unterschiedliche Erklärungsmöglichkeiten, die sich der Komplexität ihrer Komorbidität nähern, dar.

Auf biologischer Ebene zeigte sich für beide Störungen, dass der Verwandtschaftsgrad das Erkrankungsrisiko beeinflusst und mehrere Gene an der Entstehung beteiligt sind. Bei beiden Störungen lässt sich eine Fehlfunktion der Neurotransmitter Dopamin, Serotonin und Noradrenalin feststellen. Kognitiv-behaviorale Erklärungsansätze beruhen entweder auf ähnlichen Annahmen (z.B. Kognitive Theorie der Sucht und Kognitives Modell der Depression) oder es handelt sich um unterschiedliche, auf die einzelnen Störungen angewandte Theorien, diese jedoch miteinander in Verbindung gebracht werden können (z.B. Verstärker-Verlust-Theorie und operante Konditionierung). Psychoanalytische Ansätze führen beide Störungen auf eine orale Fixierung (Triebtheorie), eine intrapsychische Spannung des Ichs (Ich-Psychologie), eine gestörte frühkindliche Mutter-Kind-Beziehung (Objektbeziehungstheorie) oder ein beeinträchtigtes Selbstwertgefühl (Selbstpsychologie) zurück. Auf psychosozialer Ebene konnte das Fehlen bzw. die Beeinträchtigung sozialer Beziehungen, der Status als alleinerziehender Elternteil, Arbeitsplatzstress, Arbeitslosigkeit und ein geringes Einkommen

im Rahmen beruflicher Gratifikationskrisen als Risikofaktoren beider Störungen ausfindig gemacht werden. Komorbiditätstheoretisch erscheint es sinnvoll das gemeinsame Auftreten beider Störungen als Ergebnis der Interaktion komplexer Faktoren zu verstehen.

Loeber, Dinter und Mann²⁶ konnten die Wirksamkeit einer integrativen psychotherapeutischen Behandlung von Alkoholabhängigkeit und Depression nachweisen. Im Rahmen solch einer integrativen psychotherapeutischen Behandlung kann die Psychoedukation verortet werden. Daher gilt es, im Hinblick auf die Entwicklung von Psychoedukationskonzepten zur Doppeldiagnose Alkoholabhängigkeit und Depression, in weiterführenden Arbeiten, die in diesem Beitrag erbrachten Ergebnisse hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz für Patienten zu extrahieren und zu untersuchen, wie diese in solche Konzepte integriert werden können.

5. Literatur

- (1) Wittchen, H. U. et al. (2011). The size and burden of mental disorders and other disorders of the brain in Europe 2010. *European Neuropsychopharmacology*, 21 (9), 655-679.
- (2) Soyka, M. & Lieb, M. (2004). Depression und Alkoholabhängigkeit - Neue Befunde zu Komorbidität Neurobiologie und Genetik. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 5 (3), 37-46.
- (3) Sullivan, P. F. et al. (2000). Genetic epidemiology of Major Depression: Review and meta-Analysis. *The American Journal of Psychiatry*, 157 (10), 552-1562.
- (4) Rice, F. (2010). Genetics of childhood and adolescent depression: insights into etiological heterogeneity and challenges for future genomic research. *Genome medicine*, 2 (9), 68.
- (5) Soyka, M. (1995). *Die Alkoholkrankheit - Diagnose und Therapie ; mit 40 Tabellen*. London: Chapman & Hall.
- (6) Maier, W. (1997). Mechanismen der familiären Übertragung von Alkoholabhängigkeit und Alkoholabusus. In H. Watzl & B. Rockstroh (Hrsg.), *Abhängigkeit und Mißbrauch von Alkohol und Drogen* (S. 91-110). Göttingen: Hogrefe.
- (7) Schulte-Körne, G. & Allgaier, A. (2008). Übersichtsarbeit. Genetik depressiver Störungen. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 36 (1), 27-43.
- (8) Hautzinger, M. (2010). *Akute Depression* (Fortschritte der Psychotherapie, Bd. 40). Göttingen: Hogrefe.
- (9) Schmidt, L. (1997). *Alkoholkrankheit und Alkoholmißbrauch. Definition - Ursachen - Folgen - Behandlung - Prävention* (4., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- (10) Heinz, A. & Mann, K. (2005). Neurobiologie der Alkoholabhängigkeit. In R. Tölle & E. Doppelfeld (Hrsg.), *Alkoholismus. Erkennen und Behandeln ; 18 Tabellen* (S. 9-22). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- (11) Beblo, T. & Lautenbacher, S. (2006). *Neuropsychologie der Depression* (Fortschritte der Neuropsychologie, Bd. 6). Göttingen: Hogrefe.
- (12) Feuerlein, W. (1996). *Alkoholismus. Warnsignale - Vorbeugung - Therapie ; 5 Tabellen* (Beck'sche Reihe Wissen, Bd. 2033). München: Beck.

- (13) Soyka, M. et al. (2008). *Alkoholismus - Missbrauch und Abhängigkeit. Entstehung – Folgen - Therapie; 49 Tabellen* (6., vollst. überarb. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- (14) Rist, F. & Watzl, H. (1999). Alkohol. In M. Gastpar, M., K. Mann & H. Rommelspacher (Hrsg.), *Lehrbuch der Suchterkrankungen* (S. 183-201). Stuttgart: Thieme.
- (15) Beck, A. T. et al. (1997). *Kognitive Therapie der Sucht*. Weinheim: PVU.
- (16) Beck, A. T. et al. (1996). *Kognitive Therapie der Depression*. Weinheim: PVU.
- (17) Böker, H. (2000). Psychodynamik der Depression und Manie. In H. Böker (Hrsg.), *Depression, Manie und schizoaffektive Psychosen. Psychodynamische Theorien, einzelfallorientierte Forschung und Psychotherapie* (2. Aufl.) (S. 14-85). Gießen: Psychosozial-Verlag.
- (18) Rost, W. D. (2001). *Psychoanalyse des Alkoholismus. Theorie, Diagnostik, Behandlung* (Konzepte der Humanwissenschaften, 6. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- (19) Böker, H. (2000). Interaktionsdynamische Depressionsmodelle. In H. Böker (Hrsg.), *Depression, Manie und schizoaffektive Psychosen. Psychodynamische Theorien, einzelfallorientierte Forschung und Psychotherapie* (2. Aufl.) (S. 101-125). Gießen: Psychosozial-Verlag.
- (20) Schmidt, B., Alte-Teigeler, A. & Hurrelmann, K. (1999). Soziale Bedingungsfaktoren von Drogenkonsum und Drogenmißbrauch. In M. Gastpar et al. (Hrsg.), *Lehrbuch der Suchterkrankungen* (S. 50-69). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- (21) Bastine, R. H. E. (1998). Klinische Psychologie Band 1. Grundlegung der Allgemeinen Klinischen Psychologie. In Herrmann, T. W. et al. (Hrsg.), *Standards Psychologie* (Bd.1, 3., vollständig überarb. u. erw. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- (22) Fabian, A. & Becker, T. (2001). Psychosoziale Faktoren bei depressiven Erkrankungen. Pathogenese-Modell und Interventionsansätze. *Fortschritte der Neurologie Psychiatrie*, 69, 1-9.
- (23) Möller-Leimkühler, A. M. (2009). Männer, Depression und „männliche“ Depression. *Fortschritte der Neurologie Psychiatrie*, 77, 412-422.
- (24) Feuerlein, W. (1999). Individuelle, soziale und epidemiologische Aspekte des Alkoholismus. In M. V. Singer & S. Teyssen (Hrsg.), *Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten. Grundlagen, Diagnostik, Therapie ; 136 Tabellen* (S. 40-51). Berlin: Springer.
- (25) Brieger, P. & Marneros, A. (2000). Komorbidität bei psychiatrischen Krankheiten. Einige theoretische Überlegungen. *Nervenarzt* 2000, 71, 525-534.
- (26) Loeber, S. et al. (2011). Psychotherapie von Patienten mit Depression und Abhängigkeitserkrankung. *Sucht*, 57 (5), 373-381.

Experiment zum Sozialverhalten und Gruppenzwang

Christoph Reitmeier (cristoph.reitmeier@hs-mittweida.de) , Karolin Hofmann (karolin.hofmann@hs-mittweida.de), Laura Greve (laura.greve@hs-mittweida.de), Mandy Anders (mandy.anders@hs-mittweida.de), Ronja Böhringer (ronja@boehringer-mueller.de), Sophie Liebisch (sophie.liebisch@hs-mittweida.de)
Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Fakultät Medien

Abstract:

Der Einfluss digitaler Kommunikationsmittel begünstigt heutzutage eine völlig neue Form des Sozialverhaltens. Dies ist vor Allem innerhalb der Altersgruppe der Kinder und Jugendlichen wiederzufinden. Dieses Paper beschäftigt sich mit der Erfassung des Verhaltens junger Erwachsener unter dem Aspekt der Gier und des Wirkens von Gruppenzwang – und betrachtet dessen Ergebnis anhand eines öffentlich durchgeführten Experiments.

1. Einleitung

Es handelt sich in diesem Fall um drei Faktoren, die eine bedeutsame Rolle im Verlauf des Experiments spielen.

1.1 Modernes Kommunikationsverhalten

Die zunehmende „Integration der mobilen Geräte“¹ in unseren Alltag bewirkt eine deutliche Veränderung im heutigen Sozial- und Kommunikationsverhalten. Smartphone und Tablet sind nun ein stetiger Begleiter und das damit einhergehende Nutzungsverhalten resultieren in einigen Fällen zur Abkapselung des Nutzers von der Realität.² Die direkte Kommunikation stellt dabei immer häufiger eine Blockade dar, welche dank der neuen Technik nicht mehr zwangsläufig überwunden werden muss.

1.2 Leitmotiv Gier

Einen zugegeben überspitzten Begriff für das Lockmittel der Probanden bildet dabei das Motiv der Gier. Das sogenannte Belohnungssystem, ein kleiner Teil des Gehirns, welcher bei Aktivierung ein Wohlgefühl vermittelt, lässt dabei Risiken aus dem Betracht des Menschen schwinden und diesen Zustand zu einer Suchtgefahr wachsen.³ Das eben jenes Funktionsteil des Körpers trotzdem auch den Sinn für Gerechtigkeit fördert, beweisen Experimente wie das sogenannte Ultimatumspiel.^{4,5}

Zur Erforschung von Egoismus wird dabei betrachtet, wie ein Teilnehmer die Interessen seines Gegenübers mit einbezieht. Zum Beispiel muss Person A einen Geldbetrag mit Person B teilen. Letztere besitzt nichts, ist aber in der Lage, das Angebot abzulehnen, wenn es ihm nicht zusagt. In den meisten Fällen tritt als Ergebnis eine gleiche Verteilung des Geldes für die Teilnehmer auf. Die Bestrafung unfairen Verhaltens wird hierbei durch besagtes Belohnungssystem angetrieben und begründet schließlich ein gemeinsames Streben nach Fairness.

1.3 Leitmotiv Gruppenzwang

Der Mensch als soziales Lebewesen neigt zum Vergleich seiner Selbst mit anderen in seinem Umfeld. Das Muster im Denken und Handeln anderer anzunehmen, oder sich derer anzupassen, begründet dabei ein Gefühl der Konformität. Zu einer Gruppe zu gehören bedeutet Sicherheit und ein deutliches „Querschlagen“ in diesen gewohnten Verhaltensweisen führt zu einer Erschütterung des Sicherheitsgefühls, wie das sogenannte „Konformitätsexperiment von Asch“^{6,7} beweist.

In dessen Durchführung wird ein Proband einer Gruppe weiterer vermeintlich ahnungslosen Teilnehmer zugewiesen, welchen Linien verschiedener Länge gezeigt werden. Anhand einer Vergleichslinie ist dann die dazu deckungsgleiche Linie bestimmen. Die eingeweihten Teilnehmer wurden zuvor jedoch angewiesen, eine gemeinsame falsche Aussage zu treffen. Ergebnisse dieses Experiments zeigen, dass in vielen Fällen der Proband trotz offensichtlicher Falschheit der Meinung der Gruppe folgt und die Antwort der weiteren Teilnehmer annimmt.

2. Das Experiment

Die Durchführung fand an einem öffentlichen Ort des Hochschulgeländes statt. Es handelt sich um den Vorsaal der Mensa, welcher an zwei Tagen zur Mittagszeit von 11.30 Uhr bis 14.00 Uhr observiert wurde.

An einer gut einzusehenden Position wurde dafür ein Tisch mit einer mit Süßigkeiten gefüllten Schüssel aufgestellt. Ein beiliegendes Schild informierte die Probanden (durchschnittlich Studierende im Alter von 24 Jahren⁸) darüber, dass sie sich eines der Süßigkeiten nehmen dürfen. Die Anzahl ist hierbei ausschlaggebend: die Entnahme mehrerer Süßigkeiten durch eine Person gilt als Regelbruch.

Dieses Experiment wurde in zwei Varianten durchgeführt:

- 1) Am ersten Versuchstag nahmen die Protokollanten einen deutlichen Abstand zum Aufbau ein und ließen diesen (vermeintlich) unbeobachtet.
- 2) Am zweiten Versuchstag beaufsichtigte ein Durchführender des Experiments den Aufbau persönlich. Die Probanden sollten dabei den Eindruck erhalten, ihr Verhalten würde im Gegensatz zum ersten Versuchstag kontrolliert.

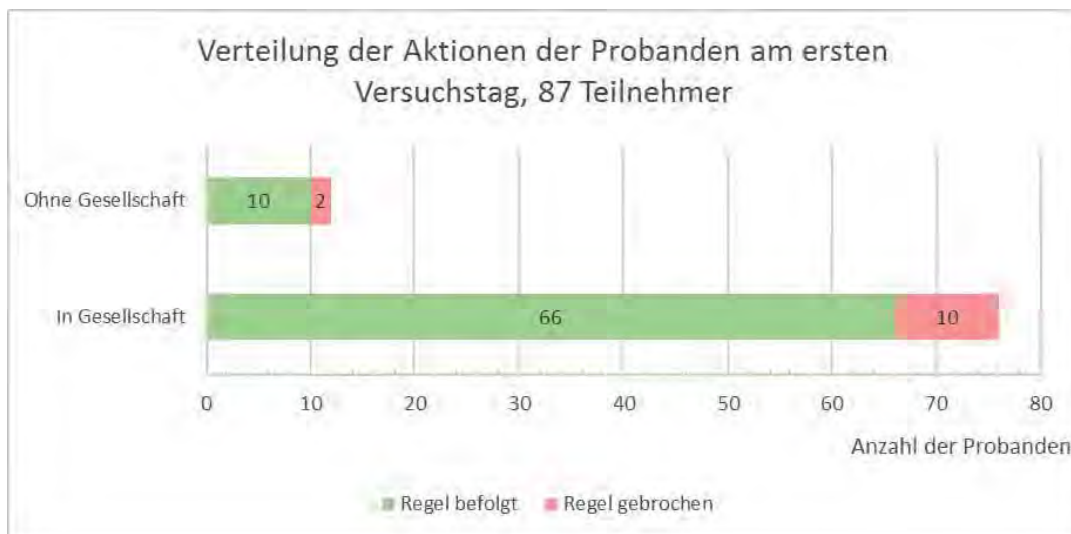
Folgendes wurde während der Durchführung schriftlich festgehalten:

- Anzahl der Teilnehmer
- Anzahl der entnommenen Süßigkeiten (Bezug auf Bruch der zuvor aufgestellten Regel, sich nur eines nehmen zu dürfen)
- Ob sie sich in Gesellschaft befanden (Gesellschaft ist hierbei als „ab einer Begleitperson“ definiert)

Unsere Thesen definierten wir wie folgt:

- 1) In Gesellschaft befindliche Probanden werden dazu geneigt sein, mehrere Süßigkeiten zu entnehmen. Die „Regel“ wird dabei gebrochen.
- 2) Ist der Proband allein, so wird er mehr dazu geneigt sein, nur eine Süßigkeit zu entnehmen. Die „Regel“ wird somit eingehalten.
- 3) Es werden am ersten Versuchstag mehr Probanden am Experiment teilnehmen (Süßigkeiten entnehmen) als am zweiten Tag, an welchem sie „kontrolliert“ werden.

Nach einer Auswertung und Durchschnittsberechnung der vorliegenden Protokolle ergaben sich die unten dargestellten Versuchsergebnisse.



3. Auswertung

Den auffälligsten Unterschied zwischen Erwartung und Ergebnis bildet die Differenz der Teilnehmerzahlen zwischen den einzelnen Versuchstagen. Während ohne Aufsicht 87 Personen eine Süßigkeit der Schüssel entnehmen, waren es am Folgetag weniger als ein Drittel der vorangegangenen Aktivität.

Unter der Berücksichtigung, dass es sich bei der Durchführung am zweiten Versuchstag noch immer um dasselbe, für den Probanden nicht mit Kosten oder einer Aufgabe verbundenes Angebot handelt, lässt sich dieser Rückgang auf die Aufsichtsperson zurückführen. Selbst am letzten Tag wäre es nicht von Nöten gewesen, in Kontakt mit der Aufsichtsperson zu treten. Unter Anderem könnte eine durch die alleinige Präsenz der kontrollierenden Person begründete soziale Hemmschwelle in dieser Reaktion zu finden sein.

Die Anteile jener, welche die aufgestellte Regel befolgt, und jener, welche sie gebrochen haben, teilt sich in zwei ungleiche Mengen. So ist die Anzahl der regelkonformen Probanden in beiden Fällen mit ca. 87,3% die deutliche Mehrheit verglichen mit verbleibenden Regelbrechern. Dass in beiden Fällen die überwiegen, welche mehrere Süßigkeiten entnahmen und in Gesellschaft unterwegs waren, bestätigt die aufgestellte These des Einflusses einer Gruppendynamik. Hierbei ist anzunehmen, dass die Hemmschwelle aufgrund des „Richtigkeitsgefühls der Gruppe“ ähnlich wie beim zuvor bereits beschriebenen Asch-Experiment den Probanden zu dieser Aktivität geführt hat.

Entgegengesetzt der Erwartungen ist das verzeichnete Verhalten der Regelbrecher am zweiten Versuchstag im Anteil deutlich höher als am ersten. Während es sich beim ersten Durchlauf um ca. 13,8% handelte, stieg dieser Wert während des zweiten auf ca. 22,7% an. Mit fast einem Viertel der gesamten Teilnehmerzahl am ist hier eine deutliche Trotzreaktion der Probanden erkennbar, welche den mutwilligen Regelbruch vor einem Augenzeugen unter Beweis stellt. Das ausbleibende Eingreifen der Kontrollperson kann dabei vom Probanden als ein Signal der Legitimierung verstanden worden sein. Die zuerst erläuterte These wird dadurch zunehmend begünstigt, da durch die soziale Hemmschwelle introvertierte davon abgeneigt, extrovertierte Teilnehmer hingegen in dieser Aufstellung letztendlich noch eine Herausforderung sehen könnten. Die Anzahl der Regelbrecher hat sich dabei also nicht erhöht, wie in den Zahlen zu erkennen, jene der konformen Teilnehmer nur verringert.

Schlussendlich bezeugt das Experiment ein positives Bild im Sozialverhalten der Testgruppen. Der Großteil der Teilnehmer drückte mit seinem Verhalten ein nach Gerechtigkeit gesinntes Agieren aus („Jeder kann sich eines nehmen, dann erhalten insgesamt mehr Personen eine Süßigkeit“). Lediglich ein kleiner Teil widersetzte sich diesem Gedanken. Die Gruppe verlieh hierbei den Agierenden keine zwangsläufige Regelbruch-Funktion, ist aber in dessen Verlauf ein begünstigender Faktor. Auch zeichnet sich ab, dass das „Medium Mensch in Person wohl schlechter zu erreichen sein wird.“

Auch, wenn sich aus den vorliegenden Zahlen Bilder der Testgruppe und Analysen der vorliegenden Zahlen erstellen lassen, stellt dieses Ergebnis kein repräsentatives Beispiel für die gesamte Altersgruppe dar. Es sind noch Wiederholungen des Ablaufs des Experiments von Nöten, um dessen Ergebnis zunehmend verallgemeinern und allgemein gültig machen zu können.

Die Autoren des Papers bedanken sich bei Robert J. Wierzbicki für das sorgfältige Lesen des Manuskripts, wertvolle Tipps und Unterstützung.

4. Literaturverzeichnis

¹ Professor Dr. Angela Keppler, Universität Mannheim, (13.06.2013) in einer Presseinformation über ihre Studie Reichweite alltäglicher Gespräche. Über den kommunikativen Gebrauch alter und neuer Medien.

² Lisa J. Merlo, Amanda M. Stone, Alex Bibbey (2013). Measuring Problematic Mobile Phone Use: Development and Preliminary Psychometric Properties of the PUMP Scale (Research Article)

³ Pressemitteilung der Deutschen Gesellschaft für Neurologie (30.08.2016). Neuroökonomie: Der Kampf zwischen Gier und sozialem Miteinander in unserem Gehirn.

⁴ Manfred J. Holler, Gerhard Illing (2000). Einführung in die Spieltheorie. Springer Berlin Heidelberg 2000. eBook. XIII, 416 S.

⁵ Ralf Grötzer (2009). Ein Spiel fürs Leben. Wissenschaftlicher Artikel, Ausgabe 01|09 der MaxPlanckForschung, Max-Planck-Gesellschaft

⁶ Ash, S. E. (1951). Effects of group pressure upon the modification and distortion of judgment. In H. Guetzkow (ed.) Groups, leadership and men. Pittsburgh, PA: Carnegie Press

⁷ Asch, S.E. (1956). Studies of Independence and conformity: I. A minority of one against a unanimous majority. Psychological Monographs 70 (9), 1•©70

⁸ Durchschnittswert des Alters der Absolventen an Fachhochschulen mit Abschluss im Jahr 2015 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/189237/umfrage/durchschnittsalter-von-hochschulabsolventen-in-deutschland/> (aufgerufen am 13.01.2017, 15:37 Uhr)

Wirtschaftswissenschaften

Erarbeitung eines Modellhaften Lösungsansatzes für eine Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle

Michael Grummich
Hochschule Mittweida, Institut für Energiemanagement
grummich@hs-mittweida.de

Abstract

Zur Effizienzverbesserung industrieller Prozessketten, in kleine und mittlere Unternehmen, wurde ein modellhafter Lösungsansatz erarbeitet. Hierfür ist vor allem der Zusammenhang zwischen den Determinanten und Verursachern von Energie- und Ressourcenverbräuchen von besonderer Bedeutung.

1. Einleitung

Energie ist eine der signifikantesten Treiber, sozialer und wirtschaftlicher Entwicklung der Gesellschaft. Weshalb mit diesen limitierten Ressourcen bedacht umgegangen werden muss. Die damit in Zusammenhang stehenden Aktivitäten haben darüber hinaus große Auswirkungen auf unsere Umwelt.ⁱ Auch auf Grund dieser Knappheit, setzen viele deutsche Unternehmen auf eine Energieeffizienzverbesserung, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen und Kosten zu sparen.ⁱⁱ

Eine gängige Methode zur Effizienzverbesserung stellen Assistenzsysteme, wie das Energiemanagementsystem dar. Herkömmliche Energiemanagementsysteme fokussieren sich jedoch meist nur auf den Verbrauch, in Abhängigkeit zu der Zeit. So kann nur schwer festgestellt werden, woraus sich diese Verbräuche ergeben. Durch diese fehlenden Informationen, kann das Erstellen von Aktionsplänen und Strategien, zur Senkung der Verbräuche, erschwert werden.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit verfolgt das Ziel, den energetischen Verbräuchen, die entsprechenden Determinanten der Verursachung, aus den unterschiedlichsten Quellen zuzuordnen und diese über die Bildung von energetischen Performanceindikatoren zu überwachen und zu optimieren, um eine kontinuierliche Optimierung der Stoff- und Energieflüsse innerhalb der wiederkehrend durchlaufenden Prozessketten zu ermöglichen. Dieser Ansatz wird im weiteren Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle, kurz DAKS, genannt.

2. Aufgaben Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle

Um die bereits beschriebene kontinuierliche Verbesserung zu erzielen, gliedert sich die Aufgabe der DAKS in 3 Phasen:

1. Erfassung aller effizienzbeeinflussender Faktoren
2. Ermittlung der Energieverschwendung, sowie Entwicklung eines Planes zur Verbesserung der Effizienz
3. Beeinflussung der entsprechenden Faktoren zur Energieeffizienzverbesserung

Ähnlich dem Plan-Do-Check-Act-Zyklus eines Energiemanagementsystems werden diese Phasen wiederholt. Dies geschieht zur Kontrolle, ob die Verbesserungsmaßnahmen den erwünschten Effekt erzielen. Zudem können so Änderungen der Prozessvariablen berücksichtigt werden, um den Prozess weiterhin optimal zu gestalten.

Abbildung 1 zeigt, wo sich die Schnittstelle in das Gefüge der industriellen Prozesskette eingliedert. Im oberen Teil der Grafik ist die Beziehung zwischen den Umgebungsparametern und den Eingangsgrößen zu sehen.

Die DAKS erhält Informationen über die Umgebungsvariablen und Eingangsgrößen und nimmt außerdem eine Leistungsmessung des Prozesses vor. Mit diesen umfassenden Informationen wird ermittelt, wo Ressourcen verschwendet werden und geplant, wie dies verändert werden kann. Darauf basierend nimmt die Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle Einfluss auf die Datensysteme und Ressourcen, um den gewünschten Verbesserungseffekt zu erzielen. Dies wird dann durch weitere Leistungsmessungen überprüft und gegebenenfalls weiter optimiert.

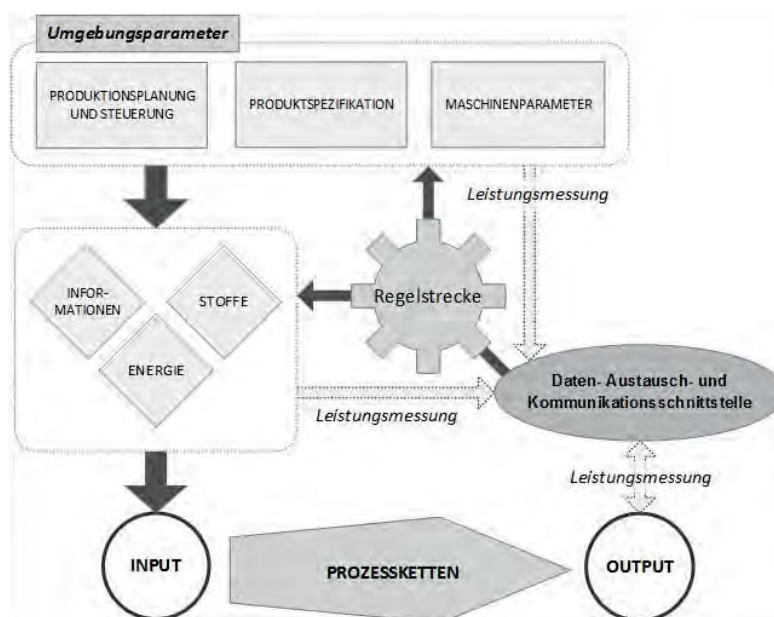


Abbildung 1: DAKS in Prozesskette (Copyright: Grummich, Michael)

3. Erfassung

Durch die große Anzahl der Faktoren ist es schwierig, möglichst alle relevanten Daten zu erhalten. Jedoch nutzen viele Unternehmen computergestützte Systeme. Sie beeinflussen die Prozesse, in einem Unternehmen, und erfassen sowie verwalten diesbezügliche Daten.

Es gibt diverse Systeme, die verschiedenste Aufgaben übernehmen. Jedes Unternehmen nutzt, aus dieser Vielfältigkeit, die Systeme, die zu den jeweiligen Anforderungen am besten passen. Aus diesem Grund ist es nicht möglich alle zu untersuchen, weshalb sich auf drei der Wichtigsten beschränkt wird. Dies sind die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die Betriebsdatenerfassung (BDE) und das Enterprise-Resource-Planning (ERP).

- Die Speicherprogrammierbare Steuerung dient der Steuerung von Maschinen. Die Anweisung erhalten sie aus einem variabel, der Aufgabe entsprechenden, Programm.
- Die Betriebsdatenerfassung dient der Erfassung und Ausgabe betrieblicher Daten in maschinenverarbeitbarer Form.ⁱⁱⁱ
- Ein Enterprise-Resource-Planning-System dient der funktionsbereichsübergreifenden Unterstützung sämtlicher, in einem Unternehmen, ablaufenden Geschäftsprozesse.^{iv}

Diese drei Systeme wurden vor allem auf ihre Austauschmöglichkeiten untersucht, um eine Datenerfassung und spätere Automatisierung zu ermöglichen. Hierbei zeigten sich als bevorzugte Austauschformate CSV, XLS, XML. In Abbildung 2 ist der Informationsverlauf der Rohdaten zu den ausgewählten Systemen erkennbar. Diese bereiten die Daten auf und geben sie über ihre Austauschformate weiter, um ausgewertet bzw. genutzt zu werden. Das EnMS soll in diesem Fall primär die Verbrauchsdaten übermitteln.

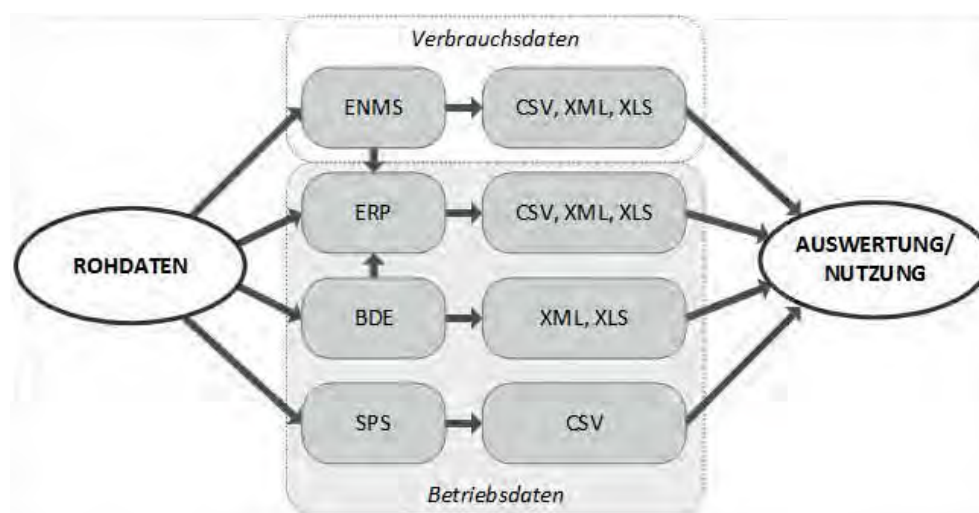


Abbildung 2: Wichtige Systeme und ihre Datenaustauschformate (Copyright: Grummich, Michael)

4. Ursachen

Nach dem Erfassen der Daten ist der nächste wichtige Schritt das Ermitteln aller prozessbeeinflussenden Faktoren. Da es sich hierbei um eine Vielzahl von möglichen Faktoren handelt, muss zunächst ein Verfahren gewählt werden, um diese strukturiert erfassen zu können. Aus diesem Grund wurde die Form des Ishikawa-Diagramms, auch Ursache-Wirkung-Diagramm genannt, ausgewählt. Im hier thematisierten Fall stellt der zu hohe Energieverbrauch das Problem dar. Am Institut für Energiemanagement der Hochschule Mittweida wurde das Diagramm dann in einem Gruppengespräch diskutiert. So wurde der Prozess umfassend betrachtet und hinterfragt, um ein möglichst optimales Diagramm zu erstellen. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen.

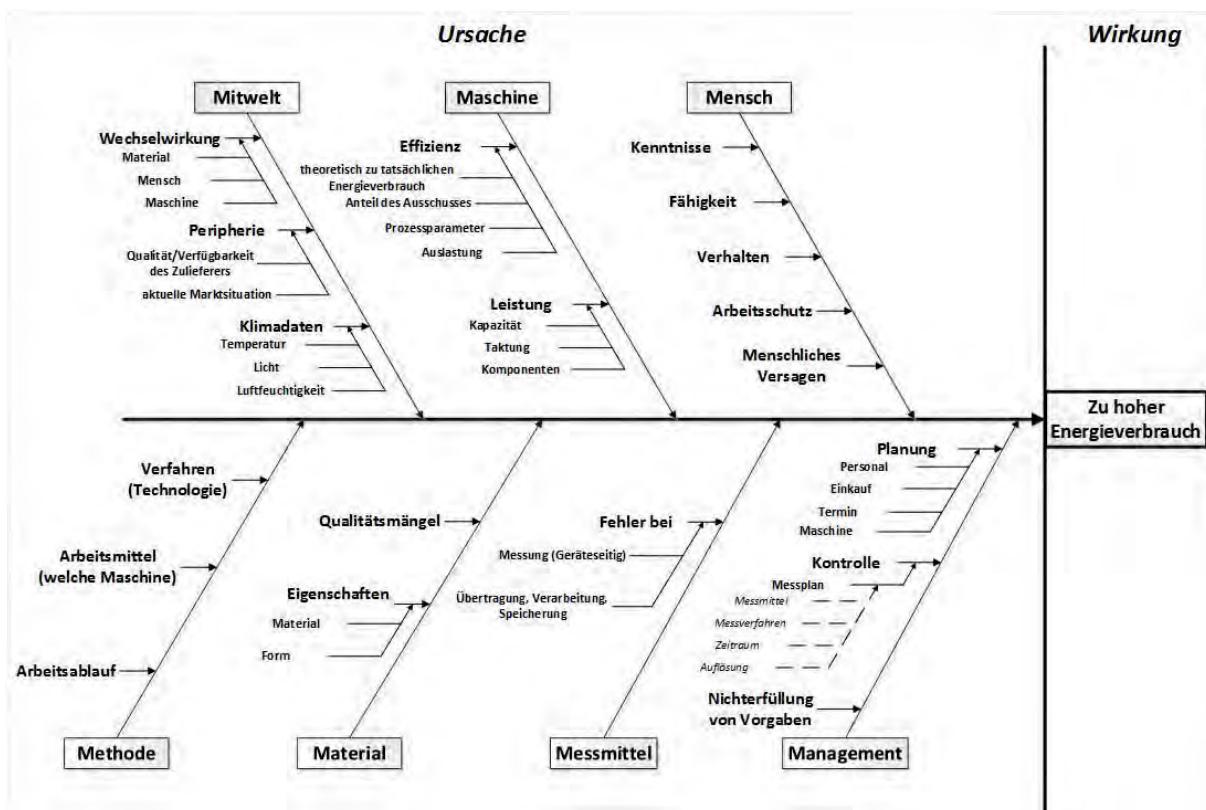


Abbildung 3: Ishikawa-Diagramm zum Energieverbrauch industrieller Prozessketten
(Copyright: Grummich, Michael)

Mit diesem Diagramm lassen sich nun die Verbrauchsursachen eines Prozesses ermitteln. Hierfür können die, durch die 7m-Methode, erzeugten Unterpunkte durchlaufen und für den speziellen Fall Ursachen bestimmt werden.

5. Fallbeispiel

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse wurden an dem Beispiel einer Multilayerpresse erprobt.

Bei der Presse handelt es sich um eine HML LP 4000VK des Herstellers HML Multilayerpressen GmbH. Die Presse besitzt vier Etagen zum gleichzeitigen Pressen, eine Anschlussleistung von 82kW, erreicht eine Maximaltemperatur von 300°C und eine Presskraft von 900kN. Die Anlage verpresst mehrere Schaltungsebenen zu einer Leiterplatte. Dies geschieht, je nach Bauteil, mit einer spezifischen Temperatur und Druck.^v

Es wurde ein Modell der DAKS speziell für den Fall der Multilayerpresse entwickelt. Im oberen linken Teil sind die verschiedenen Eingangsgrößen, getrennt nach variablen und festen Daten, aufgeführt. Die Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle regelt die variablen Werte, durch das symbolisch dargestellte Stellrad, um eine Effizienzsteigerung zu erzeugen. Dies geschieht auf der Basis kontinuierlicher Leistungsmessungen.

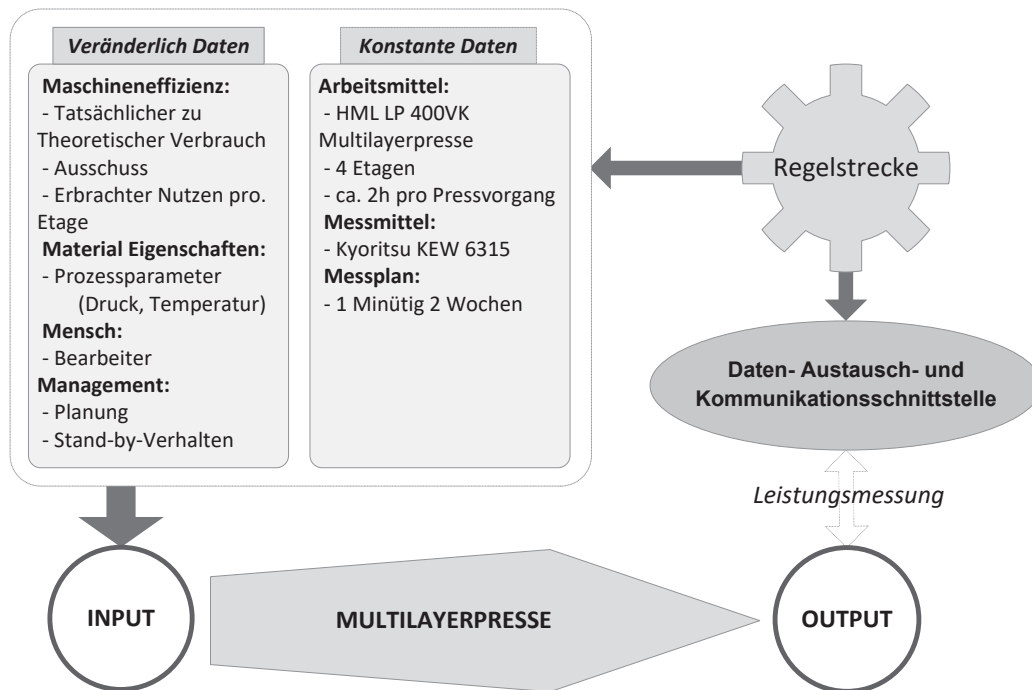


Abbildung 4: Beispielbezogene Anwendung der DAKS (Copyright: Grummich, Michael)

Durch eine Messung und das Anwenden des DAKS- Konzeptes, konnte so eine umfassende Analyse des Prozesses ermöglicht, sowie verschiedene Einsparpotenziale aufgedeckt werden.

6. Ausblick

Die Daten- Austausch- und Kommunikationsschnittstelle ist momentan ein theoretischer Ansatz. Im nächsten Schritt soll die Datenerfassung automatisiert werden. Hierfür wurden schon wichtige Grundlagen in der Untersuchung verschiedener infrage kommender Systeme und ihrer Schnittstellen gelegt. Da es große Unterschiede in der technischen Ausstattung verschiedener Unternehmen gibt, sollte im nächsten Schritt die Hilfe eines Praxispartners gesucht werden, für den eine konkrete Lösung entwickelt werden kann. Wenn diese automatisierte Datenerfassung funktionsfähig ist, kann im Folgenden eine automatisierte Datenaufbereitung erarbeitet werden.

ⁱ Vgl. Schusser, Bert. Erfolgsfaktoren bei der Durchführung von energetischen Analysen im industriellen Umfeld. [Hrsg.] Hochschule Mittweida. Energietechnische Blätter. 01. 06 2016, Nr. 2016.

ⁱⁱ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen. [Online] 12 2015. [Zitat vom: 25. 04 2016.] https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/strom/1419_Broschüre_Energieeffizienz-in-KMU_2015.pdf.

ⁱⁱⁱ Vgl. Mönch, Lars. Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik. [Zitat vom: 03. 03 2016.] <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/Manufacturing-Execution-System/Betriebsdatenerfassung>.

^{iv} Vgl. Vahrenkamp, Richard und Siepermann, Christoph. Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Enterprise-Resource-Planning-System. [Zitat vom: 26. 01 2016.] <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/17984/enterprise-resource-planning-system-v12.html>

^v Vgl. HML Multilayerpressen GmbH. Multilayerpressen. [Zitat vom: 12. 11 2016.] <http://www.hml-hr.com/cgi-src/hml/phplib/datenblaetter.php?d&multilayerpressen>

Geben oder nehmen? Framing-Effekte bei Lernanreizen

Marios Karapanos¹ & Marc Piazoło²

¹Hochschule Mittweida, IKKS, marios.karapanos@hs-mittweida.de

²Hochschule Kaiserslautern, Fachbereich Betriebswirtschaft, marc.piazoło@hs-kl.de

Abstract: Sind Lernanreize wirksamer, wenn diese als Verluste statt als Gewinne erlebt werden? Für zwei Studierendengruppen wurde ein logisch äquivalentes Bonuspunktesystem für die Abschlussklausur konstruiert. Studierende, die mit der maximal erreichbaren Bonuspunktezah! ins Semester starteten und bei Nichtbearbeitung von Aufgaben Punkte abgezogen bekamen, erzielten im Schnitt 68% mehr Bonuspunkte als ihre Kommilitonen, die bei null starteten und sich die Punkte hinzuverdienen mussten.

1. Einführung und Theorie

Dass manche Menschen ein Glas eher als halbvoll sehen, während es anderen halbleer erscheint, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt ist hingegen, dass zwei verschiedene Formulierungen eines Entscheidungsproblems, obwohl beide logisch äquivalent sind, auch zu unterschiedlichen Entscheidungen führen können. Dieser Effekt wird als Framing bezeichnet und steht im Widerspruch zur Theorie rationaler Entscheidungen.¹ Weil diese Verhaltensunterschiede aber nicht zufällig auftreten, sondern bestimmten Mustern in Abhängigkeit der Problemformulierung folgen, können durch das Framing von Entscheidungssituationen Verhaltens-tendenzen begünstigt werden, z.B. um Lernende bei der Bewältigung von Lernaufgaben motivational zu unterstützen.

Motivation, definiert als „aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand“ gilt als ein zentrales Konzept zur Erklärung von Lern- und Leistungsverhalten.^{2(p15),3} Während bestimmte Motivationsformen unabhängig von kognitiven Voraussetzungen Lernerfolg begünstigen, können andere aber auch hemmend wirken.⁴ Der angestrebte Zielzustand ist dabei nicht notwendigerweise nur das Ergebnis einer Handlung, sondern kann auch im Vollzug der Handlung selbst liegen. Hierzu gilt die Unterscheidung der Motivationsformen in intrinsisch und extrinsisch als weitreichend akzeptiert.⁵ Lernt ein Schüler oder eine Studentin, um positive Konsequenzen herbeizuführen oder negative zu vermeiden, ist die Lernmotivation extrinsisch. Lernt er oder sie hingegen, weil die Lernhandlung selbst als angenehm erlebt wird, wird von intrinsischer Lernmotivation gesprochen. Die Unterscheidung ist nicht immer eindeutig zu treffen und wird durch eine gewisse definitorische Unschärfe der Begriffe erschwert.⁶ In pädagogischen Kontexten wird insbesondere die Bedeutung der intrinsischen Motivation für das Lernverhalten hervorgehoben, die sich in der Empirie tatsächlich als besserer Prädiktor für Lernerfolg erweist.^{7,8} Befürchtet wurde zudem lange Zeit auch ein Korrumpierungseffekt. Demnach wird eine ursprünglich intrinsisch motivierte Handlung durch die Einführung einer extrinsischen Belohnung untergraben und verliert ihren inhärenten Reiz. Zwar

lässt sich dieser Effekt experimentell zeigen, allerdings nur in ganz bestimmten Konstellationen.^{9,10} Nach Rheinberg spreche die Befundlage daher eher „gegen die Annahme, dass nachteilige Motivationseffekte von Belohnungen unter ökologisch validen Alltagsbedingungen durchgängig zu zeigen sind“.^{6(p372)}

Ist Lernverhalten vorwiegend extrinsisch motiviert, stellt die Entscheidung dafür oder dagegen oftmals eine Entscheidung unter Unsicherheit dar. Der Schüler oder die Studentin wissen nicht sicher, ob die Lernhandlung sie ihrem Ziel, in der Regel das Bestehen einer Prüfung, näherbringen wird. Die Verhaltensökonomik konnte zeigen, dass Menschen auch in solchen Entscheidungssituationen stabile Verhaltensabweichungen vom Modell eines rationalen Agenten aufweisen.¹¹ Ein Beispiel hierfür ist Verlustaversion, also die Neigung, den negativen Nutzen (disutility) durch den Verlust eines Objekts als größer zu empfinden als den positiven Nutzen, der mit seiner Aneignung verbunden ist.¹² Auf diese Weise ist es möglich, zum einen bestimmte Verhaltensweisen zu erklären, z.B. warum Anleger verlustbehaftete Wertpapiere zu lang halten oder bei langfristiger Überlegenheit von Aktien trotzdem in Anleihen investieren.^{13,14} Zum anderen lassen sich aber auch durch die Ausgestaltung einer Entscheidungssituation bestimmte Verhaltensweisen tendenziell stimulieren. Thaler und Sunstein plädieren deshalb dafür, Entscheidungssituationen so zu formen, dass Entscheider davon profitieren, also bessere Entscheidungen treffen.¹⁵ Obwohl Bildungsinstitutionen Lernende ständig vor Entscheidungen stellen, werden solche Überlegungen in der pädagogisch-psychologischen und erziehungswissenschaftlichen Literatur kaum reflektiert. So plädieren auch Spencer, Rowson und Bamfield für die stärkere Berücksichtigung verhaltensökonomischer Erkenntnisse in Bildungspolitik und -praxis.¹⁶ Erste empirische Befunde weisen auf das Potential dieser Erkenntnisse im Kontext des Lehrens und Lernens hin.¹⁷⁻²¹

Der vorliegende Beitrag soll prüfen, ob sich Lernentscheidungen durch Framing der Entscheidungssituation begünstigen lassen, indem ein Anreiz statt als Gewinn als Verlust erlebt wird. Dazu soll mit der Vergabe von Bonuspunkten für die Abschlussklausur ein häufig genutztes Anreizkonzept als Anwendungsfeld dienen.

2. Methode

2.1 Untersuchungsrahmen

75 Studentinnen und Studenten (35 weiblich) des Studiengangs Mittelstandsökonomie an der Hochschule Kaiserslautern besuchten im Sommersemester 2015 eine Statistik-Grundlagenvorlesung. Aus organisatorischen Gründen werden die Studierenden jedes Jahr in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Einteilung erfolgt zufällig. Über das Semester erhalten die Studierenden die Gelegenheit, durch das Bearbeiten von Übungsaufgaben Bonuspunkte für die Abschlussklausur zu erhalten. Maximal erreichbar sind 20 Punkte, was etwa 15% der gesamten Klausurleistung entspricht. Während die erste Gruppe (Kontrollgruppe, KG) mit 0 Punkten startete und für jede bearbeitete Aufgabe Bonuspunkte erhielt, startete die zweite Gruppe (Experimentalgruppe, EG) mit der Maximalpunktzahl und bekam entsprechend Punkte abgezogen, wenn Übungsaufgaben

nicht, fehlerhaft oder unvollständig erledigt wurden. Von allen Studierenden wurden Fachsemester, Geschlecht, das Ergebnis eines mathematischen Eingangstests sowie die Anzahl der erzielten Bonus- und Klausurpunkte erfasst. Außerdem wurde erhoben, ob der oder die Betreffende bereits zur zweiten Wiederholungsprüfung antrat (Zweitwiederholer). Ein negatives Abschneiden hätte in diesem Fall ein endgültiges Nichtbestehen und damit die Exmatrikulation zur Folge. Insofern ist plausibel anzunehmen, dass Studierende in dieser Situation motivierter sein sollten, die Prüfung zu bestehen.

2.2 Hypothesen

- H1: Studierende der EG machen in relativ Größerer Zahl von der Möglichkeit Gebrauch, Bonuspunkte zu behalten, als Studierende der KG von der Möglichkeit, Bonuspunkte hinzuzuverdienen.
- H2: Studierende der EG erhalten in der mittleren Tendenz mehr Bonuspunkte als Studierende der KG.
- H3: Studierende EG erzielen in der mittleren Tendenz eine bessere Klausurnote als Studierende der KG.

3. Ergebnisse

Die Zusammensetzung von EG und KG kann als zufällig angenommen werden. Beide Gruppen unterscheiden sich weder hinsichtlich Geschlecht ($\chi^2(1, N = 75) = .475, p = .491$), Anzahl der Zweitwiederholer ($p = .391, Fisher's\ exact\ test$), mathematischem Vorwissen ($U(44,31) = 595.5, p = .351$) noch des mittleren Fachsemesters ($U(44,31) = 561, p = .176$). Bonuspunkte und Klausurpunkte korrelieren hoch in EG ($r_s(31) = .571, p < .001, 95\% CI [.397, .807]$) und KG ($r_s(44) = .636, p < .001, 95\% CI [.238, .789]$), die Stärke des Zusammenhangs unterscheidet sich zwischen den Gruppen mit Blick auf die Konfidenzintervalle allerdings nicht. Tabelle 1 zeigt wesentliche Kennwerte beider Studierendengruppen.

Tabelle 1: Gruppenkennwerte

	N	Bonuspunkte		Klausurpunkte		Fachsemester		Mathetest		ZW	MG
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD		
KG	44	3.82	4.49	45.88	20.52	4.84	2.35	8.25	5.86	5	22
EG	31	6.42	5.79	47.85	23.64	4.13	1.54	7.23	6.08	1	18

Anmerkung: KG = Kontrollgruppe, EG = Experimentalgruppe, ZW = Anzahl der Zweitwiederholer, MG = Anzahl männlicher Gruppenteilnehmer

H1: Zur Überprüfung¹ wurden die Anteile beider Gruppen, die zum Ende des Semesters über mindestens einen Bonuspunkt verfügten, auf Häufigkeitsunterschiede getestet. 56.8% der Stu-

¹ Alle Hypothesen sind gerichtet formuliert, weshalb einseitig getestet wird.

dierenden aus der KG und 67.7% aus der EG erzielten mindestens einen Bonuspunkt. Die Überprüfung ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede ($\chi^2(1, N = 75) = .915, p = .246$). Studierende der EG machten relativ gesehen nicht in größerer Zahl von der Möglichkeit gebrauch, sich durch das Bearbeiten von Übungsaufgaben Bonuspunkte zu sichern.

H2: Bedingt durch eine größere Zahl von Studierenden ohne Bonuspunkte am Semesterende kann nicht von einer Normalverteilung der Bonuspunkte ausgegangen werden. Die Prüfung auf Unterschiede in der mittleren Tendenz erfolgt deshalb nicht-parametrisch. Studierende der EG ($M = 6.42, SD = 5.79$) erzielten dabei im Mittel ca. 68% (0.58 Standardabweichungen) mehr Bonuspunkte als Studierende der KG ($M = 3.82, SD = 4.49$). Der Unterschied ist signifikant ($U(44,31) = 517.5, p = .034$). Der Effekt^{II} ist gemäß der Konvention nach Cohen als klein zu bewerten ($r = .21$).²³ Werden Studierende ohne Bonuspunkte ausgeschlossen, bleibt das Ergebnis stabil ($U(25,21) = 172.5, p = .024$) bei leicht wachsender Effektstärke ($r = .29$). Zusätzlich wurde eine Überprüfung des Effekts der Gruppenzugehörigkeit gemeinsam mit den Variablen *Fachsemester*, *Zweitwiederholer*, *Geschlecht* und *Mathetest* auf die Anzahl der erzielten Bonuspunkte mittels multipler Regression durchgeführt. Das Modell ist signifikant ($F(5,69) = 7.644, p < .000$) und erklärt 30.9% der beobachteten Bonuspunktevarianz (*adj. R²*).

Tabelle 2: Regressionsanalyse auf die Anzahl der erzielten Bonuspunkte

	B	Standardfehler	T	p
(Konstante)	-3.824	1.411	-2.710	.0085
Fachsemester	-.873	-.228	3.831	.0003
Zweitwiederholer	3.395	1.851	1.834	.0710
Gruppe (EG = 1)	3.923	1.069	3.671	.0005
Geschlecht (weiblich = 1)	2.584	1.159	2.230	.0290
Punkte Mathetest (Semesterbeginn)	-.211	0.094	2.251	.0276

Anmerkung: n = 75; Whites heteroskedastie-robuste Standardfehler und Kovarianzen

H3: Erwartungsgemäß zeigt die Verteilung der Klausurpunkte in beiden Gruppen eine bessere Annäherung an eine Normalverteilung. Wegen Varianzungleichheit und unterschiedlicher Gruppengröße wird aber auch in diesem Fall nicht-parametrisch getestet. Auf Gruppenunterschiede untersucht ergibt sich zwischen Studierenden der EG ($M = 47.85, SD = 23.64$) gegenüber Studierenden der KG ($M = 45.88, SD = 20.52$) kein signifikanter Unterschied ($U(44,31) = 655.5, p = .776$).

^{II} Zur Berechnung der Effektstärke siehe Fritz, Morris und Richler.²²

4. Diskussion und Ausblick

Ein Framing von Lernanreizen, sodass diese als Verlust erlebt werden, kann dazu führen, dass von einer Lerngelegenheit intensiver Gebrauch gemacht wird, als es bei konventioneller Anreizgestaltung der Fall wäre. Obwohl die beiden in dieser Untersuchung verglichenen Modi der Vergabe von Bonuspunkten, also das Hinzuverdienen gegenüber dem Verlust bei Nichtbearbeitung, logisch äquivalent sind, führt der Verlust im Mittel offenbar zu einer höheren Bereitschaft, die gestellten Lernaufgaben zu bewältigen. Das bestätigt die Ergebnisse früherer Studien unter variierten Bedingungen.^{18,20} Zu einem insgesamt besseren Abschneiden in der Abschlussklausur reichte diese Form von Lernanreizen zwar nicht, dies könnte jedoch unter Umständen auf die insgesamt recht niedrige Beteiligung am Übungsangebot zurückgeführt werden. Insgesamt erscheint die Anwendung verhaltensökonomischer Prinzipien auf Bildungskontexte vielversprechend und bedarf weiterer Exploration. So liegt bspw. eine Fülle empirischer Belege vor, die zeigen, dass Menschen den Wert zukünftiger Ereignisse mental abzinsen, wobei der Diskontfaktor mit sinkender zeitlicher Distanz zunimmt.²⁴ Das führt nicht nur zu zeitinkonsistentem Verhalten, sondern erschwert auch das Verfolgen langfristiger Ziele. Große zeitliche Distanz erweist sich somit motivational als ungünstig, was der alltagsweltlichen Erkenntnis entspricht, dass man so lang ein Motivationsproblem hat, wie noch kein Zeitproblem vorliegt. Ist man zwei Monate vor einer wichtigen Prüfung noch geneigt, mit Freunden ins Kino zu gehen, statt zu lernen, sieht das zwei Tage vor der Prüfung wahrscheinlich anders aus. Somit könnte sich eine Studienorganisation mit einer sequenziellen Anordnung geblockter Lehrveranstaltungen und kürzeren Planungsperioden gegenüber der traditionellen Parallelführung mehrerer Lehrveranstaltungen über ein Semester hinweg als motivational vorteilhafter erweisen.

Literatur

1. Beck H. Behavioral Economics. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2014
2. Rheinberg F. Motivation. 7., aktualisierte Aufl. Stuttgart: Kohlhammer; 2008
3. Spinath B. Development and modification of motivation and self-regulation in school contexts: Introduction to the special issue. *Learning and Instruction*. 2005; 15:85–86
4. Schiefele U, Schaffner E. Motivation. In: Wild E, Möller J, eds. *Pädagogische Psychologie*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg; 2015:153–175
5. Ryan RM, Deci EL. Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*. 2000; 25:54–67
6. Rheinberg F. Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In: Heckhausen H, Heckhausen J, eds. *Motivation und Handeln*. Springer Berlin Heidelberg; 2010:365–387
7. Murayama K, Pekrun R, Lichtenfeld S, vom Hofe R. Predicting Long-Term Growth in Students' Mathematics Achievement: The Unique Contributions of Motivation and Cognitive Strategies. *Child Dev*. 2013; 84:1475–1490
8. Schiefele U, Schreyer I. Intrinsische Lernmotivation und Lernen. Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie / German Journal of Educational Psychology*. 1994; 8:1–13

9. Cameron J, Banko KM, Pierce WD. Pervasive negative effects of rewards on intrinsic motivation: The myth continues. *Behav Anal.* 2001;24:1–44
10. Deci EL, Koestner R, Ryan RM. A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychol Bull.* 1999;125:627-668-700
11. Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty.* 1992;5:297–323
12. Kahneman D, Knetsch JL, Thaler RH. Anomalies: The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias. *The Journal of Economic Perspectives.* 1991;5:193–206
13. Odean T. Are Investors Reluctant to Realize Their Losses? *The Journal of Finance.* 1998;53:1775–1798
14. Benartzi S, Thaler RH. Myopic Loss Aversion and the Equity Premium Puzzle. *The Quarterly Journal of Economics.* 1995;110:73–92
15. Thaler RH, Sunstein CR. Libertarian Paternalism. *American Economic Review.* 2003;93:175–179
16. Spencer N, Rowson J, Bamfield L. Everyone Starts with an A. Applying Behavioural Insight to Narrow the Socioeconomic Attainment Gap in Education. London: Royal Society for the encouragement of Arts, Manufactures and Commerce; 2014
17. Apostolova-Mihaylova M, Cooper W, Hoyt G, Marshall EC. Heterogeneous gender effects under loss aversion in the economics classroom: A field experiment. *Southern Economic Journal.* 2015;81:980–994
18. Levitt SD, List JA, Neckermann S, Sadoff S. The behavioralist goes to school: leveraging behavioral economics to improve educational performance. *ZEW discussion paper.* 2012
19. Levitt SD, List JA, Neckermann S, Sadoff S. The Behavioralist Goes to School: Leveraging Behavioral Economics to Improve Educational Performance. *American Economic Journal: Economic Policy.* 2016;8:183–219
20. McEvoy DM. Loss Aversion and Student Achievement. *Economics Bulletin.* 2016;36:1762–1770
21. Wüst K, Beck H. Student Effort in Preparing for Exams: Intertemporal Preferences and Loss Aversion. *Decision Sciences Journal of Innovative Education.* 2012;10:245–262
22. Fritz CO, Morris PE, Richler JJ. Effect size estimates: Current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General.* 2012;141:2–18
23. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* 2nd ed. Hillsdale, NJ [u.a.]: Erlbaum; 1988
24. Malhotra D, Loewenstein G, O'Donoghue T. Time Discounting and Time Preference: A Critical Review. *Journal of Economic Literature.* 2002;40:351–401

Projektbasierter Einsatz von wirkungsorientierten Evaluierungsmethoden. Eine Befragung von kleinen und mittleren gemeinnützigen Organisationen im Nahen Osten

Leonhard Gebhardt, Ralf Waubke

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Fachbereich Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Leonhard.Gebhardt@HTW-Berlin.de, Ralf.Waubke@HTW-Berlin.de

Abstract: This paper aims to point out methods of evaluation that have been used with success in development cooperation in the Middle East. A mixed-methods study was conducted using semi-structured interviews and an online survey. The findings demonstrate a slightly dominance of qualitative methods. Overall the results indicate that impact orientated evaluations neither have to be technical nor large scale to be valid as useful in terms of retracing impact.

1 Einleitung

Einen Beitrag zur Entwicklungszusammenarbeit (EZ) leisten Projekte, die von gemeinnützigen und privaten Organisationen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.¹ Der Begriff EZ beschreibt damit neben der Kooperation von Staaten auch die internationale Zusammenarbeit von staatlichen und privaten Akteuren mit dem Ziel, eine nachhaltige Besserung von sozialen und politischen Verhältnissen zu bewirken. Zur Erfolgskontrolle der von öffentlicher Seite finanzierten Projekte werden wirkungsorientierte Evaluierungsmethoden (wEM) eingesetzt. wEM erheben leistungs- und wirkungsbezogene Daten, um davon Bewertungskriterien über den Einsatz von Ressourcen abzuleiten.² Eine eigens durchgeführte qualitative Studie zeigte nun, dass in der Theorie modellierte Methoden kaum Anwendung in der Praxis von privaten Organisationen finden. Daher widmet sich die vorliegende Studie folgenden Fragen: Welche wEM werden tatsächlich genutzt, um die Wirkungen von Projekten zu dokumentieren? Und welche wEM werden dabei als nützlich bewertet?

Das Ziel der Studie ist es, kleinen und mittleren gemeinnützigen Organisationen Orientierung bei der Methodenwahl zu geben. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im ersten Schritt wEM durch eine Literaturanalyse ermittelt. Diese wurden durch halbstrukturierte Interviews (Jordanien, Palästinensische Gebiete) ergänzt. Die in Summe ermittelten wEM wurden in einem Katalog zusammengefasst und in eine quantitative Online-Befragung überführt. Dabei wurden Projekt-Manager und Personal von Evaluations- und Monitoring-Abteilungen von kleinen und mittleren gemeinnützigen Organisationen (Israel, Jordanien, Palästinensische Gebiete, Libanon; Themenfeld der Projekte: *Teilhabe* an sozialen Strukturen) befragt.

Im weiteren Verlauf des Kurzaufsatzes werden zunächst wEM im Kontext von EZ erläutert (Abschnitt 2). Darauf folgen eine Darstellung der Methodologie sowie die Studien-Ergebnisse (Abschnitt 3, 3.1 und 3.2). Abschließend werden diese kritisch reflektiert (Abschnitt 3.3).

2 Wirkungsorientierte Evaluierungs-Methoden für Projekte in der Entwicklungszusammenarbeit

Alle Zuwendungsempfänger sind verpflichtet Erfolgskontrollen durchzuführen³ – somit auch die in der EZ geförderten Organisationen. Diese Kontrollen beziehen sich auf den Zielerreichungsgrad, die Wirkung und die Wirtschaftlichkeit von Projekten. In diesem Rahmen erzielen wEM neben der Legitimation gegenüber Mittelgebern auch:⁴

- einen Erkenntnisgewinn als Grundlage von Management-Entscheidungen (Organisationsabläufe und Zielgruppen-Definitionen) und
- Erkenntnisse für organisationsbezogenes Lernen.

Im Jahr 2015 wurde eine Erhebung unter bestimmten, vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) geförderten, EZ-Organisationen durchgeführt. Den Ergebnissen zufolge nutzen knapp zwei Drittel der befragten Organisationen ausschließlich qualitative Datenerhebungsmethoden für Evaluationen. Nur sieben Prozent beziehen Kontroll- oder Vergleichsgruppen in das Untersuchungsdesign ein.⁵

Zu den klassischen Methoden der Evaluierung (sortiert nach Häufigkeit in Anwendung: Dokumentenanalyse, Einzel- und Gruppeninterviews, Beobachtungen, schriftliche Befragungen und partizipative Methoden) werden in der einschlägigen Fachliteratur ebenso Verfahren genannt, die für eine kleine Projektteilnehmeranzahl gedacht sind. Dazu gehört die General Elimination Methodology (GEM), die Kontributionsanalyse (KA) und das Process Tracing. Sie versuchen Projekte so zu evaluieren, dass ein kausales Verhältnis zwischen durchgeführter Intervention und Wirkung herausgestellt werden kann.⁶

3 Verfahren und Ergebnisse der Untersuchung

Im Folgenden werden Methoden aus der Anwenderperspektive betrachtet. Weil die Grundgesamtheit aller im Themenfeld arbeitenden Organisationen unbekannt ist, wurde nach einem zweistufigen Schneeballverfahren vorgegangen, um Untersuchungsobjekte zu identifizieren. Zunächst wurden Interviews mit kleinen und mittleren gemeinnützigen Organisationen geführt. Im zweiten Schritt wurden diese Organisationen hinsichtlich ihrer Netzwerkstrukturen untersucht. In Summe konnten so 57 Organisationen als Untersuchungsobjekte identifiziert werden. Von diesen stimmten 16 Organisationen einer Untersuchung zu.

3.1 Zum Einsatz qualitativer und quantitativer Methoden in der Evaluierungspraxis

Die untersuchten Organisationen setzen zum Großteil sowohl qualitative als auch quantitative Methoden ein. Dabei halten ein Drittel der befragten Organisationen es für unmöglich, die eigens erzielten Wirkungen zu messen. Einigkeit besteht indessen darin, dass wEM allgemein die Wirksamkeit sicherstellen.

Darüber hinaus belegt die Umfrage den dominierenden Einsatz von qualitativen Methoden. So würden Organisationen, welche quantitativ und qualitativ evaluieren, eher auf quantitative als auf qualitative Methoden verzichten, um den Erfolg ihrer Projekte herauszustellen.

3.2 Angeleitete Selbstbeobachtung von Teilnehmenden

Diese Einschätzung spiegelt sich umso deutlicher im praktischen Einsatz von Methoden wider. Tatsächlich wurden *Workshops mit Projekt-Teilnehmer_innen* und *One-on-one Meetings* als die nützlichsten Methoden bewertet.

Diese qualitativen Methoden können als angeleitete Selbstbeobachtung verstanden werden, da sie Projekt-Teilnehmenden die Möglichkeit zur Darstellung von beobachteten Wirkungen bieten. Die vollständige Darstellung des (qualitativen) Methodenkatalogs, sortiert nach dem Nutzen aus Anwenderperspektive, zeigt Tabelle 1:

<i>Einschätzung Methoden-Nutzen</i>	Sehr nützlich	Nützlich	Weder noch	Nicht nützlich
• Workshops mit Teilnehmer_innen	80 %	20 %	-	-
• One-on-one Meeting	56 %	38 %	-	6 %
• Teilnehmenden-Beobachtung	57 %	43 %	-	-
• Pressespiegel	55 %	18 %	18 %	9 %
• Experten-Interviews	40 %	53 %	7 %	-
• Process Tracing	36 %	55 %	9 %	-

Tabelle 1: Zum Nutzen wirkungsorientierter Evaluierungs-Methoden aus Anwendersicht

Weitere im Fragebogen gelistete Methoden werden mangels Erwähnung nicht aufgeführt.

3.3 Kritik

Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich ein gewisser Pragmatismus der Befragten in den Ergebnissen der Studie niederschlägt. Als nützlich wurden vor allem wEM angegeben, die nicht zwangsläufig ressourcenaufwendig sind. Problematisch ist auch das Phänomen der *sozialen Erwünschtheit*: Teilnehmer_innen von Projekten gestalten ihre Antworten üblicherweise so, dass sie nicht als negativ wahrgenommen werden.⁷ Besonders in einer Gruppensituation kommt dieser Effekt zur Geltung. Unterstellter Pragmatismus und soziale Erwünschtheit bestärken Zweifel an den präferierten Methoden.

Projektelevaluationen zeigen dabei tendenziell sehr positive Ergebnisse auf der Mikroebene an. Es ist allerdings schwierig die umgesetzten Maßnahmen in Verbindung zu Wirkungen auf Makroebene zu setzen (*Evaluation-Gap*).⁸

4 Fazit

Aus Praxisperspektive eignen sich zur Evaluation von (Teilhabe-)Projekten verschiedene Methoden der angeleiteten Selbstbeobachtung. Als besonders nützlich werden reflektierende Workshops mit Teilnehmenden ausgewiesen. Sowohl in den Workshops als auch Teilnehmerbefragungen, selbst in Experteninterviews, ist das Ergebnis durch die Einschätzungen von Dritten geprägt. Komplexere Methoden (GEM, Process Tracing, KA) werden kaum genutzt. An der Spitze stehen wenig standardisierte Methoden der Evaluierung.

Die vorliegende Arbeit bestätigt somit eine Untersuchung, welche 2009 die Dominanz von qualitativen Erhebungsmethoden beim Erfassen von Wirkungen im Rahmen von EZ herausstellte.⁹ Die hier im Speziellen ermittelten Ergebnisse stimmen also auch mit früheren Untersuchungen überein.

Die Arbeit legt unterdessen verschiedene Verfahren nahe, wie Projekte wirkungsorientiert evaluiert werden können: In Abhängigkeit von den Teilnehmern, Experten oder medialer Berichterstattung. Als Perspektive bietet sich an, das Format *Workshop* als wEM genauer zu untersuchen. Ferner empfiehlt sich Evaluierungs-Methoden nach Organisationstypen zu untersuchen. Diese Spezifizierung wäre sinnvoll, um zweckorientiert (Fundraising und/oder Legitimation) über den Einsatz der Methoden diskutieren zu können.

¹ Vgl. Bohnet, Michael (2015). *Geschichte der deutschen Entwicklungspolitik*. Konstanz, S. 22.

² Vgl. Stockmann, Reinhard (2006). *Evaluation und Qualitätsentwicklung. Eine Grundlage für wirkungsorientiertes Qualitätsmanagement*. Münster, S. 17.

³ VV- BHO, §44 (11a. 2), Satz 1.

⁴ Vgl. Stockmann, Reinhard (2013). „Zur Methodik von Evaluation in der Kultur und Kulturpolitik“. In: *Evaluation in Kultur und Kulturpolitik. Eine Bestandsaufnahme*. Hrsg. von Vera Hennefeld und Reinhard Stockmann. Münster, S. 56 und 63f.

⁵ Vgl. Vgl. DEval (2015). *Evaluierungspraxis in der deutschen Entwicklungszusammenarbeit. Umsetzungsmonitoring der letzten Systemprüfung und Charakterisierung wesentlicher Elemente*. Bonn, S. 9.

⁶ Siehe dazu: White, Howard und Daniel Philips (2014). „Addressing Attribution of Cause and Effect in Small n Impact Evaluations: Towards an Integrated Framework“. In: *International Initiative for Impact Evaluation. Working Paper* 15.

⁷ Vgl. Manstead, Antony und Livingstone, Andrew (2014). *Forschungsmethoden in der Sozialpsychologie*. In: *Sozialpsychologie*. Hrsg. von Jonas, Klaus; Stroebe, Wolfgang und Hewstone, Miles. Berlin und Heidelberg, S. 51.

⁸ Vgl. Caspari, Alexandra und Ragnhild Barbu (2008). *Wirkungsevaluierungen: Zum Stand der internationalen Diskussion und dessen Relevanz für Evaluierungen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit*. Bonn, S. 10.

⁹ Vgl. Borrmann, Axel und Reinhard Stockmann (2009). *Evaluation in der deutschen Entwicklungszusammenarbeit*. Münster, S. 28.

Influencer marketing to counter advertising skepticism

Tatyana Smirnova, Sebastian Ullrich

Hochschule Schmalkalden für angewandte Wissenschaften

s.ullrich@hs-sm.de

Abstract: Social media enables opinion leaders to talk about products online, e.g. with vlogs. Vlogs as a part of influencer marketing are compared to established concepts like opinion leadership, celebrity endorsement and product placement. A study (n=113) shows that influencer marketing provides higher value than similar TV ads and is a viable option to overcome increasing advertising skepticism.

1. Introduction

Today, consumers are skeptical toward advertising.¹ Online ad blockers are used frequently, especially by young adults.² Therefore it gets more difficult to deliver brand information to target groups. At the same time consumers are eager to visit user generated content platforms like YouTube. Here, everyone can upload vlogs which are similar to blogs, but in a video format. Due to the easy access and entertainment value some vloggers become very successful YouTube stars with millions of followers.³ Beauty and personal care goods industry supports many vloggers as they feel that this kind of influencer marketing may be a relevant channel to communicate with consumers. However, research in the area of influencer marketing is scarce. The purpose of our study is to get a first impression of the impact of influencer marketing vlogs compared to TV ads in the beauty industry and a starting point for further research.

2. Development of hypotheses

Brand attitude formation is influenced by emotional and informational communication.^{4,5} Brand knowledge can be learned from different sources. Influencer marketing describes brands communicating especially to individuals who have a high influence on other consumers of the target market through social media. There is large evidence that consumers often rely on opinion leaders whom they know personally and perceive to be non-purposive and trustworthy.⁶ In this process, consumers actively listen and process cognitive information.⁷ While impact of individual opinion leaders was limited, today a far higher audience provided by social media can be reached.

This high reach could previously achieved only by mass media advertising. Here, celebrity endorsers as spokespersons are a fairly common practice in advertising to reach attention and brand recognition. While brands can profit from positive image transfer of the celebrity's attractiveness, likeability, and trustworthiness, brands also face challenges when celebrities

misbehave, or consumers do not trust the celebrity or think that the celebrity does not fit to the brand. Additionally, celebrity endorsements have been overused for decades. Overexposure leads consumers to doubt believability of the message which further leads to a loss of ad effectiveness (literature review⁸). Influencer marketing may be a valid alternative, because consumers may identify themselves easier with everyday people as vloggers and trust them more.

Further, influencer marketing success can be explained by findings about product placement, since vlogs often feature products casually. This non-traditional advertising is beneficial because consumers mostly do not regard it as advertising and process information with less skepticism.⁹ This leads to the hypotheses:

H1: Consumers rate (a) the entertainment value, (b) the informational value, (c) the credibility and (d) the purchase intention of influencer marketing higher than that of TV ads.

We further posit that influencer marketing is less impaired by advertising skepticism¹⁰ because consumers are actively searching for vlogs and trust regular consumers more than conventional ads.

H2: Increasing ad skepticism impairs influencer marketing less than TV ads.

Dissatisfaction appears when consumers feel that the product does not meet their expectations.¹¹ Because saturated markets' products offer usually sufficient quality, expectations are often not met if the product does not fit to the consumer. In the case of TV ads, the brand itself communicates its benefits. Thus the consumer can feel misled by the brand. In the case of influencer marketing, a third party talks about the brand and the consumer may blame the brand less for the mistake, but rather themselves or the vloggers.

H3: When dissatisfied with the product, consumers will blame the brand less in the case of influencer marketing than in the case of TV ads.

3. Methodology

To test the hypotheses, a between subject design (YouTube vlog/TV ad) experiment was conducted. After a short introduction the 113 participants who had completed the online survey (international convenience sample, Ø age: 30, 60% female) were confronted with the treatment variable. They were asked to imagine they had recently moved to a new country and needed to buy some beauty and personal care goods and that they had either seen a TV ad or a YouTube vlog (similar description, randomly assigned). Then dependent variables and moderators were presented as 7-level Likert scales (mainly based on previous measures^{12,13,14}) before asking for demographics. All but one Cronbach's α were higher than 0.8 supporting internal consistency of the measures.

4. Findings

Since the large size of both of the groups and the robustness of t-tests and analyses of variance (ANCOVA) we could neglect Shapiro-Wilk- and Smirnov-Kolmogorov tests showing statistically significant deviations from normally distributed data. However, we replicated our findings with Mann-Whitney U-tests (not presented here).

Dependent variables	TV ad	Influencer marketing vlog
Entertainment	m=-.41 (SD=1.73)	1.06 (1.69)
Informativeness	-.50 (1.81)	.76 (1.68)
Credibility	-1.17 (1,58)	-.19 (1.69)
Purchase Intention	-.76 (-.68)	.36 (1.74)

Table 1. Descriptives (-3 strongly disagree, + 3 strongly agree).

Descriptives show that all of the dependent variables were rated better in case of influencer marketing (table 1; t-tests: $p < .005$). Therefore, H1a-d were supported. ANCOVAs showed significant interaction effects of the moderators ad skepticism in general, involvement and opinion seeking (table 2). This supported H2.

Dependent variables	Moderators		
	Ad skepticism	Involvement	Opinion seeking
Entertainment	$F_{1,108}=15.827, p < .001$	$F_{1,108}=9.808, p < .005$	$F_{1,108}=5.079, p < .05$
Informativeness	$F_{1,108}=24.210, p < .001$	$F_{1,108}=26.760, p < .001$	$F_{1,108}=15.271, p < .001$
Credibility	$F_{1,108}=27.038, p < .001$	$F_{1,108}=7.313, p < .01$	$F_{1,108}=5.433, p < .05$
Purchase Intention	$F_{1,108}=37.769, p < .001$	$F_{1,108}=10.860, p < .005$	$F_{1,108}=5.129, p < .05$

Table 2. ANCOVAs.

In the experiment consumers largely blamed themselves for purchasing a not fitting product. Descriptives showed the expected directions in favor of influencer marketing (table 3). However, results were not statistically significant. Therefore, H3 was not supported.

Blame for mistake	TV ad	Influencer marketing vlog
Consumer	m=.93 (SD=1.72)	1.11 (1.51)
TV ad or vlog	-.05 (1.82)	-.28 (1.65)
Brand	.66 (1,75)	.57 (1.69)

Table 3. Further descriptives (-3 strongly disagree, + 3 strongly agree).

5. Limitations and Implications

While results show large differences in favor of vlogs in this quantitative experiment, we need qualitative research in the further process to gain more insights. The differences in who consumers blame for purchasing the wrong product provides encouragement to advance on

the topic, but the experimental design needs to be improved. Further, experiments could be constructed more realistically with actual TV ads and influencer marketing vlogs which should be tested with manipulation checks. Also, experiments should be replicated for different product categories and for different markets.

Managers should use influencer marketing with selected vloggers to inform interested target groups about the advantages and uses of their product. Additionally, monitoring vloggers can provide valuable information of consumers impression of the product category.

¹ Obermiller, C.; Spangenberg, E.; MacLachlan, D.L. (2005): Ad Skepticism: The Consequences of Disbelief, *Journal of Advertising* 34/3, 7-17.

² comScore (2016). comScore Q1 2016 Advertising Benchmarks. <https://www.comscore.com/ger/Insights/Data-Mine/comScore-Q1-2016-Advertising-Benchmarks>.

³ Rondinella, G. (2015). YouTube-Star Bibi: Mit Product Placement habe ich keine Probleme. <http://www.horizont.net/marketing/nachrichten/Youtube-Star-Bibi-Mit-Product-Placement-habe-ich-keine-Probleme-137814>.

⁴ Keller, K.L. (1993): Conceptualizing, Measuring, and Managing Customer-Based Brand Equity, *Journal of Marketing* 57/1, 1-22.

⁵ Yoo, C.; MacInnis, D. (2005): The brand attitude formation process of emotional and informational ads, *Journal of Business Research*, 58(10), 1397-1406.

⁶ Katz, E. (1957): The Two-Step Flow of Communication: An Up-To-Date Report on an Hypothesis, *Public Opinion Quarterly* 21/1, 61-78.

⁷ Petty R.E.; Cacioppo, J.T. (1984): Source Factors and the Elaboration Likelihood Model of Persuasion, *Advances in Consumer Research* 11, 668-672.

⁸ Erdogan, B.Z. (1999): Celebrity Endorsement: A Literature Review, *Journal of Marketing Management* 15/4, 291-314.

⁹ De Gregorio, F.; Sung, Y. (2010): Understanding attitudes toward and behaviors in response to product placement, *Journal of Advertising* 39/1, 83-96.

¹⁰ Obermiller; Spangenberg; MacLachlan 2015

¹¹ Oliver, R.L. (1980): A Cognitive Model of the Antecedents and Consequences of Satisfaction Decisions, *Journal of Marketing Research* 17/4, 460-469.

¹² Tsang, M.M.; Ho, S.-C.; Liang, T.-C. (2004): Consumer Attitudes Toward Mobile Advertising: An Empirical Study, *International Journal of Electronic Commerce* 8/3, 65-78.

¹³ Obermiller, C.; Spangenberg, E.R. (1998): Development of a Scale to Measure Consumer Skepticism Toward Advertising, *Journal of Consumer Psychology*, 7/2, 159-186.

¹⁴ Schlosser, A.E., White, T.B., & Lloyd, S.M. (2005). Converting Web Site Visitors into Buyers: How Web Site Investment Increases Consumer Trusting Beliefs and Online Purchase Intentions, *Journal of Marketing* 70/2, 133-148.

Die regionalökonomischen Auswirkungen von Tagungen und Kongressen in Deutschland

Entwicklung eines allgemein anwendbaren Modells

Ralf Kunze

Dissertation an der Leuphana Universität Lüneburg, Fakultät Wirtschaftswissenschaften
gefördert durch ein Stipendium des Landes Sachsen-Anhalt
(Stipendium vergeben durch die Hochschule Harz in Wernigerode)

ralf.kunze@stud.leuphana.de

Abstract: Die Dissertation entwickelt eine Berechnung, mit der die regionalökonomischen Auswirkungen des Tagungsmarktes ermittelt werden können: Mit Hilfe einer Input-Output-Analyse werden wirtschaftliche Effekte in Form von Produktion, Wertschöpfung, Einkommen und Beschäftigung ermittelt, die in verschiedenen Stufen (direkt, indirekt, induziert) durch Tagungen und Kongresse in einer Region ausgelöst werden.

1. Beschreibung und Ziele

Die Dissertation hat zum Ziel, eine nachvollziehbare, transparente Methode zur Ermittlung der regionalökonomischen Auswirkungen des Tagungsmarktes zu entwickeln. Diese Methode soll zu den Marktgegebenheiten passen und allgemein auf verschiedene Regionen und Destinationen in Deutschland anwendbar sein.

Aus diesem Ziel ergeben sich verschiedene Herausforderungen:

- Wirtschaftliche Auswirkungen sichtbar machen
- Allgemeine Anwendbarkeit auf jede Art und Größe von Regionen
- Bezogen auf Region bzw. Destination, hier ist die volkswirtschaftliche Datengrundlage oft kritisch
- Bezug Tagungsmarkt, nicht Tourismus
- Entwicklung eines Basismodells als Grundlage für Weiterentwicklungen
- Geringe Primärerhebung, hauptsächlich Verwendung von verfügbaren Sekundärdaten
- Modell soll auf Basis der vorliegenden Daten die maximal mögliche Aussagekraft liefern

- Praktische Nutzbarkeit.

Bei der theoretischen Auseinandersetzung und der anfänglichen Entwicklung der Methodik erscheint eine Teilung in drei Teilen sinnvoll:

- Ermittlung der Ausgaben der Akteure
- Vorbereitung der Daten für die Berechnung
- Berechnung über eine Input-Output-Analyse

Diese drei Schritte sollen in den folgenden Abschnitten ausführlich erläutert werden.

2. Ausgabenermittlung

Im ersten Teil des Modells werden die Ausgaben auf dem Tagungsmarkt ermittelt und aufsummiert. Für diese Erfassung entwickelt der Autor ein Vorgehen nach Modulen, dabei enthält ein Modul jeweils die Erfassung der Ausgaben eines Akteurs. Die entwickelten Module sind:

- Teilnehmer
- Veranstalter
- Aussteller
- Convention Bureau
- Investitionen

Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine genaue Anpassung der Berechnung an die Vorstellungen und Möglichkeiten der Region. Für jedes Modul wird für alle in das Modell einfließenden Daten eine „optimale Ermittlung“ festgelegt (was meistens einer Primärerhebung entspricht), es wird aber auch wenn möglich ein Fallback präsentiert, dass wenn diese Daten nicht in der Form erbracht werden können, eine Berechnung mit Durchschnittsdaten weiterhin möglich ist. Wichtig ist bei der Erfassung der Ausgaben, dass es sich um Endnachfrage handelt, die "neues Geld" in die Region bringt.

Zusätzlich zu den Ausgabenbeninformationen sind auch Angebotsinformationen zum Tagungsmarkt in der Region (Auflistung von Veranstaltungsstätten und deren Kapazitäten) notwendig sowie die korrespondierenden Nachfrage-Informationen (z.B. Veranstaltungen und Teilnehmer, differenziert) notwendig. Mit diesen beiden Informationen kann die Anzahl der unterschiedlichen Akteure bei Tagungen und Kongressen in der Region ermittelt werden.

Diese Informationen bezüglich der Akteure werden mit den Ausgaben des jeweiligen Moduls multipliziert. In einer weiteren Berechnungsstufe wird überprüft, ob es bei den Ausgaben der

Akteure eine Doppelerfassung gibt, dies kann u.a. bei Tagungsgebühren der Fall sein, die sowohl im Modul Teilnehmer als auch bei den Veranstaltern auftauchen. Ausgabe der Datensammlung ist der Gesamtumsatz der Endverbraucher, differenziert nach Wirtschaftszweigen.

3. Vorbereitung der Analyse

Die Berechnung der wirtschaftlichen Effekte erfolgt mit der Input-Output-Analyse (IOA), die als beste Wahl aus einem Methoden-Vergleich hervorging. Es wurden neben der IOA noch Kosten-Nutzen-Analyse, Export-Basis-Theorie, Keynes'scher und Ad-hoc Multiplikator, Tourismus-Satellitenkonto (TSA), Social Accounting Matrix (SAM) und Computable General Equilibrium (CGE) geprüft und in Bezug auf Ziele, Stärken/Schwächen sowie auf Basis anderer Methodenvergleiche verglichen; die IOA stellte sich in der vorliegenden Anwendung als beste Alternative heraus.

Um eine Input-Output-Analyse in der Region durchführen zu können, wird eine regionale Input-Output-Tabelle benötigt. Input-Output-Tabellen stehen jedoch in Deutschland nur auf nationaler Ebene zur Verfügung, von der sich die Regionen jedoch erheblich in Hinsicht auf Wirtschaftsstrukturen und -produktivitäten unterscheiden können. Demzufolge muss eine regionale Input-Output-Tabelle erstellt werden.

Zur Erstellung regionaler Input-Output-Tabellen sind verschiedene Verfahren möglich¹: bottom up, top down und hybrid approaches. Bei einer Prüfung der verschiedenen Verfahren durch den Autor wurde der Nonsurvey-Ansatz (bzw. top-down approach) als die einzig machbare Option identifiziert. Bei diesem Ansatz werden nationale Tabellen aufgrund bestimmter Merkmale (Beschäftigtenzahlen, regionale Branchenverteilung) auf die Region angepasst.

Auch innerhalb des Nonsurvey-Ansatzes gibt es wieder eine Vielzahl von Verfahren zur Regionalisierung der Tabellen. Derzeit werden die beiden favorisierten Methoden Flegg Location Quotient (FLQ)² und Cross-Hauling Adjusted Regionalisation Method (CHARM)³ verglichen und auf die optimale Anwendung in der vorliegenden Arbeit geprüft.

Neben den Vorbereitungen der regionalen Input-Output-Tabelle müssen auch die oben ermittelten Ausgaben modifiziert werden, damit sie in das Modell einfließen können. Diese Modifikation erfolgt durch eine Anpassung der Preise: während der Gesamtumsatz in Form von Anschaffungspreisen vorliegt, basiert die Input-Output-Tabelle auf Erzeugerpreisen. Deshalb müssen die Umsätze durch Abzug der Netto-Gütersteuern und der Handelsmargen in Erzeugerpreise umgewandelt werden. Ergebnis der Umwandlung ist der Nachfragevektor zu Erzeugerpreisen.

4. Input-Output-Analyse

Auf Basis der Umsätze werden branchenbezogen die wirtschaftlichen Effekte in den verschiedenen Stufen ermittelt: direkt, indirekt und induziert. Diese Effekte werden am häufigsten durch die Indikatoren Produktion, Wertschöpfung, Einkommen und Beschäftigung ausgedrückt sowie deren Anteil an den Gesamtwerten (z.B. an der Bruttowertschöpfung der Region).

Die *direkten Effekte* beziehen sich dabei auf Unternehmen, die unmittelbar vom Tagungsmarkt profitieren, d.h. ihre Einnahmen von den Endverbrauchern beziehen. Die Effekte werden durch die Multiplikation des Nachfragevektors mit den jeweiligen spezifischen Koeffizienten aus der Matrix der technischen Koeffizienten berechnet. Diese Matrix wird von der Input-Output-Tabelle abgeleitet und liefert regionalspezifische branchenbezogene Koeffizienten für Produktion, Wertschöpfung, Einkommen und Beschäftigung.

Die *indirekten Effekte* beziehen sich auf die weiteren Stufen, die dadurch ausgelöst werden, dass die Tagungsmarkt-Unternehmen ihre Einnahmen wieder ausgeben. So wird ein Tagungshotel z.B. zur Erstellung von Speisen Fleisch von einem Großmarkt beziehen. Diese Effekte berechnen sich über eine Multiplikation des Nachfragevektors mit dem spezifischen Koeffizienten und der Leontief-Inverse. Diese Leontief-Inverse stellt den Kern der Input-Output-Analyse dar und wird ermittelt durch Abzug der A-Matrix (Matrix der technischen Koeffizienten) von der I-Matrix (Einheitsmatrix) und einer darauf folgenden Invertierung. Über diese Leontief-Inverse können alle Runden, die das Geld durch den Markt nimmt, zusammengefasst und berechnet werden.

Die dritte Stufe stellen die *induzierten Effekte* dar. Sie entstehen durch Einkommen, das durch den Tagungsmarkt generiert wird: so wird eine Angestellte des Tagungshotels ihr Geld wieder ausgeben für Miete, Lebensmittel, Kleidung. Für die Berechnung dieser Effekte muss das der Input-Output-Analyse zugrunde liegende Modell geändert werden: wurden die bisherigen Effekte über ein statisch offenes Modell berechnet, so wird dieses Modell jetzt durch eine Endogenisierung des Haushaltssektors in ein statisch teilweise geschlossenes Modell geändert. Da in dieser Berechnung jedoch nicht die Nachfrage, sondern der aus dem Einkommen entstandene Konsum die Basis bildet, muss dieser noch nach der folgenden Formel ermittelt werden:

	Einkommen
-	<u>Steuern und Sozialabgaben</u>
=	Nettolöhne/-gehälter
-	<u>Sparanteil</u>
=	Konsumquote

Die weitere Berechnung erfolgt wie die Berechnung der indirekten Effekte, nur dass anstatt des Nachfragevektors der ermittelte Konsumvektor einfließt.

Alle Effekte der unterschiedlichen Stufen zusammen ergeben die wirtschaftlichen Auswirkungen des Tagungsmarktes in der Region. Ein weiterer Indikator, den vor allem Praktiker bevorzugen und der auf Basis der schon errechneten Werten ermittelbar ist, sind die steuerlichen Auswirkungen. Diese Berechnungen sind nicht Teil der Input-Output-Analyse, wurden jedoch aufgrund der Nachfrage in der Praxis in die Methodik integriert.

Bei den *steuerlichen Effekten* sind Wirkungen in verschiedenen Steuerarten zu unterscheiden. Die für Regionen relevanten Steuerarten sind Einkommen- inkl. Lohnsteuer, Körperschaftsteuer, Gewerbesteuer und Umsatzsteuer weil nur diese bzw. Teile von ihnen den Regionen zufließen. Die steuerlichen Zuflüsse werden größtenteils über eine Multiplikation der gesamten Einkommen mit einer vorher zu ermittelnden steuerspezifischen Quote berechnet. Die Erläuterung der jeweiligen Quoten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, deshalb sollen diese Ausführungen an dieser Stelle genügen.

Die Entwicklung der Methodik endet mit Darstellungsvorschlägen für die Vielzahl der gewonnenen Ergebnisse, in denen diese schnell erfassbar und übersichtlich der Region übergeben werden können. Der theoretischen Entwicklung der Berechnung folgt eine praktische Anwendung auf die Stadt Köln, dies ist jedoch nicht mehr Teil der Dissertation.

¹ Vgl. z.B. Hewings, Geoffrey/Rodney Jensen (1987). »Chapter 8 Regional, interregional and multiregional input-output analysis«. In: *Regional Economics*. Hrsg. von Peter Nijkamp. Elsevier, S. 295–355

² Flegg, Anthony/C D Webber/M V Elliott (1995). »On the appropriate use of location quotients in generating regional input-output tables«. In: *Regional Studies* 29.6, S. 547–561

³ Kronenberg, Tobias (2009). »Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods The Role of Cross-Hauling«. In: *International Regional Science Review* 32.1, S. 40–64

KONTAKT

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Referat Forschung
Postfach 1457
D-09644 Mittweida

Tel.: +49 (0) 3727 / 58-1264
Fax: +49 (0) 3727 / 58-21264

www.forschung.hs-mittweida.de



SCIENTIFIC REPORTS | WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE

The main aspect of the Scientific Reports is to promote the discussion of modern developments in research and production and to stimulate the interdisciplinary cooperation by information about conferences, workshops, promotion of partnerships and statistical information on annual work of the Hochschule Mittweida (FH) University of Applied Sciences. This issue will be published sporadically. Contributors are requested to present results of current research, transfer activities in the field of technology and applied modern techniques to support the discussion among engineers, mathematicians, experts in material science and technology, business and economy and social work.