

22. Nachwuchswissenschaftler*innenkonferenz (NWK)

11. – 13. Mai 2022, Brandenburg an der Havel

Herausgeber:

Andreas Wilms

Sören Hirsch



Open Conference Proceedings

Open Conference Proceedings (OCP) is an open series dedicated to publish proceedings from various conferences, workshops, symposia, and other academic events.

ISSN (online): 2749-5841



Open Conference Proceedings (OCP) is published by by TIB Open Publishing (Technische Informationsbibliothek, Welfengarten 1 B, 30167 Hannover).



All contributions are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Volume 2

22. Nachwuchswissenschaftler*innenkonferenz (NWK)

11. – 13. Mai 2022, Brandenburg an der Havel

Petschauer et al.	Emotionsregulation bei Patient:innen mit einer depressiven Episode	1
Herold	Digitalisierung des Gesundheitssektors: Analyse der digitalen Kompetenzen von Ärzten	9
Welzel et al.	Concept for a Portable Measuring Device for the Quantitative Detection of Legionella	15
Endres	Soziale Medien in der Ernährungskommunikation – Relevanz und Potenziale	19
Sievert et al.	Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien von Geschwistern von Kindern / Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen	25
Matys et al.	Belastungen und Ressourcen von Pflegekräften in stationären Einrichtungen	29
Reichardt et al.	Ergebnisqualität in der ambulanten Verhaltenstherapie: Der Einsatz von Verlaufsdagnostik zur Operationalisierung von Behandlungsergebnissen	33
Yang und Börner	Aufbau eines TIRF-Mikroskops mit angeschlossener Mikrofluidik für die Detektion von fluoreszenzmarkierter Einzelmoleküle	39
Vierig und Börner	Protein-Expressions-Pipeline für die Forschung an Faltungshelferproteinen für ribosomale RNA	45
Dittmar et al.	Coronabedingter digitaler Studienstress im Sommersemester 2021	53
Wannack	Blockchain Basierter Wasserstoffmarkt (BBH2) – Eine paradigmenswechselnde, innovative Lösung für einen klimafreundlichen und nachhaltigen Strukturwandel	59
Kemper	Bio-Formwork: Large Scale 3D Deposition of Thermoplastic Starch in Architecture	65
Engelhardt et al.	Nachhaltigkeit von Paketstationen – Chancen für den Klimaschutz	71
Möcker und Baldin	Suffizienz als wirkungsvolle Strategie für mehr Nachhaltigkeit und weniger Leerstand im Gebäudebestand des ländlichen Raumes	79
Uschmann und Patz	Aufbau und Evaluierung eines FEM-Modells zur Simulation mikrostrukturierter Fräswerkzeuge für die Bearbeitung stark adhäsiver Aluminiumlegierungen	87
Klinner et al.	Markteintrittsstrategien zum Erreichen der kritischen Nutzergruppe einer digitalen Plattform für Third Mission und Transfer an Hochschulen	93

Janky et al.	Hochschulen als Anbietende von Dienstleistungen: Ein einfacheres Verständnis von Third Mission zur Förderung nachhaltiger Entwicklung	99
Poser	Einsatzmöglichkeiten von Token auf einer E-Learning Plattform	105
Baldin und Schaaf	Urbane Produktion für Sachsen – Rahmenbedingungen und Potentiale für eine Renaissance in Klein- und Mittelstädten	111
Hille	Einfluss des UNESCO-Weltkulturerbe-Labels auf die touristische Entwicklung deutscher Kulturstädte	117
Fock et al.	Standardisierte Vorgehensweise zur Parametrisierung von sandigen Böden für das hypoplastische Stoffgesetz – ein Beitrag zur Wiedernutzbarmachung der Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlerevier	123
Kaeppler et al.	Analysis of the Compression Behavior of Different Cardboard Materials During Embossing	129
Gerlach et al.	Steigerung der Produktsicherheit durch den Einsatz von Deep Learning in der manuellen Montage	137
Lorenz	Einsatz von Funktechnologien im Industrieumfeld mit Blockchain	143
May	Security and Configurable Storage Systems in Industry 4.0 Environments: A Systematic Literature Study	151
Döhler et al.	Mikrogalvanische Kennzeichnung als Kopierschutz	157
Schuster	Entwicklung und Evaluation eines anonymitätsfokussierten Feedbacktools auf Ring-Signatur-Basis	163
Neumann	Existenznachweise für Daten in unternehmensübergreifenden Blockchain-Netzwerken	167
Raddatz	Bedrohungsmodellierung im Machine Learning	173
Pianowski et al.	Schwingungsbasierte Schadensdetektion an Eisenbahnradsreifen	181
Hauschultz et al.	Low-cost Pipettierroboter auf Basis einer Portalfräse	187
Strauch et al.	Miniaturisierung einer Smartwatch für Hautfeuchtesensorik	193
Heinrich et al.	A Test System for Safely Measurements of Cancer-Inducing UV-C Diodes Produced in a Simple and Cost-Effective Way by Rapid Prototyping.	197
Pannicke et al.	Beurteilung des Einflusses von Agrarumweltmaßnahmen auf Honigbienen basierend auf genetischer Pollenanalyse mit Nanoporesequenzierung	201
Millauer et al.	Validation of an Innovative Passive Collector for Pollutant Analysis in Groundwater	205
Reinboth	Die Dorf- und Hofladenszene in Sachsen-Anhalt: Versuch einer Kartierung	209

Majeed und Kouyem	Verifying the Elliptic Curve Verifiable Random Function Secp256r1 on Blockchain	213
Friedo et al.	Steuerungstechnik für das Auftragen von fluiden Haftvermittlern	217
Pietschmann et al.	Integration von Künstlicher Intelligenz in das Arbeitssystem-Modell nach REFA	221
Pohl et al.	Bedarfsgerechte Serviceplanung durch Einsatz von Künstlicher Intelligenz	227

<https://doi.org/10.52825/ocp.v2i>

Titelfoto | Title image

Technische Hochschule Brandenburg

Herausgeber | Editors

Prof. Dr. rer. oec. Andreas Wilms, Technische Hochschule Brandenburg

Prof. Dr.-Ing. Sören Hirsch, Technischen Hochschule Brandenburg

Begutachtung | Review process

Die Beiträge wurden auf Basis ihres Abstracts für die Konferenz angenommen. Die Langform der Texte wurde weder korrigiert noch lektoriert. | The papers were accepted for the conference on the basis of their abstract. The long form of the texts was neither corrected nor proofread.

Finanzierung | Financing

Diese Veröffentlichung wurde aus Mitteln des Publikationsfonds für Open Access Monografien des Landes Brandenburg gefördert. | This publication was supported by funds from the Publication Fund for Open Access Monographs of the Federal State of Brandenburg, Germany.

Emotionsregulation bei Patient:innen mit einer depressiven Episode

Sarah Petschauer^{1*}; Gabriele Helga-Franke¹; Martin Häring²; Marion Blaser² und Melanie Jagla-Franke^{1,3}

¹ Hochschule Magdeburg-Stendal, FB Angewandte Humanwissenschaften, Rehabilitationspsychologie

² AWO-Fachkrankenhaus Jerichow

³ Hochschule Neubrandenburg, FB Gesundheit, Pflege Management

Korrespondenz: *sarah.petschau@web.de

Kurzfassung. Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu prüfen, ob sich die Emotionsregulation von Patient:innen und „Gesunden“ unterscheidet. Eingesetzt wurden das BDI-II, der FEEL-E, die SCL-90®-S und der EFK zur Prüfung auf Gruppenunterschiede, Einfluss von Geschlecht, Alter und Depressivität sowie die Vorhersage von Depressivität. Patient:innen (N=85) zeigten erwartungsgemäß, unabhängig von Alter und Geschlecht, höhere Depressivitätswerte und eine höhere psychische Belastung als die Vergleichsgruppe (N=67), wobei sie sich eher maladaptiver Emotionsregulationsstrategien bedienten. Hohe Depressivität ging mit maladaptiver Emotionsregulation einher und kann durch bestimmte Strategien vorhergesagt werden. Somit weisen depressiv Erkrankte anders als „Gesunde“ eine dysfunktionale Emotionsregulation auf.

1. Einleitung

Emotionen spielen im Alltag eine wichtige Rolle, genauso bei psychischen Störungen wie Depressionen, von denen viele Personen betroffen sind (12-Monats-Prävalenz einer Major Depression bei 6,8%; [1]). Menschen können diese Emotionen mit kognitiven Prozessen kontrollieren. Es gibt keine allgemein gültige Definition - Emotionsregulation meint alle Prozesse, die der mentalen Verarbeitung emotionaler Zustände dienen [2]. Für Menschen ist es zentral, das Befinden unter den gegebenen Umständen auf einem möglichst günstigen Niveau zu halten. Bevorzugt genutzte Strategien können als Kodeterminanten der allgemeinen Befindlichkeit aufgefasst und als günstig oder ungünstig angesehen werden [3]. Studien zeigen, dass v.a. depressive Personen vermehrt maladaptive Strategien und vermindert adaptive Strategien zur Emotionsregulation nutzen [4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11]. Dabei sind sowohl kognitive Strategien wie Perseveration (maladaptiv) als auch Verhaltensstrategien wie Problemorientiertes Handeln (adaptiv) relevant. Es soll der Fragestellung nachgegangen werden, wie sich die Emotionsregulation bei Patient:innen im Vergleich zu „gesunden“ Proband:innen unterscheidet und inwieweit Zusammenhänge zwischen der Depressivität und der Emotionsregulation zu finden sind.

2. Methodik

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde am AWO-Fachkrankenhaus Jerichow (N=85) eine Klinikgruppe sowie über ein Schneeballsystem eine Kontrollgruppe (N=67) erhoben. Eingesetzt wurden das *Beck-Depressions-Inventar-II*, BDI-II [12], das der Erfassung der Schwere einer depressiven Episode dient, der *Fragebogen zur Erfassung der Emotionsregulation bei Erwachsenen*, FEEL-E [3], der 12 Emotionsregulationsstrategien der Emotionen Wut, Angst und Trauer erfasst, die *Symptomcheckliste-90®-Standard*, SCL-90®-S [13], die das subjektive

Wohlbefinden einer Person misst und zusätzlich innerhalb der Klinikgruppe der *Essener Fragebogen zur Krankheitsverarbeitung*, EFK [14], welcher Bewältigungsstile bei chronischer Krankheit erfasst und daher nicht in der Kontrollgruppe eingesetzt wurde. Die Stichproben wurden auf Grundlage von vier Hypothesen auf signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, einen etwaigen Einfluss der soziodemografischen Variablen Geschlecht und Alter, den Einfluss der Schwere der Depressivität sowie Prädiktoren einer depressiven Episode untersucht. Hierfür wurden Regressionsanalysen (Methode: Einschluss, BDI-II als unabhängige Variable), multivariate Varianzanalysen, t-Tests und Chi-Quadrat-Tests sowohl über beide Gruppen hinweg als auch nur innerhalb der klinischen Stichprobe in SPSS angewandt.

3. Erkenntnisse

Die Proband:innen beider Stichproben waren vorrangig weiblich, im mittleren Alter, mit einem mittleren bis hohen Bildungsniveau und hatten die deutsche Staatsangehörigkeit (Tab. 1). Klinische Patient:innen wiesen seltener eine Berufstätigkeit auf als die Kontrollgruppe ($p < ,02$), während sie häufiger eine vergangene therapeutische Behandlung berichteten ($p < ,001$), was zu erwarten war.

Tabelle 1: Statistische Prüfung auf Unterschiede in der Soziodemografie beider Stichproben

Variable	Patient:innen N = 85	Vergleichsgruppe N = 67	Summe N = 152	Statistische Prüfung
Alter	43,11 ± 13,54	45,45 ± 11,92	44,14 ± 13,54	t = -1,12 p < ,27
Geschlecht männlich Weiblich	37 (43,5%) 48 (56,5%)	26 (38,8%) 41 (61,2%)	63 (41,4%) 89 (58,6%)	X ² = 0,34 p < ,56
Bildung Hauptschule Realschulabschluss Abitur Hochschulabschluss	5 (5,9%) 33 (38,8%) 15 (17,6%) 32 (37,6%)	0 32 (47,8%) 11 (16,4%) 24 (35,8%)	5 (3,3) 65 (42,8%) 26 (17,1%) 56 (36,8%)	
Bildung kurz Haupt-, Realschule Abitur – Hochschule	38 (44,7%) 47 (55,3%)	32 (47,8%) 35 (52,2%)	70 (46,1%) 82 (53,9%)	X ² = 0,14 p < ,71
Ausbildungsjahre	15,34 ± 3,34	15,51 ± 3,45	15,41 ± 3,38	t = -0,30 p < ,77
Staat Deutsch Andere Mehr als eine	84 (98,8%) 1 (1,2%) 0	65 (97%) 1 (1,5%) 1 (1,5%)	149 (98%) 2 (1,3%) 1 (0,7%)	
Psychotherapie Ja Nein	47 (55,3%) 38 (44,7%)	17 (25,4%) 50 (74,6%)	64 (42,1%) 88 (57,9%)	X ² = 13,76 p < ,001
Berufstätigkeit Ja Nein	62 (72,9%) 23 (27,1%)	59 (88,1%) 8 (11,9%)	121 (79,6%) 31 (20,4%)	X ² = 5,28 p < ,022

Anmerkung: N = Anzahl, t = Ergebnis im t-Test, p = statistische Signifikanz, X² = Chi-Quadrat

3.1 Gruppenunterschiede

Patient:innen erreichen hinsichtlich der depressiven Ausprägung nach BDI-II (28 ± 11 ; $t = 13,98$; Cohens $d = 2,28$) und der psychischen Belastung ($T_{GSI} = 66 \pm 8$) signifikant höhere Werte als die Vergleichsgruppe (BDI-II = 6 ± 7 ; $T_{GSI} = 48 \pm 11$; $F = 140,99$, $\eta^2 = 0,48$). Weiterhin nutzten depressive Personen verringert adaptive Strategien zur Emotionsregulation i.S.d. FEEL-E (*Problemorientiertes Handeln* $\eta^2 = 0,48$, *Stimmung anheben* $\eta^2 = 0,31$, *Akzeptieren* $\eta^2 = 0,19$, Emotions-

skalen $\eta^2_{\min}=0,27$ bis $\eta^2_{\max}=0,33$), gleichzeitig verwendeten sie vermehrt maladaptive Emotionsregulationsstrategien (*Rückzug* $\eta^2=0,28$, *Aufgeben* $\eta^2=0,32$, *Katastrophisieren* $\eta^2=0,06$, Emotionsskalen $\eta^2_{\min}=0,27$ bis $\eta^2_{\max}=0,33$).

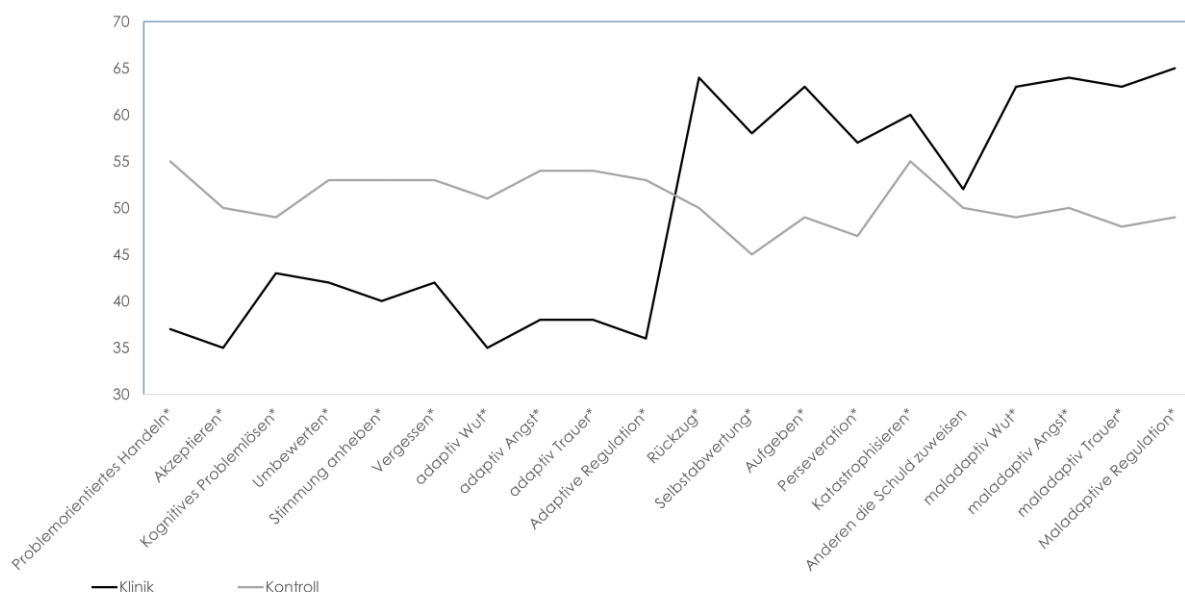


Abbildung 1: T-Wert-Vergleich der Klinik- (N=85) und der Kontrollgruppe (N=67) im FEEL-E

Anmerkung: *=signifikante Ergebnisse

Übergeordnet ist eine insgesamt maladaptive Emotionsregulation ($T=65\pm 11$) bei Patient:innen vorherrschend, die in der Kontrollgruppe nicht beobachtbar ist ($\eta^2=0,36$; Abb. 1).

3.2 Soziodemografische Einflüsse

Im BDI-II, der SCL-90®-S, dem FEEL-E (beide Stichproben) und im EFK (klinische Stichprobe) zeigten sich z.T. geringe soziodemografische Einflüsse, die als vernachlässigbar angesehen werden können.

3.3 Einfluss der Depressivität

Hoch depressive Patient:innen nutzten vermehrt maladaptive Strategien zur Emotionsregulation (FEEL-E) bzw. zur Krankheitsbewältigung (EFK) und weniger adaptive Strategien als jene mit geringerer depressiver Ausprägung.

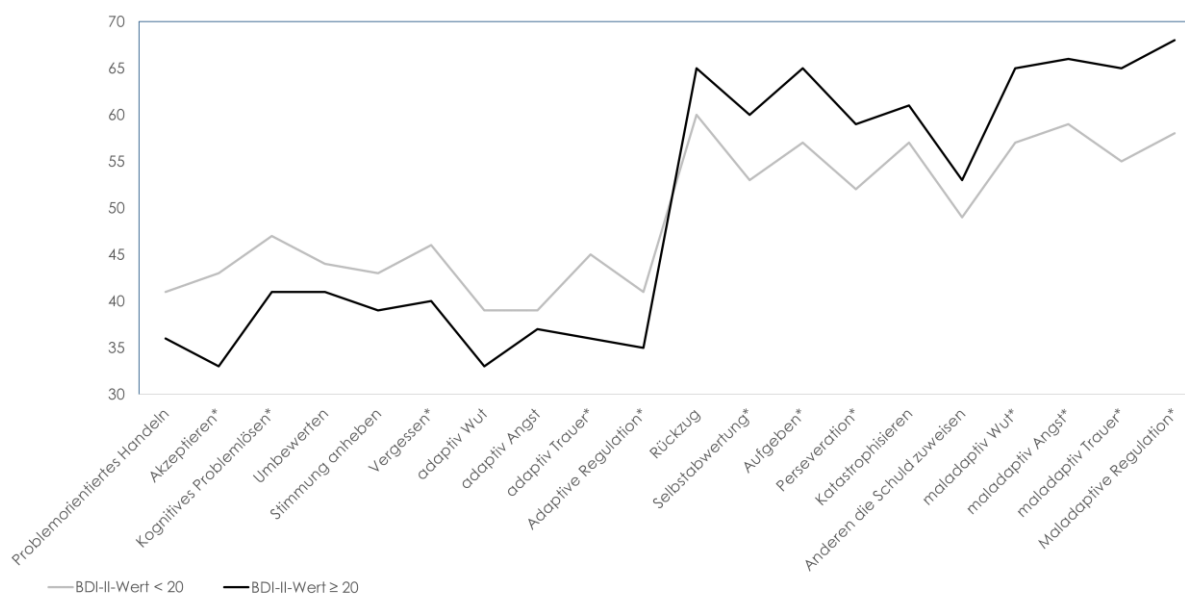


Abbildung 2: Vergleich der T-Werte innerhalb der Klinikgruppe (N=85) bei niedriger (N=22) bzw. hoher (N=53) Depressivität nach BDI-II im FEEL-E

Anmerkung: *=signifikante Ergebnisse

Hinsichtlich adaptiver Strategien zeigten die Skalen *Akzeptieren* ($\eta^2=0,09$), *Umbewerten* ($\eta^2=0,05$), *Vergessen* ($\eta^2=0,05$), adaptiver Umgang mit Trauer ($\eta^2=0,12$) und *Bereitschaft zur Annahme von Hilfe* ($\eta^2=0,10$) sowie *Handelndes Problemorientiertes Coping* ($\eta^2=0,10$) kleine bis mittlere Effekte, gleichzeitig sind die maladaptiven Skalen *Perseveration* ($\eta^2=0,11$), *Aufgeben* ($\eta^2=0,10$), *Selbstabwertung* ($\eta^2=0,10$), maladaptiver Umgang mit dem Emotionen Trauer ($\eta^2=0,14$), Angst ($\eta^2=0,11$) und Wut ($\eta^2=0,09$) sowie *Depressive Verarbeitung* ($\eta^2=0,11$) relevant. Bei hoher Depressivität ist eine insgesamt maladaptive Emotionsregulation beobachtbar (T=68±9; $\eta^2=0,15$).

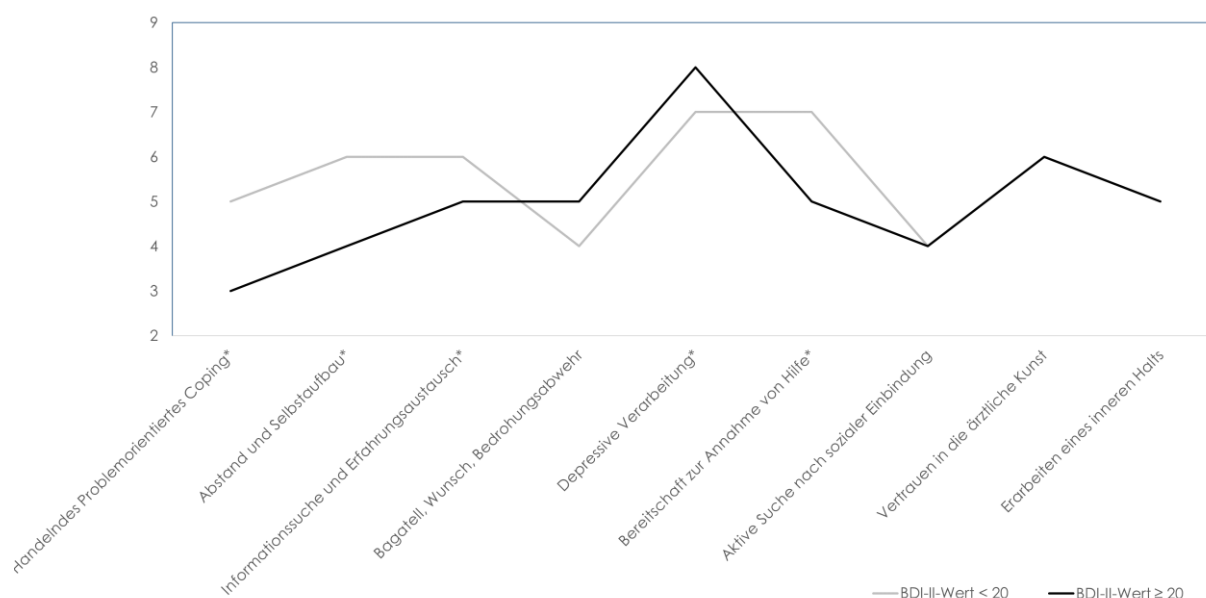


Abbildung 3: Vergleich der Staninwerte der Klinikgruppe (N=85) bei niedriger (N=22) bzw. hoher (N=53) Depressivität nach BDI-II im EFK

Anmerkung: *=signifikante Ergebnisse

Die Ausmaße der Nutzung von Emotionsregulationsstrategien ist in Abbildung 2 dargestellt, die Nutzung der Bewältigungsstile in Abbildung 3, wobei bei beiden Darstellungen eine überwiegend ungünstige bzw. maladaptive Regulation in Verbindung mit hoher Depressivität beobachtbar ist.

3.4 Vorhersage einer depressiven Episode

Innerhalb der Klinikgruppe (abhängige Variablen: FEEL-E, EFK) zeigten sich wenig *Handelndes Problemorientiertes Coping* ($t=-3,5$), stärker *Depressive Verarbeitung* ($t=2,7$) und stärker *Selbstabwertung* ($t=3,3$) als Prädiktoren einer depressiven Episode, innerhalb der Vergleichsgruppe (abhängige Variable: FEEL-E) wenig *Stimmung anheben* ($t=-4,2$), deutlich *Angst maladaptiv* ($t=3,2$) und ein geringes *Alter* ($t=-2,3$).

4. Diskussion

Ziel war es, Unterschiede in der Emotionsregulation zwischen einer klinischen und einer gesunden Stichprobe zu untersuchen. Beide in dieser Studie untersuchten Gruppen unterscheiden sich signifikant, wobei depressive Personen sich eher maladaptiver Emotionsregulationsstrategien und weniger adaptiver Strategien bedienen. Dieser Effekt wird mit Zunahme der Depressivität verstärkt. Geschlecht und Alter verändern diese Unterschiede kaum. Weiterhin kann die Entstehung einer depressiven Symptomatik durch bestimmte Strategien vorhergesagt werden. Somit lässt sich die Emotionsregulation bei depressiven Patient:innen klar von der „Gesunder“ unterscheiden. Anzumerken bleibt, dass Störvariablen nicht komplett ausgeschlossen werden können. Psychiatrische Patient:innen nehmen u.a. Medikamente, ebenso handelt es sich um Selbstbeurteilungsinstrumente, bei denen eine Verzerrung der Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Es wurde weiterhin nicht erfasst, zu welchem Zeitpunkt der Behandlung die Patient:innen die Fragebögen ausfüllten. Aufgrund der geringen Stichprobengröße müssen die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden. Hingewiesen sei zudem auf den Aspekt, dass nicht alle Menschen, die psychische Symptome aufweisen, eine Diagnose erhalten haben oder in Behandlung sind. Zudem wurde die Studie während der Covid-19-Pandemie durchgeführt – eine Zeit, in der die Menschen ohnehin hohen Belastungen ausgesetzt sind, sodass auch innerhalb der Kontrollgruppe vereinzelt psychisch belastete Personen zu finden sind.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse auf eine dysfunktionale Emotionsregulation bei depressiv Erkrankten hin, die bei „gesunden“ Proband:innen nicht zu beobachten ist, weshalb sie beim Verständnis der Erkrankung mehr Beachtung finden sollte, da sie ebenfalls einen relevanten Faktor in der Therapie darstellt. Es ist bekannt, dass gezieltes Emotionsregulationstraining eine größere Reduktion depressiver Symptome und negativer Affekte sowie ein Anwachsen des Wohlbefindens und der adaptiven Emotionsregulationsstrategien zur Folge hat [15], sodass der Ermittlung der Strategien eine größere Bedeutung beigemessen werden sollte. Festgestellte Defizite oder Ressourcen können gezielt eingesetzt werden: einerseits zum Abbau von Defiziten in der Emotionsregulation, um der Entstehung einer depressiven Episode entgegenzuwirken, indem Risikofaktoren frühzeitig ermittelt und behandelt werden sowie andererseits zur Erstellung eines Ressourcenprofils, welches zur Behandlung genutzt werden kann, indem adaptive Strategien und psychosoziale Kompetenzen gestärkt werden, die wiederum für den Abbau von Defiziten genutzt werden können. Darauf aufbauend lassen sich Präventions- und Interventionsprogramme entwickeln, sodass im Therapieverlauf auf die individuelle Emotionsbewältigung geachtet werden kann. Weiterhin sollten Emotionsregulationstrainings störungsspezifisch angepasst werden, um die Auswirkungen depressiver Symptome und negativer Affekte auf das psychische Wohlbefinden effektiv und nachhaltig zu reduzieren.

Datenverfügbarkeit

Die Rohwert-Daten für diese Arbeit wurden mit Zustimmung einer Ethikkommission durch Fragebögen erhoben und auf einer externen Festplatte zur Verarbeitung durch SPSS gespeichert und sind daher nicht öffentlich zugänglich. Weiter verarbeitete Daten können bei der Autorin angefragt werden.

Interessenskonflikte

Die Autor:innen erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Jacobi, Frank (2016): „Erratum zu: Psychische Störungen in der Allgemeinbevölkerung. Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland und ihr Zusatzmodul ‚Psychische Gesundheit‘ (DEGS1-MH)“. *Nervenarzt* 87: 88 – 90.
2. In-Albon, Tina (2013): „Theoretischer Hintergrund zur Emotionsregulation“. In: In-Albon, Tina (eds.) (2013): *Emotionsregulation und psychische Störungen im Kindesalter*. Stuttgart, Kohlhammerverlag: 15 – 24.
3. Grob, Alexander/Horowitz, Dina (2014): *FEEL-E Fragebogen zur Erhebung der Emotionsregulation bei Erwachsenen*. Bern: Hans-Huber-Verlag.
4. Barnow, Sven et al. (2013): „Emotionsregulation bei Depression. Ein multimethodaler Überblick“. *Psychologische Rundschau* 64: 235 – 243.#
5. Joormann, Jutta/Vanderlind, William Michael (2014): “Emotion regulation in depression: The role of biased cognition and reduced cognitive control”. *Sage Journals* 2: 402 – 421.
6. Barnow, Sven (2020): „Emotionsregulation und Psychopathologie. Ein Überblick“. *Psychologische Rundschau* 63/2: 111 – 124.
7. Kraaij, Vivian/Bik, Jannecke/Garnefski, Nadia (2019): “Cognitive and behavioral coping in people with chronic fatigue syndrome: an exploratory study searching for interventions targets for depressive symptoms”. *Journal of Health Psychology* 24/13: 1878 – 1883.
8. Kraaij, Vivian/Garnefski, Nadia (2018): “The Behavioral Emotion Regulation Questionnaire: Development, psychometric properties and relationships with emotional problems and the Cognitive Emotion Regulation Questionnaire”. *Personality and Individual Differences* 137: 56 – 61.
9. Wang, Pengju/Xiong, Zhuang/Yang, Hua (2018): “Relationship of mental health, social support and coping styles among graduate students: evidence from chinese universities”. *Journal of Public Health*, 47/5: 659 – 697.
10. Kraaij, Vivian et al. (2010): “Cognitive coping, goal adjustment, and depressive and anxiety symptoms in people undergoing infertility treatment: a prospective study”. *Journal of Health Psychology* 15: 876 – 886.
11. Richardson, Emma M. et.al. (2017). “Illness representations, coping, and illness outcomes in people with cancer: a systematic review and a meta-analysis”. *Psycho-Oncology* 26: 724 - 737.
12. Hautzinger, Martin/Keller, Franz/Kühner, Christine (2006): *BDI II Beck–Depressions-Inventar Revision*. Frankfurt am Main: Pearsonverlag.
13. Franke, Gabriele Helga (2014): *Symptomchecklist-90®-Standard*. Bonn: Hogrefeverlag.
14. Franke, Gabriele Helga/Jagla, Melanie (2016): *EFK - Essener Fragebogen zur Krankheitsverarbeitung – Tesmanual – Deutsche Version*. DOI: <https://doi.org/10.6099/1000265> [28.05.2022].

15. Berking, Matthias et al. (2013): "Emotion regulation skills training enhances the efficacy of inpatient cognitive behavioral therapy for major depression disorder: a randomized controlled trial". *Psychotherapy and Psychosomatics* 82: 234 – 245.

Digitalisierung des Gesundheitssektors: Analyse der digitalen Kompetenzen von Ärzten

Marcel Herold^{1*}

¹ Technische Hochschule Wildau, Deutschland

* Korrespondenz: marcel.herold@th-wildau.de

Kurzfassung. Der Fachkräftemangel im Gesundheitssektor beschleunigt die Digitalisierung, wodurch die Anforderungen an das Personal steigen. Die zunehmenden technischen Möglichkeiten verändern die notwendigen Kompetenzen an die Ärzte in Richtung Digitalisierung. Daher sollten im Personal-Recruitment digitale Kompetenzen bereits in den Stellenausschreibungen berücksichtigt werden, um die zukünftigen Herausforderungen bewältigen zu können. Dieser Beitrag untersucht, inwieweit a) digitale Kompetenzen bereits in den am Markt befindlichen Stellenprofilen von Ärzten Eingang gefunden haben und b) ob diese durch einen datengetriebenen methodischen Ansatz sinnvoll extrahiert werden können. Dabei werden 1707 Stellenausschreibungen mit der Latent Semantic Analysis (LSA) ausgewertet. Die unterschiedlichen methodischen Ansätze innerhalb der LSA zeigen, dass kaum ein Fokus auf digitale Kompetenzen im Gesundheitssektor bei Stellenausschreibungen besteht.

1. Einleitung

Der Fachkräftemangel in Deutschland und insbesondere im Gesundheitssektor ist allgegenwärtig und wird sich durch den demografischen Wandel noch verstärken [1]. Gleichzeitig nimmt die Digitalisierung in dieser Branche zu: Eine Studie hat z.B. dargelegt, dass Technologie und Digitalisierung positive Auswirkungen auf den Krankheitsverlauf von Patienten haben [2]. Darüber hinaus kann Telemedizin auch die Behandlung von Patienten in ländlichen Gebieten sicherstellen [3]. Außerdem konnte in einigen Fällen eine höhere Therapietreue beim Verwenden von mobilen Geräten festgestellt werden [4].

Durch diese neuen technischen Möglichkeiten verändern sich die Anforderungen an das Personal [5]. Einerseits wird die Angst diskutiert, dass Arbeitsplätze verloren gehen, andererseits müssen bestehende Mitarbeiter neue Kompetenzen trainieren, um die Technologie bedienen zu können [6]. Dabei ist die Personalabteilung gefordert, die Änderungen der Anforderungen in den Stellenprofilen durch die Digitalisierung auch im Personalrecruitment, z.B. im Rahmen der Stellenausschreibungen, zu berücksichtigen [7]. So können die Herausforderungen der Digitalisierung im Gesundheitssektor noch stärker als bisher bewältigt werden.

Ziel dieses Beitrages ist daher zu untersuchen, inwieweit a) digitale Kompetenzen bereits in den am Markt befindlichen Stellenprofilen von Ärzten Eingang gefunden haben und b) ob diese durch einen datengetriebenen methodischen Ansatz sinnvoll extrahiert werden können.

2. Methode

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, werden Stellenanzeigen im Gesundheitssektor hinblickend auf die ausgeschriebenen Kompetenzen analysiert. Die zu analysierenden Daten

wurden mit Hilfe von Webscraping von einem großen deutschen Jobportal heruntergeladen. Es wurde ein Suchstring entwickelt, um vergleichbare Stellenanzeigen von der Berufsgruppe Arzt / Ärztin zu erhalten, der verschiedene Facharztausbildungen reflektierte: „Arzt |Ärzt |Medi |Vete |Huma |Intern |Epid |Psyc |Physi“. Dabei soll mind. einer der Begriff im Jobtitel enthalten sein („|“ = Oder), unabhängig von der Platzierung am Wortanfang, -mitte oder Ende (nicht Case-Sensitiv). Somit ergab sich die Anzahl der Stellenanzeigen der Berufsgruppe „Ärzte“ mit 1.722, welche auf 1.707 reduziert werden musste, da 15 Anzeigen keine Qualifikationsanforderungen beinhalteten.

Dieser reduzierte Datensatz wurde nach Miner und Kollegen [8] vorverarbeitet. Das sog. Preprocessing beinhaltet die Schritte Großbuchstaben in Kleinbuchstaben umzuwandeln, den Text in Worte zu zerlegen (Tokenisierung), typische sprachabhängige Stoppwörter zu entfernen, kontextabhängige Tokens zu filtern, Wörter auf Ihre Grundform zurückzuführen (stemmen) und abschließend alle Begriffe nach deren Wichtigkeit im gesamten Datensatz zu gewichten. Bei dieser Analyse wurden nur die Qualifikationen der Stellenausschreibungen analysiert. Insgesamt betrug die Anzahl der Wörter 8.662.

In der Forschung zum Kompetenz-orientierten Personalmanagement gibt es verschiedene methodische Ansätze, um textbasierte Daten mit Hilfe von Text Mining und Natural Language Processing zu analysieren. In Abbildung 1 sind die unterschiedlichen Ansätze von Sidorova und Kollegen [9], Chung und Chen [10] nach Evangelopoulos [11] und Pejic-Bach und Kollegen [12] nach Jimenez-Marquez et al [13] dargestellt, welche in dieser Arbeit unter Nutzung von PYTHON mit den Paketen NLTK und SKLEARN vereinheitlichend angewendet werden. Diese werden in weiterer Folge allgemein beschrieben, bevor unter Punkt 3, Ergebnisse, ihre Anwendung auf die Forschungsfrage dargestellt wird.

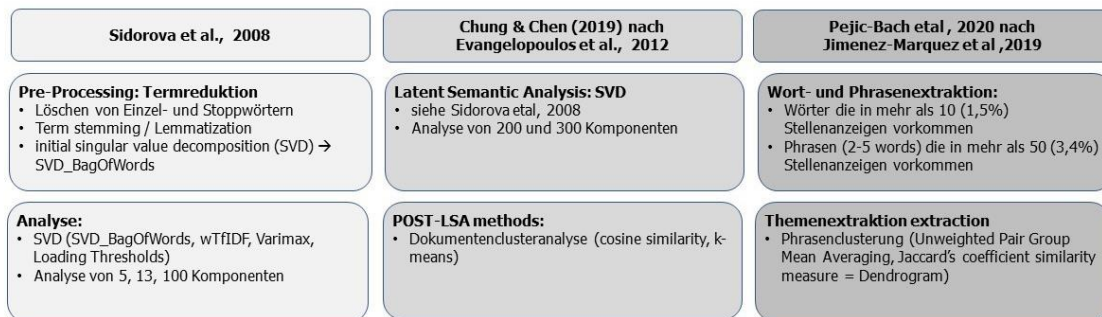


Abbildung 1. Methodisches Framework

Sidorova und Kollegen [9] analysieren 1.615 Forschungszusammenfassungen aus drei Fachzeitschriften, die zwischen 1985 und 2006 veröffentlicht wurden. Zuerst führten diese eine Term-Reduktion durch Löschung von Einzelwörtern und Stopwörtern durch. Zusätzlich wurde ein „term stemming“ angewendet, so dass noch 3.172 gestemmte Wörter zur Analyse zur Verfügung stehen. Basierend auf dieser Wortliste führten die Autoren eine „initial singular value decomposition“ (iSVD) mit 100 Komponenten aus. Darauf aufbauend wurde eine erweiterte SVD mit 5, 13 und 100 Komponenten, einer Matrix Rotation und dynamischer Komponentenladung angewendet, um die Terme zu identifizieren, welche die größte Varianz erklären.

Chung und Chen [10] haben mittels Text Mining 841 Stellenanzeigen für „HR Manager“ hinblickend auf die notwendigen Kompetenzen analysiert. Dabei haben sie auf das „Text Mining research framework“ von Evangelopoulos und Kollegen [11] zurückgegriffen. Dieses Vorgehen beinhaltet ebenfalls zuerst eine Term-Reduktion und eine iSVD mit 200 und 300 Komponenten, ergänzt das Methodenframework aber um eine Clusteranalyse auf Basis der Cosi-

nus-Distanzen der Dokumente. Sie konnten insgesamt 5 Cluster in den Stellenanzeigen extrahieren und zeigten zudem eine deskriptive Datenanalyse (Erfahrungen, Ausbildung und Sprache).

Pejic-Bach und Kollegen [12] haben genauso wie Chung und Chen [10] Stellenanzeigen mit dem Fokus auf „Industry 4.0“ basierend auf Text Mining analysiert. Zur Analyse der Stellenanzeigen haben sie den Ansatz von Jimenez-Marquez und Kollegen [3] verwendet. Im ersten Schritt haben sie statt des Stemming die Lemmatisierung und gleichlautend die Term-Reduktion durchgeführt. Im nächsten Schritt haben sie die häufigsten Wörter, die in mehr als zehn Stellenanzeigen vorkommen, extrahiert. Danach wurden die häufigsten Phrasen mit maximal 5 Wörtern, die in mehr als 50 Stellenanzeigen vorhanden waren, extrahiert. Im letzten Schritt wurde eine Clusteranalyse für die extrahierten Phrasen durchgeführt. Sie konnten acht Cluster identifizieren.

3. Ergebnisse

Gleichlautend für alle Analysen wurden, wie oben erwähnt, die 8.662 Worte der Qualifikationsanforderungen von 1.707 Stellenanzeigen verwendet. Vereinheitlichend wurde die Lemmatisierung der Worte genutzt, um diese auf Ihre Wortstämme zurückzuführen, da diese dem Stemming mit einem festen Algorithmus überlegen ist [14].

Bei der Vorgehensweise von Sidorova und Kollegen [9] wurden 3.367 lemmatisierte Wörter analysiert, da 4709 Einzel- und Stoppwörter gelöscht wurden. Die iSVD mit 100 Komponenten klärt mit 1020 Wörtern 56,9 Prozent der Dokumentenvarianz auf. Bei der erweiterten SVD wurde wie vorgeschlagen 5, 13 und 100 Komponenten für die gewichtete „Document term matrix“ verwendet. Dabei können 5 Komponenten 8,9 Prozent der Varianz mit 560 Einzelwörtern erklären. 13 Komponenten können 16,5 Prozent der Varianz mit 416 Einzelwörtern erklären und 100 Komponenten können 49,8 Prozent der Varianz mit 149 Wörtern erklären. Keine der getesteten Komponenten-Anzahl zeigte eine oder mehrere Komponenten mit eindeutigem technischem Bezug, dagegen wurden Wörter, wie „EDV“ oder „MS Office“ als generische oder „Radiologie“ und „Neurologie“ als spezifische Begriffe für digitale Technologien verteilt in verschiedenen Komponenten identifiziert (siehe Tabelle 1), „Telemedizin“ im konkreten tauchte als Begriff dagegen nicht auf.

Tabelle 1. Übersicht Komponenten mit generischen und spezifischen technischen Begriffen

Autor	Komp .	Komp. mit technischen Begriffen	Beispiele generische technische Begriffe	Beispiele spezifische technische Begriffe
Sidorova et al [9]	5	5	it, microsoft, sap, edv, online, office, digitale, technische	neurologie, endoskopie, arzt-informationssystem, kardiologie
Sidorova et al [9]	13	12	sap, powerpoint, office, outlook, software, google	endoskopie, kardiologie, radiologie
Sidorova et al [9]	100	51	digital, edv, ms, teams, it	radiologie, neurologie
Evangelopoulos et al [11]	200	72	ms teams, sap, edv, office, pc, word, technische, it	neurologie, radiologie
Evangelopoulos et al [11]	300	95	edv, it, technisch, ms tams, office, word, excel, pc	ekg, neurologisch, radiologie, kardiologie

1.636 Begriffen und das Kleinste mit 51 (non-unique) Begriffen. Auch hier wurden bei vier von den sieben Clustern generische Begriffe der Digitalisierung wie „EDV“, „Outlook“ oder „PC“ und als spezifische Begriffe „ultraschall“ oder „ekg“ identifiziert. Somit erzeugte auch die Vergrößerung der initialen Komponenten-Anzahl am Ende keine eindeutige technische Komponente.

Nach Pejic-Bach und Kollegen [12] wurde im ersten Schritt alle Wörter identifiziert, die in mind. 10 Stellenanzeigen vorhanden sind. Dies entspricht eine Quote von ca. 1,5 Prozent. So konnten insgesamt 379 Worte identifiziert werden. Es wurden beispielsweise Begriffe wie „MS“, „Office“, „EDV“, „it“, „media“, „excel“, „sap“, „pc“ oder „outlook“ herausgefiltert, welche im Zusammenhang mit den digitalen Kompetenzen stehen. Im zweiten Schritt wurden Wortphrasen mit 2-5 Wörtern, welche in mind. 50 Stellenanzeigen auftauchen, gesucht (dies entspricht etwa 3.4%). Insgesamt erfüllten 51 Phrasen diese Bedingungen. Im letzten Schritt wurde basierend auf den Phrasen eine Clusteranalyse durchgeführt. Dabei wurden erneut 7 Cluster entdeckt, wobei diesmal nur ein Cluster mit den 3 Phrasen a) „umgang ms office“, b) „ms office“ und c) „umgang ms“ den digitalen Kompetenzen hinzugerechnet werden konnte.

4. Diskussion & Ausblick

Durch die zunehmende Digitalisierung im Gesundheitssektor [2, 3, 4,] und die steigenden technischen Anforderungen an die Ärzte können die notwendigen Kompetenzen nicht eindeutig aus den Stellenanzeigen herausgefiltert werden. Es sind generisch technische Begriffe in den Stellenausschreibungen enthalten, aber kaum spezifische. Die verwendeten Analysen bekräftigen, dass die Extraktion von technologisch geprägten Komponenten auf Basis der analysierten Stellenprofile schwierig ist. Bei dem Ansatz von Sidorova und Kollegen [9] konnte bei 5, 13 und 100 Komponenten Begriffe (Tabelle 1) gefunden werden, die in Verbindung mit den digitalen Kompetenzen stehen. Bei dem Ansatz von Evangelopoulos und Kollegen [11] waren Begriffe mit Bezug zu digitalen Kompetenzen über vier Cluster verteilt. Bei dem Vorgehen von Pejic-Bach und Kollegen [12] konnten eine geringe Anzahl an Einzelworten und Wortphrasen herausgefiltert werden, welche in Bezug zu den digitalen Kompetenzen stehen. Durch diese Ergebnisse kann die Forschungsfrage nicht eindeutig beantwortet werden.

Ein weiterführender Ansatz zur Identifizierung von digitalen Kompetenzen im Gesundheitssektor ist die Optimierung des datengetriebenen Ansatzes. Dazu soll als ersten die Log Entropie statt die TF-IDF verwendet werden. Als zweites soll die LSA durch die Latent Dirichlet Allokation ersetzt werden. Als Drittes soll auf Basis der Taxonomie für Kompetenzen in diesem Sektor [15] eine eigene „Bag of Word“-Liste mit den digitalen Kompetenzen erstellt werden, um die Stellenausschreibungen zu analysiert. Bei dieser Analyse könnten dann auch die Pflgestellten und die Arztstellen miteinander verglichen werden.

Datenverfügbarkeit

Die Daten können auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

Interessenskonflikte

Der Autor erklärt, dass er keinen Interessenkonflikt hat.

Literaturverzeichnis

1. Reiff, E., Gade, C., & Böhlich, S. (2020): Handling the shortage of nurses in Germany: Opportunities and challenges of recruiting nursing staff from abroad, IUBH Discussion

2. Hansen, A. et al. (2019): Perception of the Progressing Digitization and Transformation of the German Health Care System Among Experts and the Public: Mixed Methods Study. *JMIR Public Health and Surveillance*, 5/4: e14689.
3. Davis, A. M., et al. (2016): Treating rural paediatric obesity through telemedicine vs. telephone: Outcomes from a cluster randomized controlled trial. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 22/2: 86–95.
4. Frias, J. et al (2017): Effectiveness of Digital Medicines to Improve Clinical Outcomes in Patients with Uncontrolled Hypertension and Type 2 Diabetes: Prospective, Open-Label, Cluster-Randomized Pilot Clinical Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 19/7: e246.
5. Veit, K., Wessels, M., & Deiters, W. (2019): Gesundheitsdaten und Digitalisierung – Neue Anforderungen an den Umgang mit Daten im Gesundheitswesen. In M. A. Pfannstiel, P. Da-Cruz, & H. Mehlich (Hrsg.), *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen VI* (S. 19–33). Springer Fachmedien Wiesbaden.
6. Spencer, D. A. (2018): Fear and hope in an age of mass automation: Debating the future of work. *New Technology, Work and Employment*, 33/1: 1–12.
7. Karwehl, L. J., & Kauffeld, S. (2021): Traditional and new ways in competence management: Application of HR analytics in competence management. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift Für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 52/1: 7–24.
8. Miner, G. D., Delen, D., Elder, J., Fast, A., Hill, T., & Nisbet, R. A. (2012). *Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-structured Text Data Applications*. Elsevier.
9. Sidorova, et al. (2008): Uncovering the Intellectual Core of the Information Systems Discipline. *MIS Quarterly*, 32/3: 467.
10. Chung, C.-H., & Chen, L.-J. (2019): Text mining for human resources competencies: Taiwan example. *European Journal of Training and Development*, 45(6/7): 588–602.
11. Evangelopoulos, N., Zhang, X., & Prybutok, V. R. (2012): Latent Semantic Analysis: Five methodological recommendations. *European Journal of Information Systems*, 21/1, 70–86.
12. Pejic-Bach, M., et al. (2020): Text mining of industry 4.0 job advertisements. *International Journal of Information Management*, 50: 416–431.
13. Jimenez-Marquez, J. L., et al. (2019): Towards a big data framework for analyzing social media content. *International Journal of Information Management*, 44: 1–12.
14. Balakrishnan, V., & Ethel, L.-Y. (2014): Stemming and Lemmatization: A Comparison of Retrieval Performances. *Lecture Notes on Software Engineering*, 2(3): 262–267.
15. Englander, R., et al. (2013): Toward a Common Taxonomy of Competency Domains for the Health Professions and Competencies for Physicians: *Academic Medicine*, 88/8: 1088–1094.

Concept for a portable measuring device for the quantitative detection of legionella

Felix Welzel^{1*}, Mike Hauschultz¹, Maria Friedo¹, Verena Just¹, Maria Richetta², Andreas H. Foitzik¹

¹ Technical University for Applied Sciences Wildau

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

* Korrespondenz: felix.welzel@th-wildau.de

Abstract. According to the drinking water regulation, drinking water systems must be tested for harmful contamination at specified intervals. To meet the legal requirements and save costs and time, a portable analysis method is to be developed. For this purpose, a concept study was conducted. It describes a portable measuring device for the quantitative detection of legionella using real-time PCR. The study includes the construction elements and conditions that are necessary for the collection, processing, and evaluation of the sample. It was found that commercially available PCR systems do not meet the size requirements and can only be represented by an in-house development. In addition, a microfluidic system must be developed that is designed for one-time use and low production cost.

1. Introduction

Legionella pose a persistent threat to health. The infections they cause can lead to severe courses and even death. Therefore, regular testing of drinking water supply systems is essential. Currently, testing for Legionella in drinking water systems is performed by a lengthy and costly microbiological laboratory test. For this purpose, trained personnel must take drinking water samples at the corresponding plant, which are then tested for microbiological contamination in the laboratory test. The legal threshold values for microbiological, chemical and indicator parameters must not be exceeded. If more than 100 legionellae are measured per 100 ml of drinking water, the threshold value is considered exceeded [1] (DVGW Website: Anlage 3 2022). In addition, test strips can be used for self-testing, which indicate discoloration above a certain threshold value of legionella. This test must be performed annually for large public facilities such as hotels and schools, and every 3 years for apartment buildings and housing associations [2].

In this paper a portable method for the quantitative detection of Legionella is presented, which is to evaluate the water sample by real-time PCR. The aim is to enable rapid on-site testing of the Legionella content, which can be carried out in a time- and cost-efficient manner.

2. Methods

In order to perform the sample analysis by real-time PCR, a defined test cycle must be followed. First, the corresponding samples of 100 – 1000 ml each must be taken at the sample valve. Then the sample must be concentrated to a defined volume with a high recovery rate. For the preparation of the PCR it is necessary to perform a live-dead differentiation to exclude the harmless dead Legionella. In addition, a defined volume must be taken from the concentrated sample and mixed with the master mix in the correct mixing ratio. Finally, real-time PCR can be performed, and an evaluation is made by the ratio of sample volume and cycle number.

3. Results and Discussion

According to the Drinking Water Ordinance, water samples must be taken at three important points. Before and after the water heating system and at the last sampling point in the building. It is assumed that a defined sample volume of 100 – 1000 ml is taken and fed into the system. Figure 1 shows the further process. First, the defined sample volume is pumped through a filter with a pore size of 0.22 or 0.44 μm and disposed of in a waste container. Then the filter cake is rinsed with sterile water in the opposite direction. The procedure is controlled by changing the flow of two valves and incorporating check valves. The concentrated sample then ends up in a buffer tank, from which another pump draws a defined quantity for the microfluidics. Here, a decision can be made between sample and air by means of two controlled valves. In addition, a defined amount of mastermix is added to the microfluidics at the ratio of the sample by another pump. The second pump can then move the sample through the microfluidic by pushing air. The pumps should not be in direct engagement with the medium so as not to affect the sample (peristaltic pumps). The materials that are in direct engagement with the sample should be at least bioinert and must be replaced or cleaned after each procedure.

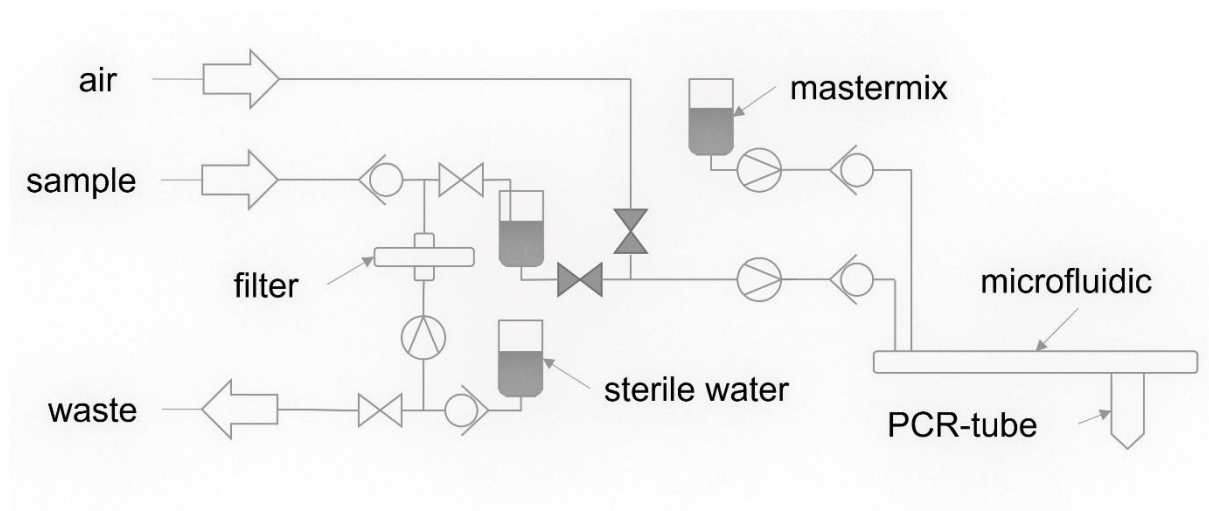


Figure 1: Concept method for sample reduction and mixing with the mastermix using microfluidic.

The microfluidics has the task to mix mastermix and sample and to enable the live-dead differentiation. It must also transfer the sample into the PCR. Figure 2 shows two chips that can perform this function. Both have sample and master mix inlets at the bottom and a prechamber for dispensing both volumes. This is followed by a cavity for mixing the media and a device for inserting a PCR tube. The chips are intended for single use and should therefore be manufactured by suitable processes (injection molding). They should also be made of a biocompatible material such as polycarbonate to avoid contaminating the sample.

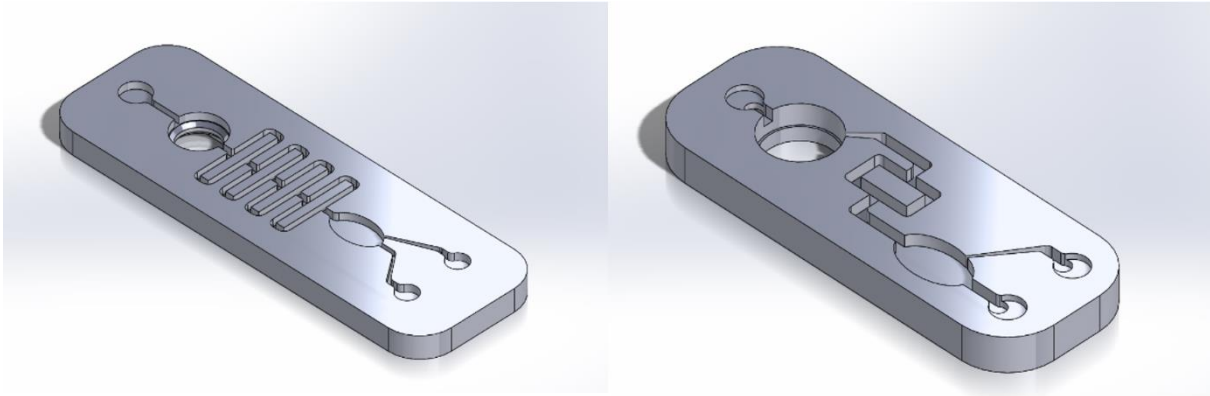


Figure 2: Microfluidic chip for mixing sample with mastermix and PCR-tube attachment.

Once the sample is in the PCR tube, amplification of the Legionella contained in the sample can be performed. This is then evaluated by fluorescence spectroscopy. The behavior of the entire system must be considered when calculating the amount of Legionella. For an accurate determination, the original sample volume, the recovery rate of the concentration and any dead volumes must be known. If PCR is performed with a reference and negative control, the Legionella content of the collected sample can be calculated from this. For the implementation of a portable device, a PCR would have to be developed which fits into a smaller scale and contains only the necessary components for the measurement of Legionella.

Data availability statement

Data sharing not applicable to this article as no datasets were generated or analysed during the current study.

Competing interests

The authors declare that there are no conflicts of interest.

References

1. DVGW Website: Anlage 3 (2022). <https://www.dvgw.de/themen/wasser/trinkwasser-verordnung/anlage-3>, [28.05.2022].
2. DVGW Website: Anlage 4 (2022). <https://www.dvgw.de/themen/wasser/trinkwasser-verordnung/anlage-4>, [29.05.2022].

Soziale Medien in der Ernährungskommunikation – Relevanz und Potenziale

Eva-Maria Endres^{1,2,*}

¹ Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt

² APEK-Consult

* Korrespondenz: endres@apek-consult.de

Kurzfassung. Der Beitrag ist ein Auszug aus der Studie *Soziale Medien in der Ernährungskommunikation – Relevanz und Potenziale* [1], kostenloser Download unter www.zemdg.de/zemdg-studies.

Ziel: Im Auftrag des Max Rubner-Instituts wurde eine Übersichtsarbeit zum komplexen Thema digitale Ernährungskommunikation erstellt mit Fokus auf Ansätzen zur Förderung einer gesunden Ernährung mittels Sozialer Medien.

Methodik: Systematische Studienrecherche (Cochrane-Standard)

Ergebnisse: 146 Übersichtsarbeiten sowie 62 Studien und Berichte flossen in die Auswertung ein und wurden in drei Themenblöcken zusammengefasst: Potenzial für Verhaltensänderung, Nutzungsmöglichkeiten für Fachpersonen und Einfluss Sozialer Medien auf Ernährung und Gesundheit. Das Potenzial in allen Bereichen ist vielversprechend, wird aber wenig genutzt.

Diskussion: Fachorganisationen müssen aktiver werden. Hierfür wurden Handlungsempfehlungen in acht Punkten ausgearbeitet.

1 Einführung

Die Digitalisierung durchdringt viele unserer Lebensbereiche, darunter auch den Essalltag und die Kommunikation über Ernährungsthemen. Das Potenzial zu besserer Gesundheit und mehr Lebensqualität beizutragen, ist groß. Die Digitalisierung sorgt bereits für positive Veränderungen wie eine stärkere Vernetzung, mehr Transparenz und Partizipation [2]. Sie hat aber auch negative Auswirkungen wie eine schwer zu bewältigende Informationsflut [3; 4], eine Fragmentierung von Öffentlichkeit [5; 6] oder Datenschutzprobleme [7]. Soziale Medien als Teil der digitalen Öffentlichkeit sind in der Mitte der Gesellschaft angekommen: 36% der Deutschen nutzen Soziale Medien mindestens einmal wöchentlich (bis zu 70% der 14-29-Jährigen) [8; 9]. Essen, Kochen und Ernährung sind dabei die Themen, zu denen Social-Media-Nutzende am häufigsten Informationen suchen [10]. Damit üben Soziale Medien einen Einfluss auf die Ernährungskommunikation und potenziell auch auf das Ernährungs- und Gesundheitsverhalten aus.

2. Ziel

Im Auftrag des Max Rubner-Instituts wurde eine Übersichtsarbeit erstellt mit dem Ziel, einen Überblick über das komplexe Thema digitale Ernährungskommunikation, insbesondere Soziale Medien, zu gewinnen und Ansätze zu recherchieren, wie Soziale Medien für die Förderung einer gesunden und nachhaltigen Ernährung genutzt werden können.

3. Methodik

Eine umfassende systematische Recherche zu Sozialen Medien und Ernährung wurde in fünf Datenbanken entsprechend dem Cochrane-Standard [11] durchgeführt. Um die große Menge an Studien einzuschränken, wurde die Suche zunächst auf systematische Reviews und Meta-Analysen beschränkt. Gegebenenfalls wurden zusätzlich Studien recherchiert, falls einzelne Themen durch Übersichtsarbeiten nicht ausreichend abgedeckt wurden.

4. Ergebnisse

146 Übersichtsarbeiten und zusätzlich 62 Studien und Berichte flossen in die Auswertung ein und wurden gruppiert in drei Themenblöcken zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung des Auswahlprozesses ist im Flussdiagramm, Abb. 1 dargestellt.

4.1 Wie kann das Ernährungsverhalten aktiv durch Soziale Medien verändert werden?

68% (n=25) der Reviews bezeichneten das Potenzial, Ernährungs- und Gesundheitsverhalten mit Hilfe Sozialer Medien zu verändern als vielversprechend. 13% (n=5) bewerteten die Evidenz als überzeugend, 19% (n=7) als ungenügend. Zusammenfassend gibt es vielversprechende Ansätze, Verhaltensänderung zu vermitteln oder zu verstärken. Dazu zählen bspw. Challenges, orts- und zeitunabhängige Vermittlung sozialer Unterstützung oder die Verbindung von Spielelementen mit Verhaltenszielen (Gamification). Weitere Forschung ist hier notwendig. Ernährungsinstitutionen können das innovative Potenzial Sozialer Medien nutzen, um nicht nur individuelles Verhalten zu ändern, sondern kollektiv eine nachhaltigere und gesündere Ernährungsumgebung zu gestalten (z. B. durch Food Kooperativen oder partizipative Ernährungspolitik in Kommunen).

4.2 Wie können Soziale Medien außerdem von Fachorganisationen genutzt werden?

Die Nutzungsmöglichkeiten sind vielfältig, werden aber derzeit noch nicht hinreichend ausgeschöpft. Dazu zählen, Krankheitsausbrüche zu registrieren, Risikogruppen zu erkennen und gezielt anzusprechen, Ernährungsgewohnheiten zu charakterisieren, Meinungsbilder abzubilden u. v. m. Auch in der Forschung (z.B. Citizen Science) können Soziale Medien genutzt werden. Eine stärkere Präsenz fachlicher Akteure ist angesichts der großen Menge an Falschinformationen (in einigen Studien ein Anteil von bis zu 80%) dringend geboten.

4.3 Wie wirkt sich der Konsum Sozialer Medien auf Ernährung und Gesundheit aus?

Exzessive Nutzung Sozialer Medien steht mit einer Reihe negativer Gesundheitsaspekte im Zusammenhang wie Angst, Depression oder schlechter Schlaf. Auch die Gefahr, eine suchthähnliche Verhaltensstörung (Social Media Disorder) zu entwickeln, wird diskutiert. Zahlreiche Studien belegen einen Zusammenhang zwischen Sozialen Medien und einem negativen Körperbild bzw. das Risiko eine Essstörung zu entwickeln. Die genaue Vermittlung dieser Zusam-

menhänge ist jedoch komplex und wurde bisher wenig erforscht. Es wurden aber auch zahlreiche positive Effekte gefunden: von dem Erfahrungswissen anderer profitieren, Gesundheitsinformationen von Fachpersonen erhalten, emotionale Unterstützung erfahren und Gemeinschaften bilden, Offline-Netzwerke ausbauen und stärken, sich selbst darstellen können, Identitätsbildung, sowie Beziehungen schaffen und aufrechterhalten.

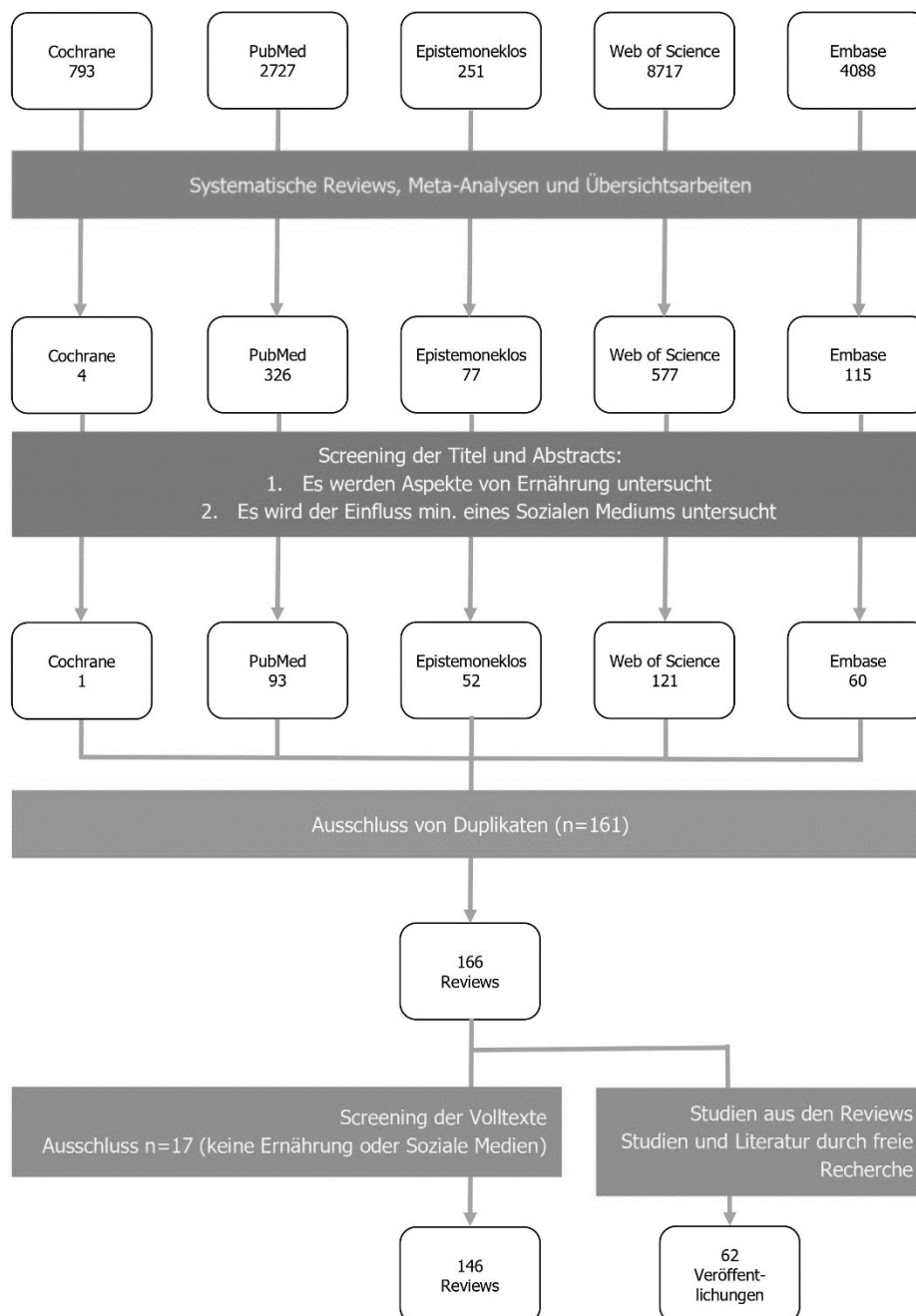


Abbildung 1: Flussdiagramm der Studienrecherche

5. Diskussion und Handlungsempfehlungen

Ernährungsorganisationen müssen den Diskurs in Sozialen Medien aktiv mitgestalten und Digitalität als neue Realität annehmen, denn das wird die Zukunft in einem wesentlichen Ausmaß

mitbestimmen. Dies sollte auf verschiedenen Ebenen angegangen werden. Zu diesem Zweck wurden Handlungsempfehlungen in acht Punkten ausgearbeitet:

1. Moderierte und fachlich begleitete digitale Orte für soziale Unterstützung schaffen.
2. Menschen befähigen, mit Hilfe digitaler Kommunikationswerkzeuge nachhaltige und gesundheitsförderliche Ernährungsumgebungen zu schaffen.
3. Gegen Falschinformation in Sozialen Medien vorgehen und fachliche Exzellenz auszeichnen
4. Maturity Models oder Roadmaps für digitale Kommunikation in Institutionen entwickeln
5. Medienimmunsierungstrainings für Jugendliche und junge Erwachsene ausbauen
6. Ein kontinuierliches Content-Screening Sozialer Medien etablieren
7. Forschung weiter ausbauen, insbesondere was die Langfristigkeit von Studien, die Vermittlungsmechanismen und erfolgreiche Faktoren angeht
8. Eine nationale Social-Media-Strategie: Alle relevanten Akteure, insbesondere Fachpersonen einbeziehen

Datenverfügbarkeit

Die Studie mit allen verwendeten Daten steht unter folgendem Link zum kostenlosen Download bereit: <https://zemdq.de/zemdq-studies/>.

Interessenskonflikte

Es liegt kein Interessenkonflikt vor.

Literaturverzeichnis

1. Endres, Eva-Maria (2021): Soziale Medien in der Ernährungskommunikation. Relevanz und Potenziale. München und Eichstätt: zem::dg-studies, 1. Online verfügbar unter www.zemdq.de/zemdq-studies, zuletzt geprüft am 14.9.2022
2. Endres, Eva-Maria (2018): Ernährung in Sozialen Medien. Inszenierung, Demokratisierung, Trivialisierung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
3. Altendorfer, Laura-Maria (2017): Neue Formate der digitalen Gesundheitskommunikation. Baden-Baden: Nomos.
4. Kielholz, Anette (2008): Online-Kommunikation. Die Psychologie der neuen Medien für die Berufspraxis. Heidelberg: Springer Medizin.
5. Filipović, Alexander (2013): Die Enge der weiten Medienwelt. Bedrohen Algorithmen die Freiheit öffentlicher Kommunikation? In: *Communicatio Socialis* 46 (2), S. 192–208.
6. Stapf, Ingrid; Prinzing, Marlis; Filipović, Alexander (2017): Einleitung: Der Journalismus und die Qualität des gesellschaftlichen Diskurses. In: Ingrid Stapf, Marlis Prinzing und Alexander Filipović (Hg.): *Gesellschaft ohne Diskurs? Digitaler Wandel und Journalismus aus medienthischer Perspektive*. Baden-Baden: Nomos, S. 11–14.
7. Deutscher Ethikrat (2018): Big Data und Gesundheit. Datensouveränität als informationelle Freiheitsgestaltung : Stellungnahme. [Stand:] 30. November 2017. Berlin: Deutscher Ethikrat.
8. ARD-ZDF-Onlinestudie (Hg.) (2020): ARD-ZDF-Onlinestudie 2020. Online verfügbar unter <https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/>, zuletzt geprüft am 30.12.2020.
9. Initiative D21 (Hg.) (2020): Digitales Leben. Geschlechterunterschiede und Rollenbilder im Privaten, Beruflichen und im Zwischenmenschlichen. Online verfügbar unter https://initiated21.de/app/uploads/2020/10/studie_digitales_leben.pdf, zuletzt geprüft am 10.02.2021.
10. BVDW (2017): Bedeutung von Influencer Marketing in Deutschland 2017. Eine Studie im Auftrag von BVDW und INFLURY. Online verfügbar unter

https://www.bvdw.org/fileadmin/bvdw/upload/studien/171128_IM-Studie_final-draft-bvdw_low.pdf, zuletzt aktualisiert am 07.2017, zuletzt geprüft am 14.06.2021.

11. Cochrane Deutschland Stiftung; Institut für Evidenz in der Medizin; Institut für Medizinische Biometrie und Statistik Freiburg; Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften-Institut für Medizinisches Wissensmanagement; Ärztliches Zentrum für Qualität in der Medizin (2020): Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien. 2.1. Aufl. Cochrane Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.cochrane.de/de/literaturrecherche>, zuletzt geprüft am 07.01.2021.

Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien von Geschwistern von Kindern / Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen

Charlotte Sievert^{1*}, Leonard K. Kulisch², Christa Engelhardt-Lohrke², Kerstin Kowalewski³, Gabriele Helga Franke¹ und Melanie Jagla-Franke^{1,4}

¹ Hochschule Magdeburg-Stendal,

² Elternhilfe für krebskranke Kinder Leipzig e. V.,

³ Institut für Sozialmedizin in der Pädiatrie Augsburg,

⁴ Hochschule Neubrandenburg

* Korrespondenz: Charlotte.Sievert@stud.h2.de

Kurzfassung. In der besonderen Situation von Geschwistern von chronisch kranken Kindern oder Kindern mit Behinderung sollen Präventionskurse negative Auswirkungen in Form von zusätzlich auftretenden Belastungen vermindern und Lebensqualität erhalten. Für deren Weiterentwicklung sollten Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien als mögliche Prädiktoren zur Vorhersage der Lebensqualität untersucht werden. Einen besonderen Einfluss wiesen die Faktoren Selbstwertschätzung und problemlösende Bewältigungsstrategien auf. Einzelnen betrachtet ermöglichen Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien eine signifikante Vorhersage der Lebensqualität. Folglich sollte die Stärkung von Ressourcen und förderlichen Stressverarbeitungsstrategien in der Präventionsarbeit weiterhin eine bedeutsame Rolle spielen.

1. Einleitung

Chronische Erkrankungen und Behinderungen im Kindes- und Jugendalter beeinflussen Betroffene genauso wie die nahen Angehörigen. So ist die Entwicklung von Geschwisterkindern durch zusätzlich auftretende Belastungen geprägt [1], die sich durch die Übernahme von Verantwortung im Haushalt oder gegenüber dem erkrankten Kind [2], eine Ungleichbehandlung der Kinder von Seiten der Eltern [3] oder auch Einschränkungen in den eigenen Freizeitaktivitäten [4] äußern kann. Bisherige Untersuchungen konnten in der Gruppe der Geschwister das Auftreten von psychosomatischen Beschwerden und weniger positive Selbstattribute sowie internalisierende Probleme, wie das Zurückstellen eigener Bedürfnisse, um selber keine zusätzliche Belastung gegenüber anderen darzustellen, feststellen [2; 5]. Die eingeschlossenen Studien der Metaanalyse von Vermaes und Kollegen [2] bescheinigten dabei besagter Zielgruppe ein erhöhtes Risiko, eine psychische Störung zu entwickeln. In den letzten Jahren wurden speziell für diese Zielgruppe Präventionsangebote entwickelt, um die Geschwister in ihrer besonderen Lebenssituation zu unterstützen, Ressourcen zu stärken und Bewältigungsstrategien zu lernen. Für die weitere Verbreitung und Weiterentwicklung der Präventionskonzepte ist eine kontinuierliche Untersuchung relevanter Variablen von Bedeutung. In diesem Kontext sollte die vorliegende Studie gesundheitsförderliche Faktoren und ihren Einfluss auf die Lebensqualität untersuchen. Interessenskonflikte liegen nicht vor.

2. Fragestellung und Methodik

Als Ziel der Studie galt es, gesundheitsförderliche Faktoren im Sinne von Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien und deren Einfluss als mögliche Prädiktorvariablen zur Vorhersage der Lebensqualität zu untersuchen. Im Rahmen des Projektes „Starke Geschwister!“ wurden zwischen Februar 2020 und April 2022 zwei unterschiedliche Präventionsangebote in vielen deutschlandweit verteilten Einrichtungen evaluiert. Dabei setzt der Kurs „Geschwister-TREFF ‚Jetzt bin ich mal dran!‘“ [6] schwerpunktmäßig auf die Stärkung der Resilienz, also der psychischen Widerstandskraft, durch die Förderung von Ressourcen und die Erarbeitung von sozial-emotionalen Lebenskompetenzen. Das Präventionsangebot „Supporting Siblings“ [7] dagegen konzentriert sich auf die Verbesserung von Stressbewältigungs- und Sozialkompetenzen und auf die Stärkung des Selbstwertgefühls. Zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde das KIDScreen-10-Index von der KIDSCREEN Group Europe [8] gewählt. Mit dem FRKJ 8-16 (Fragebogen zu Ressourcen im Kindes- und Jugendalter) von Lohaus und Nussbeck [9] wurden personale sowie umgebungsbezogene Ressourcen anhand der Skalen „Empathie und Perspektivenübernahme“, „Selbstwirksamkeit“, „Selbstwertschätzung“, „Selbstkontrolle“, „elterliche soziale und emotionale Unterstützung“, „Integration in die Peergruppe“ und „schulische Integration“ ermittelt. Anhand des SVF-KJ (Stressverarbeitungsfragebogen Kinder und Jugendliche) von Hampel und Petermann [10] wurden für soziale Situationen die Sekundärtests „negative Stressverarbeitung“, „problemlösende Bewältigung“ und „emotionsregulierende Bewältigung“ betrachtet, von denen die beiden letzteren der positiven Stressverarbeitung zuzuordnen sind.

3. Ergebnisse

3.1 Stichprobenbeschreibung

Von insgesamt 119 befragten Geschwisterkindern konnten die Daten von 107 Personen in die Berechnungen einbezogen werden. Der Altersdurchschnitt der Stichprobe lag bei 12 Jahren (± 2); 67% der ProbandInnen waren weiblich. Im Rahmen der Evaluationsstudie nahmen 66 Geschwister (75%) an einem Präventionsangebot teil. 22 Kinder und Jugendliche (25%) wurden von den in die Studie eingeschlossenen Einrichtungen betreut, erhielten jedoch nicht das Angebot bzw. eine Kursdurchführung war aufgrund der Kontaktbeschränkungen in den letzten Jahren nicht möglich. In 83 Fällen äußerten sich die Eltern der Geschwister zur Inanspruchnahme psychologischer Hilfe. Dabei zeigte sich, dass in 29 Fällen (34.9%) psychologische Hilfe von den gesunden Geschwistern aufgesucht wurde.

3.2 Deskriptive Statistik zur Ausgangssituation

Für die Interpretation der einzelnen Angaben wurden T-Werte und Stanine-Werte herangezogen, die die mithilfe der Normbereiche den Bereich der Werte festlegen, die als durchschnittlich zu bewerten sind (Tabelle 1). Bei Betrachtung der Ausgangssituation zeigten sich hinsichtlich des Mittelwertes bei keinem Konstrukt Auffälligkeiten. Unter Einbezug der Standardabweichung jedoch gingen einzelne Angaben über den durchschnittlichen Bereich hinaus. So ist die gesundheitsbezogene Lebensqualität aller befragten Geschwister als unterdurchschnittlich bis durchschnittlich zu werten. Beim FRKJ 8-16 zeigte sich bei Hinzunahme der Standardabweichung eine unterdurchschnittlich bis durchschnittliche Ausprägung der Ressourcen auf den Skalen „Selbstwirksamkeit“, „Selbstkontrolle“, „Integration in die Peergruppe“ und „schulische Integration“. Die drei Sekundärtests des SVF-KJ wiesen alle drei durchschnittlich bis überdurchschnittliche Werte auf. Die hohen Werte der emotionsregulierenden Bewältigung und der problemlösenden Bewältigung sind als positiv zu betrachten; die hohe Ausprägung der negativen Stressverarbeitung dagegen nicht.

Tabelle 1: deskriptive Statistik zum Zeitpunkt der Prä-Messung

Verfahren	Skala	M (SD) N = 107	Normbereich
KIDScreen	Lebensqualität globaler Wert	47.58 (12.08)	T-Werte 40-60
FRKJ 8-16	Empathie und Perspektivenübernahme	4.76 (1.95)	Stanine-Werte 3-7
	Selbstwirksamkeit	4.29 (1.99)	
	Selbstwertschätzung	5.09 (2.06)	
	Selbstkontrolle	4.21 (1.7)	
	Elterliche emotionale und soziale Unterstützung	4.56 (1.62)	
	Integration in die Peergruppe	3.78 (1.89)	
	Schulische Integration	4.29 (2.11)	
SVF-KJ	Emotionsregulierende Bewältigung	52.85 (9.6)	T-Werte 40-60
	Problemlösende Bewältigung	52.45 (9.92)	
	Negative Stressverarbeitung	54.23 (10.06)	

3.3 Ergebnisse der Regressionen

Zur Prüfung der Vorhersagekraft der Ressourcen und Stressverarbeitungsstrategien auf die Lebensqualität wurden verfahrensspezifisch mit den einzelnen Skalen des FRKJ 8-16 bzw. mit den Sekundärtests des SVF-KJ multiple lineare Regressionen berechnet. Die Modellanpassung der Ressourcen wies ein korrigiertes R^2 von .263 auf, nach welchem von einem guten Modell mit hoher Varianzaufklärung auszugehen ist. Mit $F(7,75)=5.18$, $p < .001$ sagen die Prädiktoren das Ausmaß an wahrgenommener gesundheitsbezogener Lebensqualität signifikant voraus. Bei Betrachtung der einzelnen Skalen wurde einzig die Skala Selbstwertschätzung mit $\beta=.428$, $p=.001$ signifikant. So ist davon auszugehen, dass hier ein linearer positiver Zusammenhang zwischen der Selbstwertschätzung und Lebensqualität besteht.

Die Regression zu den Stressverarbeitungsstrategien ergab ein korrigiertes $R^2=.136$, sodass dieses Modell nur eine moderate Varianzaufklärung aufweist. Dennoch können die Sekundärtests mit $F(3,77)=5.213$, $p=.002$ die Ausprägung der Lebensqualität signifikant vorhersagen. Der Sekundärtest der problemlösenden Bewältigung wurde signifikant ($\beta=.342$, $p=.005$) und hat damit einen bedeutsamen Einfluss auf die Lebensqualität. Zusammenfassend ist die Ausprägung der Lebensqualität umso höher, je höher die Selbstwertschätzung und das Ausmaß an problemlösenden Bewältigungsstrategien ist.

4. Diskussion

Basierend auf der Tatsache, dass Geschwister von Kindern und Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen oder Behinderungen zusätzliche Belastungen erfahren [1], soll im Rahmen von Präventionsangeboten gezielt an relevanten Faktoren zur Verbesserung der Lebensqualität gearbeitet werden. Für die Weiterentwicklung der Kurse und das langfristige Ziel, Geschwister in ganz Deutschland flächendeckend versorgen zu können, sind aussagekräftige Ergebnisse

zu einflussstarken Variablen von großer Bedeutung. So sind die hier beobachteten Prädiktorvariablen wie Selbstwertschätzung und problemlösende Bewältigungsstrategien ausschlaggebend. Morgenstern [11] konnte das soziale Umfeld als Prädiktor für das Ausmaß an Verhaltensproblemen beobachten, weshalb die Durchführung der Kurse als Gruppenangebote als Austauschplattform, für gegenseitiges Lernen und für die emotionale Unterstützung besonders wichtig sind. Trotz der geringen Stichprobe der vorliegenden Untersuchung bieten die Ergebnisse einen guten Anhaltspunkt für daran anschließende Forschung.

Datenverfügbarkeit

Die Erhebung der Rohwert-Daten dieser Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Hochschule Magdeburg-Stendal genehmigt und erfolgte durch Fragebögen. Die Daten sind auf einer externen Festplatte hinterlegt und werden durch SPSS verarbeitet. Sie sind nicht öffentlich zugänglich, können jedoch bei der Autorin angefragt werden.

Interessenskonflikte

Es bestehen keine Interessenskonflikte.

Literaturverzeichnis

1. Tröster, Heinrich (1999): „Sind Geschwister behinderter oder chronisch kranker Kinder in ihrer Entwicklung gefährdet? Ein Überblick über den Stand der Forschung.“ *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie* 28: 101–107.
2. Vermaes, Ignace et al. (2012): “Psychological functioning of siblings in families of children with chronic health conditions: A meta-analysis.” *Journal of Pediatric Psychology* 37: 166–84.
3. Van Schoors, Marieke et al. (2018): “Siblings’ experiences of everyday life in a family where one child is diagnosed with blood cancer: A qualitative study”. *Journal of Pediatric Oncology Nursing*.
4. Achilles, Ilse (2018): ...und um mich kümmert sich keiner! Die Situation der Geschwister behinderter und chronisch kranker Kinder. 6. Auflage). München: Reinhardt.
5. Sambuco, Melissa et al. (2011): Predictors of long-term sibling behavioral outcome and self-esteem following pediatric traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation* 27/6, 413–423.
6. Kowalewski, Kerstin et al. (2017): *Praxishandbuch SuSi - Supporting Siblings*. 2. Auflage. Augsburg: Bundesverband Bunter Kreis e. V.
7. Engelhardt-Lohrke, Christa et al. (2019): *GeschwisterTREFF - Jetzt bin ich mal dran. Praxishandbuch zur Förderung der Resilienz von Geschwistern chronisch kranker, schwerkranker und/ oder behinderter Kinder*. 2. Auflage. Augsburg: Bundesverband Bunter Kreis e.V.
8. KIDSCREEN Group Europe (2006): *The KIDSCREEN Questionnaires – Quality of life questionnaires for children and adolescents. Handbook*. Lengerich: Pabst.
9. Lohaus, Arnold / Nussbeck, Fridtjof W. (2016): *FRKJ 8-16. Fragebogen zu Ressourcen im Kindes- und Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe.
10. Hampel, Petra / Petermann, Franz (2016): *Stressverarbeitungsfragebogen nach Janke und Erdmann angepasst für Kinder und Jugendliche*. 2. Überarbeitete und neu normierte Auflage. Göttingen: Hogrefe.
11. Morgenstern, Lydia R. (2017): *Psychosoziale Situation von Geschwistern chronisch schwer körperlich erkrankter Kinder*. Unveröffentlicht. Europa-Universität Flensburg.

Belastungen und Ressourcen von Pflegekräften in stationären Einrichtungen

Marie Matys^{1*}, Melanie Jagla-Franke^{1,2} und Gabriele Helga Franke¹

¹ HS MD-SDL, FB Angewandte Humanwissenschaften, Rehabilitationspsychologie;

² HS Neubrandenburg, FB Gesundheit, Pflege, Management

* Korrespondenz Marie.Matys@stud.h2.de

Kurzfassung. Die Studie thematisiert psychische Belastungen und Ressourcen von Pflegekräften im Allgemeinen und im berufsbezogenen Kontext. Im Mai 2021 wurden 103 Pflegekräfte aus stationären Einrichtungen anhand der BSCL, des ERI und des BGW-Fragebogens befragt. 35% der Pflegekräfte zeigten psychische Belastungen und die Befragten wiesen weniger strukturelle und personelle Ressourcen als die ERI-Vergleichsstichprobe auf. Zwischen Auszubildenden und Ausgebildeten in verschiedenen Tätigkeitsbereichen der Pflege zeigten sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Arbeitsbelastungen und der Ressourcen. Die Studienergebnisse deuten einen Handlungsbedarf zur Förderung der psychischen Gesundheit an und weisen auf eine spezifischere Anpassung von Präventionsmaßnahmen hin.

1. Einleitung

Der Pflegenotstand in Deutschland führt bei vielen Pflegekräften zu hohen psychischen Belastungen. Studien belegen, dass die hohen Arbeitsanforderungen bei medizinischem Pflegepersonal mit einer höheren Belastung und psychischen Auswirkungen wie Burnout einhergehen [1; 2; 3]. Weitere Ergebnisse weisen darauf hin, dass Ressourcen positiv auf die Gesundheit wirken und eine Pufferfunktion gegenüber Arbeitsbelastungen haben [1; 4; 5]. Studien, die sich zu gleichen Teilen mit Ressourcen und Arbeitsanforderungen auseinandersetzen, liegen aktuell nicht vor. Diese Forschungslücke versucht die vorliegende Arbeit zu schließen. Ziel ist es, anhand soziodemografischer und arbeitsbezogener Variablen, Belastungen und Ressourcen im Allgemeinen und im berufsbezogenen Kontext zu untersuchen.

2. Methoden

Mit Hilfe einer anonymen Online-Umfrage wurden im Mai 2021 Pflegekräfte verschiedener stationärer Einrichtungen untersucht. Es wurde der Fragebogen der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) für Mitarbeiterbefragungen in der stationären Krankenpflege genutzt, um berufsbedingte psychische Belastungen mittels 22 Items zu erfassen [6]. Die Items sind den Dimensionen Quantitative Arbeitsbelastung, Qualitative Arbeitsbelastung, Arbeitsorganisation, Soziales Arbeitsumfeld und Außerberufliche Situation zuzuordnen. Trotz Einschränkungen hinsichtlich Reliabilität und Validität, erwies sich das Testverfahren in bisherigen Studien als hilfreich [6; 7]. Weiterhin wurden die Brief-Symptom-Checklist (BSCL) zur Erfassung der psychischen Belastung [8] und das Essener Ressourcen Inventar (ERI) zur Erfassung von personalen, sozialen und strukturellen Ressourcen [9] verwendet. Die 53 Items umfassende BSCL stellt die Kurzform zur Symptom-Checklist-90-Standard [10] dar, umfasst die Skalen Aggressivität/Feindseligkeit, Ängstlichkeit, Depressivität, Paranoides Denken, Phobische Angst, Psychotizismus, Somatisierungsstörung, Unsicherheit im Sozialen Kontakt und Zwanghaftigkeit und erfüllt die Hauptgütekriterien. Das ERI bildet mit Hilfe der 38

Items die drei genannten Hauptskalen; neun Subskalen bilden die Personalen Ressourcen ab. Die Haupt- und Subskalen erreichen gute psychometrische Eigenschaften. Die statistische Prüfung der Gruppenunterschiede erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalysen und t-Tests.

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden die Daten von 103 ProbandInnen (von insgesamt 138) genutzt; 50% der Teilnehmenden waren Gesundheits- und KrankenpflegerInnen, wobei sich die restlichen Befragten zu fast gleichen Teilen den beiden Gruppen der Gesundheits- und KinderkrankenpflegerInnen und Auszubildenden zuordneten. Die Gesamtstichprobe war zu 81% weiblich und 71% der Teilnehmenden waren unter 35 Jahre alt. Der Großteil der Befragten kam aus Sachsen-Anhalt.

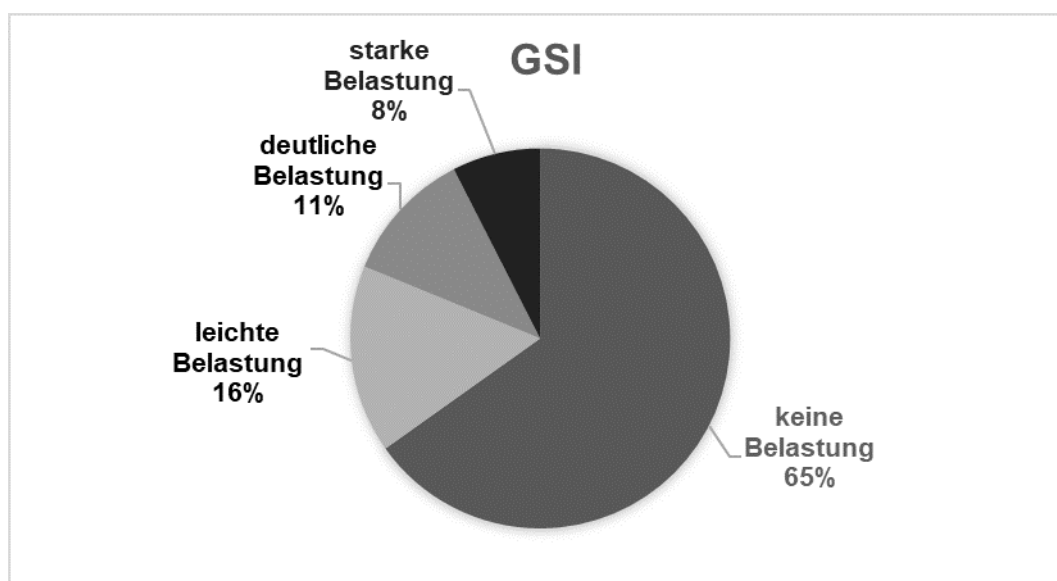


Abbildung 1: Übersicht Global Severity Index (GSI) der BSCL in Belastungsstufen (nach [11])

35% der Pflegekräfte wiesen laut BSCL zumindest eine leichte Belastung [11] auf und zeigten sich psychisch belastet (siehe Abbildung 1). Dies galt besonders für die Skalen Aggressivität/ Feindseligkeit ($T > 60$: 46.2%) und Phobische Angst ($T > 60$: 42.5%), in denen sich nahezu jede zweite Pflegekraft mit dem T-Wert ($MD=50$, $SD=10$) im auffälligen Bereich befand [8]. Hinsichtlich der Ressourcen wiesen die Teilnehmenden im Vergleich zur ERI-Vergleichsstichprobe (BlutspenderInnen; [9]) weniger strukturelle ($t(159)=-2.58$, $p=.011$, $d=-0.42$) und personelle ($t(159)=-2.895$, $p=.004$, $d=-0.47$) Ressourcen auf. Nahezu 58% des Pflegepersonals gaben an, immer auf soziale Ressourcen zurückgreifen zu können, wonach sich diese als wichtigste Ressourcen zeigte. Ein Vergleich zwischen den Pflegekräften dieser Stichprobe und den BGW-Vergleichsdaten zeigte erwartungsgemäß keine Differenzen hinsichtlich der Arbeitsbelastung.

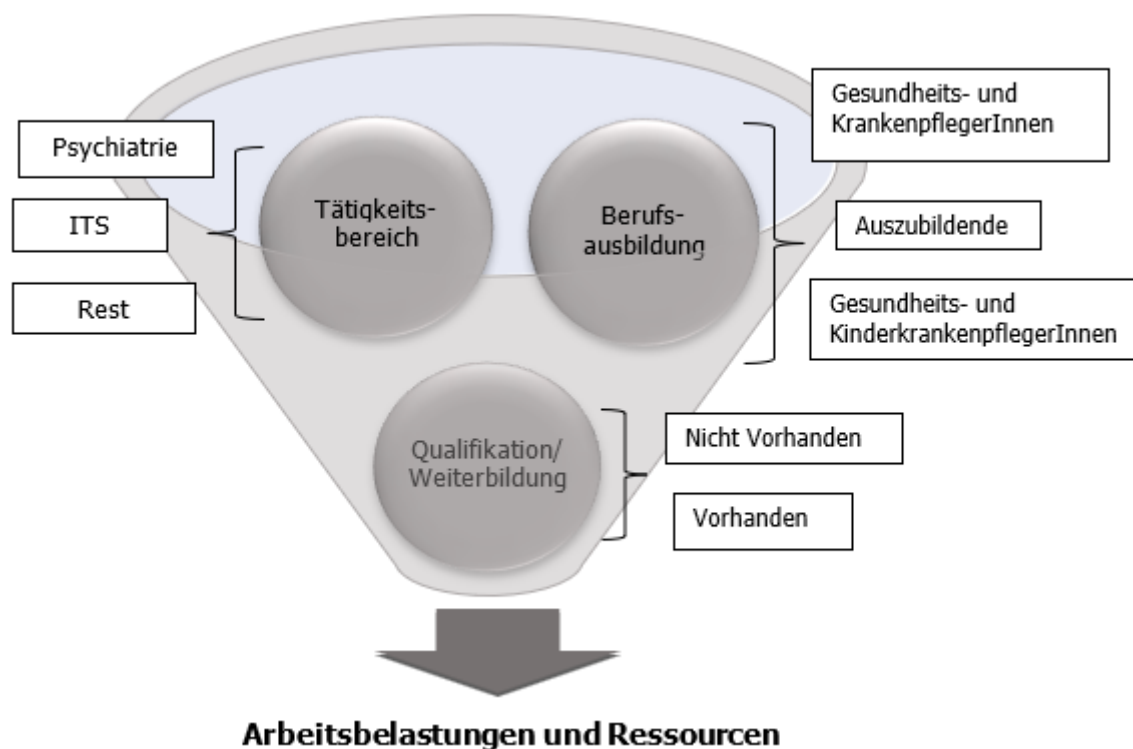


Abbildung 2: Signifikante Unterschiede von Arbeitsbelastungen und Ressourcen hinsichtlich arbeitsbezogener Variablen

Innerhalb der vorliegenden Stichprobe ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede von Arbeitsbelastungen und Ressourcen bezüglich der arbeitsbezogenen Variablen Berufsausbildung, Tätigkeitsbereich und Weiterbildung (siehe Abbildung 2). Gesundheits- und KinderkrankenpflegerInnen beschrieben im BWG-Fragebogen geringere qualitative Arbeitsbelastungen als Gesundheits- und KrankenpflegerInnen ($F(110)=7.444$, $p=.001$, $\eta^2=0.12$) und im ERI höhere strukturelle Ressourcen als Auszubildende ($F(98)=4.082$, $p=.02$, $\eta^2=0.08$). Im Gegensatz dazu zeigten Auszubildende geringere Belastungen bezüglich der Arbeitsorganisation ($F(98)=6.521$, $p=.002$, $\eta^2=0.11$). Psychiatrische Pflegekräfte wiesen geringere quantitative Arbeitsbelastungen als intensivmedizinisches Pflegepersonal oder andere somatische Fachkräfte auf ($F(110)=14.442$, $p\leq.001$, $\eta^2=0.21$). Dagegen gaben somatische Pflegekräfte geringere arbeitsorganisatorische ($F(110)=10.758$, $p\leq.001$, $\eta^2=0.17$) und außerberufliche Belastungen ($F(110)=3.097$, $p=.049$, $\eta^2=0.05$) sowie höhere Ressourcen ($F(98)=4.980$, $p=.009$, $\eta^2=0.10$) an. Zusätzlich zeigte das Vorhandensein einer Weiterbildung höhere arbeitsorganisatorische ($t(97)=-2.02$, $p=.046$, $d=0.38$) und außerberufliche Belastungen ($t(97)=-1.993$, $p=.049$, $d=0.36$), wies aber insgesamt auch auf ausgeprägtere Ressourcen ($t(97)=-2.396$, $p=.018$, $d=-0.49$) hin. Weibliches Pflegepersonal gab höhere quantitative Arbeitsbelastungen an ($t(97)=2.66$, $p=.009$, $d=0.64$).

4. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass angesichts der hohen Beanspruchung und arbeitsbezogenen Belastungen der Pflegenden ein dringender Handlungsbedarf zur Förderung der psychischen Gesundheit besteht. Gesundheitsmaßnahmen zur Stärkung der Ressourcen und zur Reduktion der wahrgenommenen Belastungen sind zu fokussieren [3; 5] und an die spezifischen Bedarfe des Pflegepersonals anzupassen. Insbesondere die hohe Inanspruchnahme von sozialen Ressourcen deutet auf einen hohen Bedarf der Pflegekräfte an sozialer Unterstützung hin. Tendenziell zeigte sich, dass die Bedürfnisse des Pflegeteams anhand von Berufsausbildung, Tätigkeitsbereich, Qualifikationsgrad oder Geschlecht abgeleitet

und so effektivere Gesundheitsmaßnahmen durch den Arbeitsgeber gewährleistet werden könnten. Es besteht hier ein weiterer Forschungsbedarf.

Datenverfügbarkeit

Die Rohwert-Daten für diese Arbeit wurden mit Zustimmung einer Ethikkommission durch Fragebögen erhoben und auf einer externen Festplatte zur Verarbeitung durch SPSS gespeichert und sind daher nicht öffentlich zugänglich. Weiter verarbeitete Daten können bei der Autorin angefragt werden.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass es keine Interessenkonflikte gibt.

Literaturverzeichnis

1. Diehl, Elisabeth et al (2021): „The relationship between workload and burnout among nurses: The buffering role of personal, social and organisational resources“. PLoS One 16/1: e0245798. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245798>.
2. Hu, Qiao et al. (2017): „How are changes in exposure to job demands and job resources related to burnout and engagement? A longitudinal study among Chinese nurses and police officers“. Stress and health: Journal of the International Society for the Investigation of Stress 33/5: 631-644. doi: <https://doi.org/10.1002/smi.2750>.
3. Van der Heijden, Beatrice et al. (2019): „Impact of job demands and resources on nurses' burnout and occupational turnover intention towards an age-moderated mediation model for the nursing profession“. International Journal of Environmental Research and Public Health 16/11. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph16112011>.
4. Pineau Stam, Lisa M. et al. (2015): „The influence of personal and workplace resources on new graduate nurses' job satisfaction“. Journal of Nursing Management 23/2: 190-199. doi: <https://doi.org/10.1111/jonm.12113>.
5. Van den Oetelaar, Wilhelmina F. J. M. et al. (2021): „Exploring the relation between modelled and perceived workload of nurses and related job demands, job resources and personal resources; a longitudinal study“. PLoS One 16/2: e0246658. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246658>.
6. Nickel, Stefan/ Kersten, Maren (2014): Psychometrische Prüfung des Fragebogens zur psychischen Belastung in der stationären Krankenpflege („miab“). BGWforschung. <https://www.bgw-online.de/DE/Arbeitssicherheit-Gesundheitsschutz/Grundlagen-Forschung/GPR-Medientypen/Wissenschaft-Forschung/Pruefung-Fragebogen-psychische-Belastung.html> [29.04.2022].
7. Frey, D. et al. (2018): „Einflussfaktoren auf chronische Rückenschmerzen bei Pflegekräften in der Altenpflege in Rheinland-Pfalz“. Das Gesundheitswesen 80/02: 172-175. Thieme Verlag KG. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0043-104693>.
8. Franke, Gabriele H. (2017): BSCL - Brief-Symptom-Checklist. Göttingen: Hogrefe.
9. Tagay, Sefik et al. (2014): „Das Essener-Ressourcen-Inventar (ERI) - Entwicklung und Validierung“. Trauma – Zeitschrift für Psychotraumatologie und ihre Anwendungen 12/1: 72-87.
10. Franke, Gabriele H. (2014): SCL-90®-S – Symptom-Checklist-90®-Standard. Göttingen: Hogrefe.
11. Franke, Gabriele H. (2020): „Zur genaueren Bestimmung von psychischer Komorbidität durch die SCL-90-S“. In: Deutsche Rentenversicherung Bund (eds.): DRV-Schriften Band 118, Prävention und Rehabilitation – Der Betrieb als Partner: 44-46. Berlin: DRV.

Ergebnisqualität in der ambulanten Verhaltenstherapie

Der Einsatz von Verlaufsdiagnostik zur Operationalisierung von Behandlungsergebnissen

Denise Reichardt^{1*}, Gabriele Helga Franke¹, Stefanie Regine Schau² und Melanie Jagla-Franke^{1,3}

¹ HS MD-SDL, FB Angewandte Humanwissenschaften, Rehabilitationspsychologie

² Psychotherapeutische Praxen Gardelegen & Stendal

³ HS Neubrandenburg, FB Gesundheit, Pflege, Management

* Korrespondenz: denise.reichardt@stud.h2.de

Kurzfassung. In der ambulanten Psychotherapie ist das interne Qualitätsmanagement verpflichtend. Dabei ist die Ergebnisqualität zentral. Offen ist die Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse von Wirksamkeitsstudien auf das ambulante Setting und wie sich die Ergebnisqualität erheben lässt. Ziel der Untersuchung ist die Überprüfung von Behandlungsergebnissen ambulanter Verhaltenstherapie (Prä-Post-Design) mithilfe vorliegender Daten der SCL-90®-S und des PSSI (N=518). Für die SCL-90®-S zeigte sich eine signifikante Symptomverbesserung ($p \leq .001$). Für das PSSI ließen sich keine klinisch relevanten Veränderungen abbilden. Die Untersuchung zeigt dennoch, dass die ambulante Verhaltenstherapie auch unter Alltagsbedingungen wirkt und sich die Ergebnisqualität mithilfe von Verlaufsdiagnostik erheben lässt.

1. Theorie

In der ambulanten Psychotherapie gilt seit 2004 die Verpflichtung zum internen Qualitätsmanagement [1]. Im Gesundheitswesen allgemein werden hierunter das Durchführen und Überprüfen von Maßnahmen, mit dem konkreten Ziel einer qualitativ hochwertigen Versorgung von Patient*innen, zusammengefasst. Im Detail werden sämtliche Handlungen, welche Organisation, Arbeit und Behandlung in der Praxis betreffen, definiert und kontinuierlich revidiert [2]. Die therapeutische Arbeit soll so an Versorgungsstandards angepasst und die Abläufe innerhalb der Praxis sollen strukturiert werden [3]. Das Qualitätsmanagement lässt sich in die Bereiche Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität unterteilen [4]. Unter Ergebnisqualität, als zentrale Messgröße, wird die Differenz zwischen Behandlungsziel und Behandlungsergebnis verstanden (Outcome/Wirksamkeit; ibd., [5]). Die Wirksamkeit der kognitiven Verhaltenstherapie lässt sich mit einer Vielzahl an Studien belegen [6]. Diese beziehen sich jedoch größtenteils auf das stationäre Setting oder wurden unter stark kontrollierten Bedingungen durchgeführt [7]. Die empirische Forschung bezüglich der ambulanten Psychotherapie ist bis dato nur unzulänglich vorhanden [8]. Offen ist die Frage, wie sich die Ergebnisse zur Wirksamkeit auf die ambulante Psychotherapiepraxis, in der die Therapie oftmals in eklektischer Form stattfindet [9], übertragen lassen und wie sich die Ergebnisqualität erheben lässt. Diagnostische Maßnahmen zur Sicherung des Therapieerfolges und der Entscheidungsprozesse sind in der allgemeinmedizinischen Versorgung üblich, in der ambulanten Psychotherapie hingegen weniger verbreitet, stellen jedoch ein geeignetes, nicht unerhebliches, Maß zur Messung der Ergebnisqualität dar [10]. So lassen sich bspw. abhängig vom Therapieziel (z.B. das Überwinden einer depressiven

Episode oder die Reduktion von psychischer Belastung) unterschiedliche Verfahren einsetzen, um den Schweregrad der Störung oder der Belastung zu Beginn der Therapie (Eingangsdagnostik) einzuschätzen, im Verlauf (Zwischenmessung) zu überprüfen, sowie am Ende der Therapie (Abschlussmessung) abschließend begutachten zu können.

Ziel dieser Untersuchung ist die Überprüfung von Behandlungsergebnissen ambulanter kognitiver Verhaltenstherapie unter Alltagsbedingungen durch den routinemäßigen Einsatz von Verlaufsdiagnostik.

2. Methode

Vorgehen

Im Rahmen eines Prä-Post-Vergleiches werden vorliegende Daten von Patient*innen einer ambulanten Psychotherapiepraxis (VT), die eine Behandlung zwischen Januar 2015 und September 2021 aufgenommen haben, sekundär analysiert. Es werden störungsübergreifende Symptome zu Beginn (t0) sowie Veränderungen zum Ende der Therapie (t1) bestimmt. Hierzu werden die allgemeine Symptombelastung mithilfe der Symptom-Check-List-90[®]-Standard (SCL-90[®]-S; [11]) sowie die Ausprägungen von Persönlichkeitsstilen mithilfe des Persönlichkeits-Stil-und-Störungs-Inventars (PSSI; [12]) ausgewertet. Mittels t-Tests bei verbundenen Stichproben werden Mittelwertsunterschiede zwischen den Messzeitpunkten bestimmt und auf Signifikanz geprüft. Für die SCL-90[®]-S werden die allgemeine Symptombelastung (GSI) sowie die neun Skalen untersucht. Bei der Ausprägung von Persönlichkeitsstilen wird überprüft, ob eine Annäherung der T-Werte an den Normbereich stattgefunden hat. Die Auswertung der Daten erfolgt mithilfe der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 27 [13].

Verfahren

Die Symptom-Checkliste Standard (SCL-90[®]-S; [11]) misst die subjektiv empfundene Belastung durch körperliche und psychische Symptome einer Person innerhalb der vergangenen sieben Tagen. Die Antwortmöglichkeiten erstrecken sich von 0 „überhaupt nicht“ bis 4 „sehr stark“. Die SCL-90[®]-S besteht aus neun Skalen und einer weiteren Kategorie von 7 Zusatzfragen, welche eine differenzierte Beurteilung der psychischen Belastung der Patient*innen ermöglichen. Die insgesamt 90 Items beschreiben die Bereiche Aggressivität/Feindseligkeit (AGGR), Ängstlichkeit (ANGS), Depressivität (DEPR), Paranoides Denken (PARA), Phobische Angst (PHOB), Psychotizismus (PSYC) Somatisierung (SOMA), Unsicherheit im Sozialkontakt (UNSI) sowie Zwanghaftigkeit (ZWAN). Drei globale Kennwerte geben Auskunft über das Antwortverhalten bei allen Items. Der Global Severity Index (GSI) misst die grundsätzliche psychische Belastung, der Positive Symptom Distress Index (PSDI) misst die Intensität der Antworten und der Positive Symptom Total (PST) gibt Auskunft über die Anzahl der Symptome, bei denen eine Belastung vorliegt. Entsprechend der erreichten T-Werte lässt sich eine Abstufung der psychischen Belastung in leicht erhöht (60-64), deutlich erhöht (65-69), stark erhöht (70-74) und sehr stark erhöht (75-80) vornehmen. Gemäß Faldefinition liegt ein psychisch auffälliger Fall vor, wenn: $T(\text{GSI}) \geq 63$ und/oder $T(2 \text{ Skalen}) \geq 63$.

Das Persönlichkeits-Stil und Störungs-Inventar (PSSI; [12]) ist ein Selbstbeurteilungsinstrument, das die relative Ausprägung von Persönlichkeitsstilen erfasst. Diese sind als nicht-pathologische Entsprechungen der in dem psychiatrischen, diagnostischen Manual ICD-10 beschriebenen Persönlichkeitsstörungen konzipiert. Das PSSI umfasst 140 Items, die 14 Skalen zugeordnet sind: eigenwillig-paranoid (PN), zurückhaltend-schizoid (SZ), ahnungsvoll-schizotypisch (ST), spontan-borderline (BL), liebenswürdig-histrionisch (HI), ehrgeizig-narzisstisch (NA), selbstkritisch-selbstunsicher (SU), loyal-abhängig (AB), sorgfältig-zwanghaft (ZW), kritisch-negativistisch (NT), still-depressiv (DP), hilfsbereit-selbstlos (SL), optimistisch-rhapsodisch (RH), selbstbehauptend-antisozial (AS). Die Rohwerte werden in T-Werte (Mittelwert:

50±10) umgerechnet und als unterdurchschnittlich (<40), durchschnittlich (40-60), überdurchschnittlich (61-70) und weit überdurchschnittlich ausgeprägt (T>70) interpretiert.

3. Ergebnisse

Stichprobe

Die Stichprobe (N=518) setzt sich zusammen aus n=136 Männern und n=382 Frauen (Durchschnittsalter: M=42.75 ±13.14); hiervon haben n=513 die SCL-90®-S und n=181 das PSSI zu t0 ausgefüllt. Zu t1 wurden n=133 SCL-90®-S und n=16 PSSI durchgeführt, welche in die Untersuchung der Mittelwertsunterschiede eingegangen sind. Der durchschnittliche Abstand der Messzeitpunkte bei der SCL-90®-S liegt bei M=11.39 ±8.37 Monaten, beim PSSI bei M=11.75 ±8.48 Monaten.

SCL-90®-S

Insgesamt zeigte sich bei der allgemeinen psychischen Belastung eine signifikante Symptomverbesserung ($p \leq .001$), so sank der Globale Kennwert GSI (t0: M=65.64 ±8.44; t1: M=63.05 ±10.04; $t=3.26$, $p \leq .001$, $d=.28$) deutlich. Mit Blick auf die neun Skalen der SCL-90®-S zeigte sich für die Skalen AGGR, ANGS, DEPR, PARA, PSYC, und den Globalen Kennwert GSI eine signifikante Symptomverbesserung ($p \leq .005$). Die Skala UNSI zeigte eine signifikante Symptomverschlechterung, bewegt sich jedoch sowohl zu t0 als auch zu t1 im leicht erhöhten Bereich. Darüber hinaus zeigte sich für die Skalen ANGS, DEPR, ZWAN sowie den GSI eine Symptomverbesserung vom deutlich zum leicht erhöhten Bereich. Für die Skalen PARA und PSYC vom leicht erhöhten hin zum Normbereich. Abbildung 1 zeigt eine Zusammenfassung der Mittelwertsunterschiede der SCL-90®-S.

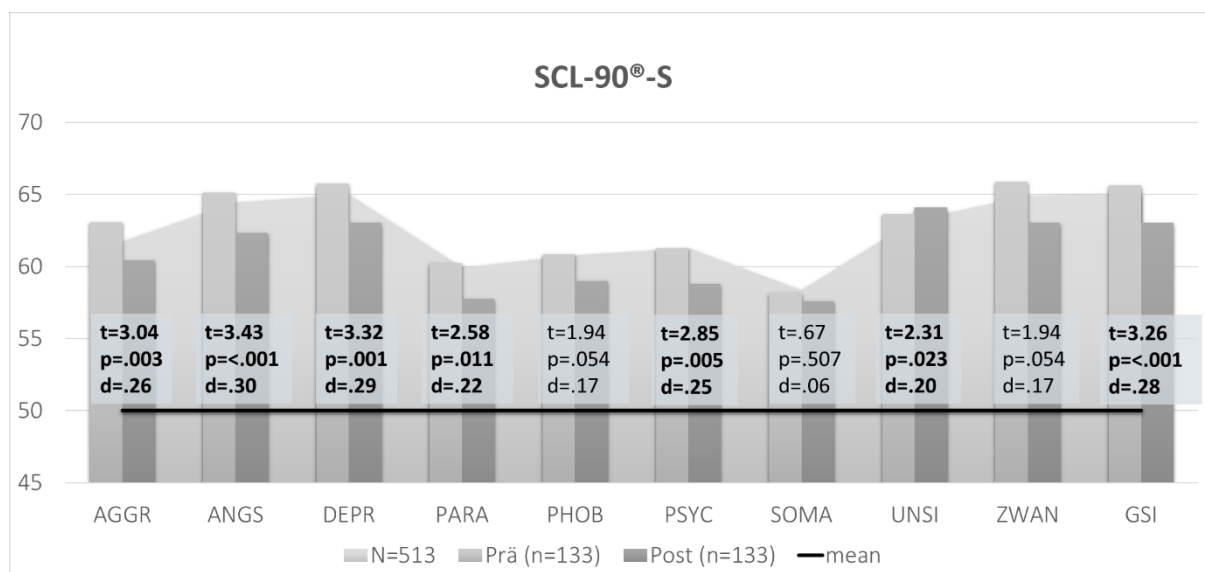


Abbildung 1: Zusammenfassung der Mittelwerte und Mittelwertunterschiede der SCL-90®-S zu t0 und t1

PSSI

Für das PSSI zeigte sich die Skala DP zu beiden Messzeitpunkten leicht erhöht (t0: M:62.38 ±9.12; t1: M=61.13 ±8.85, $t=0.79$, $p=.444$). Für die restlichen Skalen des PSSI bewegte sich die mittlere Ausprägung der Persönlichkeitsstile sowohl in der Eingangsmessung (n=181) als auch im Verlauf (Prä-Post Vergleich, n=16) im Normbereich und zeigte sich daher unauffällig. Bis auf die Skala PN (t0: M=58 ±9.37; t1: M=52.5 ±9.29, $t=3.15$, $p=.007$, $d=.79$) zeigten sich

keine signifikanten und klinisch relevanten Unterschiede (siehe Tabelle 1); gleichzeitig lässt sich eine tendenzielle Veränderung in Richtung des Normbereiches abbilden.

Tabelle 1: Bedeutsamkeit der Mittelwertunterschiede des PSSI zwischen t0 und t1

	PN	SZ	ST	BL	HI	NA	SU	AB	ZW	NT	DP	SL	RH	AS
M _{prä}	58.00	56.44	43.25	57.00	49.94	44.88	57.31	52.56	54.25	55.75	62.38	56.31	45.50	47.31
M _{post}	52.5	55.75	42.88	56.63	48.31	45.88	58.25	51.94	53.25	54.69	61.13	53.44	46.88	47.88
t	3.15	.48	.220	.303	1.07	.581	.525	.429	.780	.808	.786	1.308	.863	.319
p	.007	.635	.829	.766	.302	.570	.607	.630	.447	.432	.444	.221	.402	.754
d	.79	.12	.06	.08	.27	-.15	-.13	.12	.20	.20	.20	.33	-.22	-.08

4. Diskussion

Die Untersuchung zeigt, dass die ambulante kognitive Verhaltenstherapie auch unter Alltagsbedingungen wirkt. Insbesondere mit der SCL-90®-S lassen sich Veränderungen im Therapieverlauf abbilden [14], sodass sich das Verfahren zur Überprüfung der Ergebnisqualität eignet. Im Gegensatz hierzu, ließen sich mit dem PSSI keine relevanten Veränderungen im Verlauf zeigen. Da es sich bei Persönlichkeitsstilen um stabile Merkmale handelt [15], ist das Ergebnis nachvollziehbar. Die testpsychologische Diagnostik stellt ein geeignetes Maß zur Messung der Ergebnisqualität dar [10]. Darüber hinaus kann eine routinemäßige Verlaufsdagnostik im Behandlungsverlauf frühzeitig Hinweise auf eine mögliche Verschlechterung des Befindens der Patient*innen geben [15].

5. Limitation

Eine Einschränkung der Untersuchung ist das Fehlen einer Kontroll- bzw. Vergleichsgruppe. Darüber hinaus gibt es eine hohe Zahl an fehlenden Post-Messungen, was der Tatsache geschuldet ist, dass nicht jede/r Patient*in nach dem Erstgespräch eine Therapie in der Praxis aufnimmt und Patient*innen, von denen eine Eingangsmessung vorliegt, noch in laufender Behandlung und die Abschlussmessungen ausstehend sind. Zudem wurden die Patient*innen von drei unterschiedlichen Therapeutinnen behandelt. Das PSSI wird jedoch nur von einer Therapeutin routinemäßig eingesetzt, weshalb der Teil der Patient*innen, die das PSSI ausgefüllt haben, deutlich geringer ist als der Teil, der die routinemäßig eingesetzte SCL-90®-S bearbeitet hat.

Datenverfügbarkeit

Die Rohwert-Daten für diese Arbeit wurden mit Zustimmung einer Ethikkommission durch Fragebögen erhoben und auf einem externen Datenträger zur Verarbeitung durch SPSS gespeichert und sind daher nicht öffentlich zugänglich. Weiter verarbeitete Daten können bei der Autorin angefragt werden.

Interessenskonflikte

Die Autorinnen geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Literaturverzeichnis

1. SGB V. Das Fünfte Buch Sozialgesetzbuch – Gesetzliche Krankenversicherung – (Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477, 2482), das zuletzt durch

- Artikel 18 Absatz 9 des Gesetzes vom 19. Mai 2020 (BGBl. I S. 1018) geändert worden ist. SGB V.
2. G-BA. (2015). Richtlinie über grundsätzliche Anforderungen an ein einrichtungsinternes Qualitätsmanagement für Vertragsärztinnen und Vertragsärzte, Vertragspsychotherapeutinnen und Vertrags-psychotherapeuten, medizinische Versorgungszentren, Vertragszahnärztinnen und Vertragszahn-ärzte sowie zugelassene Krankenhäuser. QM-RL, 1–14. Zugriff am 18.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.g-ba.de/richtlinien/87/>
 3. Gross, Werner (2008). Psychotherapeutische Praxis als Unternehmen. Das Qualitätsmanagement. Deutsches Ärzteblatt International, (6), 276–277. Verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/pdf.asp?id=198475>
 4. Donabedian, Avedis (1988). The quality of care. How can it be assessed? Journal of the American Medical Association, 260(12), 1743–1748. <https://doi.org/10.1001/jama.1988.03410120089033>
 5. Härter, Martin et al. (2003). Grundlagen und Konzepte von Qualitätsmanagement in der Psychotherapie. In M. Härter, H. W. Linster & R. D. Stieglitz (Hrsg.), Qualitätsmanagement in der Psychotherapie. Grundlagen, Methoden und Anwendung (S. 18–41). Göttingen: Hogrefe.
 6. Butler, Andrew et al. (2006). The empirical status of cognitive-behavioral therapy: a review of meta-analyses. Clinical Psychology Review, 26(1), 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2005.07.003>
 7. Heinrichs, N. et al. (2009). Die Wirksamkeit ambulanter Psychotherapie der Sozialen Angststörung in einer universitären Ambulanz. Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie, 38(3), 181–193. <https://doi.org/10.1026/1616-3443.38.3.181>
 8. Gallas, Christine et al. (2010). Dauer und Umfang ambulanter Psychotherapie und Implikationen für die Versorgungspraxis. Psychotherapie, Psychosomatik, medizinische Psychologie, 60(1), 5–13. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1243258>
 9. Cramer, Aureliano et al. (2018). Integratives Vorgehen bei den Therapieschulen der Schweizer Charta für Psychotherapie. Psychotherapie-Wissenschaft, 8 (2), 75–82. <https://doi.org/10.21256/zhaw-3149>
 10. Owen, Jesse & Imel, Zac (2010). Rating scales in psychotherapy practice. In L. Baer & M. A. Blais (Hrsg.), Handbook of Clinical Rating Scales and Assessment in Psychiatry and Mental Health (S. 257–270). Totowa, NJ: Humana Press.
 11. Franke, Gabriele Helga (2014). Symptom-Checklist-90®-Standard. SCL-90®-S; Manual. Göttingen: Hogrefe.
 12. Kuhl, Julius & Kazén, Miguel (2009). Persönlichkeits-Stil- und Störungs-Inventar. PSSI; Manual (2., überarb. und neu normierte Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
 13. IBM. (2021). IBM SPSS Statistics 27. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-27>
 14. Franke, Gabriele Helga (2001). Qualitätssicherung in der Diskussion. Möglichkeiten und Grenzen im Einsatz der Symptom-Checkliste SCL-90-R. Verhaltenstherapie & psychosoziale Praxis, 33, S. 475–485.
 15. Montag, Christian (2016). Was ist Persönlichkeit? In C. Montag (Hrsg.), Persönlichkeit – Auf der Suche nach unserer Individualität (S. 7–14). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Aufbau eines TIRF-Mikroskops mit angeschlossener Mikrofluidik für die Detektion von fluoreszenzmarkierter Einzelmoleküle

A. Yang^{1,2*} und R. Börner^{1,2*}

¹ Laserinstitut, Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: yang@hs-mittweida.de, richard.boerner@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Am Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) soll die Einzelmolekül-Fluoreszenzmikroskopie für die biophotonische RNA-Forschung etabliert werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, dafür ein Objektiv-basiertes interne Totalreflexionsfluoreszenzmikroskop (engl. total internal reflection fluorescence microscope, kurz TIRFM) mit einer alternierenden Laseranregung (engl. *alternating laser excitation* kurz ALEX) im Millisekundenbereich aufzubauen. Wir haben dafür einen geeigneten Detektionsstrahlengang für die farbkannalselektierte Aufnahme mit einer *scientific* CMOS Kamera entworfen. Die zwei Detektionskanäle ermöglichen es Abstandsänderungen mittels Förster-Resonanz-Energietransfer (FRET) auf molekularer Ebene zu messen. Neben dem Mikroskopaufbau wird in dieser Arbeit die Abbildung und Farbkannalselektion der fluoreszenzmarkierten Proben und die modulierte Laseranregung detailliert dargestellt.

1. Motivation

Erkenntnisse über biologische Strukturen und deren Baueinheiten, wie den Ribonukleinsäuren, kurz RNA, sind heutzutage unverzichtbar für die Pharmazie und Medizin sowie den gesamten Gesundheitssektor. RNA als eine der wichtigsten Baueinheiten des Lebens ist an vielen biologischen Prozessen in der Zelle beteiligt [1]. Dabei ist die Untersuchung und Analyse von RNA mithilfe der Fluoreszenzmikroskopie ein über Jahrzehnte entwickeltes Verfahren und heute Stand der Technik. [2]. Bei der TIRFM wird ein Anregungslaserstrahl an den Rand der hinteren Fokusebene eines Mikroskopobjektives mit hoher numerischer Apertur (NA) fokussiert. Der Laserstrahl wird durch das hochnumerische Objektiv über den kritischen Winkel der Grenzfläche aus wässriger Probe (optisch dünn) und Objektträger (optisch dicht, z.B. BK7-Deckglas) gebrochen und an der Grenzfläche zwischen dem Deckglas und der Probe total reflektiert. Ein Teil der Strahlungsenergie wird dabei als exponentiell abfallendes, evaneszentes Feld in die Probe eingekoppelt. Dort kann es die fluoreszenzmarkierten Biomoleküle in einer Eindringtiefe bis zu wenigen hundert Nanometer anregen. Somit erzielt die TIRFM im Vergleich zu anderen fluoreszenzmikroskopischen Verfahren ein extrem niedriges Hintergrundrauschen [3; 4], das die Untersuchung von fluoreszierenden Einzelmolekülen ermöglicht.

2. Methodik

Unser TIRFM-Aufbau hat vier Hauptbestandteile (Abb. 1). Als Strahlquelle für die Anregung wurden zwei Laserdioden mit einer Wellenlänge von 515 nm und 638 nm eingesetzt. Die Laserleistung konnte durch die Steuersoftware im Bereich von 1 mW bis 150 mW eingestellt wer-

den. Eine zusätzliche Kontrolle der Laserleistung erfolgte durch ein Abschwächungsrad (optischer Dichtefilter). Der Laserstrahl wurde dann mittels eines Faserkopplers (Qioptiq) in eine Glasfaser eingekoppelt und so zum TIRF-Kondensator geleitet.

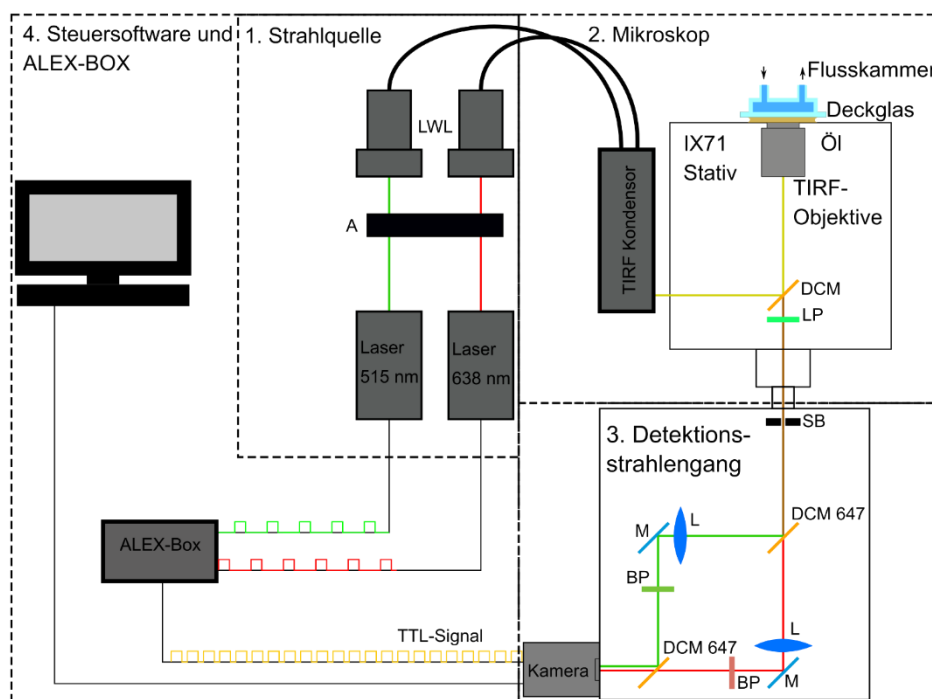


Abbildung 1: Schematische Darstellung des TIRFM-Aufbaus. A ... Abschwächungsrad; LWL ... Lichtwellenleiter BP ... Bandpassfilter; LP ... Langpassfilter; SB ... Spaltblende; DCM ... dichroitischer Spiegel; M ... Spiegel; L ... Sammellinse.

Das Mikroskop basiert auf einem IX71 Stativ mit kombinierten *Cell* TIRF-Kondensator (Olympus). Der TIRF-Kondensator hat eine fünf-achsiges Justagesystem, so dass der Anregungsstrahl genau auf die hintere Fokusebene des Ölimmersionsobjektive (NA = 1,5) fokussiert werden konnte. Im Filterrevolver wurde ein zweibändiger dichroitischer Spiegel (DCM) mit einem Langpassfilter (LP) kombiniert. Der DCM reflektierte die Anregungsstrahlung zum Objektiv und damit zur Probe. Im Gegensatz dazu wurde die Fluoreszenzemission der Probe durch den DCM und den LP transmittiert und in den Detektionsstrahlengang weitergeleitet. Das Anregungslicht wurde durch den LP weitestgehend unterdrückt. Im Detektionsstrahlengang wurde die Fluoreszenzemission der Probe durch einen weiteren DCM in zwei Farbkanäle separiert und schließlich auf eine *scientific* CMOS-Kamera abgebildet. Für eine optimale Abbildung des Mikroskopbildes auf die Kamera wurde eine Sammellinse je Farbkanal eingesetzt, die eine 1:1 Abbildung gewährleistete. Je ein Bandpassfilter pro Farbkanal diente dazu, nur den gewünschten Wellenlängenbereich zu detektieren und andere Spektralanteile wie z.B. Reste des Anregungslichts zu unterdrücken. Um das Sichtfeld des Mikroskops auf die Sensorgröße der Kamera anzupassen, wurde eine Spaltblende mit einer Öffnung von 13,3 mm x 6,5 mm an dem seitlichen Kameraausgang des Mikroskops positioniert. Dadurch werden zwei gleich große Bilder beider Farbkanäle auf dem Sensor der Kamera ermöglicht. Der gesamte Detektionsstrahlengang wurde mit eloxiertem Aluminium abgedeckt, um das Licht von außen zu blockieren. Die Anpassung der Abbildung und die Justage des Detektionsstrahlengangs wurde mithilfe einer selbst präparierten, fluoreszierenden *bead*-Probe durchgeführt (Abb. 2).

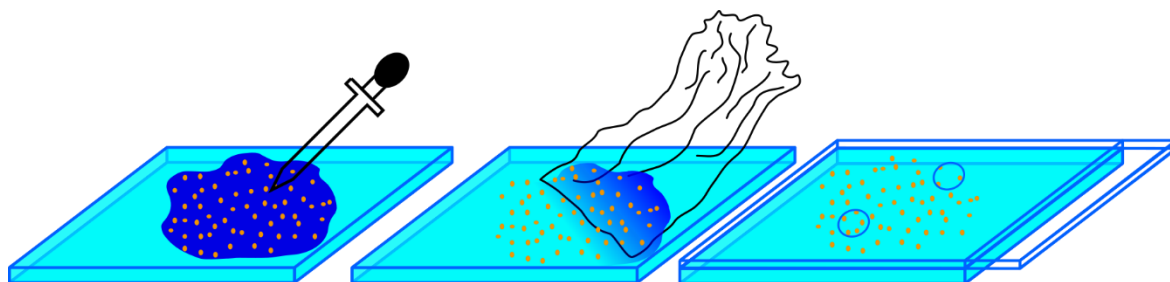


Abbildung 2: Arbeitsschritte der bead-Probenpräparation. (links) verdünnte bead-Probe wurde auf ein gereinigtes Deckglas pipettiert. (mitte) Überschüssiges Wasser wurde mittels Zellstoff entfernt. (rechts) Die Probe wurde mit einer Haftkammer (Grace Biolabs) verschlossen und vor Kontaminationen geschützt.

Die Steuersoftware (Micromanager) diente der Steuerung des Betriebsmodus und der Belichtungsdauer der sCMOS Kamera (Teledyn) sowie der Laserleistung beider Laserdioden. Die Modulation der Laserleistung wurde mittels des TTL-*fire*-Signals der Kamera realisiert. Dafür wurde das Signal der Kamera auf die ALEX-BOX und von dort auf die Laserdioden mittels BNC-Kabel übertragen. Das TTL-*fire*-Signal der Kamera wurde dafür mithilfe der ALEX-Box zu zwei alternierenden TTL-Signalen konvertiert, die so eine alternierende (an/aus) Intensitätsmodulation beider Laserlinien im ms-Bereich ermöglichte [5].

3. Ergebnisse

Um die Auflösung und Bildgebung des TIRFM zu testen, wurde ein Dauerpräparat eingesetzt. Die Auflösung des Mikroskops ist beugungsbegrenzt und beträgt $d_{m,\lambda=515\text{ nm}} = 0,21\ \mu\text{m}$ und $d_{m,\lambda=638\text{ nm}} = 0,26\ \mu\text{m}$. Die theoretische Auflösung der Kamera nach Nyquist beträgt $d_k = 0,15\ \mu\text{m}$ und ermöglicht so eine beugungsbegrenzte Abbildung. Die Pixelgröße der Kamera muss mindestens 2,3-mal kleiner sein als die Auflösung des Mikroskops [6]. Das Objektiv hat eine 100-Fach Vergrößerung und die Pixelgröße der Kamera ist $6,5\ \mu\text{m}$. Die Auflösung der Kamera und des Mikroskops kann mit folgender Formel berechnet werden (Rayleigh Kriterium) [7]:

$$d_{m,\lambda} = \frac{0,61 \cdot \lambda}{NA}$$

$$d_k = \frac{\text{Pixelgröße}}{\text{Objektivvergrößerung}} \cdot 2,3$$

Das benutzte Dauerpräparat enthält fluoreszenzmarkierte Muntjak Zelle (Abb. 3). Die Belichtungsdauer für die Aufnahme war $100\ \text{ms}$. Es wurden insgesamt 20 Bilder, also je Farbkanal 10 Bilder aufgenommen und gespeichert. Der Zellkern ist mit rot fluoreszierendem TO-PRO-3 markiert; die restliche Struktur der Zelle, insbesondere das Aktinfilamentgerüst, ist mit orange fluoreszierenden Farbstoffen markiert. Bei der roten Anregung ist daher nur der Zellkern im roten Kanal zu erkennen. Dagegen ist bei der grünen Anregung die gesamte Zellstruktur im grünen Kanal sichtbar. Tatsächlich ist ein Teil des orangen Fluoreszenzlichtes auch im roten Kanal sichtbar. Die Ursache liegt daran, dass das bei grüner Anregung ein Teil des Fluoreszenzlichtes der orangen Farbstoffe im roten Kanal liegt; man nennt das Durchscheinen (engl. *bleed through*). Somit wurde immer bei der grünen Anregung rötliche Fluoreszenz erzeugt und von der Kamera detektiert. Mit diesem Aufbau ist es möglich eine fluoreszenzmarkierte Probe im ms-Bereich durch einen alternierenden Laser anzuregen und beugungsbegrenzt aufzunehmen.

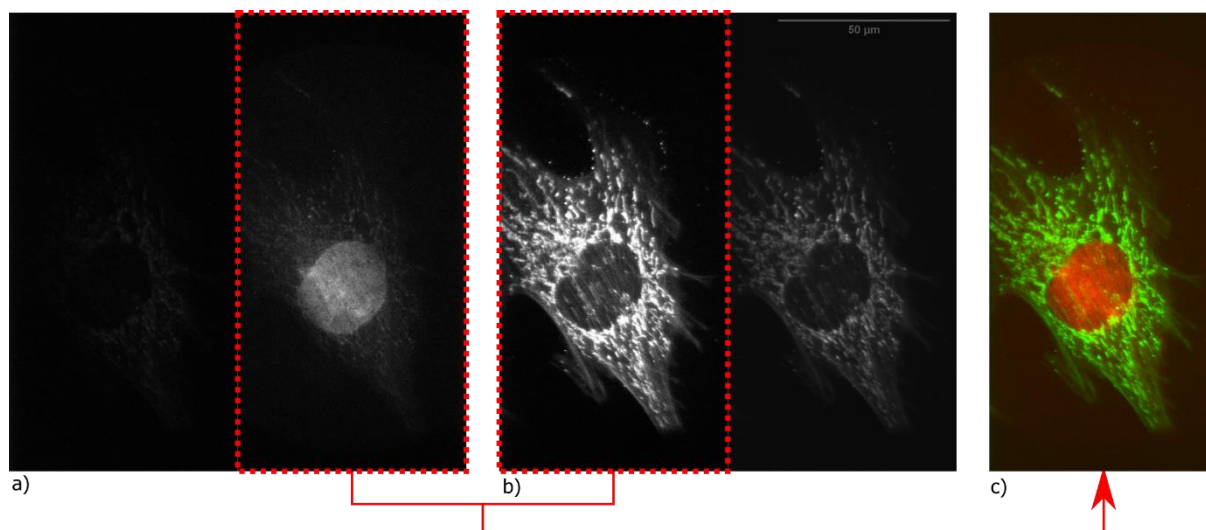


Abbildung 3: Aufnahme des Dauerpräparates. Die Muntjak Zelle wurde mit drei Fluorophoren: Alexa Fluor 488(Ex495/Em519), Alexa Fluor 555(Ex555/Em571) und TO-PRO-3(Ex642/Em661) markiert. a) Aufnahme der Zelle bei roter Laseranregung. Linkes Bild entspricht dem grünen Kanal und rechtes Bild entspricht dem roten Kanal. Beide Farbkanäle sind durch die rote Strichellinie getrennt dargestellt; b) Aufnahme der Zelle bei grüner Laseranregung; c) Kombiniertes Pseudo- oder Falschfarbenbild der sCMOS Kamera Aufnahme.

Nachdem wir das TIRF Mikroskop aufgebaut haben wird nun eine angeschlossener Mikrofluidik für die automatisierte Probenpräparation für Einzelmolekül-FRET-Experiment aufgebaut [8].

Datenverfügbarkeit

Die gezeigten Daten wurden selbst erhoben und nicht von Dritten genutzt und können von den Autoren erfragt werden.

Interessenskonflikte

Die Autoren erklären keine konkurrierenden Interessen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben. Zuerst gebührt mein Dank Prof. Richard Börner, der meine Arbeit wissenschaftlich betreut hat. Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Roland K.O. Sigel von der Universität Zürich für die Überlassung des TIRF-Kondensors und Mikroskopstativs sowie bei der Hochschule Mittweida und dem Laserinstitut Hochschule Mittweida für die finanzielle Unterstützung bei der Realisierung des gesamten optischen Aufbaus des TIRF Mikroskops.

Literaturverzeichnis

1. Scott W.G. (2014): "RNA. In: Amils R. et al. (eds) Encyclopedia of Astrobiology". Springer.
2. Schneckenburger, H. (2005): „Total internal reflection fluorescence microscopy: technical innovations and novel applications". Current Opinion in Biotechnology 16:13-18
3. Axelrod, D. (2001): „Total Internal Reflection Fluorescence Microscopy in Cell Biology", Traffic 2:764-774
4. Michaelsen, H.; Börner, R. (2021): "Optimization of an optical setup for combined TIRF/confocal fluorescence microscopy", Hochschule Mittweida 2: 234-236
5. Kapanidis, A.N.; Laurence, T.A.; Lee, N.K.; Margeat, E.; Kong, X.; Weiss, S. (2005): "Alternating-Laser Excitation of Single Molecules", Acc. Chem. Res. 38: 523-533
6. <https://www.princetoninstruments.com/learn/camera-fundamentals/pixel-size-and-camera-resolution> [06.05.2022]
7. [https://de.wikipedia.org/wiki/Aufl%C3%B6sung_\(Mikroskopie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Aufl%C3%B6sung_(Mikroskopie)) [06.05.2022]
8. Bayraktar, T.; Pidugu, S.B. (2006): „Characterization of liquid flows in microfluidic systems", Int. J. Heat Mass Transfer 49, 815-824

Protein-Expressions-Pipeline für die Forschung an Faltungshelferproteinen für ribosomale RNA

P. Vierig^{1,2} und R. Börner^{1,2}

¹ Laserinstitut Hochschule Mittweida, Hochschule Mittweida

² Ingenieurwissenschaftliche Fakultät Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: pvierig@hs-mittweida.de, richard.boerner@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der Etablierung einer Proteinsynthesestrecke für T7-RNA Polymerase (T7-RNAP) und Pumilio und fem3 mRNA-Bindungsfaktoren 6 (Puf6) unter Verwendung der minimal notwendigen Methoden. Die Proteine können kosteneffizient in Prokaryoten rein und hochaktiv exprimiert und danach wirksam mit einem Hexahistidin-Tag über Nickel-NTA-Affinitätschromatographie aufgereinigt werden. Anwendung finden die Proteine bei der Synthese und Faltung z.B. von ribosomaler RNA (rRNA). In dieser Arbeit wird die Optimierung der T7 und Puf6 Synthese beschrieben, um eine möglichst hohe Ausbeute und Reinheit zu gewährleisten, beides unverzichtbare Faktoren für die Forschung und die biotechnologische Anwendung der Proteine.

1. Motivation

Unsere aktuelle Forschung zielt auf das bessere Verständnis des Reifungsprozesses von ribosomaler RNA (rRNA) ab. Der Fokus liegt dabei auf der Interaktion von einem Kissing Loop mit einem GAAA Tetraloop. Das RNA-Tertiärkonstrukt besteht dabei aus drei Hairpins, wobei zwei Hairpins (Helix H88 und H22) den Kissing Loop bilden und ein Hairpin (Helix H68) den GAAA Tetraloop darstellt. *In vitro* sind die Helices mit Poly-A-Linkern verknüpft und stellen somit ein 65 bp langes DNA-Template dar. Durch einen davor geschalteten T7-RNA Polymerase (T7-RNAP) Promotor kann in einer *in vitro* Transkription aus dem DNA-Template RNA hergestellt werden [1]. Damit Struktur- und Ligandenbindungsstudien durchgeführt werden können, muss die RNA gefaltet werden, ohne die Bindungsstelle des Tertiärkonstruktes zu beeinflussen. Um die native Faltung der RNA zu garantieren, wird ein Protein benötigt, welches Chaperone-ähnliche Eigenschaften aufweist. Puf6 interagiert mit der rRNA und erleichtert deren Faltung insbesondere bei niedrigen Temperaturen [2]. Dieser Prozess ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

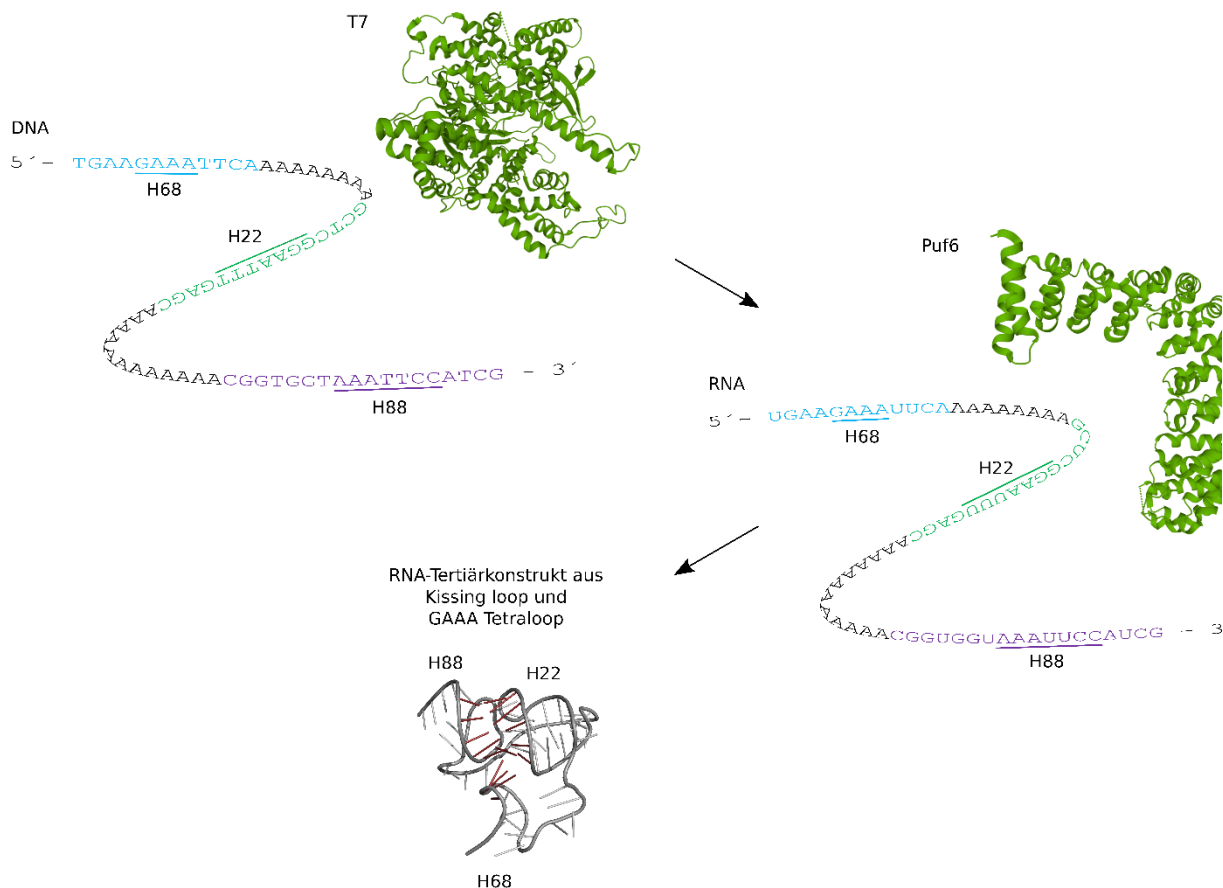


Abbildung 1: Schematische Darstellung der RNA Synthese unter Verwendung von T7-RNAP (PDB 1MSW) und Puf6 (PDB 4WZW).

2. Methoden

Die Expression eines Proteins kann in drei Etappen Transformation, Testexpression und große Expression unterteilt werden. Jeder Teilschritt muss dabei je nach Gegebenheiten und angestrebtem Ziel angepasst und optimiert werden. Zu Beginn muss der Expressionsvektor in den gewünschten Expressionsorganismus transformiert werden. Dies kann je nach Größe des Vektors, Organismus und Transformationseffizienz durch Elektroporation oder durch Hitzeschock durchgeführt werden. Daraufhin werden, in Form einer Testexpression, die Expressionsbedingungen im kleinen Maßstab getestet und optimiert. Die Ergebnisse werden im SDS-Gel ausgewertet und kontrolliert. Die Große Expression dient der effizienten Gewinnung hoch aktiven Proteins. Die Zellen können durch physikalische Kraft z.B. in einer Zelmühle oder durch Ultraschall aufgeschlossen werden. Das Zilopeptid von anderen Proteinen zu trennen kann je nach Laborausstattung über Nickel-Affinitätschromatographie eines automatisierten Chromatographiesystems (z.B. Äkta) oder einer Schwerkraftsäule (engl. *gravity column*) erfolgen. Die Aufreinigungsschritte der Proteinexpression werden im SDS-Gel ausgewertet. Hoch reine Proteinfractionen aus dem Chromatographieschritt werden im Dialyseverfahren umgepuffert. Zum Schluss erhält man reines, aktives Protein, welches z.B. im 25% Glycerolstock fraktioniert bei -80 °C gelagert werden kann. Eine schematische Darstellung des Proteinexpressionsprozesses ist in Abb. 2 zu sehen.

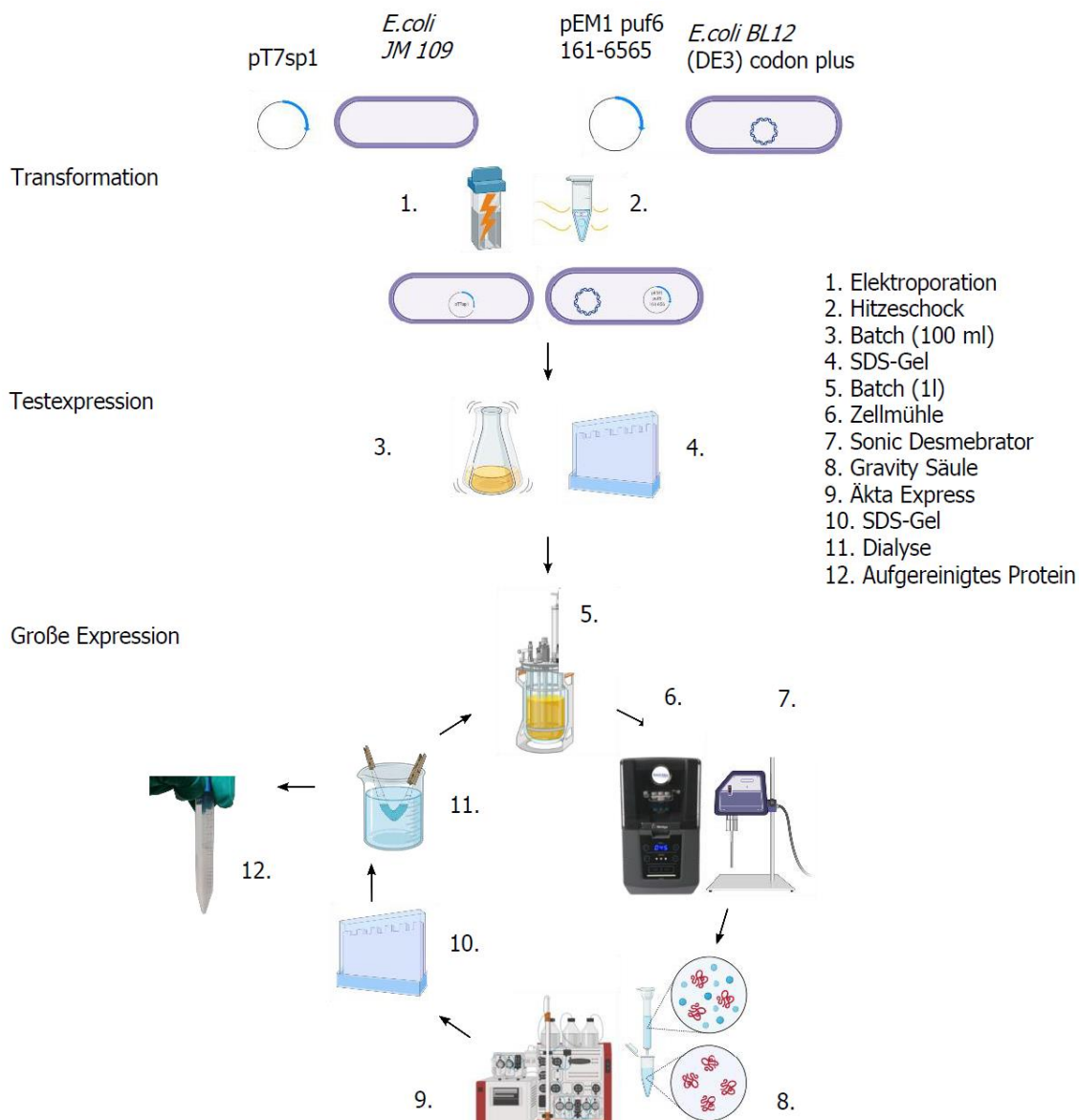


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Beginn der Proteinexpression bis zur Aufreinigung. Es werden die Prozesse der Transformation über Testexpression bis zur Expression im Großen Maßstab zugeordnet.

3. Ergebnisse

Die Etablierung eines Proteinsynthesewegs von T7-RNAP und Puf6, mit Beginn bei der Transformation, über die Testexpression bis hin zur Expression im großen Maßstab und der darauffolgenden Aufreinigung mittels Nickelaffinitätschromatographie wird hier in Kurzform dargestellt.

3.1 Testverdau

Die transformierten *E. coli BL12 (DE3) codon plus* pEM1 puf6 161-656 Zellen wurden nach einer Übernachtskultur mit Hilfe des Plasmid Miniprep-Kit aufgereinigt. Die Konzentration der Plasmidpräparationen betrug 390,5 ng/µl. Anschließend wurde ein Testverdau durchgeführt, um den Expressionsvektor eindeutig nachzuweisen (Abb. 3). Der 20 µl Ansatz wurde auf ein 1% Agarosegel aufgetragen.

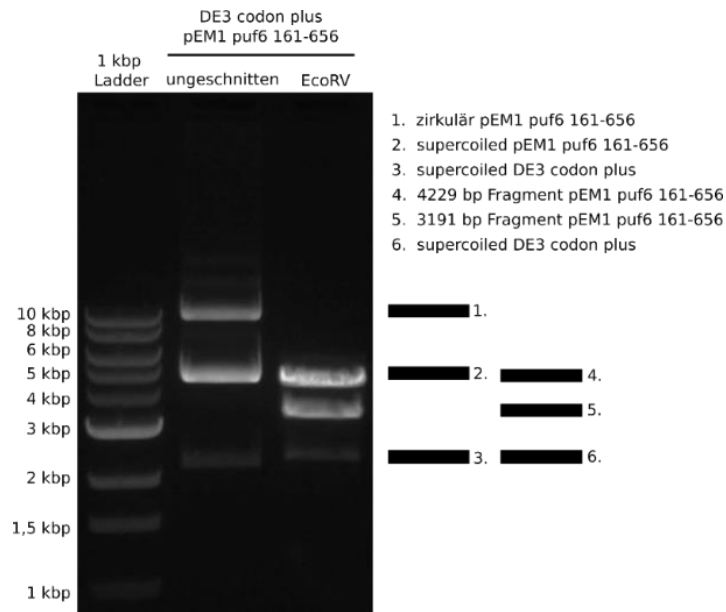


Abbildung 3: Testverdau von DE3 codon plus pEM1 puf6 161-656 mit EcoRV. Auftrag einer 1 kbp DNA-Leiter auf ein 1% Agarosegel.

Im 1% Agarosegel wurde neben dem Vektorverdau von DE3 codon plus pEM1 puf6 161-656 mit EcoRV der ungeschnittene Vektor aufgetragen. Zum besseren Verständnis wurden die Banden numerisch beschriftet. In der Bahn des ungeschnittenen Vektors pEM1 puf6 161-656, welcher eine Größe von 7420 bp besitzt, wurden drei Banden sichtbar. Dabei stehen die Banden 1 und 2 für den Expressionsvektor pEM1 puf6 161-656 in seiner zirkulären- (ca. 10 kbp) und seiner *supercoiled* Form (ca. 5 kbp). Die Banden 3 und 6 in der „ungeschnitten“ und „EcoRV“ Bahn zeigen den ungeschnittenen DE3 codon plus Vektor in seiner *supercoiled* Form (ca. 2,5 kbp). Die gewünschten Fragmente des pEM1 puf6 161-656 Vektors nach dem Verdau mit EcoRV liegen bei einer Größe von 3191 bp (Bande 5) und 4229 bp (Bande 4).

3.2 Testexpression

Um die Expressionsbedingung des Konstruktes *E. coli* BL12 (DE3) codon plus pEM1 puf6 161-656 zu testen, wurde eine Testexpression durchgeführt. Für die Beurteilung wurde die Probe auf ein SDS-Gel aufgetragen (Abb. 4).

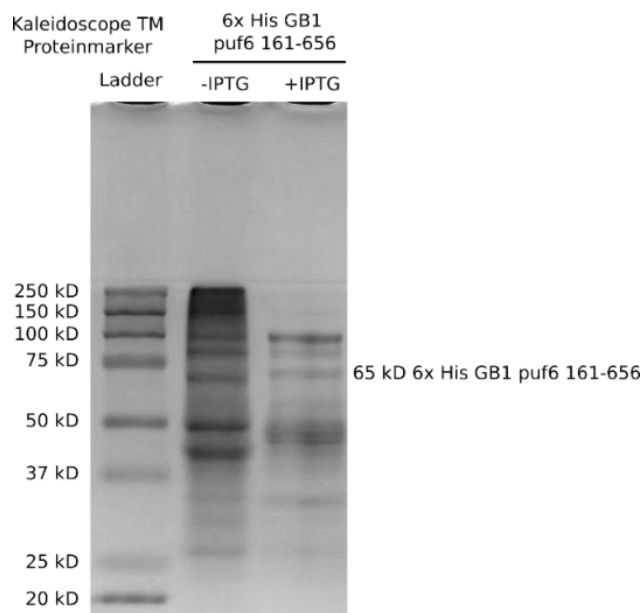


Abbildung 4: SDS-Gel der Testexpression von *E. coli* BL12 (DE3) puf6 161-656 ohne und mit Zugabe von IPTG unter reduzierenden Bedingungen. Als Leiter wurde der KaleidoscopeTM-Proteinmarker aufgetragen.

Bei beiden Proteinproben des Konstruktes *E. coli* BL12 (DE3) codon plus pEM1 puf6 161-656 (Abb. 4) wurde eine Expression nachgewiesen. Beide Proben zeigten vollständig separate Banden. Auffällig ist, dass bei den Bahnen „-IPTG“ und „+IPTG“ unterhalb der Laufweite der 75 kDa Markerbande eine Bande zu sehen ist. Die Bande entspricht mit einer Laufweite von ca. 65 kDa den Polypeptid 6x His GB1 puf6 161-656. Die anderen Banden unter der 50 kDa Markerbande stellen mit den Banden über 75 kDa nicht gewünschte Expressionsprodukte dar.

3.3 Große Expression

Für die Synthese reiner, hoch aktiver Proteine wurde die Expression im großen Maßstab durchgeführt. Nach Aufbereitung des Probenextraktes wurde mit der Proteinaufreinigung per Ni-NTA Affinitätschromatographie begonnen. Für die Auswertung der Puf6 Proteinaufreinigung über eine Schwerkraftsäule, wurden Zellen ohne IPTG, der Überstand des Zelllysats mit IPTG, der Waschschrift 1, der Waschschrift 4, der Elutionsschritt 1, der Elutionsschritt 2, die Dialyse 1 (von Elutionsschritt 1) und die Dialyse 2 (von Elutionsschritt 2) zusammen auf ein Gel aufgetragen und verglichen (Abb. 5).

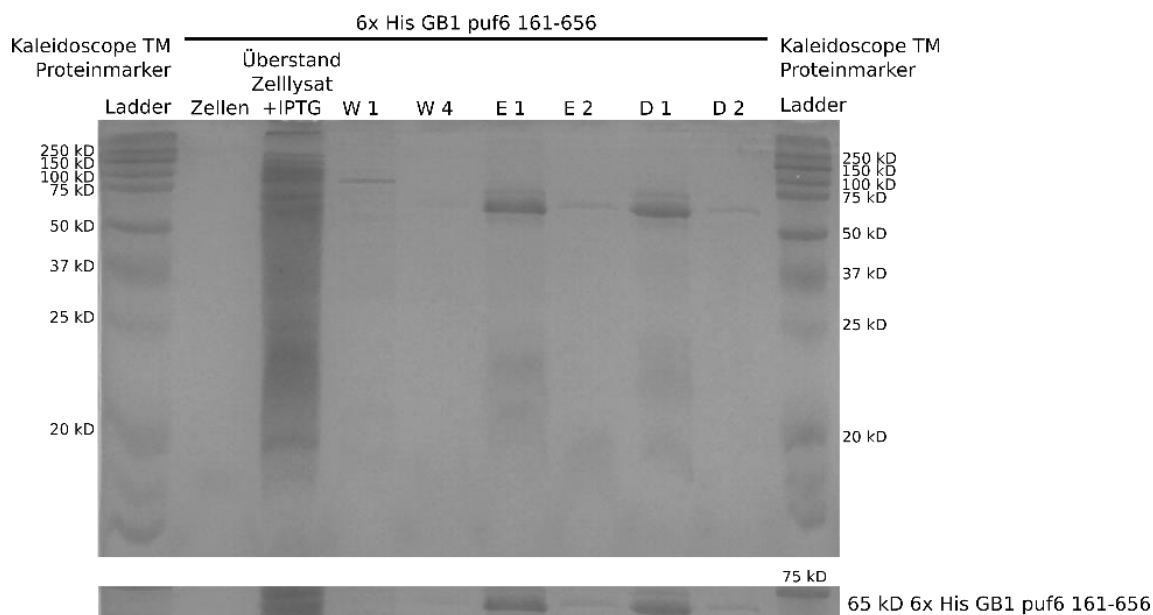


Abbildung 5: SDS-Gel von Puf6 Proteinproben nach Aufreinigungsschritten über eine Schwerkraftsäule unter reduzierenden Bedingungen. Aufgetragen wurde Zellen ohne IPTG, Überstand Zelllysat mit IPTG, Waschschrift 1 (W1), Waschschrift 4 (W4), Elutionsschritt 1 (E1), Elutionsschritt 2 (E 2), Dialyse 1 (von Elutionsschritt 1) (D 1) und Dialyse 2 (von Elutionsschritt 2) (D 2). Als Leiter wurde der KaleidoscopeTM-Proteinmarker aufgetragen.

Im SDS-Gel ist auf jeder Bahn, außer auf der ersten, mindestens eine Bande zu erkennen. Auf der Spur „Überstand Zelllysat +IPTG“ sind neben der Proteinbande für Puf6 bei 65 kDa, weitere Banden erkennbar. Der Probenauftrag von Waschschrift 1 und 4 zeigt jeweils eine Bande. Die Bande in der Bahn des Probenauftrags von W1 läuft bei einer Weite von 100 kDa, die des W4 bei ca. 65 kDa. In Spur E1 und D1 sowie E2 und D2 sind die Bandenmuster identisch. In der Bahn von E1 und D1 läuft eine Bande knapp unter der 75 kDa Markerbande und eine Bande bei ca. 65 kDa. Die Bande bei einer Laufweite von 65 kDa entspricht der Größe von Puf6 und ist ebenfalls in Spur E2 und D2 vorzufinden. Die Proteinkonzentration von Puf6 des Dialyseschritt 1 beträgt 13,1 μ M.

Datenverfügbarkeit

Gezeigte Daten wurden selbst erhoben und nicht von anderen genutzt und können von den Autoren erfragt werden.

Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte bestehen.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen bedanken, die mich bei der Erarbeitung dieses Projektes unterstützt haben. Zuallererst möchte ich Richard Börner für das spannende Thema und die Betreuung meiner Arbeit danken. Danksagung bei Michaela Oplova und Vikram Panse für das zur Verfügung stellen des Plasmids und der Zelllinie. Roland K.O. Sigel für den Praktikumsplatz sowie die Betreuung durch Ferreira Rodrigues an der Universität Zürich. Weiterhin möchte ich mich bei Röbbke Wünschiers für die Zweitbetreuung sowie die Möglichkeit in seinem Labor arbeiten zu dürfen. Rene Kretschmer und Sandra Feik danke ich für die Unterstützung

im Labor und für die anregenden Diskussionen. Außerdem möchte ich der gesamten Forschungsgruppe des B-Labs für die großartige Arbeitsatmosphäre danken. Wir bedanken uns ausdrücklich für die finanzielle Unterstützung beim Aufbau des Börner Labs bei der Hochschule Mittweida und dem Laserinstitut Hochschule Mittweida.

Literaturverzeichnis

1. Sousa, Rui; Mukherjee, Srabani (2003): T7 RNA Polymerase. In: , Bd. 73: Elsevier (Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology), S. 1–41.
2. Gerhardy, Stefan; Oborská-Oplová, Michaela; Gillet, Ludovic; Börner, Richard; van Nues, Rob; Leitner, Alexander et al. (2021): Puf6 primes 60S pre-ribosome nuclear export at low temperature. In: Nature communications 12 (1), S. 4696.

Coronabedingter digitaler Studienstress im Sommersemester 2021

Jana Dittmar¹, Gabriele Helga Franke¹ und Melanie Jagla-Franke^{1,2}

¹ Hochschule Magdeburg-Stendal

² Hochschule Neubrandenburg

Kurzfassung. Die Umstellung der Präsenzlehre auf E-Learning aufgrund der COVID-19-Pandemie führt bei Studierenden weltweit zu erhöhtem Stress.

Im Frühjahr 2021 nahmen 729 Studierende sechs deutscher Hochschulen an der online-Studie zu stressbezogenen Folgen der COVID-19-Pandemie teil.

Über die Hälfte der Teilnehmenden wies deutlichen chronischen Stress auf, fast ein Viertel war sehr stark gestresst. So zeigten Studierende mit höherem TICS-Score auch erhöhte Belastungen im Digitalen Studienstress. Insbesondere das Social Distancing führte bei der Umstellung auf E-Learning zu erhöhtem Stresserleben bei Studierenden, am stärksten waren Bafög-Empfangende und Frauen betroffen. Als Ressource zur Stressreduzierung in der Pandemie zeigten sich sowohl soziale Unterstützung als auch die Struktur des Studiums.

1. Einleitung

Untersuchungen zeigen, dass die COVID-19-Pandemie in der Bevölkerung zu mehr chronischem Stress, Ängsten und Depressionen geführt hat [1]. Eine besonders vulnerable Bevölkerungsgruppe stellen Studierende dar.

Die COVID-19-Pandemie hat Hochschuleinrichtungen weltweit dazu gezwungen, das konventionelle, präsenzielle Lernen auf E-Learning umzustellen. Dies kann jedoch bei den Studierenden zusätzlich Stress auslösen und psychische Probleme zur Folge haben [2]. Studierende mussten die soziale Distanz zu ihrer Peergroup und Familie bewahren und es war erforderlich, sich auch auf das Online-Lernen einzustellen. Schon vor der COVID-19-Pandemie erlebten Studierende ein deutliches Ausmaß an Stress und zeigten eine erhöhte Prävalenz für psychische Erkrankungen als Gleichaltrige [3; 4; 5]. Erste Querschnittstudien zeigen die psychische Belastung von Studierenden während der COVID-19-Pandemie [6; 7]. Die vorliegende Arbeit untersucht diese psychische Belastung Studierender und fokussiert hierbei das Sommersemester 2021.

Um eine flächendeckende Ansteckung mit dem SarsCov-2 Virus zu verhindern, erfolgte die Verlängerung des Lockdowns bis zum 18. April 2021, was zu anhaltenden Kontaktbeschränkungen („Social Distancing“) außerhalb des eigenen Haushaltes führte. Zusätzlich erfolgte deutschlandweit die Hochschullehre im dritten Semester in Folge überwiegend digital [8].

Seit Dezember 2020 waren erste COVID-19-Impfstoffe erhältlich. Aufgrund der schweren Verfügbarkeit der Impfstoffe legte die deutsche Bundesregierung zum Schutz besonders vulnerabler Personen eine Impfreihenfolge anhand von Risikogruppen fest. Die Zuordnung zu

einer Risikogruppe erfolgte zunächst u. a. aufgrund vorhandener Vorerkrankungen, der Berufsgruppenzugehörigkeit oder des Alters [9]. Die daraus resultierende anhaltende Pflicht besonders junger Menschen zum Social Distancing, führte zu erhöhter Furcht vor Einsamkeit [10].

Erst die Aufhebung der Impf-Priorisierung am 7. Juni 2021 ermöglichte auch jungen Menschen den Zugang zu COVID-19 bezogenen Impfungen [11].

Ziel der vorliegenden Studie ist, Belastungsfaktoren durch die Online-Lehre- während des dritten Corona-Semesters zu erfassen und protektive Faktoren für die mentale Gesundheit Studierender aufzuzeigen.

2. Methoden

2.1 Erhebung

Im Mai-Juli 2021 wurde an sechs verschiedenen Universitäten und Hochschulen eine Online-Studie zu den Folgen der COVID-19-Pandemie durchgeführt. Die Stressbelastung wurde mit einer Kurzform des Trierer Fragebogens zum Chronischen Stress (TICS) [12] erfasst, psychische Belastung mit der Mini-Symptom-Checklist (Mini-SCL) [13], Ressourcen mit der Oslo-3 Social Support Scale (OSSS) [14] und die Wahrnehmung der Studiensituation unter Coronabedingungen nach Guse et al. [15] sowie mit selbst entwickelten Fragen zur digitalen Studienmotivation, dem Social Distancing und Alltagsbelastung durch COVID-19.

2.2 Stichprobe

Es nahmen $N = 820$ Studierende an der Online-Befragung teil. Nach Ausschluss unvollständiger Fragebögen verblieben $N=729$ Teilnehmende, 76,6% waren weiblich, das Durchschnittsalter betrug 25,4 Jahre $\pm 6,6$, 74,1% wohnten mit Anderen, 88,2% waren kinderlos und 163 erhielten Bafög. Es nahmen Studierende aus vier Fachgruppen (31,4% Medizin, 18,1% Rehabilitationspsychologie & Gesundheit, 38,1% Soziale Arbeit & Sozialpädagogik und 12,3% Ingenieurswesen und Betriebswirtschaftslehre) teil.

2.3 Instrumente

Mini Symptom-Checklist, *Mini-SCL*: Die Mini-SCL ist ein weit verbreitetes, sensitives Screening-Instrument zu Erfassung psychischer Belastung. Sie umfasst drei Skalen mit je sechs Items aus der SCL-90®-S: Depressivität (DEPR), Ängstlichkeit (ANGS) und Somatisierung (SOMA) und enthält zusätzlich den Globalen Kennwert (GSI) zur Erhebung der psychischen Belastung innerhalb der vergangenen sieben Tage.

Kurzform des Trierer Inventars für Chronischen Stress, *TICS-Short-9*: Das Trierer Inventar zum Chronischen Stress (TICS) [16] ist ein standardisierter, validierter Fragebogen zur Bewertung von neun miteinander verbundenen Dimensionen und enthält in seiner Originalform 57 Items. In der aktuellen Kurzform [12] repräsentiert je ein Item eine Skala: Arbeitsüberlastung, Soziale Überlastung, Erfolgsdruck, Unzufriedenheit mit der Arbeit, Überforderung bei der Arbeit, Mangel an sozialer Anerkennung, Soziale Spannungen, Soziale Isolation und Chronische Besorgnis.

Oslo Social Support Scale, *OSSS-3*: Die deutsche Version des OSS-3 wurde 2008 an einer deutschen Stichprobe ($N = 2524$) normiert und beinhaltet drei Fragen zur sozialen Unterstützung [14]. Oslo1: Auf wie viele Menschen können Sie sich bei ernststen persönlichen Problemen verlassen? Oslo2: Wie viel Interesse und Anteilnahme zeigen andere Menschen an dem, was Sie tun? Oslo3: Wie leicht ist es für Sie, praktische Hilfe von Nachbar*innen zu erhalten?

Studium und Alltag: Die Wahrnehmung der Studienbedingungen und der digitalen Lehrangebote unter Pandemiebedingungen wurden nach Guse et. al erhoben [15]. Die sieben Items erfassen die Nutzung der digitalen Lehrangebote, die Studienzufriedenheit sowie die eigenständige Strukturierung des Studiums.

Es wurden eigene Fragen zur Studienmotivation, dem digitalen Studienstress, den Alltagsbelastungen durch Covid-19 und Belastung durch Social Distancing im Fragebogen ergänzt. Die Beantwortung erfolgte auf einer 5-stufigen Likert-Skala (0 = trifft gar nicht zu; 4 = trifft sehr zu).

2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der überwiegend deskriptiven, korrelativen (Pearson-Korrelation) und explorativen Berechnungen erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS 26 (IBM Analytics, New York, USA). Anhand des Summenscores der TICS-Kurzversion ($M=9$, $SD=6$) wurden die Studierenden in drei Gruppen (46,8% kein Stress, 31,7% deutlicher Stress, 21,5% sehr starker Stress) aufgeteilt.

3. Ergebnisse

3.1 Mini-SCL: Von den 729 Teilnehmenden gaben 364 Studierende (49,9%) an, psychisch belastet zu sein. Weiterhin zeigten knapp 38% ebenfalls deutlich erhöhte TICS-Werte und weitere 43,4% sehr starke Stressbelastung. Studierende mit sehr starker Stressbelastung wiesen in den Skalen Depressivität und Ängstlichkeit ebenfalls deutlich erhöhte Werte auf. 24% der psychisch belasteten Studierenden gaben an, keinen chronischen Stress zu empfinden.

3.2 TICS: Mehr als die Hälfte (53,2%) der 729 der Studierenden wies deutlichen Stress auf, 22% waren sehr stark gestresst. Stärker belastet waren Frauen (44%) und Bafög-Empfangende (63%). Weiterhin zeigte sich, dass höhere TICS Werte mit erhöhten Werten im Digitalen Studienstress und in der Belastung durch Social Distancing einhergingen ($F=40,70$ $p < 0,0001$, $\eta^2=0,10$).

3.3 Studium und Alltag: Sowohl die Gruppe der deutlich als auch die der stark belasteten Studierenden hatte Schwierigkeiten bei der Anpassung an die digitale Lehre und kam deutlich schlechter mit der Selbstorganisation zurecht. Die nicht belasteten Studierenden gaben an, dass sie die zeit- und ortsungebundene Nutzung der Lehre als positiv empfand. Die Gruppe der sehr stark Belasteten stimmte dem weniger zu, vermisste Strukturen und Rahmenbedingungen. Diese Gruppe hatte am meisten Probleme bei der selbständigen Erarbeitung von Studienthemen. Die nicht Belasteten ($M=10,32$, $SD=1,77$) hatte mehr soziale Unterstützung als die sehr stark Belasteten ($M=8,50$, $SD=2,21$).

Alle Studierende vermissten soziale Kontakte mit Freund*innen ($M=3,49$, $SD=0,81$) oder Kommiliton*innen ($M=3,30$, $SD=1,01$). Besonders die sehr hoch Stressbelasteten zeigten in der Skala Social Distancing die deutlichste Belastung ($M=2,98$, $SD=0,68$). Alle Studierenden hatten Schwierigkeiten in der Studienmotivation. Insbesondere die aktuelle Lebenssituation ($M=2,55$, $SD=1,24$) und das Bearbeiten digitaler Aufgaben bei digitalen Lehr-Formaten ($M=2,39$, $SD=1,25$), aber auch die erforderliche Selbstorganisation fiel schwer.

4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, psychosoziale Belastungsfaktoren Studierender bei der pandemiebedingten Umstellung auf Distanz-Lehre zu erfassen und protektive Faktoren herauszustellen.

Insbesondere das Social Distancing belastete die Studierenden in der Pandemie. Die an Präsenzhochschulen üblichen soziale Beziehungen zu Kommiliton*innen auf dem Campus, in Bibliotheken, Mensen und Lehrveranstaltungen wurden aufgrund der pandemiebedingten Schließungen der Hochschulen nahezu komplett in die digitale Welt verlagert. Im Gegensatz zu Studierenden von Fernhochschulen, belastete diese Umstellung von Präsenzlehre auf E-Learning Präsenzstudierende stark und bereitete der Hälfte der Studierenden Stress [17]. Hierbei fielen die notwendige Selbstorganisation und die rein digital stattfindende Lehrform als Herausforderungen auf. In der vorliegenden Studie wurden die verschiedenen Lehrformate nicht berücksichtigt. Neben den Mehrfachbelastungen und erlebten Stressoren (Lockdown, Impfpriorisierungen) aufgrund der SarsCov2-Pandemie, kann die Wahl der pädagogischen und didaktischen Lehrmethoden ebenfalls zum Stresserleben beitragen. Das Spektrum der digitalen Lehrformate reicht von Powerpoint Präsentationen über audiobasierte Präsentationen bis hin zu Videokonferenzen und aufgezeichneten Videoformaten. Besonders durch die Lehrenden bereitgestellte Videos werden von Studierenden aufgrund ihrer wiederholten Verfügbarkeit als entlastend erlebt. Die dadurch wahrgenommene zeitliche Flexibilität studienrelevante Inhalte selbstbestimmt erarbeiten und im Alltag besser integrieren zu können, trägt zur Stressreduktion bei [7].

Es kann geschlussfolgert werden, dass besonders soziale Unterstützung und strukturelle Rahmenbedingungen des Studiums als Ressource zur Reduzierung der Studienbelastung in der Covid-19 Pandemie beitragen. Da Studierende eine besonders vulnerable Gruppe hinsichtlich psychischer Belastungen und Erkrankungen darstellen [18; 19 ;20], sollten sie im Rahmen hochschulinterner gesundheitsfördernder Programme stärkere Berücksichtigung finden. Fast 70% der Studierenden zeigen die Bereitschaft, gesundheitsfördernde Apps oder Web-basierte Angebote zukünftig zu nutzen [17].

Datenverfügbarkeit

Die Rohwert-Daten für diese Arbeit wurden mit Zustimmung einer Ethikkommission durch Fragebögen erhoben und auf einem externen Datenträger zur Verarbeitung durch SPSS gespeichert und sind daher nicht öffentlich zugänglich. Weiterverarbeitete Daten können bei der Autorin angefragt werden.

Interessenskonflikte

Es liegen keine Interessenskonflikte vor.

Literaturverzeichnis

1. Vindegaard, Nina/Benros, Michael Eriksen (2020): „COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence.“ *Brain, Behavior, and Immunity*, 89, 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048>
2. Malik, Mustafa/Javed, Sarfaraz (2021): “Perceived stress among university students in Oman during COVID-19-induced e-learning.” *Middle East Current Psychiatry* 28, 49. <https://doi.org/10.1186/s43045-021-00131-7>
3. Bachmann, Nicole et al. (1999): *Macht Studieren krank? Die Bedeutung von Belastung und Ressourcen für die Gesundheit der Studierenden*. Bern: Hans Huber Verlag
4. Büttner, Tobias R./Dlugosch, Gabriele E. (2013): „Stress im Studium.“ *Prävention und Gesundheitsförderung*, 8, 106–111. <https://doi.org/10.1007/s11553-012-0369-7>
5. Techniker Krankenkasse. (2015): *Gesundheitsreport 2015 - Gesundheit von Studierenden*. Hamburg. Verfügbar unter: <https://www.tk.de/resource/blob/2026676/cfc25bd5aec0a734d6f2c89b1929fb1b/gesundheitsreport-2015-data.pdf>

6. Gosch, Angela/Franke, Gabriele H. (2020): Studie zur aktuellen Lebens- und Studiensituation, zur Belastung und Gesundheit sowie zu Ressourcen von Studierenden. München: Hochschule für Angewandte Wissenschaften München. https://www.sw.hm.edu/aktuelles/news/newsdetail_113024.de.html
7. Wang, Xiaomei et.al (2020): "Investigating Mental Health of US College Students During the COVID-19 Pandemic: Cross-Sectional Survey Study." *J Med Internet Res*; 22(9). doi:10.2196/22817
8. Hochschulrektorenkonferenz (2021): Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die deutschen Hochschulen – Aktuelle Hinweise und Nachrichten. <https://www.hrk.de/themen/hochschulsystem/covid-19-pandemie-und-die-hochschulen/> [09.05.2022]
9. RKI (2021): Stufenplan der STIKO zur Priorisierung der COVID-19-Impfung. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/ImpfungenAZ/COVID19/Stufenplan.pdf?__blob=publicationFile [08.05.2022]
10. Kaufmännische Krankenkasse (2021): <https://www.kkh.de/presse/pressemeldungen/stuzubis> [09.05.2022]
11. Bundesgesundheitsministerium (2021): <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/coronavirus/chronik-coronavirus.html>
12. Petrowski, Katja et al. (2019): "Norm values and psychometric properties of the short version of the Trier Inventory for Chronic Stress (TICS) in a representative German sample." *PLoS ONE*, 14 (11), doi: 10.1371/journal.pone.0222277 [05.05.2022]
13. Franke, Gabriele H. (2017): *Mini-SCL: Mini Symptom-Checklist, Manual*. Göttingen: Hogrefe.
14. Kocalevent, Rüya-Daniela et al. (2018): "Social support in the general population: Standardization of the Oslo Social Support Scale (OSSS-3)." *BMC Psychology*, 6, 31, doi: 10.1186/s40359-018-0249-9
15. Guse, Jennifer et al. (2021): „Wahrnehmung der Studiensituation und psychische Belastung während der COVID-19-Pandemie von Medizinstudierenden mit und ohne Mentoring.“ *GMS Journal for Medical Education*, 37 (7), 1–9, ISSN 2366-5017.
16. Schulz, Peter/Schlotz, Wolff & Becker, P. (2004): *Trierer Inventar zum chronischen Stress: TICS. Manual*. Göttingen: Hogrefe.
17. Apolinário-Hagen, Jennifer et al. (2018): „Die Gesundheit Fernstudierender stärken.“ *Prävention und Gesundheitsförderung* 13, 151–158. <https://doi.org/10.1007/s11553-017-0620-3>
18. Global Health Education and Learning Incubator at Harvard University (2020): Center for Collegiate Mental Health 2019 Annual Report. <https://repository.gheli.harvard.edu/repository/collection/resource-pack-college-students-and-mental-health/resource/12372> [05.05.2022]
19. Son, Changwon et al. (2020): "Effects of COVID-19 on college students' mental health in the United States: Interview survey study." *Journal of Medical Internet Research*, 22(9). <https://doi.org/10.2196/21279>
20. Saravanan, Coumaravelou et al. (2020): "Knowledge, Anxiety, Fear, and Psychological Distress About COVID-19 Among University Students in the United Arab Emirates." *Frontiers in Psychiatry*, 11, 582189. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.582189>

Blockchain Basierter Wasserstoffmarkt (BBH₂) – Eine paradigmenswechselnde, innovative Lösung für einen klimafreundlichen und nachhaltigen Strukturwandel

Volker Wannack^{1*}

¹ Blockchain Competence Center Mittweida (BCCM)/Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: wannack@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Bisher gibt es keine einwandfreie manipulationssichere Nachweisführung für klimafreundlichen „grünen“ Wasserstoff und der damit möglichen Nachverfolgung der Herkunft vom Erzeuger erneuerbarer Energien bis zum Endverbraucher, sodass die gesamte Supply Chain des „grünen“ Wasserstoffs nicht im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit dargestellt und in einem sicheren und transparenten Markt abgebildet werden kann. Mit einer geeigneten Blockchain kann dieses Problem gelöst werden, die darüber hinaus weitere noch nie dagewesene Mehrwerte für die Supply Chain des „grünen“ Wasserstoffmarktes und für den nachhaltigen Strukturwandel insgesamt bietet und deren Entwicklung demnächst im Rahmen des Förderaufrufs „Technologieoffensive Wasserstoff“ innerhalb der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung gefördert wird.

1. Einleitung

Durch die regionalen, nationalen und internationalen Wasserstoff (H₂)- und Blockchain-Strategien [cf. 1; 2; 3; 4; 5] wird dem Wasserstoff und der Blockchain-Technologie auf Landes-, Bundes-, europäischer und weltweiter Ebene zum Durchbruch verholfen und somit die politische und gesellschaftliche Grundlage für das beispiellose Projektvorhaben „Blockchain Basierter Wasserstoffmarkt (BBH₂)“ gelegt, das im Rahmen des Förderaufrufs „Technologieoffensive Wasserstoff“ innerhalb der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung gefördert wird. Die Projektidee ist die Entwicklung eines funktionierenden Blockchain-Minimum Viable Product (B-MVP), also einer geeigneten Blockchain als Basistechnologie mit einer gemeinsamen Datenbank & Plattform (sowie die dazugehörige Implementierung von automatisch abwickelnden Smart Contracts), für die gesamte Supply Chain des („grünen“) Wasserstoffmarktes. Der Betrieb dieser Blockchain stellt eine paradigmenswechselnde, innovative Lösung für einen klimafreundlichen und nachhaltigen Strukturwandel dar, weil er noch nie dagewesene Alleinstellungsmerkmale, Vorteile und Mehrwerte im Rahmen einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit bietet, die in Kapitel 3 dargestellt werden.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

Durch die Blockchain-Technologie können Daten in Unternehmen und Behörden dezentral, schnell, (fälschungs)sicher, transparent, nachverfolgbar, automatisiert und deutlich kostensparender weitergegeben werden [cf. 6]. Aufgrund dieser Vorteile wurden bereits im Bereich Me-

dizin, Logistik, Finanzwesen, Immobilien, Identitätsmanagement, Verwaltung und Energie verschiedene Anwendungsfälle dieser Technologie identifiziert [cf. 7; 8; 9; 10; 11] und bereits teilweise umgesetzt [cf. 9; 10; 12; 13]. Im Bereich der Energiewirtschaft gibt es beispielsweise verschiedene Regionalstrommodelle, welche auf der Blockchain-Technologie basieren. Blockchain-Handelsplätze für lokal erzeugten Ökostrom werden zum Beispiel von den Stadtwerken Wuppertal mit Tal.Markt [cf. 14], im Landkreis Biberach mit BiberEnergie [cf. 15] und von enviaM in Kooperation mit Elblox [cf. 16] angeboten. Darüber hinaus wird von der Bundesregierung die Entwicklung & Implementierung Blockchain-basierter Herkunftsnachweisprozesse für (Öko)Strom und (Bio)Gas empfohlen [cf. 11], die in den nächsten Jahren im Kontext des Schaufensterprogramms „Sichere digitale Identitäten“ [cf. 13] umgesetzt werden. Denn für Strom- und Gasabnehmer ist heute die tatsächliche Herkunft der Energie nur schwer nachvollziehbar. Ein Nachweis erfolgt lediglich über unscharfe Zertifikate im Nachhinein. Zudem ist für (Öko)Strom und (Bio)Gas in Deutschland jeweils eine zentrale Stelle geschaffen worden [das Umweltbundesamt für Ökostrom [cf. 17] und die Deutsche Energie-Agentur GmbH für Biogas [cf. 18], die aufwendig in den teilweise manuellen Prozess eingebunden ist. Der mögliche Einsatz der Blockchain-Technologie für Nachweise über Ausgabe, Handel, Verfolgung und Einzug von Strom oder Gas erlaubt dann erstmals eine Ende-zu-Ende-Zertifizierung und damit einen „anlagenscharfen“ Nachweis. Nachdem eine Anlage registriert ist, wird mit einem Verbraucher ein Energiebezug vereinbart. Nach Eintragen des Handelsabschlusses auf einer Blockchain werden die erzeugten und verbrauchten Mengen von den verantwortlichen Messstellenbetreibern in einen Smart Contract übertragen. Auf diese Weise werden für die erzeugten Einheiten auf der registrierten Anlage Herkunftstokens erzeugt und anschließend dem Verbraucher übermittelt. Die Vorteile, die eine Blockchain für diesen beispielhaften Prozess für Herkunftsnachweise hat, bietet sie natürlich auch für Wasserstoff, um z.B. den automatischen einwandfreien manipulationssicheren Nachweis von „grünem“ anstatt z.B. von „grauem“ Wasserstoff (ohne ein hier bereits existierendes, suboptimales Nachweisregister zu berücksichtigen) zu erbringen. Darüber hinaus bietet sie weitere noch nie dagewesene Mehrwerte für die Supply Chain des („grünen“) Wasserstoffmarktes und für den damit verbundenen nachhaltigen Strukturwandel insgesamt (wie im nächsten Kapitel dargestellt), sodass ihre Entwicklung durch das Projekt BBH₂ notwendig ist.

3. Nutzen von BBH₂

Der wesentliche Nutzen von BBH₂ ist der folgende: Erstens verbessert das in Abbildung 1 dargestellte B-MVP erstmalig die Logistik-, Handels- und Transaktionsprozesse innerhalb der gesamten Wasserstoffmarkt-Akteursprozesskette (Erzeuger erneuerbarer Energien, die Überschussenergie nutzenden Wasserstoffproduzenten, Wasserstofftransport- und Verteilnetzbetreiber und die Wasserstoffverbraucher) dergestalt, dass diese nun gemeinsamen geschützten Zugriff gewähren, kosteneffizienter sind und transparent & nachvollziehbar, flexibel standardisiert & automatisiert abgewickelt, revisions- & fälschungssicher gespeichert, geteilt und ausgewertet werden können. Der Schwerpunkt der Blockchain liegt somit in der einwandfreien manipulationssicheren Nachweisführung des klimafreundlichen „grünen“ anstatt des z.B. klimaschädlichen „grauen“ Wasserstoffs und der damit möglichen Nachverfolgung der Herkunft vom Erzeuger erneuerbarer Energien bis zum Endverbraucher, sodass die gesamte Supply Chain des „grünen“ Wasserstoffs im Sinne der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit dargestellt und in einem sicheren und transparenten Markt abgebildet wird. Zweitens könnte das B-MVP länderübergreifend gültig sein und bedarf demnach keiner länderspezifischen Datenhaltung. Drittens schafft das B-MVP über eine damit einhergehende mögliche Gründung einer Blockchain-Betreibergesellschaft langfristig Arbeitsplätze und dient der Fachkräftegewinnung sowie Qualifizierung und Ausbildung. Viertens lässt das B-MVP neue tragfähige Geschäftsmodelle entstehen, die Grundlage für weitere Unternehmensansiedlungen bzw. Neugründungen sind und wiederum mit einer zusätzlichen langfristigen Schaffung von Arbeitsplätzen einhergeht. So können z.B. Produzenten und Transportnetzbetreiber durch Datenauswertung individuelle Tarife entwickeln sowie bedarfsgerechte Netzkapazitäten bereitstellen. Weiterverteiler und Endkunden würden von bedarfsgerechten Tarifen

und fälschungssicheren Nachweisen profitieren. Fünftens trägt das B-MVP zu einer Steigerung der Wertschöpfung durch technologischen und wirtschaftlich nutzbaren Vorsprung bei und zu einer damit verbundenen besseren, nationalen und internationalen Standards-setzende Sichtbarkeit im Sinne einer klimafreundlichen, nachhaltigen, zukunftsfähigen und -weisenden Vorzeigeregion, die sich als Vorreiter mit überregionaler Strahlkraft manifestieren wird. Sechstens schaffen die vorherigen genannten Punkte zusätzliche Anreize für Forschung und Entwicklung und tragen zur Verbesserung & Bündelung des Wissenstransfers von Hochschulen und Unternehmen, zur Steigerung der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit und somit zu einer Entsprechung des Verständnisses von strategischem Innovationsmanagement und Innovationskultur bei, weil damit in übergeordneter Weise zwei zukunftsweisende Technologien im innovativen Mantel der Sektorkopplung gebündelt werden.

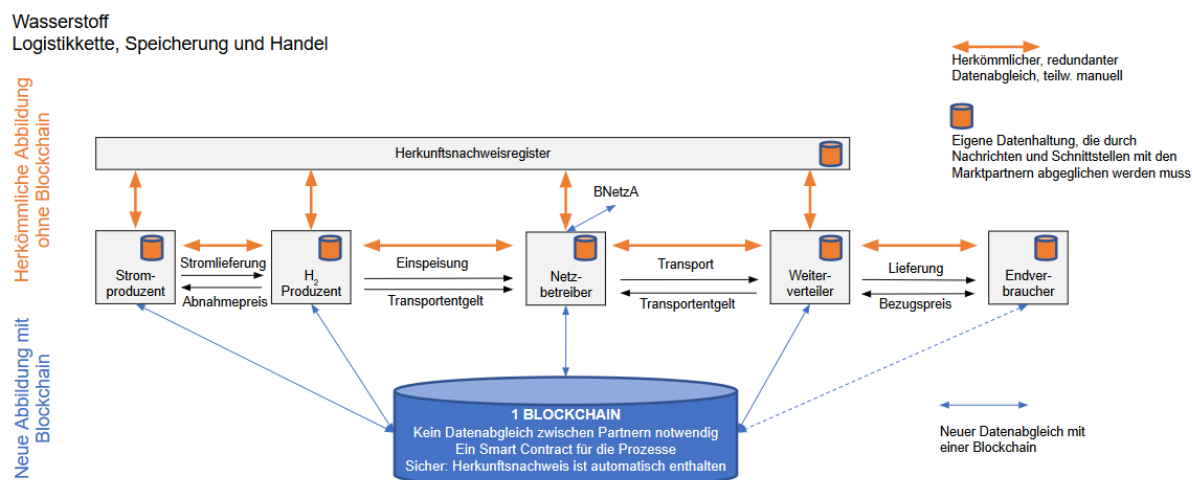


Abbildung 1: Design & Vorteile des Blockchain-Minimum Viable Product (B-MVP) für den Wasserstoffmarkt (Eigene Darstellung)

4. Umsetzungsmethode

Die geplante Methode der Umsetzung ist die folgende: a.) Evaluierung & Abbildung einer geeigneten Blockchaintechnologie und -architektur, c.) Entwicklung & Implementierung der Blockchain, Smart Contracts und der Hinterlegung von Herkunftsnachweisen, d.) Entwicklung geeigneter Schnittstellen zu bestehenden Systemen der Nutzer, z.B. Nominierungs-, Portfoliomanagement-, Trading- und Abrechnungssysteme, e.) Prüfung der Skalierung des B-MVP auf anderen Märkte und Nutzergruppen, f.) Entwicklung geeigneter Datenformate für den Austausch der prozessrelevanten Daten, g.) Durchführung von Feldstudien zur Verprobung des B-MVP.

5. Fazit

Das Projekt Blockchain Basierte Wasserstoffmarkt (BBH₂) schafft eine paradigmenswechselnde, innovative Lösung für einen klimafreundlichen und nachhaltigen Strukturwandel, weil sie noch nie dagewesene in Kapitel 3 beschriebene Alleinstellungsmerkmale, Vorteile und Mehrwerte im Rahmen einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit bietet. Deren aktive Umsetzung, die im Rahmen des Förderaufrufs „Technologieoffensive Wasserstoff“ innerhalb der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung gefördert wird, ist nicht nur im besonderen Interesse der zahlreichen sich am Projekt engagierenden beteiligten Partner aus der Wirtschaft, sondern wird auch durch politische Partner unterstützt, sodass BBH₂ überregionale Aufmerksamkeit und eine exponierte nationale und internationale Stellung erhält und

sich somit im Sinne einer zukunftsfähigen und -weisenden Frontrunner-Lösung mit überregionaler Strahlkraft manifestieren wird.

Datenverfügbarkeit

Das Paper beschreibt eine grundsätzliche Idee, wie ein blockchainbasierter Wasserstoffmarkt aussehen könnte. Da die Umsetzung noch nicht begonnen hat, existieren auch noch keine Daten, die aber im Laufe der Umsetzungsphasen in geeigneter Form (z.B. in einem Repository) zur Verfügung gestellt werden können. Die Daten im Sinne der Beschreibung der Idee und die damit verbundenen Literaturangaben sind bereits transparent und offen in dem Paper angegeben.

Interessenskonflikte

Der Autor erklärt, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. EC (2021): European Blockchain Strategy, unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-blockchain-strategy-brochure> (abgerufen am 27.05.2022)
2. Chemyx Technical Support Team (15.04.2022): Syringe Pump Design. www.chemyx.com/support/knowledge-base/application-reference-by-topic/syringe-pump-design/ [03.05.2022]
3. BMWi (2020): Die nationale Wasserstoffstrategie, unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16 (abgerufen am 27.05.2022)
4. BMWi (2019): Blockchain-Strategie der Bundesregierung, unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (abgerufen am 27.05.2022)
5. SMWA (2020): Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen, unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/35302> (abgerufen am 27.05.2022)
6. SMWA (2019): Sachsen Digital - Digitalisierungsstrategie des Freistaates Sachsen, unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/33501> (abgerufen am 27.05.2022)
7. Joos (2019): 5 Vorteile und 5 Nachteile der Blockchain-Technologie, unter: <https://www.blockchain-insider.de/5-vorteile-und-5-nachteile-der-blockchain-technologie-a-881712/> (abgerufen am 27.05.2022)
8. VDI (2018): Blockchain- Eine Technologie mit disruptivem Charakter, unter: [https://qi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Aktuelles/Meldungen/2018/Blockchain - Eine Technologie mit disruptivem Charakter.pdf](https://qi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Aktuelles/Meldungen/2018/Blockchain_-_Eine_Technologie_mit_disruptivem_Charakter.pdf) (abgerufen am 27.05.2022)
9. Talin (2021): 28 Blockchain Use Cases – Mögliche Anwendungen der Distributed Ledger Technology (DLT), unter: <https://morehandigital.info/blockchain-moeglichkeiten-und-anwendungen-der-technologie/> (abgerufen am 27.05.2022)
10. BCCM (2022): Forschung & Entwicklung, unter: <https://blockchain.hs-mittweida.de/forschung-entwicklung/> (abgerufen am 27.05.2022)
11. BSRM (2022): Aktuelle WIR!-Projekte, unter: <https://blockchain-mittweida.com/projekte/> (abgerufen am 27.05.2022)
12. dena (2019): dena-MULTI-STAKEHOLDER-STUDIE: Blockchain in der integrierten Energiewende, unter: [https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/dena-Studie Blockchain Integrierte Energiewende DE4.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_DE4.pdf) (abgerufen am 27.05.2022)
13. HSMW (2022): Verteilte Informationssysteme, unter: <https://www.cb.hs-mittweida.de/webs/verteilte-informationssysteme.html> (abgerufen am 27.05.2022)
14. ID-Ideal (2022): ID-Ideal-sicheres Management Digitaler Identitäten, unter <https://id-ideal.hs-mittweida.de/> (abgerufen am 27.05.2022)

14. WSW (2022): WSW TAL.MARKT - Die Energierevolution, unter: <https://www.wsw.info/ausgabe-172/energie/wsw-talmarkt/> (abgerufen am 27.05.2022)
15. Biber Energie (2022): BiberEnergie - Strom für Dich und mich – regional und bürger-nah, unter: <https://www.biberenergie.de/> (abgerufen am 27.05.2022)
16. enviaM (2019) <https://www.enviam-gruppe.de/presse/pressemitteilungen/2019/enviam-und-elblox-er%C3%B6ffnen-online-marktplatz-f%C3%BCr-regionale-erzeuger-und-verbraucher-von-strom-aus-erneuerbaren-energien-in-ostdeutschland> (abgerufen am 27.05.2022)
17. UBA (2022): Herkunftsnachweisregister (HKNR), unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/herkunftsnachweisregister-hknr> (abgerufen am 27.05.2022)
18. dena (2022): Biogasregister, unter: <https://www.biogasregister.de/startseite/> (abgerufen am 27.05.2022)

BIO-FORMWORK

Large Scale 3D Deposition of Thermoplastic Starch in Architecture

Benjamin Kemper^{1, 2}, [<https://orcid.org/0000-0003-1937-8356>]

¹ ETH Zürich, Digital Building Technologies

² Hochschule Anhalt, Materiability Research Group

* Korrespondenz: kemper@arch.ethz.ch, benjamin.kemper@hs-anhalt.de

Abstract. The following research synthesizes biopolymers with digital fabrication tools, such as robotic 3D printing, to complement existing research on reducing the amount of concrete used in buildings. It investigates bio-based and biodegradable polymers for concrete formworks. The climate crisis challenges architects and designers to explore alternative opportunities for sustainable fabrication processes. Biopolymers have emerged as a potential material to replace petroleum-based plastics used in the built environment. This research aims to rethink the materials used in the construction of buildings and suggests introducing bio-based and biodegradable materials in architecture.

1. Introduction

The building and construction sector is with 19% the second-largest consumer of plastics [cf. 1: 1]. Buildings today are composed of conventional material systems, each with different requirements. Non-renewable resources and fossil fuels provide the basis for almost all materials used. Because petroleum-based polymers are cheap to produce and accomplish outstanding properties such as high strength and lightweight, they are implemented in building applications. Plastic elements that can be found in architecture are, for instance, insulations, window frames, piping systems, packaging, and formworks [cf. 2: 5].

One application in the architecture and building industry of petrochemical plastics as an engineering material is concrete formworks. To reduce the amount of material used for traditional formworks and significantly reduce the amount of concrete used, one-of-a-kind molds can be fabricated with digital tools, such as subtractive milling [cf. 3: 427] and additively printing formworks [cf. 4; 5; 6]. These processes benefit the reduction of concrete, but still, petroleum-based plastics are being manufactured.

Although complex single-use formworks decrease the material used for concrete components, the printed plastic formwork increases the element's carbon footprint. Consequently, the aim is to use a bio-based and biodegradable material instead to overcome the issues of disposing of valuable resources.

2. Biopolymers

Unlike petroleum-based plastics, a biopolymer consists of polymers originating from biological matter, e.g., sugar cane, starch, or cellulose from trees, straw, and cotton. Biomaterials can be engineered to achieve properties between biodegradable and compostable and robust and durable. Biopolymers can replace conventional plastics due to their identical chemical structure [cf. 7: 2–6].

2.1 Polylactic Acid (PLA)

A prominent example of bio-polyesters is Polylactic Acid (PLA). Through biotechnology, lactic acid is transformed into a thermoplastic polyester.

Typical applications for PLA are (food) packaging, especially for fresh products such as vegetables and fruits, with almost 70% [cf. 8]. Other typical applications are 3D printing filaments. They find extensive implementation in printing due to PLA's low melting temperature [cf. 9].

The universal assumption is that PLA is highly sustainable due to its biodegradable nature. However, PLA only decomposes well under industrial conditions that are relatively unreachable in our natural environment: stable and warm temperature (55°C), moisture-rich environments [cf. 10: 260], and for a period of approximately 2 to 3 months [cf. 11: 27; 12: 8498].

2.2 Thermoplastic Starch (TPS)

The limitations of the biodegradability of PLA describe the choice to investigate polysaccharides, specifically thermoplastic starch (TPS). The universal use of this material is (food) packaging [cf. 13: 6] and biomedical applications, such as excipients, tablets, and capsules in the pharmaceutical sector [cf. 14: 5]. TPS originates from biomass, such as starch from maize, potatoes, and wheat [cf. 13: 4]. These biopolymers have the advantage of being able to be easily composted. The biodegradation of starch-based polymers is assumed to mitigate the issues deriving from petroleum-based polymers [cf. 15: 75].

3. Research Focus

This research focuses on single-use plastics, which describe the most considerable impact on environmental harm due to their cost-(also energy)-benefit ratio. Short-life plastic elements such as individual plastic formworks for concrete should be replaced with sustainable materials.

The latest 3D printed formwork structures research reveals a highly sophisticated and advanced state that significantly cuts concrete costs, energy use, and related labor [5].

However, disposable plastic formwork is used and demonstrates the following research gaps:

1. The material itself is a petroleum-based plastic.
2. The removal of the formwork requires extensive mechanical labor and energy (fig. 1).
3. More material is needed to avoid hydrostatic pressure.

The hypothesis is to replace conventional plastic formworks with actual bio-based and biodegradable polymers. The choice of material is thermoplastic starch because of the following reasons and assumptions:

1. The material is sustainable and compostable.
2. TPS can be designed with different material characteristics, such as flexible and rigid. In addition, solvable material properties can be introduced. This could be an advantage in solving the removal issues of conventional 3D plastic formworks.
3. To react to the emerging hydrostatic pressure, the low costs and low carbon emissions, and the biodegradability of TPS allow for using more material without severe consequences. Besides that, various bio-additives such as hemp fibers can be incorporated into the system to achieve higher reinforcement properties.



Figure 1: 3D printed plastic formwork (FutureTree, 2017-2019, Gramazio Kohler Research, ETH Zürich).

4. Methodology

4.1 Material Research

The material research examines the material and the goal to achieve properties meeting the demands for 3D printing and formworks. Factors for evaluation are properties such as strength, shrinkage, durability, curing time, additive energy sources (heat), viscosity, stickiness, workability, processability, and material costs. The goal is to incrementally and iteratively analyze formulations and their ratios for plausible three-dimensional deposition and formwork performances.

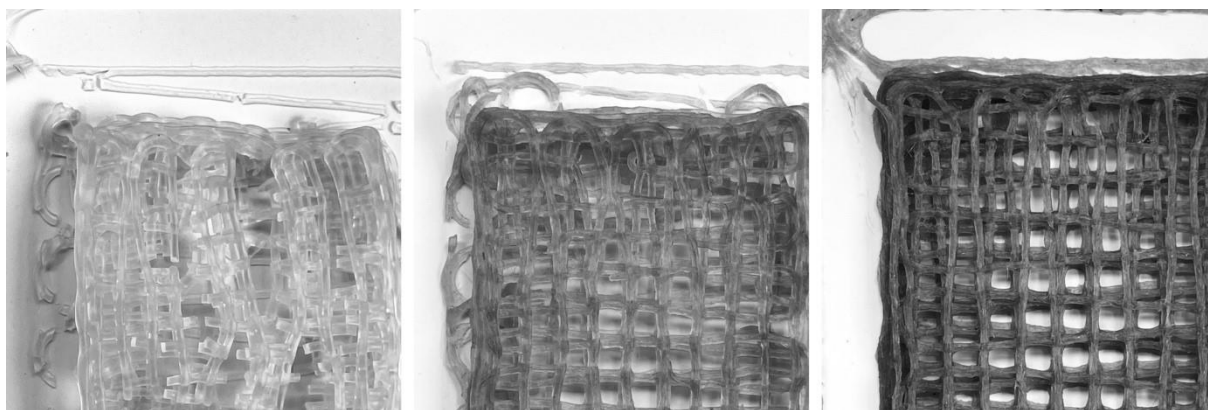


Figure 2: LDM TPS same size prints with hemp fibers; from left to right: control group 0.00%, 0.79%, and 3.10% fibers (Benjamin Kemper, 2021).

Promising results were already achieved by implementing hemp fibers in the mixture before the glass transition. During the setting stage, TPS tends to shrink due to water loss. The incorporated hemp fibers reduce the shrinkage while drying and improve the tensile strength of the material (fig. 2).

At the laboratory scale, several experiments were conducted to change the material characteristics of the material. Because of its simple production process, extending the material palette with natural additives is possible. Before reaching the glass transition of the starch, bio-additives are added to the formulation. Results prove (a) the receptiveness of the bio-additives and (b) the evident change of material properties. Biowaste such as coffee grounds can help improve water repellency and function as a filler material (similar to concrete fillers).

4.2 Fabrication Research

The fabrication research focuses on extrusion systems for 3D printing TPS. Initially, a liquid deposition modeling (LDM) approach was conducted. Therefore, a Delta Wasp 60100 printer with an attached clay extrusion system was converted to deliver liquid TPS to the printing head. The goal was to explore the possibilities of TPS in combination with several additives (such as hemp seeds, fibers, shives, various wood types, eggshells, coffee grounds, and other bio-wastes) to test the printability of the different TPS formulations. The series of experiments clarify factors for LDM printing and additives for TPS. However, this method is not appropriate because of forceful dynamics in the setting process (fig. 3).



Figure 3: left: LDM TPS print process, right: cured and cracked TPS print (Benjamin Kemper, 2020).

Initial results with TPS pellet extrusion avoid these limitations and provide a suitable fabrication strategy for printing (fig. 4). Because of the thermal stability of TPS, it can be extruded multiple times, as long as it does not exceed 280°C [cf. 15: 64]. The material's melting point in the conducted experiment lay approximately between 200°C and 230°C. The test setup (German RepRap 3D printer with a modified Mahor XYZ small-scale pellet extruder) proves the hypothesis of 3D printing TPS (fig. 5).

All experiments were conducted on a small scale; further steps are scaling up and working with the related tasks. Questions to answer are the maximum nozzle size, the feed and flow rate, heating temperature and zones, and the layer adhesion.

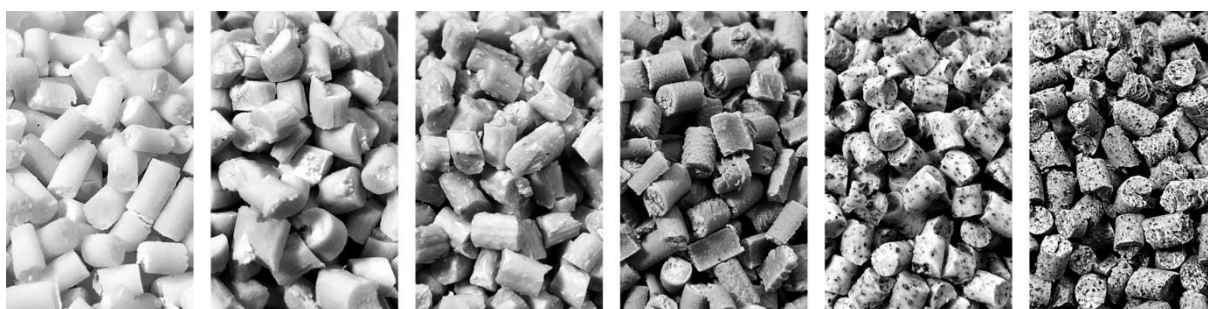


Figure 4: TPS pellets (3-5mm) with additives, from left to right: starch, hemp fibers, hemp shives, bamboo, hemp seeds, coffee grounds (Benjamin Kemper, 2022).



Figure 5: TPS pellet prints (70x100mm), rigid and flexible (Benjamin Kemper, 2021).

4.3 Application and Design Research

The application and design research deals with specific constraints the material system needs to answer for a bio 3D formwork for architectural concrete elements. The benefits and expectations of the TPS formwork approach will be integrated into the latest research and built on top of that, attempting to solve the research gaps mentioned above. This research will include the following topics:

Simple tests were already conducted to examine the casting properties of a 3D printed TPS formwork. The following steps are the scaling up the prototypes to explore TPS printed objects for concrete. For all experiments, a standard mixture of concrete will be used. Further, initial tests will only be performed with pellets of a base TPS formulation and used on simple geometric forms (cylinder).

5. Contribution/Result/Discussion

The research of BIO-FORMWORK will contribute to the scientific field of architecture, aiming for a sustainable future. It focuses on innovation to actively cull processes and materials primarily responsible for carbon emissions and replace them with the help of digital technologies. It searches for a bio-based and biodegradable material system for 3D formworks to create large-scale elements. As a side product, it could also provide an ecological solution for architectural applications and be used as potential interior structures with a short life cycle.

The analysis of bio-based and biodegradable polymers for 3D formworks in architecture describes only a micro aspect of the macro scope (construction material in architecture). The application of TPS on 3D formworks might show how a paradigm shift in the choice of material for architecture could occur. Computation and digital fabrication techniques and the ease of fabricating ephemeral materials and products allow for new speculations about ecologic and economic components in architecture. These products and their inherent complexity in material properties and fabrication process can be understood not as a problem but as an opportunity.

Data availability statement

All data used is either based on personal research or noted in the appendix.

Competing interests

The author declares that there are no competing interests.

List of Figures

1. Figure 1: Burger, Joris. "1f207c53a7aa6ba69475289f1af8fc87_200602_239_Eggshell_Formwork_removal3_Joris_Burger_PR.Jpg." DFab, 2020, dfab.ch/assets/uploads/img/news/_1200x630_crop_center-center_none/1f207c53a7aa6ba69475289f1af8fc87_200602_239_Eggshell_Formwork_removal3_Joris_Burger_PR.jpg.
2. Figure 2-5: Personal photograph by author. 2020-22.

References

1. Geyer, Roland, Jenna R. Jambeck, and Kara Lavender Law (2017) "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made". *Science Advances* 3/7: 25–29.
2. Häkkinen, Tarja, Matti Kuittinen, and Sirje Vares (2019) "Plastics in Buildings: A Study of Finnish Blocks of Flats and Daycare Centres".
3. Mostafavi, Sina, Benjamin N. Kemper, and Chong Du (2019) "Materializing Hybridity in Architecture: Design to Robotic Production of Multi-Materiality in Multiple Scales". *Architectural Science Review* 62/5: 424–37.
4. Peters, Brian (2014) "Additive Formwork 3D Printed Flexible Formwork". *ACADIA 2014 - Design Agency: Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture 2014/Octob*: 517–22.
5. Jipa, Andrei, Mathias Bernhard, and Benjamin Dillenburger (2018) "Submillimetre Formwork: 3D-Printed Plastic Formwork for Concrete Elements". *2017 TxA Emerging Design + Technology*: 70–79.
6. Leschok, Matthias, and Benjamin Dillenburger (2019) "Dissolvable 3DP Formwork". *ACADIA Ubiquity and Autonomy*: 188–97.
7. Goodall, Chris (2011) "Bioplastics: An Important Component of Global Sustainability". *Biome Bioplastics - White Paper September 2011*: 11.
8. Jamshidian, Majid, et al. (2010) "Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9/5: 552–71.
9. Morão, Ana, and François de Bie (2019) "Life Cycle Impact Assessment of Polylactic Acid (PLA) Produced from Sugarcane in Thailand". *Journal of Polymers and the Environment* 27/11: 2523–39.
10. Kale, Gaurav et al. (2007) "Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview". *Macromolecular Bioscience* 7/3: 255–77.
11. Teixeira, Stefanie et al. (2021) "Towards Controlled Degradation of Poly(Lactic) Acid in Technical Applications". *C - Journal of Carbon Research* 7/2: 42.
12. Madhavan Nampoothiri, K., Nimisha Rajendran Nair, and Rojan Pappy John (2010) "An Overview of the Recent Developments in Polylactide (PLA) Research". *Biore-source Technology* 101/22: 8493–8501.
13. Khan, Bahram, et al. (2017) "Thermoplastic Starch: A Possible Biodegradable Food Packaging Material—A Review". *Journal of Food Process Engineering* 40/3.
14. Carvalho, Antonio José Felix de, and Eliane Trovatti (2016) "Biomedical Applications for Thermoplastic Starch". *Biodegradable and Biobased Polymers for Environmental and Biomedical Applications*: 1–23.
15. Saiah, Redouan, Richard Gattin, and P.A. Sreekumar (2012) "Properties and Biodegradation Nature of Thermoplastic Starch". *Thermoplastic Elastomers*, June: 57–78.

Nachhaltigkeit von Paketstationen – Chancen für den Klimaschutz

Maximilian Engelhardt^{1*}, Ben Geier¹, Stephan Seeck¹ und T. Birte Malzahn¹

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

* Korrespondenz: Maximilian.Engelhardt@htw-berlin.de

Kurzfassung. Der wachsende Online-Handel führt durch die steigenden Paketmengen zu mehr Verkehr, Staus und Emissionen in Städten. Paketstationen können dabei eine nachhaltige Form der Paketzustellung an private Haushalte darstellen. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Forschungsfrage, unter welchen Bedingungen der Einsatz von Paketstationen einen relevanten Beitrag zu einer klimafreundlichen Stadtlogistik leisten kann. Zunächst wird die Nachhaltigkeit von Paketstationen evaluiert; im Anschluss wird das Nutzungsverhalten und die Akzeptanz der Empfänger:innen analysiert, um Handlungsfelder zur Akzeptanzsteigerung und weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren. Die Datengrundlage dieser Arbeit bildet eine systematische Recherche aktueller Literatur und Forschungsprojekte.

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund der Urbanisierung und des wachsenden Online-Handels sehen sich Städte in einem Spannungsfeld: Auf der einen Seite ist die Versorgung mit Waren in wachsenden und verdichteten Städten sicherzustellen, auf der anderen Seite lässt sich die Verbesserung der Lebensqualität in den Städten nur durch eine Reduzierung des Verkehrs – und damit auch des Lieferverkehrs – erreichen.

Studien zeigen, dass Paketstationen eine nachhaltige Alternative für die Paketzustellung an private Haushalte auf der letzten Meile darstellen können (siehe Kapitel 4.1). Zwar baut der Paketdienst DHL das Netz seiner „Packstationen“ immer weiter aus [1], die Paketdienste Hermes und DPD stellten ein Paketstation-Projekt aufgrund zu geringer Nutzung jedoch ein [2]. Das Potenzial für eine klimafreundlichere Stadtlogistik wird somit nicht ausgenutzt.

Der Beitrag untersucht zunächst die Nachhaltigkeit von Paketstationen als Alternative zur Paketzustellung an die Haustür. Im Anschluss wird das Nutzungsverhalten und die Akzeptanz der Empfänger:innen analysiert, um Handlungsfelder zur Akzeptanzsteigerung zu identifizieren. Bisherige Forschungsarbeiten untersuchen diese Fragen lediglich getrennt voneinander. Doch die alleinige Betrachtung der Nachhaltigkeit von Paketstationen hat nur eine begrenzte Aussagekraft, wenn die Paketstationen von den Empfänger:innen nicht ausreichend genutzt werden. Nur wenn die angebotenen Paketstationen eine hinreichende Akzeptanz durch die Paketempfänger:innen erfahren, können sich positive Effekte hinsichtlich der Stadtlogistik und des Klimas einstellen.

2. Theoretische Grundlagen

Die letzte Meile der Paketzustellung beschreibt den Weg des Pakets vom letzten Umschlagpunkt bis zu den Endkund:innen [3]. Dieser letzte Abschnitt verursacht bei konventioneller Zustellung bis zu 77% der Transportkosten [4]. Daher wird der letzten Meile in der Paketlogistik bei Optimierungsbestrebungen besonders viel Aufmerksamkeit geschenkt. Eine alternative Option ist die Zustellung der Pakete an Paketstationen. Das Lieferfahrzeug muss hier nur wenige Stationen statt vieler Haushalte anfahren und die Empfänger:innen holen ihr Paket selbst ab. Paketdienste können so ihre Fahrtstrecke und damit die Transportemissionen reduzieren. Wenn Empfänger:innen dann auch die Abholung in ihre Alltagswege integrieren, wird kein zusätzlicher Verkehr erzeugt. Wenn Sendungen separat, aber mit dem Fahrrad, ÖPNV oder zu Fuß abgeholt werden, entstehen keine zusätzlichen CO₂-Emissionen. Gleichzeitig wird die Produktivität der Paketdienste gesteigert, da viele Pakete an einer Stelle (der Paketstation) abgegeben werden können. Um das Nachhaltigkeitspotenzial der Paketstationen zu heben, müssen Paketstationen hinreichend genutzt werden [5]. Eine hohe Marktdurchdringung wurde bisher jedoch noch nicht erreicht: 2019 wurden z.B. nur 3% der Pakete von DHL an eine „Paketstation“ zugestellt [6].

3. Methodische Vorgehensweise

Die Datengrundlage dieser Arbeit bildet eine systematische Recherche aktueller Literatur und Forschungsprojekte zur Nachhaltigkeit und Kundenakzeptanz von Paketstationen. Auf Basis dieser Recherche werden Handlungsfelder zur Akzeptanzsteigerung ermittelt, um die Nachhaltigkeitspotenziale der Paketstationen zu realisieren. Es wurden 43 wissenschaftliche Artikel und 17 Forschungsprojekte identifiziert, von denen nach einem Abstract-Review 22 Beiträge detailliert analysiert wurden. Davon beziehen sich acht Beiträge primär auf die ökologische Nachhaltigkeit, drei Beiträge auf die ökonomische Nachhaltigkeit, ein Beitrag auf die soziale Nachhaltigkeit und zehn Beiträge auf die Kundenakzeptanz.

4. Ergebnisse

4.1 Nachhaltigkeit

Dass Paketstationen eine nachhaltige Zustelloption darstellen, wurde durch Studien hinreichend belegt. Je nach Studie wurden CO₂-Einsparungen zwischen 19% und 27% durch Paketstationen im Vergleich zur konventionellen Zustellung ermittelt (siehe Tabelle 1). Dies liegt insbesondere am Abholverhalten der Nutzer:innen: 67% nutzen umweltfreundliche Verkehrsmittel für die Abholung [7], und jede zweite Abholung wird in eine bestehende Fahrt integriert [8]. Das hat auch einen positiven Effekt auf die Stadtverträglichkeit des Lieferverkehrs. Wenn die Abholung der Pakete in Fahrten integriert oder ohne eigenen PKW vollzogen wird, wird der Lieferverkehr reduziert. Weniger Lieferfahrzeuge bedeuten auch einen geringeren Flächenverbrauch und weniger Staus aufgrund von in zweiter Reihe stehender Lieferfahrzeuge.

Tabelle 1: Untersuchte Beiträge zur Nachhaltigkeit von Paketstationen

Autor:in	Dimension	Kernaussage
Prandtstetter et al. [5]	Ökologie	Bei ausreichend Nutzer:innen ist die Paketstation nachhaltig
Halldorsson & Wehner [9]	Ökologie	Nähe zwischen Privathaushalt und Kunde erhöht Wahrscheinlichkeit, dass das Paket nicht mit dem Auto abgeholt wird
Jordan et al. [7]	Ökologie	Abholung erfolgt zumeist umweltfreundlich
Hofer et al. [10]	Ökologie	Potenzial für bis zu 27% weniger CO ₂ -Ausstoß
Carotenuto et al. [11]	Ökologie	21% weniger CO ₂ -Ausstoß durch Collection Points
Kuwok & Asdecker [12]	Ökologie	Paketstation ist insgesamt ökologisch nachhaltig
De Maere [13]	Ökologie	20,5% weniger CO ₂ -Ausstoß durch Packstationen
Giuffrida et al. [14]	Ökologie	Grundsätzlich weniger CO ₂ -Ausstoß als Haustürzustellung
Pfaffenbichler [15]	Soziokultur	Offene Paketstationen in Wohnhäusern als Maßnahme zur Verbesserung des innerstädtischen Verkehrs
Orenstein et al. [16]	Ökonomie	Flexible Empfänger:innen, die mehr als eine Paketstation als Lieferziel angeben, würde Zustellung effizienter machen
Becker [17]	Ökonomie	Bevölkerungszahl in Verbindung mit relativen Sendungsvolumen entscheidend für Wirtschaftlichkeit
Punakivi & Tanskanen [18]	Ökonomie	Reduktion der operativen Kosten, Amortisationszeit: 2-5 Jahre

Gleichzeitig steigern Paketstationen die Wirtschaftlichkeit der letzten Meile. Paketstationen erhöhen die Anzahl der Pakete, die bei einem Stopp zugestellt werden können, deutlich. Lieferboten können dadurch in der gleichen Zeit bis zu zehnmal mehr Pakete zustellen [19], wodurch sich die operativen Kosten der Paketdienste erheblich reduzieren. Bedingung hierfür ist jedoch ein dichtes Netz an Paketstationen und ein hoher Anteil an Empfänger:innen, die diese nutzen [5].

Kritisch zu betrachten ist, dass die Studien in ihren Analysen von einer hohen Auslastung der Paketstationen ausgehen und nicht die tatsächliche Auslastung betrachten. Entscheidend für die Nachhaltigkeits-Effekte von Paketstationen ist daher die Frage, ob eine hohe Auslastung in der Praxis erreicht werden kann. Weil ein dichtes Netz erforderlich ist, kann eine hohe Auslastung nur durch die Steigerung der Nutzerzahlen erreicht werden. Dazu ist eine hohe Kundenakzeptanz erforderlich.

4.2 Kundenakzeptanz

Einige empirische Studien haben sich bereits mit der Kundenakzeptanz von Paketstationen beschäftigt. Während die Studien eine überwiegend positive Einstellung potenzieller Nutzer*innen gegenüber Paketstationen feststellen, mündet diese Einstellung jedoch nicht in der Wahl der Zustelloption „Paketstation“ (siehe Tabelle 2). Die Haustürzustellung ist weiterhin die beliebteste Zustelloption für private Empfänger:innen. Nur 16% präferieren die Paketstation als Zustelloption [20]. Wichtigste Entscheidungskriterien sind Standort und Preis. Dabei sollte die Zustellung an eine Paketstation nicht mehr kosten als die Haustürzustellung [21].

Tabelle 2: Studien zur Kundenakzeptanz von Paketstationen

Autor:in	Kernaussage
Hagen et al. [20]	Nutzer:innen der Paketstation sind zufriedener als Nutzer:innen, die ihr Paket an die Haustür liefern lassen
Ignat & Chankov [22]	Darstellung der ökologischen und sozialen Auswirkungen beeinflusst die Kund:innen bei der Wahl ihrer Liefermethode
Mitrea [23]	93% wollen/würden Paketstation nutzen (N=1053), aber nur 25 % haben sie bereits genutzt
Richter et al. [8]	Zentrale Bedeutung für Nutzungsbereitschaft haben einfache Bedienbarkeit, hohe Funktionalität, Abholentfernung (<500m)
Verlinde et al. [24]	Wenn eine kostenlose Rücksendung angeboten wird, sind die Verbraucher:innen bereit, auf die Heimzustellung zu verzichten
De Oliveira et al. [25]	Integration in Supermärkte und Drogerien würde die Zugänglichkeit steigern
Kedia et al. [26]	Paketstation ist vielversprechende Lösung für Hauptproblem von Online-Shoppern: Fehlgeschlagene Lieferungen
Iwan et al. [21]	Hohe Kundenakzeptanz und Zufriedenheit; Standort und Preis als wichtigste Entscheidungskriterien
Moroz & Polkowski [27]	Paketstation wird von jungen Leuten als nicht besonders nachhaltig wahrgenommen (Befragt wurden Personen im Alter zwischen 17 und 36 Jahren)

4.3 Handlungsfelder

Basierend auf den Kernergebnissen ergeben sich fünf Handlungsfelder mit konkreten Handlungsempfehlungen (vgl. Abbildung 1). Ziel ist es, die nötigen Rahmenbedingungen für den nachhaltigen Einsatz von Paketstationen zu schaffen.

1. Anbieter von Paketstationen sollten eine hohe Benutzerfreundlichkeit sicherstellen und die Paketstation technisch weiterentwickeln, um deren Funktionsumfang zu erweitern.
2. Paketdienstleistern wird empfohlen, in Kooperation mit Online-Händlern auf die ökologischen Auswirkungen von Zustelloptionen hinzuweisen, um damit den ökologischen Nutzen der Paketstation besser zu vermarkten.
3. Städte und Kommunen sollten Flächen für Paketstationen zur Verfügung stellen und dadurch die Zugänglichkeit und Erreichbarkeit sicherstellen.
4. Empfänger:innen wird die Nutzung der Paketstation aufgrund der besseren Stadtverträglichkeit empfohlen, sofern diese zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem ÖPNV erreicht werden kann.
5. Die Wissenschaft hat die Aufgabe, die Gründe für die heutige Nichtnutzung näher zu erforschen, um darauf aufbauend neue Nutzungsansätze zu konzipieren, wie z. B. die Kombination von Paketstationen und der Zustellung per Lastenrad. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sind Berechnungsmodelle zur Ermittlung der kritischen Auslastung bzw. Mindestauslastung erforderlich. Außerdem sollten Attraktivität, Kosten und Nutzen von Paketstationen für potenzielle Betreiber anbieteroffener Systeme erforscht werden.

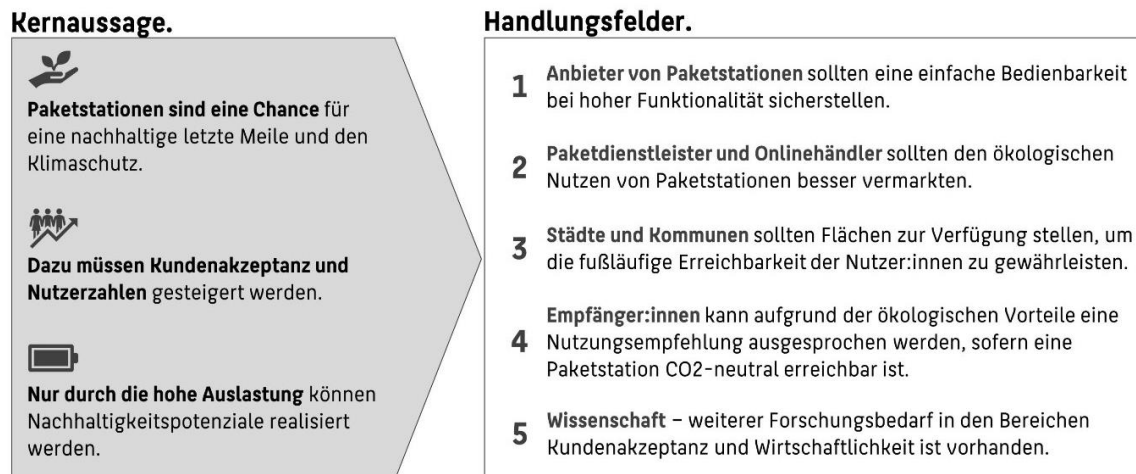


Abbildung 1: Aus den Kernergebnissen ergeben sich fünf Handlungsfelder (eigene Darstellung)

5. Zusammenfassung & Ausblick

Diese Arbeit ermittelte die Bedingungen für den nachhaltigen Einsatz von Paketstationen mittels Literaturrecherche. Während die ökologische Nachhaltigkeit von zahlreichen Studien belegt wird, gibt es weitere offene Fragen zur Wirtschaftlichkeit und insbesondere zur Kundenakzeptanz, die für eine höhere Marktdurchdringung und damit auch zur Skalierung der ökologischen Potenziale essentiell ist. Hierfür wurden Handlungsfelder für Anbieter von Paketstationen, Paketdienstleister und Online-Händler, Städte und Kommunen, Empfänger:innen und Wissenschaft definiert (siehe Kapitel 4.3).

Vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen in der Praxis (neue Paketstation-Akteure wie Instabox, Ausbau der Netze der DHL Packstation und Amazon Locker) wird das Thema Paketstationen weiter an Relevanz gewinnen. Auch einige nicht-proprietäre Anbieter drängen auf den Markt (z. B. World of Lockers). Ob Pakete in Zukunft an vielen verschiedenen Paketstationen abzuholen sein werden oder ob es eine Paketstation für alle Paketdienste geben wird, bleibt abzuwarten. Fest steht, nur wenn die Kund:innen die Lösungen annehmen, wird das nachhaltige Modell Paketstation erfolgreich sein und damit die Chancen für den Klimaschutz genutzt.

Datenverfügbarkeit

Die der Studie zu Grunde liegenden Daten (Literatur) können entsprechend des Literaturverzeichnisses abgerufen bzw. in Datenbanken recherchiert werden.

Interessenskonflikte

Hiermit erklären die Autor*innen, dass zu den Inhalten der Publikation kein Interessenskonflikt vorliegt.

Literaturverzeichnis

1. Deutsche Post DHL Group. (2021): Deutsche Post DHL nimmt bundesweit 7.000. Packstation in Betrieb. [dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2021/deutsche-post-dhl-nimmt-bundesweit-7000-packstation-in-betrieb.html](https://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2021/deutsche-post-dhl-nimmt-bundesweit-7000-packstation-in-betrieb.html) [03.05.2022]

2. Hermes Germany (2022): Hermes und DPD stellen operative Tätigkeiten ihres Joint Venture ParcelLock ein. Sebastian Kaltofen. newsroom.hermesworld.com/hermes-und-dpd-stellen-operative-taetigkeiten-ihres-joint-venture-parcellock-ein-24165/ [03.05.2022]
3. Umundum, Peter (ed.) (2020): Die letzte Meile – Königsdisziplin der Logistik. Peter H. Voß (eds.): Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden: 149–162.
4. Brabänder, Christian (2020): Die Letzte Meile. Definition, Prozess, Kostenrechnung und Gestaltungsfelder. Wiesbaden: Springer Gabler (essentials).
5. Prandtstetter, Matthias; Seragiotto, Clovis; Braith, Johannes; Eitler, Sandra; Ennsner, Bernhard; Hauger, Georg et al. (2021): On the Impact of Open Parcel Lockers on Traffic. In *Sustainability* 13 (2), p. 755. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020755>.
6. Deutsche Post DHL Group. (2019): Strategy 2025 – Delivering excellence in a digital world. Präsentation von Frank Appel. Capital Market Days Frankfurt.
7. Jordan, Hanna et al. (2020): Abschlussbericht. Untersuchung: Veränderung des gewerblichen Lieferverkehrs und dessen Auswirkungen auf die städtische Logistik. Berlin/Dortmund: LNC LogisticNetwork Consultants GmbH, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
8. Richter, Ralph; Söding, Max; Christmann, Gabriela (2020): Logistik und Mobilität in der Stadt von morgen. Eine Expert*innenstudie über letzte Meile, Sharing-Konzepte und urbane Produktion. Erkner: Leipzig-Institut Raumbezogene Sozialforschung.
9. Halldórsson, Árni; Wehner, Jessica (2020): Last-mile logistics fulfilment: A framework for energy efficiency. Göteborg, Schweden. *Research in Transportation Business & Management* 37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100481>.
10. Hofer, Karl et al. (2020): Estimation of Changes in Customer's Mobility Behaviour by the Use of Parcel Lockers. Graz, Österreich. *Transportation Research Procedia* 47: 425–432. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.118>.
11. Carotenuto, Pasquale et al. (2018): Comparison of various urban distribution systems supporting e-commerce. Point-to-point vs collection-point-based deliveries. *Transportation Research Procedia* 30: 188–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.021>.
12. Kuwok, Frank; Asdecker, Björn (2018): Grüne Logistik-Lösungen auf der letzten Meile: Sind Packstationen ökologisch nachhaltig?. Bamberg. doi: <https://doi.org/10.20378/irbo-51558>.
13. Maere, Bart de (2017): Ecological and economic impact of automated parcel lockers vs home delivery. Brüssel: Freie Universität Brüssel
14. Giuffrida, Maria et al. (2016): Home delivery vs parcel lockers: an economic and environmental assessment. Mailand: Politecnico Milano - XXI Summer School "Francesco Turco"
15. Pfaffenbichler, Paul (2018): Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch als mögliche Auswirkung der zunehmenden Nutzung des Onlinehandels durch die EinwohnerInnen der Stadt Wien (URANOS). Endbericht. Wien
16. Orenstein, Ido; Raviv, Tal; Sadan, Elad (2019): Flexible parcel delivery to automated parcel lockers: models, solution methods and analysis. *EURO Journal on Transportation and Logistics* 8: 683–711. doi: <https://doi.org/10.1007/s13676-019-00144-7>.
17. Becker, Alexander Nicolas Bernhard (2018): Paketsammelstellen (CDP) als Lösungsansatz der Last Mile Problematik im B2C - Untersuchung und Evaluierung am Beispiel von Paketshops und Packstationen. Wien: TU Wien
18. Punakivi, Mikko; Tanskanen, Kari (2002): Increasing the cost efficiency of e-fulfilment using shared reception boxes. *International Journal of Retail & Distribution Management* 30:498–507. doi: <https://doi.org/10.1108/09590550210445362>.
19. Bilik, Justyna (2014): Parcel machines - green solution for green cities. Presentation at 1st International Conference. Green Logistics for Greener Cities. Szczecin.
20. Hagen, Tobias et al. (2020): Dein Depot. Potenzialanalyse zur Umsetzung eines zentralen Depots mit dem Ziel einer umweltfreundlichen und gebündelten Auslieferung von Paketen auf der letzten Meile. Frankfurt a. m.: Frankfurt University of Applied Sciences

21. Iwan, Stanisław; Kijewska, Kinga; Lemke, Justyna (2016): Analysis of Parcel Lockers' Efficiency as the Last Mile Delivery Solution – The Results of the Research in Poland. *Transportation Research Procedia* 12: 644–655. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.018>.
22. Ignat, Bianca; Chankov, Stanislav (2020): Do e-commerce customers change their preferred last-mile delivery based on its sustainability impact?. *IJLM* 31: 521–548. doi: <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2019-0305>.
23. Mitrea, Ionut Alexandru (2020): Estimating e-commerce demand for last mile delivery optimization through parcel locker. Turin: Politecnico di Torino
24. Verlinde, Sara et al. (ed.) (2018): E-Consumers and Their Perception of Automated Parcel Stations.
25. Eiichi Taniguchi, Eiichi Thompson (eds.): *City Logistics 3*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc: 147–160. Oliveira et al. (2019): Analysis of accessibility from collection and delivery points: towards the sustainability of the e-commerce delivery. *Urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana* 11. doi: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190048>.
26. Kedia, Ashu; Kusumastuti, Diana; Nicholson, Alan (2017): Acceptability of collection and delivery points from consumers' perspective: A qualitative case study of Christchurch city. *Case Studies on Transport Policy* 5: 587–595. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.10.009>.
27. Moroz, Miroslaw; Polkowski, Zdzislaw (2016): The Last Mile Issue and Urban Logistics: Choosing Parcel Machines in the Context of the Ecological Attitudes of the Y Generation Consumers Purchasing Online. *Transportation Research Procedia* 16: 378–393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.036>.

Suffizienz als wirkungsvolle Strategie für mehr Nachhaltigkeit und weniger Leerstand im Gebäudebestand des ländlichen Raumes

Anika Möcker¹[\[https://orcid.org/0000-0001-8688-9995\]](https://orcid.org/0000-0001-8688-9995), Marie-Luise Baldin¹[\[https://orcid.org/0000-0002-0401-4464\]](https://orcid.org/0000-0002-0401-4464)

¹ Hochschule Mittweida

Korrespondenz: suffizienz@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Der Pro-Kopf-Wohnflächenverzehr steigt seit vielen Jahren kontinuierlich an. Dadurch wird die Wirksamkeit kostspieliger Energieeffizienzmaßnahmen und –programme erheblich konterkariert. Dem entgegen stehen suffiziente Nutzungskonzepte, die einen Beitrag zur Reaktivierung und Erhöhung der Nutzungsintensität von Bestandsimmobilien und zur Vermeidung von Neubau leisten können. Sie stellen ein wichtiges Instrument zur Reduzierung des Flächenverbrauchs und zur Erreichung der Klimaneutralität im Gebäudesektor dar. Der Beitrag stellt Ergebnisse eines Forschungsprojektes dar, das die Potentiale von Suffizienzkonzepten für den ländlich und kleinstädtisch geprägten Raum untersucht. Dazu gehören u. a. Befragungsergebnisse zur Akzeptanz von Suffizienzmaßnahmen im Bereich des Wohnens in einer sächsischen Kleinstadt.

1 Einleitung

Trotz verlangsamter Bevölkerungsentwicklung ist bei der Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen, insbesondere der Wohnflächen, ein kontinuierliches Wachstum zu verzeichnen. Dabei verlaufen Wohnungs- und Bevölkerungsentwicklung regional differenziert: Während in Großstädten die Zahl der Bevölkerung deutlich stärker anstieg als die Anzahl der Wohnungen, verzeichnen bspw. Sachsen-Anhalt oder Thüringen Bevölkerungsverluste, bei gleichzeitigem Anstieg der Wohnungsbestände [1]. Gründe dafür sind u. a. weiter anhaltende Ausweisungen von Einfamilienhaussiedlungen und der demografische Wandel, insbesondere im ländlichen Raum und Kleinstädten [2: 244]. Aber auch der Remanenzeffekt, der beschreibt, dass Eltern nach dem Auszug der Kinder in den größeren Wohnungen oder Einfamilienhäusern verbleiben und damit die Pro-Kopf-Wohnflächen deutlich ansteigen [3]. Abbildung 1 zeigt diese Entwicklung am Beispiel der sächsischen Kleinstadt Mittweida, deren Bevölkerung zwischen den Jahren 1992 und 2020 um 23 % geschrumpft ist, während die Siedlungs- und Verkehrsflächen um 22 % angestiegen sind. Gleichzeitig steigen die Pro-Kopf-Wohnflächen: betrug diese 1991 noch 36,1 m², so stieg der Wert bis 2020 auf 47,7 m² [1; 4]. Differenziert nach Regionen, zeigt sich für den ländlichen Raum eine Pro-Kopf-Wohnfläche von 51,4 m², während Bewohner*innen von Städten mit 40,9 m² auskommen [5]. Und während in den alten Bundesländern 47,2 m² pro Kopf zur Verfügung, sind es in den neuen Bundesländern lediglich 42,6 m² [6]. Die steigenden Pro-Kopf-Wohnflächen sind in Bezug auf die deutschen Klimaziele mit Besorgnis zu beobachten: bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich auf minus 67 % gegenüber 1990 reduziert werden [7], bis 2045 soll Klimaneutralität erreicht sein [8] und der Flächenverbrauch bis 2050 auf eine „Netto-Null“ reduziert werden [9].

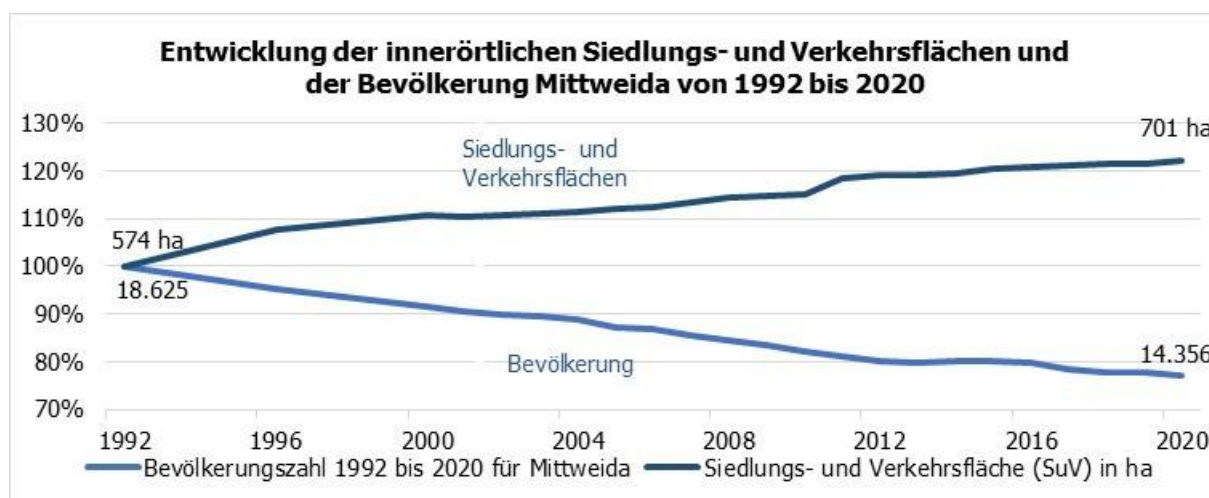


Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung und Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Mittweida 1992-2020. (eigene Darstellung nach Statistischem Landesamt Sachsen 2021)

Dabei ist der Gebäudesektor besonders gefordert, denn hier wurden bereits die Klimaziele bis 2020 verfehlt [10]. So stellt etwa Bierwirth [11] dar, dass durch Energieeffizienzmaßnahmen zwar der Raumwärmebedarf pro Quadratmeter von 1995 bis 2015 um 56 % reduziert werden konnte, jedoch im gleichen Zeitraum die Pro-Kopf-Wohnfläche von 36,7 m² auf 46,7 m² anstieg. Insgesamt führte diese Entwicklung lediglich zu einer Reduzierung des Raumwärmebedarfs pro Person um 16 %. D. h. die Steigerung der Gebäudeeffizienz wird durch das Pro-Kopf-Wohnflächenwachstum kompensiert und konterkariert (indirekter Reboundeffekt).

Ein wesentliches Potential liegt demnach in der Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnflächen, die sich der Nachhaltigkeitsstrategie der Suffizienz zuordnen lässt. Suffizienz (von lat. *sufficere* – genügen, ausreichen) ist neben Effizienz (gleicher Output bei geringerem Ressourceneinsatz) und Substitution (umweltfreundlich strukturierter Ressourceneinsatz) eine von drei Nachhaltigkeitsstrategien [12]. **Suffizienz** zielt auf einen verminderten Ressourcenverbrauch „durch eine Verringerung der Nachfrage von Gütern“ [13] bzw. durch eine Veränderung der „persönliche Bedürfnisse, Bedarfe und Wünsche“ mit dem Ziel, persönliche, gesellschaftliche und ökologische Grenzen in Einklang zu bringen [14]. Suffizienzstrategien können u. a. durch den Umzug in kleinere Wohnungen oder in gemeinschaftlichen Wohnformen umgesetzt werden [15]. Dabei geht es insbesondere um die bedarfs- und altersgerechte Anpassung von Wohnflächen, da diese mit steigendem Alter tendenziell größer werden [16]. Begründet liegt dies im Remanenzeffekt [3], aber auch im seit der Nachkriegszeit andauernden und in Ostdeutschland seit 1990 nachgeholten Trend zum suburbanen Einfamilienhaus [17]. Nachhaltigkeitspotenziale von Suffizienzstrategien liegen dabei nicht nur in der Verminderung von Treibhausgasemissionen, sondern es ergeben sich auch Synergien zur Kostenreduzierung für das Wohnen und zur Sicherung bezahlbaren Wohnraums [18; 19; 20].

Da Suffizienzstrategien mit bewussten Verhaltensänderungen einhergehen, ist es eine entscheidende Frage, ob und wann Menschen bereit sind, ihre Pro-Kopf-Wohnflächen zu reduzieren. Von dieser Frage ausgehend, wurden 2020/2021 im Forschungsprojekt „Potenziale suffizienter Nutzungskonzepte für den klimaneutralen Gebäudebestand 2050“ an der Hochschule Mittweida eine Befragung durchgeführt, die aufzeigen soll, ob und unter welchen Bedingungen Menschen zu einer solchen Flächenreduzierung bereit sind. Das Projekt nimmt gezielt die Bedarfe von Kleinstädten und ländlichen Raum in den Blick und untersucht die Fragestellungen am Fallbeispiel der sächsischen Kleinstadt Mittweida.

2. Methodische Vorgehensweise

Es wurde eine Befragung durchgeführt, die teilweise als Online-Befragung, teils als schriftliche Befragung, die mit dem örtlichen Amtsblatt (Auflage 7.000 Stück) versendet wurde. Die Online-Befragung wurde über städtische Emailverteiler, über das Geschäftsstraßenmanagement und über die Hochschule Mittweida verbreitet [21]. Die schriftliche Befragung erreichte mit 172 Rücksendungen eine Rücklaufquote von 2,45 %. Im Rahmen der Online-Befragung konnte aus methodischen Gründen keine zuverlässige Rücklaufquote ermittelt werden, da keine geschlossenen Verteilerlisten vorlag und die Teilnehmer*innen die Umfrage selbst weiter verteilen konnten. In solchen Fällen werden Selektionsraten als Maß des Werbe-, Motivations- oder Gestaltungserfolgs von Befragungen herangezogen [22]. Die im vorliegenden Fall ermittelte γ -Selektionsrate, die das Verhältnis der Anzahl von Personen, die den Fragebogen vollständig ausgefüllt haben (550) zur Anzahl der Personen, die den Fragebogen aufgerufen haben, darstellt, betrug 81,3 %. Auffällig ist ein hoher Anteil Studierender in der Stichprobe, der der Durchführung der Online-Befragung zuzurechnen ist und nicht die Altersklassenverteilung der Stadt Mittweida repräsentiert.

3. Auswertung

Die Pro-Kopf-Wohnfläche der Befragten beträgt $41,8 \text{ m}^2$ und liegt damit nur knapp unter dem Durchschnitt der neuen Bundesländer von $42,6 \text{ m}^2$ [6]. Die Haushaltsflächen der Befragten liegen im Durchschnitt bei $67,6 \text{ m}^2$, was ebenfalls der statistischen Verteilung in Mittweida entspricht [23]. Die Haushaltsflächenverteilung folgt erwartungsgemäß dem Lebenszykluseffekt, nach dem Wohnflächen mit höherem Alter ansteigen, wobei ab der Altersgruppe 50-59 Jahre die Haushaltsflächen wieder langsam abnehmen (siehe Abb. 2). Inwieweit dieser Effekt auf den Bau von Einfamilienhäusern ab den 1990er Jahren (Beginn der Suburbanisierung in den Neuen Bundesländern) zurückzuführen ist, der für die älteren Kohorten vielleicht bereits zu spät kam, wäre eine noch zu untersuchende Frage. Sicher ist, dass diese vom Bundesdurchschnitt [16] abweichenden Daten nicht auf eine Abweichung vom Remanenzeffekt hinweisen dürften.

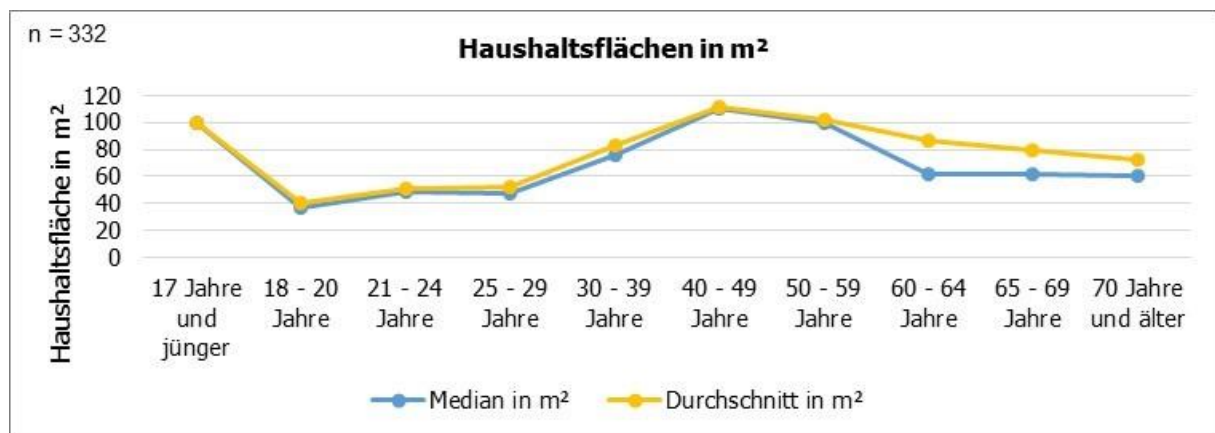


Abbildung 2: Haushaltsflächen in Quadratmeter (eigene Darstellung)

Beim subjektiven Empfinden der Wohnungsgrößen zeigen sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Altersgruppen: mit steigendem Alter steigen auch die Anteile der Befragten, die ihre Wohnung als zu groß empfinden (siehe Abb. 3).

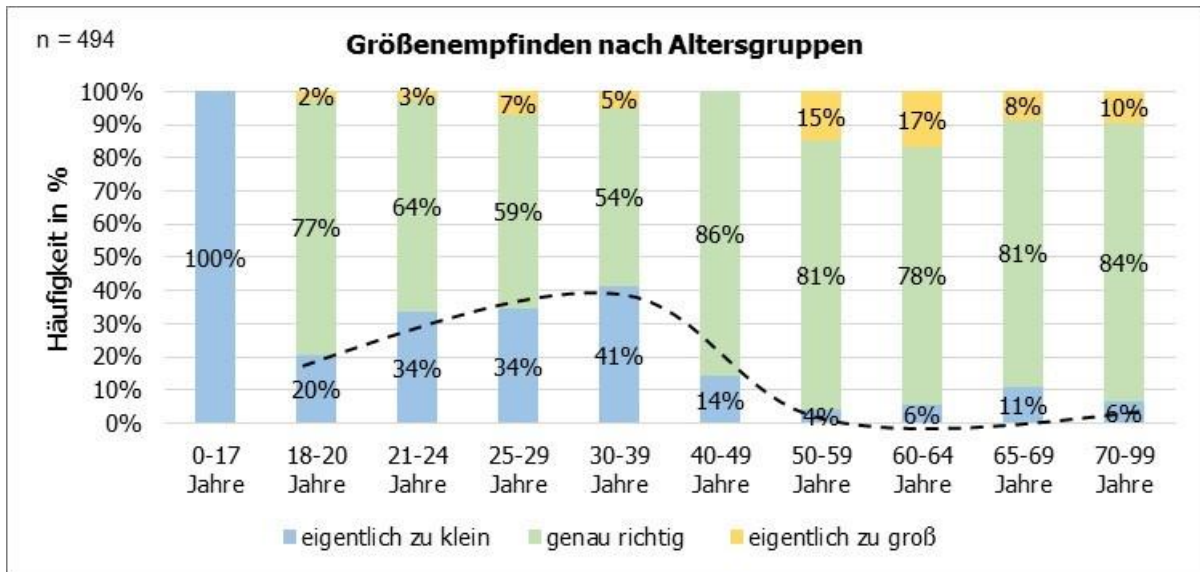


Abbildung 3: Subjektives Empfinden der Wohnungsgröße nach Altersgruppen (eigene Darstellung)

Hierbei zeigen sich auch Unterschiede zwischen Eigentümer*innen und Mieter*innen: 11 % der Eigentümer*innen empfinden ihre Wohnungen „zu groß“, während es bei den Mieter*innen nur 5 % sind. Knapp 13 % der befragten Eigentümer*innen geben an, dass sie 1-2 ungenutzte Zimmer zur Verfügung haben, während 7 % sogar über eine leerstehende Wohneinheit verfügen. Von diesen können sich 21 % vorstellen, diese leeren Zimmer und Wohnungen zumindest zeitweise zu vermieten [21].

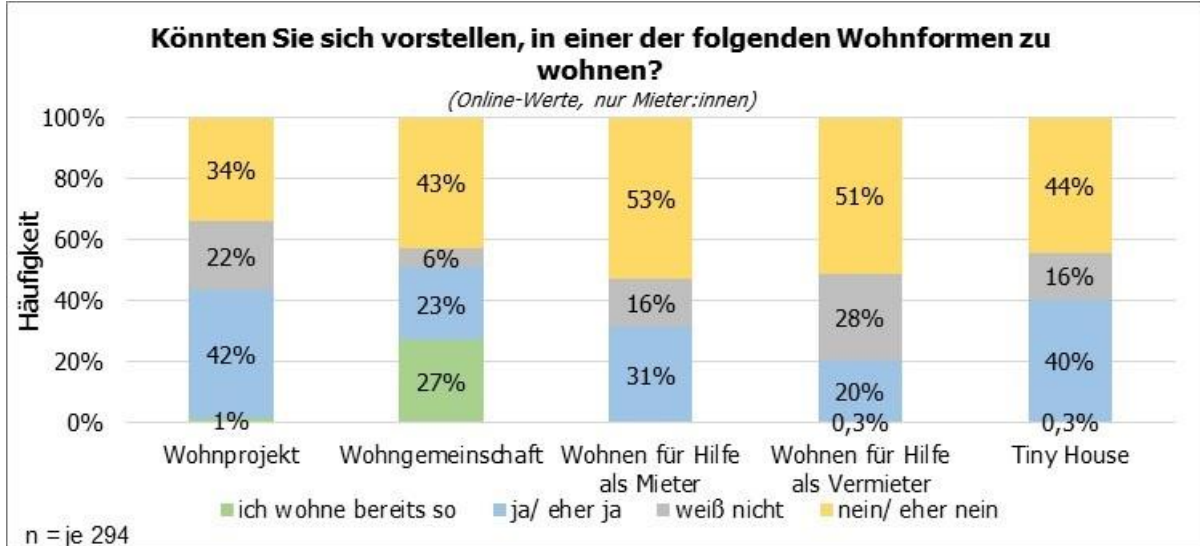


Abbildung 4: Können Sie sich vorstellen, in einer der folgenden Wohnformen zu wohnen? (eigene Darstellung)

Auf der anderen Seite sind gemeinschaftliche Wohnformen für viele Befragte attraktive Alternativen zu ihren derzeitigen Wohnformen: knapp 42 % können sich vorstellen, in einem Wohnprojekt zu wohnen. Auch die Wohnform „Wohnen für Hilfe“, bei der jüngere Menschen für sehr geringe Mietzahlungen in leerstehende Zimmer von Älteren ziehen und diese dafür im Alltag und im Haushalt unterstützen, ist für viele Befragte vorstellbar (siehe Abb. 4). Auf die Frage, ob es konkrete Umzugspläne gibt und wie sich diese auf die Wohnsituation auswirken würden, geben rund 22 % an, eine kleinere Wohnfläche oder ein gemeinschaftliches Wohnprojekt wählen zu wollen.

Gründe für einen möglichen Umzug in eine suffiziente Wohnform werden vor allem in möglichen finanziellen Anreizen gesehen: 15 % würden eine suffiziente Wohnform umziehen, wenn diese im Vergleich kostengünstiger wäre, 18 % wenn sich ihre finanzielle Situation verändern würde. Der Wunsch nach Gemeinschaft (5 %), Kontakt (8 %) und Unterstützung (1 %) spielt zunächst nur eine untergeordnete Rolle.

4. Diskussion

Auch in Kleinstädten und ländlichen Raum in den neuen Bundesländern gibt es CO₂-Einsparpotentiale durch die Verkleinerung von überdurchschnittlich hohen Pro-Kopf-Wohnflächen, gleichwohl diese bereits geringer sind als im Bundesdurchschnitt. Hinweise auf diese Potenziale können vor allem in den subjektiven Einschätzungen zur Wohnungsgröße gesehen werden, die von einem erheblichen Anteil Befragter als ‚zu groß‘ eingeschätzt wird. Aber auch die Offenheit einer großen Zahl von Befragten gegenüber suffizienten Wohnformen kann als Potenzial für eine suffiziente Wohnflächenreduzierung betrachtet werden.

Potenziale für die Entwicklung suffizienter Wohnformen liegen vor allem bei älteren Menschen, die ihre Wohnung häufiger als ‚zu groß‘ bewerten, als dies in anderen Altersklassen der Fall ist. Deutlich werden dabei aber auch die ökonomischen Bedingungen eines suffizienten Wandels der Wohnverhältnisse: suffiziente Wohnformen gelten vor allem dann als attraktiv, wenn sie ökonomische Einsparungen oder Vorteile erbringen.

Leerstehende Zimmer und sogar ganze Wohneinheiten bei den Befragten legen zudem nahe, dass ein Neubaubedarf nicht gegeben ist: der Bestand könnte zunächst reaktiviert bzw. die Nutzungsintensität erhöht werden, um so Neubauaktivitäten, die einen hohen CO₂-Verbrauch aufweisen, zu vermeiden.

Datenverfügbarkeit

Informationen zum Forschungsprojekt finden Sie unter: <https://www.institute.hs-mittweida.de/webs/inim/forschungsprojekte/>. Die Befragungsdaten werden auf Anfrage bereitgestellt.

Interessenkonflikte

Die Autorinnen bestätigen, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Förderung

Das Forschungsprojekt wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWKT) finanziert.

Literaturverzeichnis

1. Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2020): Wohnfläche. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#entwicklung-von-bevolkerung-und-wohnungsbestand-in-bundeslandern-unterschiedlich>, [30.07.2021].
2. Schenkel, Kerstin; Großmann, Katrin (2021): Wohnen in Kleinstädten - Zwischen Potenzial- und Problemheuristiken. In: Annett Steinführer, Lars Porsche und Martin Sonderrmann (Hg.): Kompendium Kleinstadtforschung. Hannover, S. 235–257.

3. Böcker, Maike; Brüggemann, Henning; Christ, Michaela; Knak, Alexandra; Lage, Jonas; Sommer, Bernd (2021): Wie wird weniger genug? Suffizienz als Strategie für eine nachhaltige Stadtentwicklung. München: Oekom Verlag.
4. Deschermeier, Philipp; Henger, Ralph (2015): Die Bedeutung des zukünftigen Kohorteneffekts auf den Wohnflächenkonsum. In: Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung (IW-Trends), 42, 3, S. 23–39.
5. Grade, Jan (2022): Sonderauswertung zur verfügbaren Wohnfläche in Deutschland. https://www.empirica-regio.de/blog/220209_wohnflaeche/, [12.04.2022].
6. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015): Wohnflächennachfrage in Deutschland bis 2030. Eigentümerquote und Pro-Kopf-Wohnfläche. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/fachbeitraege/wohnen-immobilien/wohnungsmarktprognose/Prognose2030/Prognose2030.html?pos=2>.
7. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2021): Klimaschutzprogramm 2030. BMWI. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutzprogramm-2030.html>, [02.09.2021].
8. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2021a): Deutsche Klimaschutzpolitik. Verbindlicher Klimaschutz durch das Bundes-Klimaschutzgesetz. BMWI. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html>, [26.07.2021].
9. Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2021): Siedlungs- und Verkehrsfläche. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche>, [23.06.2021].
10. Thomas, Stefan; Bierwirth, Anja; März, Steven; Schüwer, Dietmar; Vondung, Florin; Geibler, Justus von; Wagner, Oliver (2021): CO2-neutrale Gebäude bis spätestens 2045: ein Diskussionsbeitrag für eine ambitionierte und sozialverträgliche Politikstrategie.
11. Bierwirth, Anja (2015): Strategische Entwicklung eines zukunftsfähigen Wohnraumangebots. In: Umweltwirtschaftsforum, 23, 1-2, S. 49–58.
12. Behrendt, Siegfried; Göll, Edgar; Korte, Friederike (2018): Effizienz, Konsistenz, Suffizienz. Strategieanalytische Betrachtung für eine Green Economy. Hg. v. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH. Berlin (IZT-Text, 1-2018). https://www.izt.de/fileadmin/publikationen/IZT_Text_1-2018_EKS.pdf, [11.03.2020].
13. Linz, Manfred (2004): Weder Mangel noch Übermass: Über Suffizienz und Suffizienzforschung. Wuppertal (Wuppertal Papers, 145). <https://epub.wupperinst.org/front-door/deliver/index/docId/1915/file/WP145.pdf>, [26.07.2021].
14. Over, Margarete; Zimmermann, Patrick; Brischke, Lars-Arvid (2021): Wie muss man bauen, um suffizientes Wohnen zu ermöglichen? ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; BTU Cottbus Senftenberg. Mittweida. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/pdf/Over_Zimmermann_Brischke_Suffizient_Bauen-Wohnen210322.pdf, [14.06.2021].
15. Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2019): Flächensparend Wohnen. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“. Dessau-Roßlau (Texte, 104/2019). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_104-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_wohnen_financial.pdf, [05.11.2021].
16. Statistisches Bundesamt (DESTATIS) (2018): Wohnfläche von Haushalten. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/haushalte-wohnflaeche-typ.html>, [08.02.2022].
17. Banse, Juliane; Effenberger, Karl-Heinz (2000): Tendenzen der Wohnsuburbanisierung und Wohnungsleerstände. In: Peter Moser und Jürgen Breuste (Hg.): Ostdeutsche Stadt-Umland-Regionen unter Suburbanisierungsdruck. Bericht zum Workshop am 4.11.1999 im UFZ. Leipzig (UFZ-Bericht, 14/2000), S. 29–37.
18. Henseling, Christine; Krauß, Norbert; Wieland, Simon; Jänicke, Clemens; Specht, Alexandra; Behrendt, Siegfried; Bodelschwingh, Arnt von (2018): Soziale, ökologische und ökonomische Effekte und Potenziale gemeinschaftlicher Wohnformen. Arbeitsbericht

im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „Von Pionieren zur städtischen Praxis – Potenziale gemeinschaftlichen Wohnens zur Lösung demographischer und sozialer Herausforderungen“. überarbeitete Fassung Juni 2019. Berlin. https://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/potsdam/P_GeW_AB_Querauswertung_Gesamt_FINAL.pdf, [14.07.2021].

19. Fischer, Corinna; Blanck, Ruth; Brohmann, Bettina; Cludius, Johanna; Förster, Hannah; Heyen, Dirk Arne et al. (2016): Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzepts. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (CLIMATE CHANGE, 17), [27.01.2022].
20. Dürr, Susanne; Heitkötter, Martina; Kuhn, Gerd; Lien, Shih-cheng; Abraham, Nanni (2021): Familien in gemeinschaftlichen Wohnformen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn (BBSR-Online-Publikation). https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2021/FageWo_Projektbericht_2021.pdf, [28.10.2021].
21. Dittmar, Anika; Polster, Theresa (2021): Auswertung Befragung im SMWK-Projekt: Potenziale suffizienter Nutzungskonzepte für einen klimaneutralen Gebäudebestand. unveröffentlicht. Mittweida, [01.09.2021].
22. Theobald, Axel (2003): Rücklaufquoten bei Online-Befragungen. In: Axel Theobald, Marcus Dreyer und Thomas Starsetzki (Hg.): Online-Marktforschung. Theoretische Grundlagen und praktische Erfahrungen. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden, S. 203–210.
23. Westsächsische Gesellschaft für Stadterneuerung mbH Chemnitz (WGfS) (Hg.) (2015): Große Kreisstadt Mittweida. Integriertes Stadtentwicklungskonzept (InSEK), [29.04.2022].

Aufbau und Evaluierung eines FEM-Modells zur Simulation mikrostrukturierter Fräswerkzeuge für die Bearbeitung stark adhäsiver Aluminiumlegierungen

C. Uschmann^{1*} und M. Patz¹

¹ Ernst-Abbe-Hochschule Jena

* Korrespondenz: christian.uschmann@eah-jena.de

Kurzfassung. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde ein Schaft-Fräswerkzeug zur Trockenbearbeitung von adhäsiven Aluminiumlegierungen entwickelt und erprobt. Zur Anpassung der tribologischen Verhältnisse im Kontaktbereich zwischen Span und Werkzeug werden die Spanflächen mit Mikrostrukturen parallel zur Umfangsschneide versehen. Darüber hinaus erfolgt das Aufbringen eines neuartigen Schichtverbundes, bestehend aus einem Hart- und einem Weichstoff, auf das Hartmetallsubstrat. Durch den Verzicht auf Kühlschmierstoff (KSS) resultieren aus der Neuentwicklung sowohl reduzierte Umwelt- und Gesundheitsbelastungen als auch finanzielle Vorteile. Dieser Beitrag behandelt den Aufbau sowie die Evaluation eines FEM-Modells zur Auslegung der Mikrostrukturen und gibt Einblick in erste experimentelle Ergebnisse.

1 Einleitung

Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Fertigungsverfahren baut auf Innovationen aus den Gebieten der Maschinentechnik, der Technologien und der Werkzeugentwicklung auf. Dies gilt auch für die mit dem Fertigungsverfahren in Verbindung stehenden Gefahren für Mensch und Umwelt. Ein wesentlicher Ansatz zur Verringerung der ökonomischen und ökologischen Belastungen besteht in der Reduzierung von Betriebsmitteln im Rahmen der spanenden Bearbeitung von Bauteilen. Mit einem Anteil von 8 % bis 16 % an den Produktionskosten stellt der KSS für den Fertigungsprozess einen signifikanten Kostenfaktor dar [1]. Darüber hinaus können infolge des Umgangs mit KSS Hauterkrankungen, Allergien, Atemwegs- und sogar Krebserkrankungen entstehen [2]. Um die Risiken und die Kosten zu minimieren kann für einige Werkstoffe die Trockenbearbeitung zum vollständigen Verzicht auf KSS genutzt werden. Daraus resultiert jedoch ein deutlich verändertes Anforderungsprofil an das einzusetzende Werkzeug.

Zur Etablierung der Trockenbearbeitung bei der Zerspanung adhäsiver Aluminiumlegierungen wurde innerhalb eines Konsortiums aus Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen ein neuartiges Fräswerkzeug entwickelt und erprobt. Das in Abb. 1 dargestellte Werkzeug nutzt auf der Spanfläche eingebrachte V-förmige Mikrostrukturen parallel zur Schneidkante als Reservoir für einen Weichstoff (Festschmierstoff). Der Weichstoff weist eine geringe Scherfestigkeit auf und verteilt sich während der Zerspanung auf der Spanfläche. Infolge dessen reduziert sich der Reibungskoeffizient zwischen Span und Spanfläche. Die veränderten tribologischen Verhältnisse sollen das Anhaften des Werkstückmaterials am Werkzeug verhindern. Zur geometrischen Auslegung der Mikrostrukturen wird die Finite-Elemente-Methode (FEM) genutzt. Die Herausforderungen beim Aufbau sowie die Evaluierung des Simulationsmodells stehen im Zentrum dieses Beitrags.

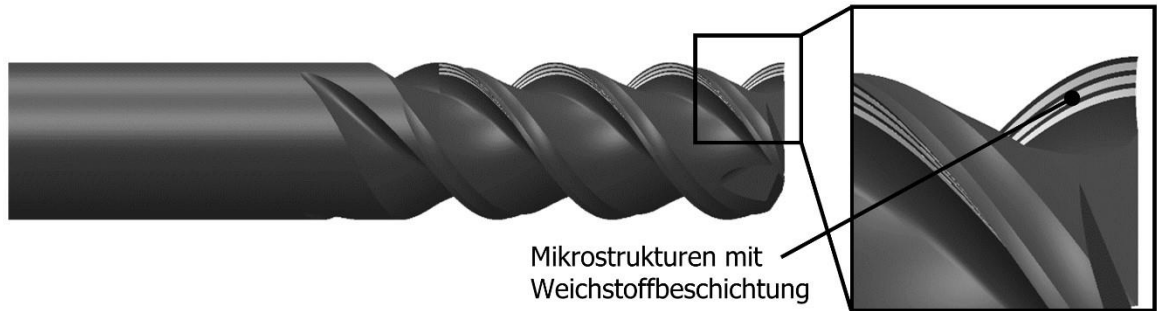


Abbildung 1: Exemplarische Darstellung eines Fräswerkzeugs mit Mikrostrukturen und Weichstoffbeschichtung

2. Zerspansimulation - Aspekte der Modellbildung

Die Modellbildung umfasst alle Tätigkeiten, die zur Abbildung der verwendeten Verfahrensvariante Stirn-Umfangs-Planfräsen in der Simulationsumgebung (Deform) notwendig sind. Dazu zählen die Erzeugung der Werkzeug- und Werkstückgeometrie in einem CAD-Programm, der Aufbau des Modells im Pre-Prozessor der Simulationssoftware sowie die Evaluierung ausgewählter Modellbestandteile. Die Zerspansimulation weist dabei in Abgrenzung zu anderen FEM-Simulationen deutliche Besonderheiten auf. Es handelt sich um einen zeitabhängigen Vorgang mit nichtlinearen Kontaktbedingungen, der zur Ausbildung neuer Oberflächen (dem Span) führt. Die hierbei auftretenden thermomechanischen Lasten mit materialspezifischen Abhängigkeiten von Dehnung, Dehnungsrate und Temperatur unterliegen wiederum nichtlinearen Zusammenhängen. Dieses Ensemble anspruchsvoller Rechenaufgaben muss durch einen robusten Algorithmus gelöst werden. Im vorliegenden Beitrag sollen drei der Herausforderungen, die sich speziell bei der Modellierung von Fräsvorgängen ergeben, dargestellt werden.

2.1 Geometrieerzeugung

Aufgrund der Möglichkeiten zur Vereinfachung der Modellgeometrie wird in den meisten Untersuchungen, in denen eine Zerspansimulation zum Einsatz kommt, die Verfahrensvariante Außen-Quer-Runddrehen verwendet. Da sich jedoch die Ergebnisse einer solchen Simulation nicht auf das Fräsen übertragen lassen, musste im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens ein neues Simulationsmodell aufgebaut werden. Dieses umfasst auch die zu erzeugenden Geometrien des Werkzeugs und des Werkstücks. Die Form der Spannuten des Schafffräasers wird beim Schleifen durch die Überlagerung verschiedener rotatorischer und translatorischer Bewegungen erzeugt. Die zur Verfügung stehenden CAD-Programme Solidworks und Inventor stoßen beim Versuch der Modellierung aufgrund der hohen Komplexität an ihre Grenzen. Die Querschnittsgeometrie konnte ausschließlich messtechnisch mit Hilfe eines Computertomographen (CT) ausreichend detailliert erfasst werden. Auf Grundlage der CT-Messungen wurde das in Abb. 2 links dargestellte Werkzeugmodell abgeleitet.

Das CAD-Modell des Werkstücks ist auf den Eingriffsbereich des Schafffräasers begrenzt (siehe Abb. 2 rechts). Zur Reduzierung notwendiger Netzelemente in der Simulation wird dieser Bereich mit einer Wandstärke von 0,7 mm ausgeführt. Die Fläche, die der Schafffräser bei seinem vorhergehenden Schnitt erzeugt hat wird unter Berücksichtigung der Schnitt- und Eingriffsgrößen modelliert. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass über die gesamte Schnittlänge die realen Eingriffsgrößen wirken.

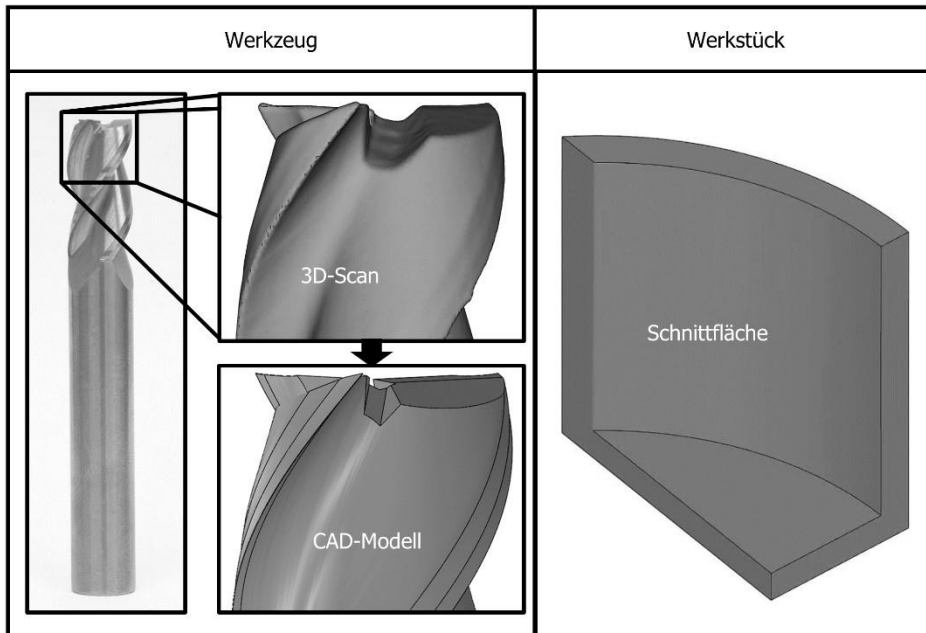


Abbildung 2: Werkzeug- und Werkstückgeometrie

2.2 Modellumfang

Nach der Erzeugung der Geometriemodelle in einer CAD-Umgebung wird der Modellumfang festgelegt. Dieser beinhaltet zum einen die Größe der Kontaktpartner. Nicht alle Bereiche des Werkzeugs und des Werkstücks sind für die Ergebnisauswertung von Interesse. Weiterhin muss entschieden werden, ob die Simulation zwei- oder dreidimensional durchgeführt werden soll. Beide Entscheidungen beeinflussen maßgeblich die Berechnungszeit der Simulation aufgrund der steigenden Netzelementanzahl.

Der Span führt beim Abgleiten über die Spanfläche des Werkzeugs eine komplexe dreidimensionale Bewegung aus. Im Sinne einer exakten Abbildung des Fräsvorgangs wurde daher im ersten Schritt ein dreidimensionales Simulationsmodell aufgebaut. Bedingt durch den geringen Zahnvorschub von $f_z = 0,075$ mm ist bei der Vernetzung eine sehr niedrige Elementkantenlänge (ca. $15 \mu\text{m}$) im Bereich der Spanwurzel notwendig. Daraus ergibt sich im Laufe der Simulation eine Netzelementanzahl von bis zu 360.000 Elementen, wodurch sich eine Berechnungszeit von ca. 4 Wochen ergibt. Da in der späteren Simulationsstudie eine Vielzahl (> 50) von Simulationen durchgeführt werden soll kommt die dreidimensionale Simulation nicht für den produktiven Einsatz in Frage.

Ein Lösungsansatz zur Reduzierung der Berechnungszeit besteht in der Überführung des Stirn-Umfangs-Planfräsens in ein 2D-Simulationsmodell (siehe Abb. 3). Dazu wird der Vorgang ausschließlich in der Orthogonalebene (senkrecht zur Drehachse des Werkzeugs) betrachtet. Bei dem realen Werkzeug handelt es sich jedoch um einen schrägverzahnten Schafffräser mit einem Werkzeug-Neigungswinkel (bzw. Drallwinkel) von $\lambda_s = 40^\circ$.

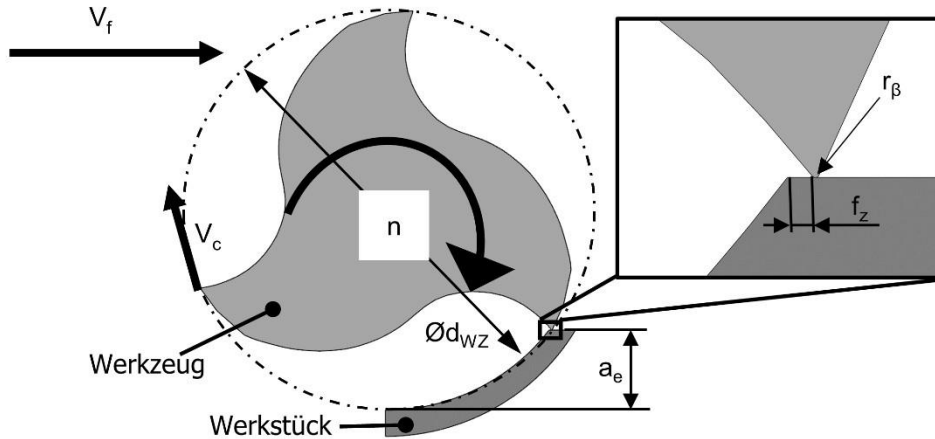


Abbildung 3: Modellaufbau zur Übertragung des Stirn-Umfangs-Planfräsens in eine 2D-Simulation

Der Drallwinkel λ_s sorgt dafür, dass sich der Span während des Abgleitens aus der betrachteten Orthogonalebene heraus bewegt. Der entstehende Fehler in der Abbildung der Spankinematik wird in Anbetracht der deutlich kürzeren Berechnungszeit (ca. 7 h pro Simulation) in Kauf genommen. Evaluierungsversuche, bei denen die Schnittkraft F_c mit variierendem Drallwinkel λ_s experimentell gemessen wurde, haben gezeigt, dass der Drallwinkel λ_s im untersuchten Wertebereich von 0° bis 50° keinen Einfluss auf die Schnittkraft F_c ausübt. Als Vergleichsgröße in der Simulationsstudie muss dementsprechend die Schnittkraft F_c verwendet werden.

2.3 Materialmodellierung

Zur Modellierung des Schnittvorgangs in Deform stehen verschiedene Materialmodelle zur Verfügung. Für die im Forschungsvorhaben verwendete Legierung AlSi10 existiert jedoch kein passendes Modell. Stattdessen kann in der Materialdatenbank zwischen fünf verschiedenen Aluminiumlegierungen ausgewählt werden. Diese Materialmodelle beschreiben die Fließspannung in Abhängigkeit von der Dehnung, der Dehnungsrate und der Werkstücktemperatur. Um ein Materialmodell mit ähnlichem Werkstoffverhalten wie AlSi10 zu identifizieren, wurden experimentelle Zerspankraftmessungen bei unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten durchgeführt. Analog zu den realen Versuchen wird der Zerspanvorgang als 2D-Simulation in Deform implementiert und die Simulation für jedes Materialmodell mit den zuvor festgelegten Schnittgeschwindigkeiten wiederholt. Durch die Variation der Schnittgeschwindigkeit im Experiment kann die Abhängigkeit des Werkstoffs von der Dehnungsrate, der Dehnung und der Temperatur indirekt nachgestellt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 4 oben dargestellt.

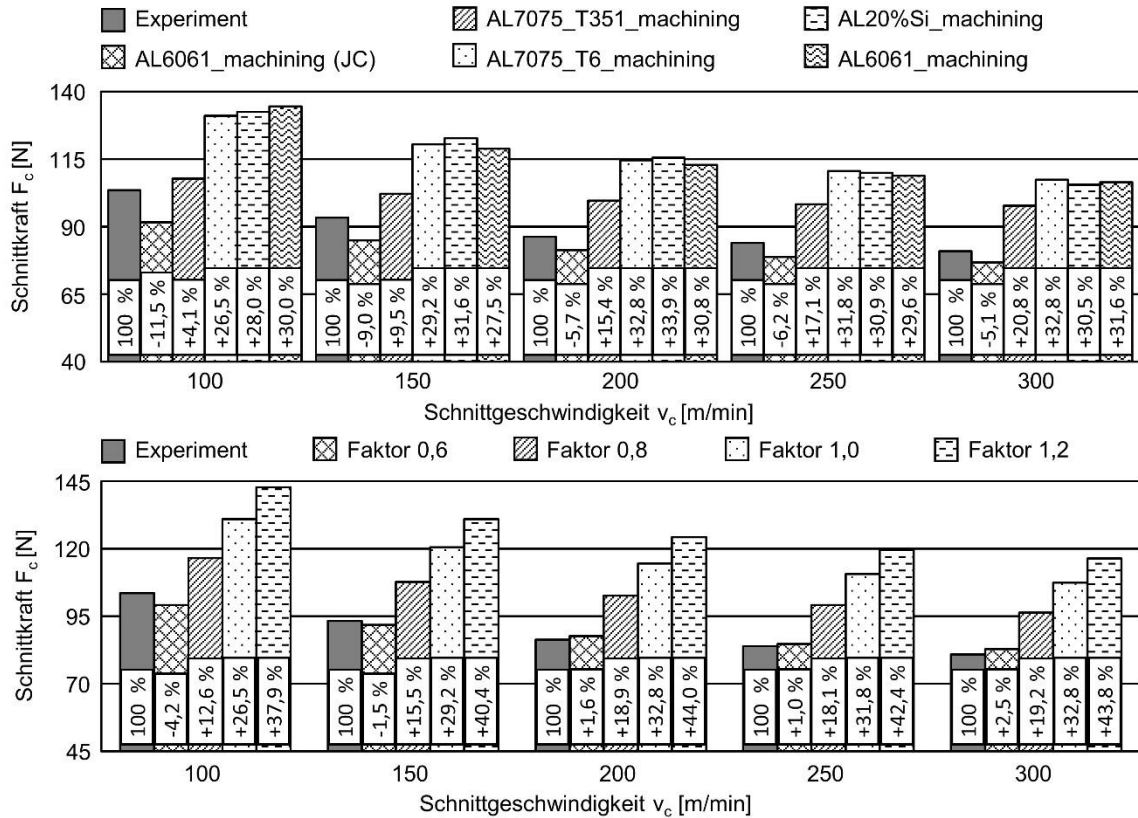


Abbildung 4: oben: Vergleich der Schnittkraft F_c zwischen Versuch und Simulation bei Variation der Schnittgeschwindigkeit v_c ; unten: Anpassung des Materialmodells AL7075_T6_machining

Es ist festzustellen, dass keines der vorhandenen Materialmodelle identische Ergebnisse im Vergleich zu den gemessenen Kraftkomponenten liefert. Die absoluten Abweichungen sind dabei von geringem Interesse. Stattdessen wird nach einem Materialmodell gesucht, dessen Abweichungen relativ zum gemessenen Wert über alle Schnittgeschwindigkeiten hinweg annähernd konstant bleiben. Auf diese Weise kann im Anschluss durch einen einfachen Offset das Materialmodell auf die realen Kraftverhältnisse angepasst werden. Die geringsten Schwankungen weisen die Materialmodelle AL20%Si_machining und AL6061_machining auf. Bei genauerer Betrachtung der in Deform tabellarisch hinterlegten Fließspannungen fällt jedoch auf, dass die Daten nur für kleine Dehnungen und Dehnungsraten hinterlegt sind. Daher können die beiden Modelle nur für niedrige Schnittgeschwindigkeiten verwendet werden. Das Materialmodell AL7075_T6_machining zeigt auch geringe Schwankungen. Für dieses Modell sind Daten im größeren Umfang als bei den anderen Modellen hinterlegt. Im nächsten Schritt wird dieses Materialmodell angepasst, um die Simulationsergebnisse den gemessenen Werten anzunähern. Zu diesem Zweck werden die tabellarisch hinterlegten Fließspannungen mit einem Faktor multipliziert (Ergebnisse siehe Abb. 4 unten). Dieses Vorgehen entspricht einer Anpassung der Streckgrenze $R_{p0,2}$, die in der Fließkurve zu einer Anhebung oder Absenkung aller Werte um einen Offsetwert führt. Die beste Übereinstimmung zwischen Messwert und Simulation wird bei einem Faktor von 0,6 erreicht. In allen weiteren Simulationen wird mit dem angepassten Materialmodell gerechnet.

3. Zusammenfassung

Durch eine gezielte Anpassung der Modellbestandteile ist es gelungen einen plausiblen und robusten Modellaufbau zur Übertragung des Fertigungsverfahrens Stirn-Umfangs-Planfräsen in die Simulationsumgebung Deform zu implementieren. Neben einer Vielzahl anderer wichtiger Aspekte zur Modellierung wurde

- die komplexe Geometrie des Werkzeugs unter Zuhilfenahme moderner Messtechnik sowie die Geometrie des Werkstücks erstellt,
- der Modellumfang zur Reduzierung der Berechnungszeit auf ein 2D-Modell vereinfacht und
- ein geeignetes Materialmodell identifiziert und angepasst.

Im Anschluss an die Modellierungsarbeiten wurde eine umfangreiche Simulationsstudie durchgeführt. Durch die Variation verschiedener Geometrieparameter der Mikrostrukturen ist eine dem Anwendungsfall angepasste Geometriekombination identifiziert worden. Erste experimentelle Untersuchungen auf diesem Gebiet zeigen, dass die Mikrostrukturen in Verbindung mit dem Weichstoff zu einer Reduzierung der Schnittkraft F_c um 19 % führen. Im Verlauf der technologischen Untersuchungen wurde weiterhin festgestellt, dass sich die Standzeit T unter Anwendung der bisherigen Weiterentwicklungen (Anpassung der Makrogeometrie und der Hartstoffschicht) um 394 % im Vergleich zum besten erprobten Konkurrenzwerkzeug anheben lässt. Darüber hinaus konnte durch die gewählten Anpassungen das Anhaften des Werkstoffs an der Freifläche komplett unterdrückt werden. Auf diese Weise ist es gelungen einen wesentlichen Beitrag zur Etablierung der Trockenbearbeitung beim Fräsen adhäsiver Aluminiumlegierungen zu leisten. In den nächsten Entwicklungsschritten steht noch die Ermittlung der Standzeit mikrostrukturierter und mit Weichstoff versehener Fräswerkzeuge aus.

Datenverfügbarkeit

Weiterführende Informationen und Ergebnisse können bei den Autoren erfragt werden.

Interessenskonflikte

Aus Sicht der Autoren gibt es keine Interessenskonflikte.

Literaturverzeichnis

1. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (2010): Minimum quantity lubrication for machining operations. BGI/GUV-I 718 E. Berlin. Firmenschrift.
2. Frost, T. (2008): Drehen mit geschlossenem Innenkühlsystem. Dissertation, Technische Universität Berlin.

Markteintrittsstrategien zum Erreichen der kritischen Nutzermasse einer digitalen Plattform für Third Mission und Transfer an Hochschulen

Anja Klinner^{1*}, Kai Ludwig¹[\[https://orcid.org/0000-0003-4679-9754\]](https://orcid.org/0000-0003-4679-9754) und Sebastian Moritz¹

¹HS Hochschule Harz

*Korrespondenz: aklinner@hs-harz.de

Kurzfassung. Hochschulen leisten durch Transfer- und Third-Mission-Aktivitäten einen wichtigen Beitrag zur regionalen Entwicklung. Allerdings stellt die Vermittlung und Kommunikation solcher Aktivitäten oft eine Herausforderung dar. Zur Vereinfachung wird im Projekt *Matching Platform for (more than) Student Skills (MPASS)*, <https://matching.hs-harz.de/> eine webbasierte Plattform mit Empfehlungssystem für Hochschulangebote entwickelt. Eine Herausforderung für den erfolgreichen Betrieb ist dabei das Erreichen einer kritischen Nutzermasse. Anhand einer Literaturrecherche werden Markteintrittsstrategien von 21 erfolgreichen Plattformen ermittelt und abgeleitete Thesen durch ein Experteninterview evaluiert. Es ergeben sich neun potenzielle Markteintrittsstrategien für digitale Plattformen zum Erreichen einer kritischen Nutzermasse und drei Empfehlungen für eine Plattform im Bereich des Transfers und der Third Mission.

1. Hintergrund und Zielsetzung

Hochschulen sind ein bedeutender Motor für regionale Entwicklung bzw. Innovation [cf. 1: 6, 115f.; 2: 17; 3: 13]. Durch Wissenstransfer können sie den Auswirkungen des demografischen Wandels insbesondere in strukturschwachen Regionen entgegenwirken [cf. 4: 8]. Beispiele für Wissenstransferaktivitäten sind Kooperationsprojekte, Weiterbildungen sowie die Rekrutierung von Absolventinnen und Absolventen [cf. 5: 109f.]. Während sowohl auf hochschulinterner als auch hochschulexterner Seite eine Fülle an Angeboten und Nachfragen vorhanden ist, stellt deren Vermittlung und Kommunikation eine oftmals schwer zu bewältigende Herausforderung dar [cf. 6: 4f.; 5: 116-118; 7: 146; 8: 17, 19, 24].

Ein Lösungsansatz, der seit Jahren erfolgreich im Bereich von Waren und Dienstleistungen Anwendung findet, sind digitale Plattformen, bei denen sogenannte Empfehlungssysteme bei der Lokalisierung und Auswahl von Angeboten assistieren [cf. 9: 8-20]. Sie werden auch als Transaktionsplattformen [cf. 10: 5] bezeichnet. Im Projekt *MPASS* des Verbundvorhabens *TransInno_LSA* wird dieser Ansatz auf die Vermittlung von Third-Mission- und Transferangeboten von Hochschulen übertragen. Über eine digitale Plattform mit Empfehlungssystem werden niedrigschwellig entsprechende Angebote präsentiert und individuell priorisiert.

Eine besondere Rolle spielen dabei allerdings Netzwerkeffekte. Sie bewirken bei positiver Ausprägung, dass der wahrgenommene Nutzen der Plattform mit steigender Nutzerzahl wächst [cf. 11: 41; 12: 64]. Hier offenbart sich auf mehrseitigen Märkten [cf. 13: 990f.] ein Henne-Ei-Problem, da es schwierig ist, die Anbieterseite für die Plattform zu gewinnen, bevor nicht auf der Nachfragerseite eine hohe Nutzerschaft vorhanden ist und vice versa [cf. 14: 310]. Die zentrale Herausforderung für eine Plattform ist es daher, möglichst schnell die kriti-

sche Nutzermasse zu akquirieren [cf. 15: 1; 12: 82]. Ziel ist es deshalb, potenzielle Markteintrittsstrategien für eine digitale Plattform zum Erreichen einer kritischen Nutzermasse zu identifizieren und Empfehlungen für eine solche im Bereich des Transfers und der Third Mission an Hochschulen abzuleiten.

2. Methodik

Mittels Sekundäranalyse wurden zunächst Markteintrittsstrategien von Plattformen zum Erreichen kritischer Nutzermassen identifiziert. Auf Basis eines resultierenden Kategoriensystems wurden 21 Plattformen unter Verwendung von Primär- und Sekundärliteratur sowie Berichten im Internet durch qualitative, strukturierende Textanalyse [cf. 16: 638] zu ihren initial verfolgten Strategien untersucht. Einbezogen in die Analyse wurden Transaktionsplattformen sowie solche, die als integrierte Plattform [cf. 10: 9] zumindest anteilig diesem Typ angehören. Die Plattformen sollten bereits länger als fünf Jahre existieren und mindestens eine Million aktive Nutzer aufweisen. Aufgrund der anvisierten Heterogenität von Plattforminhalten und -nutzern wurden verschiedene Branchen und Kategorien einbezogen, darunter Marktplätze wie *Airbnb* (<https://www.airbnb.de/>) und *Amazon* (<https://www.amazon.com/>), soziale Netzwerke wie *Facebook* (<https://www.facebook.com/>) und *LinkedIn* (<https://www.linkedin.com/>) [cf. 12: 56] und sonstige Plattformen. Unter Einsatz eines hybriden Mixed-Methods-Ansatzes der qualitativen Inhaltsanalyse [cf. 17: 33] wurden die Resultate quantifiziert und Thesen zur Wahl von Markteintrittsstrategien abgeleitet.

Zur Evaluation dieser Thesen wurde ein halbstrukturiertes Experteninterview [cf. 18: 559, 561] mittels Leitfaden durchgeführt. Der Befragte betreibt im selben Bundesland der zukünftigen Plattform seit den frühen 2000ern selbst eine Transaktionsplattform. Neben eigenen Maßnahmen zum Markteintritt ging es um die Kontextualisierung auf die heutige Marktsituation sowie Herausforderungen und Erfolgsfaktoren für einen erfolgreichen Markteintritt. Das Interview wurde elektronisch aufgezeichnet, transkribiert und schließlich inhaltsanalytisch, strukturierend [cf. 16: 638] ausgewertet.

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden neun Markteintrittsstrategien für digitale Plattformen zum Erreichen einer kritischen Nutzermasse identifiziert. Mit der *Big-Bang-Strategie* wird z. B. über ein Event versucht, mit einem Schlag die kritische Nutzermasse zu erreichen [cf. 19: 96; 11: 102f.]. Bei der *Huckepack-Strategie* wird von der Infrastruktur und Nutzerschaft bestehender Plattformen profitiert [cf. 11: 96f.; 12: 87]. Die *Marquee-Strategie* setzt auf die Akquise einflussreicher Personen zur Anziehung weiterer Nutzerinnen und Nutzer [cf. 11: 99f.; 20: 108f., 112f.]. Bei der *Seeding-Strategie* wird der Zielgruppe ein hoher Nutzen geboten, z. B. durch Gewinnspiele oder durch Vortäuschen einer belebten Plattform [11: 98f.; 12: 84]. Die *Micro-Market-Strategie* fokussiert zunächst auf einen Teil- bzw. Nischenmarkt [11: 103f.]. Bei der *Two-Step-Strategie* (cf. [20: 113] bzw. *Single-Side-Strategie* [cf. 11: 100f.]) wird versucht, anfangs nur eine Marktseite auf die Plattform zu ziehen [cf. 19: 93]. Bei der *Self-Supply-Strategie* tritt die Plattform zunächst selber als Anbieter auf, akquiriert eine hohe Zahl an Nachfragern, bevor sie den Zugang für andere Anbieter zulässt [cf. 11: 95f.; 12: 82f.]. Im Rahmen der *Producer-Evangelism-Strategie* werden ganze Kundennetzwerke von Anbietern über das Schaffen von Anreizen für letztere Nutzergruppe akquiriert [cf. 21: 221]. Bei der *Zig-Zag-Strategie* hingegen werden nach und nach beide Marktseiten aufgebaut [cf. 20: 126f.]. *Side-Switching*, bei dem Nutzergruppen sowohl als Anbieter als auch als Nachfrager auftreten können, kann dies erleichtern [cf. 11: 149; 19: 94f.]. Häufig werden initial mehrere Strategien gleichzeitig verfolgt [cf. 11: 98].

Von den 21 untersuchten Plattformen wendeten 15 zunächst die *Micro-Market-Strategie* an und fokussierten sich damit auf einen Teil- oder Nischenmarkt. Sieben Plattformen wählten die *Two-Step-Strategie*, jeweils fünf Plattformen die *Self-Supply-* und die *Big-Bang-Strategie* sowie vier die *Marquee-Strategie* (cf. Tabelle 1). Bei 16 Plattformen wurden zum

Markteintritt mindestens zwei Strategien verfolgt. Eine initiale Öffnung für nur eine Marktseite über die *Two-Step*-, die *Self-Supply*- oder die *Producer-Evangelism-Strategie* nahmen 14 Plattformen vor.

	Big-Bang-Strategie	Huckepack-Strategie	Marquee-Strategie	Seeding-Strategie	Micro-Market-Strategie	Two-Step-Strategie	Self-Supply-Strategie	Producer-Evangelism-Strategie	Zig-Zag-Strategie
Plattform-Marktplätze (n=9, z. B. Airbnb, Amazon, Booking)	3	1	1	-	6	2	4	3	1
Soziale Plattformen (n=7, z. B. Facebook, Instagram, LinkedIn)	2	1	2	-	5	4	-	-	1
Sonstige Plattformen (n=5, z. B. Spotify, Google, PayPal)	-	1	1	2	4	1	1	-	-
Gesamt	5	3	4	2	15	7	5	3	2

Tabelle 1: Häufigkeit der Strategien zum Markteintritt nach Plattformkategorie (Eigene Darstellung)

Aus den Ergebnissen wurden drei Thesen abgeleitet: Digitale Plattformen sollten...

- (1) ... sich zuerst auf einen Teilmarkt fokussieren, in dem das Henne-Ei-Problem lösbar ist.
- (2) ... sich zunächst nur für die Marktseite bzw. einen Markt, in dem *Side-Switching* möglich ist, öffnen.
- (3) ... bei Markteintritt eine Kombination von mindestens zwei Strategien verfolgen.

Das Experteninterview stützt die formulierten Thesen. Der Befragte hatte selbst bei Markteintritt intuitiv drei Strategien kombiniert. Die *Micro-Market-Strategie* führte im eingegrenzten regionalen Zielmarkt durch Mundpropaganda zu einem schnellen Anstieg der Plattformbekanntheit. Die *Two-Step-Strategie* hatte er insoweit verfolgt, dass Werbekunden zu einem späteren Zeitpunkt eingebunden wurden. Zuletzt griff er auch auf die *Big-Bang-Strategie* zurück und sorgte seiner Aussage nach mit Veranstaltungen für eine höhere Bekanntheit der Plattform.

4. Diskussion

Für den Markteintritt einer Plattform im Bereich des Transfers und der Third Mission von Hochschulen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- (1) Die Plattform sollte sich zunächst auf einen Teilmarkt fokussieren, in dem das Henne-Ei-Problem lösbar ist.

Die Markteingrenzung kann gemäß der *Micro-Market-Strategie* inhaltlich vollzogen werden, so dass zunächst nur wenige Aktivitäten wie Kooperationsprojekte oder Mitarbeiterrekrutierung angeboten werden. Weiterhin ist eine räumliche Eingrenzung auf eine Hochschule denkbar. Es ist anzunehmen, dass auf diese Weise einfacher die notwendige Bekanntheit erreicht werden kann. Allerdings bestünde bis dahin ein eingeschränkter Mehrwert für Nutzergruppen, die eine holistische Abbildung von Third Mission und Transfer über eine Vielzahl von Bildungsinstituten fordern.

- (2) Die Plattform sollte sich zunächst nur für die Marktseite bzw. einen Markt, in dem *Side-Switching* möglich ist, öffnen.

Einseitige Öffnung könnte mittels drei Strategien umgesetzt werden. Die *Self-Supply-Strategie* wird als ungeeignet eingeschätzt, da es an den Hochschulen keinen zentralen Anbieter gibt. Die *Producer-Evangelism-Strategie* wird ebenfalls als ungeeignet beurteilt. Zwar können Hochschulangehörige ihre hochschulexternen Kontakte als Kundenstamm in die Plattform einbringen. Aufgrund der hohen Bedeutung persönlicher Interaktion dürfte es allerdings schwierig werden, sie vollends auf die Plattform zu ziehen, solange diese nicht konkrete Kommunikations- und Kollaborationsfunktionen als Ersatz bietet. Schließlich kann mit der *Two-Step-Strategie* die Plattform beispielsweise zunächst nur für Hochschulangehörige freigeschaltet werden. Wichtig ist ein Mehrwert für die Nutzergruppe, der die Interaktion mit der Plattform fördert und sich nicht zu stark von der anvisierten Funktion der Plattform unterscheidet. Dieser könnte in der Kooperationsanbahnung zwischen Hochschulangehörigen liegen. Zu diskutieren bleibt, ob die Öffnung für die zweite Marktseite vor dem Zusammenschluss mit weiteren Hochschulstandorten (cf. 1) oder danach erfolgen soll.

- (3) Die Plattform sollte zum Markteintritt mehrere Strategien kombinieren.

Zusätzlich wären die *Huckepack-*, die *Big-Bang-* und die *Marquee-Strategie* denkbar. Im Sinne der *Huckepack-Strategie* können Nutzerinnen und Nutzer z. B. über bestehende E-Mail-Verteiler oder Intranet-Portale akquiriert werden. Campusveranstaltungen können im Rahmen der *Big-Bang-Strategie* genutzt werden. Angelehnt an die *Marquee-Strategie* könnten zunächst möglichst einflussreiche Hochschulangehörige ihre Transfer- und Third-Mission-Aktivitäten präsentieren.

Es ist empfehlenswert, die Thesen sowie die Eignung der Strategien im Hochschulkontext gemeinsam mit hochschulinternen und -externen Expertinnen und Experten zu evaluieren und geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Weiterhin müssen Aspekte der Funktionalität und Qualität der Plattform, Strategien der Positionierung und des Verhaltens gegenüber Wettbewerbern sowie die Finanzierung berücksichtigt werden. Die vorliegende Arbeit liefert allerdings erste Anhaltspunkte in Bezug auf Markteintrittsstrategien für eine digitale Plattform im Bereich von Transfer und Third Mission.

Datenverfügbarkeit

Die Daten und die Rollen der Beitragenden können auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Förderung

Das Verbundprojekt „Transfer- und Innovations-Service im (Bundes-)Land Sachsen-Anhalt“ (TransInno_LSA) bestehend aus den Hochschulen Harz, Merseburg und Magdeburg-Stendal wird im Rahmen der Förderinitiative „Innovative Hochschule“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) gefördert für den Zeitraum vom 01.01.2018 bis 31.12.2022. Förderkennzeichen: 03IHS013. <https://www.transinno-lsa.de/>

Literaturverzeichnis

1. Blume, Lorenz/Fromm, Oliver (2000a): Regionalökonomische Bedeutung von Hochschulen. Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Universität Gesamthochschule Kassel. Kassel: Kassel Univ. Press. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-08920-9>.
2. Fritsch, Michael (2013): „Das regionale Innovationssystem“. In: Pasternack, Peer (eds.) (2013): Regional gekoppelte Hochschulen. Die Potenziale von Forschung und Lehre für demografisch herausgeforderte Regionen. Halle (Saale)/Lutherstadt Wittenberg, Institut für Hochschulforschung (HoF) (=HoF-Handreichungen): 15–18. <https://www.hof.uni-halle.de/journal/texte/Handreichungen/HoF-Handreichungen2.pdf> [30.08.2022].
3. Wissenschaftsrat (2016): Wissens- und Technologietransfer als Gegenstand institutioneller Strategien. Positionspapier. Weimar: Wissenschaftsrat. <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/5665-16.html> [30.08.2022].
4. Fritsch, Michael/Pasternack, Peer (2013): „Demografisch herausgefordert: Regionen und Hochschulen“. In: Pasternack, Peer (eds.) (2013): Regional gekoppelte Hochschulen. Die Potenziale von Forschung und Lehre für demografisch herausgeforderte Regionen. Halle (Saale)/Lutherstadt Wittenberg, Institut für Hochschulforschung (HoF) (=HoF-Handreichungen): 7–10. <https://www.hof.uni-halle.de/journal/texte/Handreichungen/HoF-Handreichungen2.pdf> [30.08.2022].
5. Blume, Lorenz/Fromm, Oliver (2000b): „Wissenstransfer zwischen Universitäten und regionaler Wirtschaft: Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Universität Gesamthochschule Kassel“. Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 1/69: 109–123. <https://doi.org/10.3790/vjh.69.1.109>.
6. Atzorn, Hans-Herwig/Clemens-Ziegler, Brigitte (2010): Ermittlung von Hemmnisfaktoren beim Aufbau von Kooperationen von KMU mit Institutionen der Wissenschaft, insbesondere den Fachhochschulen. Kurztitel: Hemmnisstudie 2010. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin). https://opus4.kobv.de/opus4-htw/frontdoor/deliver/index/docId/45/file/Hemmnisstudie_2010.pdf [31.08.2022].
7. Kulicke, Marianne/Stahlecker, Thomas (2004): Forschungslandkarte Fachhochschulen. Potenzialstudie. Bonn/Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). <https://forschungslandkarte.isi-projekt.de/pdf/endbericht.pdf> [30.08.2022].
8. Markowski, Norbert/Grosser, Katherina/Kuhl, Rita (2008): Analyse von Barrieren und Hemmnissen beim Wissenstransfer zwischen Hochschulen und KMU. Düsseldorf: Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Wirtschaft. <http://hdl.handle.net/10419/30797> [30.08.2022].
9. Aggarwal, Charu C. (2016): Recommender Systems. The Textbook. Cham: Springer International Publishing Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3>.
10. Evans, David S./Gawer, Annabelle (2016): The Rise of the Platform Enterprise. A Global Survey. New York: The Center for Global Enterprise. (=The Emerging Platform Economy Series 1). https://www.thecge.net/app/uploads/2016/01/PDF-WEB-Platform-Survey_01_12.pdf [30.08.2022].
11. Parker, Geoffrey G./van Alstyne, Marshall W./Choudary, Sangeet Paul (2016): Platform Revolution. How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You. New York/London: W.W. Norton & Company.

12. Jaekel, Michael (2017): Die Macht der digitalen Plattformen. Wegweiser im Zeitalter einer expandierenden Digitalisphäre und künstlicher Intelligenz. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-19178-8>.
13. Rochet, Jean-Charles/Tirole, Jean (2003): „Platform Competition in Two-Sided Markets”. *Journal of the European Economic Association* 1(4): 990–1029. <https://doi.org/10.1162/154247603322493212>.
14. Caillaud, Bernard/Jullien, Bruno (2003): „Chicken & egg: competition among intermediation service providers”. *RAND Journal of Economics* 2/34: 309–328. <https://www.jstor.org/stable/1593720> [30.08.2022].
15. Evans, David S./Schmalensee, Richard (2010): “Failure to Launch: Critical Mass in Platform Businesses”. *Review of Network Economics* 4/9: 1–26. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1353502>.
16. Mayring, Philipp/Fenzl, Thomas (2019): „Qualitative Inhaltsanalyse“. In: Baur, Nina/Blasius, Jörg (eds.) (2019): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 21., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden: 633–648. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42.
17. Mayring, Philipp (2012): „Qualitative Inhaltsanalyse - ein Beispiel für Mixed Methods“. In: Seidel, Tina et al. (eds.) (2012): *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung*. Münster et al., Waxmann: 27–36.
18. Helfferich, Cornelia (2014): „Leitfaden- und Experteninterviews“. In: Baur, Nina/Blasius, Jörg (eds.) (2014): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden: 559–574. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_39.
19. Reillier, Laure Claire/Reillier, Benoit (2017): *Platform Strategy. How to Unlock the Power of Communities and Networks to Grow Your Business*. London/New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315598949>.
20. Evans, David S. (2009): „How Catalysts Ignite: The Economics of Platform-Based Start-Ups“. In: Gawer, Annabelle (eds.) (2009): *Platforms, Markets and Innovation*. Cheltenham/Northampton, Edward Elgar: 99–128. <https://doi.org/10.4337/9781849803311.00011>.
21. Choudary, Sangeet Paul (2015): *Platform Scale - How an emerging business model helps startups build large empires with minimum investment*. s. l.: Platform Thinking Labs Pte. Ltd.

Hochschulen als Anbietende von Dienstleistungen

Ein einfacheres Verständnis von Third Mission zur Förderung nachhaltiger Entwicklung

Beatrix Janky¹, Carolin Schubert¹ und Rebecca Spaunhorst¹

¹ Hochschule Harz, Germany

Kurzfassung. Das UNESCO-Weltaktionsprogramms BNE legt nahe, dass Hochschulen durch das Erzeugen von Wissen und Innovationen eine gesellschaftliche Verantwortung tragen (BMBF 2022). Die Hochschulen kommen dieser Aufgabe nach, indem sie die Gesellschaft bei aktuellen Fragestellungen, wie dem nachhaltigen Strukturwandel ihrer Region, durch das Angebot von sog. Third-Mission-Aktivitäten (TMA) unterstützen. Third Mission ist jedoch eine Bezeichnung, die im ersten Moment auf Unverständnis stößt, so eine unveröffentlichte Befragung aus dem Projekt Transfer-Bewertungs-Toolbox (TBT) des Transfer- und Innovationservices Sachsen-Anhalt (TransInno_LSA). Daran anknüpfend, wurde im Projekt TBT weitergehend untersucht, ob eine vereinfachte Bezeichnung von TMA als Dienstleistungen infrage kommt.

1. Einleitung

Third Mission und die damit verbundenen Aktivitäten spielen eine zunehmend große Rolle in den Handlungsfeldern von Hochschulen und Universitäten. Die Definition des Begriffs *Third Mission* kann in variierenden Ausführungen vorgefunden werden, weshalb im Rahmen des Projekts TBT (das Projekt TBT beschäftigt sich mit der Strukturierung und Evaluierung von Third-Mission-Aktivitäten, um diese für die ausführenden Hochschulen messbar, bewertbar und steuerbar zu machen. Online unter: <https://www.transinno-lsa.de/teilprojekte/tbt>) folgende Definition empirisch hergeleitet und festgelegt wurde:

„Unter Third Mission werden diejenigen Tätigkeiten einer Hochschule verstanden, welche alle der nachfolgenden Bedingungen erfüllen. Sie...

- a) stehen im Zusammenhang mit den Kernprozessen Forschung und Lehre oder den strategischen Zielen bzw. dem Leitbild der Hochschule (Dimension „Zielstellung“),
- b) machen Gebrauch von den Ressourcen der Hochschule (Dimension „Resource“) und
- c) gestalten die nicht-akademische Umwelt aktiv mit. (Dimension „Ergebnis“).“

([1]: 2 zit. n. [2]: 200 f.)

Eine Problemstellung, die sich bei der Arbeit mit dieser Begriffsdefinition zeigte, ergibt sich aus der fehlenden Greifbarkeit und Präzision. Für Unbeteiligte, die sich nicht intensiv mit der Thematik der Third Mission auseinandersetzen, kann es schwierig sein, die Merkmale im Gedächtnis zu behalten und immer wieder hervorzurufen, um einzelne Sachverhalte auf diese zu prüfen. Vielmehr sind, beispielsweise in einer 2019 durchgeführten Studie, bereits Hemm-

schwellen in Verbindung mit der Begrifflichkeit Third Mission zu erkennen (Inhalte unveröffentlicher Interviewtranskripte mit hochschulinternen und -externen Akteur:innen von 2019). Um jedoch aktiv für Projekte und Aktivitäten (beispielsweise zu Themen nachhaltiger Entwicklung) werben zu können und so eine breiter gefächerte Gruppe von Personen anzusprechen, ist ein gemeinsames, niedrighschwelliges Verständnis und das Gefühl der Arbeit auf Augenhöhe jedoch unerlässlich. Im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung besteht eine Kernaufgabe der Hochschulbildung schließlich darin, einen systematischen Organisationswandel zur Integration einer nachhaltigen Entwicklung anzuregen [3]. Handlungsfeld 3 des UNESCO-Weltaktionsprogramms BNE legt nahe, dass Hochschulen durch das Erzeugen von Wissen und Innovationen eine gesellschaftliche Verantwortung tragen, eng verknüpft mit der Nachhaltigkeitsorientierung ihrer Kerntätigkeiten in den Bereichen Betrieb, Forschung, Lehre und Transfer sowie im regionalen und globalen Engagement (ibid). An dieser Stelle setzen Hochschulen oft nicht mit klassischer Lehre an, da sie seit Jahren mehr als nur Lehre und Forschung anbieten: Sie unterstützen die Gesellschaft auf unmittelbare Weise bei aktuellen Fragestellungen, wie dem nachhaltigen Strukturwandel ihrer Region, nämlich durch das Angebot von TMA.

Akteur:innen wollen sich der o. g. Studie zufolge nicht mit komplexen Begriffsdefinitionen beschäftigen, die für sie nicht greifbar sind. Viele von ihnen betrachten TMA als das, was sie für die Empfänger:innen nun einmal sind: Eine (Dienst-)Leistung der Hochschule, die ihnen bei einem Problem hilft. Können Aktivitäten im Rahmen der Third Mission also etwa durch die Zuordnung zu einem ökonomischen Leistungstyp einfacher benannt werden? Dass es sich bei TMA nicht um Sachgüter handelt, ist zweifelsfrei zu bestätigen. Doch sind sie dadurch automatisch Dienstleistungen oder bilden sie einen eigenständigen Leistungstypen, der nicht durch Begriffe dieser Art vereinfacht werden kann?

Aus diesen vorstehenden Überlegungen ergaben sich die folgenden Forschungsfragen:

- Können TMA, entsprechend der jeweils zugrundeliegenden Eigenschaften, als Dienstleistungen definiert werden?
- Können TMA darüber hinaus verschiedenen Dienstleistungstypen zugeordnet werden?

2. Methodische Vorgehensweise der Definitionsprüfung

Innerhalb des Projekts TBT existieren zahlreiche Interviewtranskripte, die zwischen 2019 und 2020 ursprünglich zur Beantwortung einer anderen Forschungsfrage erstellt wurden. Da im Rahmen dieser problemzentrierten Interviews [cf. 4: 227–255] von 127 Personen, die an TMA an den drei Verbundhochschulen Harz, Magdeburg-Stendal und Merseburg beteiligt waren, ausführlich über verschiedene Beispielaktivitäten gesprochen wurde, konnte dieses bestehende Material für eine erneute Auswertung in Bezug auf die hier zugrundeliegenden Forschungsfragen genutzt werden. [cf. 1: 4 f.].

Zur Auswertung der Interviews wurde die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring gewählt, da sich diese besonders zur Informationsreduktion aus großen Mengen von Datenmaterial, wie es in vorliegender Studie notwendig war, eignet [cf. 5: 543].

3. Ergebnisse der Definitionsprüfung

Geprüft wurden zunächst die klassische Dienstleistungsdefinition sowie die Definition komplexer Dienstleistungen. Zusätzlich ergab u. a. die induktive Kategorienbildung die Möglichkeit zur Prüfung der Definitionen wissensintensiver, kooperativer und interner Dienstleistungen.

Die herangezogene Definition des klassischen Dienstleistungsbegriffs stammt von Bruhn et al. [6: 25]:

„Dienstleistungen sind selbstständige, marktfähige Leistungen, die mit der Bereitstellung (z. B. Versicherungsleistungen) und/oder dem Einsatz von Leistungsfähigkeiten (z. B. Friseurleistungen) verbunden sind (Potenzialorientierung). Interne (z. B. Geschäftsräume, Personal, Ausstattung) und externe Faktoren (also solche, die nicht im Einflussbereich des Dienstleisters liegen) werden im Rahmen des Erstellungsprozesses kombiniert (Prozessorientierung). Die Faktorenkombination des Dienstleistungsanbieters wird mit dem Ziel eingesetzt, an den externen Faktoren, an Menschen (z. B. Kunden) und deren Objekten (z. B. Auto des Kunden) nutzenstiftende Wirkungen (z. B. Inspektion beim Auto) zu erzielen (Ergebnisorientierung).“

Für die Untersuchung von TMA wird angenommen, dass die erbringenden Hochschulen die anbietende und die nicht-akademische Umwelt die nachfragende Rolle einnehmen. Über Angebot und Nachfrage ließen sich verschiedene Textstellen identifizieren, sodass eindeutig zu bestätigen ist, dass ein Markt für TMA existiert. Die Potenzialorientierung der Dienstleistungsdefinition äußert sich durch alle Potenziale, welche die Hochschule als Anbietende zur Erbringung der Leistungen einsetzt (z. B. Hochschulpersonal oder Räumlichkeiten). Die Prozessorientierung beschreibt daraufhin alle Schritte der Leistungserbringung selbst, woraufhin die Ergebnisorientierung die Nutzenstiftung für die nachfragenden Akteur:innen der nicht-akademischen Umwelt umfasst. Hinsichtlich dieser Merkmale weisen Dienstleistungen große Gemeinsamkeiten zu TMA auf.

Über den klassischen Dienstleistungsbegriff hinaus wurde die Definition der komplexen Dienstleistungen nach Rieck [7: 33 f.] auf Anwendbarkeit geprüft:

„Eine komplexe Dienstleistung besitzt, über die allgemeinen Merkmale von Dienstleistungen hinausgehend, einen überdurchschnittlich hohen Komplexitätsgrad, welcher durch die zusammengefasste Punktebewertung der Ausprägungen der Merkmalsdimensionen Zusammensetzung, Zeiteffekt, Anspruchsgruppen, Externer Faktor, Informationsasymmetrie sowie Kundenbindung bestimmt wird. Die Komplexität einer Dienstleistung steigt mit deren Komplexitätsausprägungsgrad.“

Es konnten allen von Rieck definierten Merkmalen komplexer Dienstleistungen ausreichend Textstellen (jeweils mind. 124 und max. 305 in der Summe aller Unterkategorien) zugeordnet werden, sodass zu bestätigen ist, dass jedes Merkmal durch TMA potenziell erfüllt sein kann. Das Material eignete sich nicht zur Bestimmung eines Komplexitätsgrads in Kombination aller Merkmale, weder für einzelne Beispiele von TMA, noch in Gesamtbetrachtung. Hierfür müssten konkrete Beispiele intensiver und in Bezug auf jeweils alle Merkmale untersucht werden.

Zusätzlich zu den komplexen Dienstleistungen wurden auch *wissensintensive, kooperative und interne Dienstleistungen* als Dienstleistungsarten betrachtet [cf. 8: 12–25; 9: 5–13; 10: 10–16]. Es stellte sich heraus, dass wissensintensive und kooperative Dienstleistungstypen starke Parallelen mit TMA aufweisen, während interne Dienstleistungen aufgrund des fehlenden Merkmals der Umweltgestaltung nicht mit Third Mission in Verbindung zu bringen sind.

2. Fazit und Diskussion

Durch die Bezeichnung von TMA als Dienstleistungen wird vermutet, dass Hemmschwellen zum Begriff Third Mission, der für Unbeteiligte zunächst diffus wirken mag, abgebaut werden können. Der Dienstleistungsbegriff anstelle des Third Mission-Begriffes kann somit vor allem als Türöffner wirken und auf diese Weise den Transfer von Hochschulexpertise und -innovation in die nicht-akademische Umwelt erleichtern. Da sich TMA vermehrt auf Ziele stützen, die den (regionalen) nachhaltigen Strukturwandel fördern, ist es wichtig, einen niedrighemmschwelligen Zugang zu den Hochschulen über den Weg der Third Mission, mithilfe der Nutzung einer neuen Begrifflichkeit wie der der Dienstleistungen, anzubahnen.

Dennoch nimmt die ausschließliche Verwendung des Begriffs der Dienstleistungen der Third Mission in gewisser Weise ihren Kern. TMA weisen zwar enge Parallelen zu Dienstleistungen auf, jedoch kann nicht behauptet werden, dass Dienstleistungen (im Hochschulkontext) grundsätzlich TMA sind. Schließlich soll mit Third Mission ein Hineinwirken in die Gesellschaft und keine bloße Auftragserfüllung erzielt werden.

Datenverfügbarkeit

Auf die Daten, die die Ergebnisse des Beitrags unterstützen, kann über eine persönliche Anfrage per Mail an tbt@hs-harz.de zugegriffen werden.

Interessenskonflikte

Die Autorinnen haben keine relevanten finanziellen oder nicht-finanziellen Interessen offenzulegen. Die Autorinnen haben keine konkurrierenden Interessen zu erklären, die für den Inhalt dieses Artikels relevant sind. Alle Autorinnen bestätigen, dass sie keine Zugehörigkeit zu oder Beteiligung an einer Organisation oder Körperschaft mit finanziellen oder nicht-finanziellen Interessen an den in diesem Manuskript behandelten Themen oder Materialien haben. Die Autorinnen haben keine finanziellen oder Eigentumsinteressen an den in diesem Artikel behandelten Materialien.

Förderung

Die zu diesen Ergebnissen führenden Forschungsarbeiten wurden von der Förderinitiative „Innovative Hochschule“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) gefördert, für den Zeitraum vom 01.01.2018 bis 31.12.2022 (Förderkennzeichen: 03IHS013). Die Ergebnisse sind Teil des Verbundprojekts „Transfer- und Innovationsservice im (Bundes-)Land Sachsen-Anhalt (TransInno_LSA)“ bestehend aus den Hochschulen Harz, Merseburg und Magdeburg-Stendal.

Literaturverzeichnis

1. Westermann, Georg et al. (2022): Third Mission erfassen, strukturieren und bewerten. Wissenschaftsmanagement, 01/2022, Bonn: Lemmens Medien GmbH, Verlag-Beratung-Weiterbildung.
2. Boden, Carolin et al. (2019): Third Mission – eine operationale Definition zur Messung gesellschaftsrelevanter Aktivitäten, In: Westermann, G.; Reinhold, S. (eds.) (2019): Transfer und Third Mission: Das Konzept eines zukunftsfähigen „Transfer- und Innovations-Service“ der Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Sachsen-Anhalt. Hochschule Harz, Wernigerode: 200–211.
3. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2022): Hochschule, <https://www.bne-portal.de/bne/de/nationaler-aktionsplan/die-bildungsbereiche-des-nationalen-aktionsplans/hochschule/hochschule.html> [14.02.2022]
4. Witzel, Andreas (1985): Das problemzentrierte Interview. Jüttemann, Gerd (ed.): Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder. Weinheim. Beltz: 227–255.
5. Mayring, Philipp; Fenzl, Thomas (ed.) (2014): Qualitative Inhaltsanalyse. Baur, N., Blasius, J. (eds.), Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung (S. 543–558). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_38
6. Bruhn, Manfred; Meffert, Heribert; Hadwich, Karsten (2019): Handbuch Dienstleistungsmarketing (2. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-17233-6>

7. Rieck, André (2011): Qualitätsprüfung komplexer Dienstleistungen. Wiesbaden: Gabler Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-6322-2>
8. Schnabel, Ulrich. G. (2013): Management des intellektuellen Kapitals wissensintensiver Dienstleister. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-03369-9>
9. Bruhn, Manfred; Hadwich, Karsten (ed.) (2019): Service Coopetition – Dienstleistungen im Spannungsfeld von Wettbewerb und Kooperation. Bruhn, M., Hadwich, K. (eds.) (2019): Kooperative Dienstleistungen. (S. 4–35). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26389-8_1
10. Braun, Corina (2016): Komplexität interner Dienstleistungen. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11512-8>

Einsatzmöglichkeiten von Token auf einer E-Learning Plattform

Marianne Poser¹

¹ Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: poser@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Ziel war es, für die Lernplattform der Blockchain Academy Mittweida (BCAM) ein Konzept für den sinnvollen Einsatz von Token zu finden. Dadurch soll vermitteltes Wissen über die Blockchain für Nutzer:innen erlebbar werden. Aufbauend auf eine Recherche von bestehenden Konzepten wurden verschiedene Ideen entwickelt und ihre Verwendung geprüft. Dabei wird sowohl auf die Besonderheiten im E-Learning-Bereich als auch auf die der Blockchain-Technologie eingegangen. Aus der Verknüpfung von Tokenisierung, E-Learning und Gamification entstand schließlich ein Tokenmodell, welches technisch auf einen Smart Contract der Ethereum Blockchain aufbaut. Das Modell umfasst Token, die Nutzer:innen sammeln und in Badges eintauschen können. Wobei die Badges wiederum als NFT abgebildet werden.

1. Einleitung

In dieser Forschungsarbeit soll der Einsatz von Token in einem Learn Management System (LMS) erörtert werden. Ziel ist die Entwicklung eines Tokenmodells, welches auf die gegebene Plattform der Blockchain Academy Mittweida (BCAM), angepasst ist.

Es sollen die Möglichkeiten eines Tokens auf einer Lernplattform beschrieben werden und eine Auswahl speziell für die BCAM Plattform getroffen werden. Neben der Betrachtung eines sinnvollen Einsatzes der Blockchain ist außerdem zu betrachten, nach welchem Prinzip Token vergeben werden, welche Art von Token sich eignen und inwieweit die gesammelten Ideen unter den gegebenen Umständen auch umsetzbar sind.

In diesem Paper soll eine Verbindung zwischen E-Learning, Gamification und Tokenisierung geschaffen werden. Es werden die Ergebnisse der damit verbundenen Recherchearbeit, der Konzeptentwicklung und ein Ausblick für die Umsetzung dargestellt.

2. Zielsetzung

Bevor man sich Gedanken über den möglichen Einsatz von Token auf einer Lernplattform macht, sollten die Gründe dafür geklärt werden. Für die Plattform der Blockchain Academy Mittweida spielten folgende Ziele eine Rolle.

Auf der Plattform soll nicht nur theoretisches Wissen über Blockchain und deren Hintergründe angeboten werden, sondern Nutzer:innen sollen auch direkt in Kontakt mit der Blockchain kommen und ihr Wissen anwenden. Die Plattform soll dafür in einem angeleiteten Rahmen die Möglichkeit für Interaktionen mit einer Blockchain bieten, ohne dafür (finanzielle) Risiken eingehen zu müssen. Aus diesem Grund wird die Blockchain eher spielerisch eingebunden werden. Das kommt auch dem weiteren Ziel zugute, dass die Lernplattform durch

Gamification interessanter gestaltet werden soll. Nutzer:innen sollen dadurch mehr Interesse daran haben sich länger und tiefer gehender mit den Themen, die auf der Lernplattform angeboten werden, zu beschäftigen [1]. Das Einbinden einer Blockchain durch den Einsatz von Token verbindet diese beiden Themen nahtlos und erfüllt vor allem den Zweck, die Technologie direkt erfahrbar zu machen und nicht nur Informationen darüber zu erhalten.

Aus diesen genannten Gründen sollte eine Möglichkeit gefunden werden, wie Token auf der Lernplattform sinnvoll eingesetzt werden können. Dabei sollte E-Learning, Gamification und Blockchain eine Synergie miteinander eingehen und ein Tokenkonzept erschaffen werden. Zusätzlich sollten die Rahmenbedingungen des Projekts dabei beachtet werden. Diese umfassen sowohl Limitierungen in der Umsetzung, welche durch die Wahl der Plattform und durch Faktoren wie Projektlaufzeit und finanzielle Ressourcen gegeben waren, als auch der Wunsch der Blockchain Technologie gerecht zu werden. Diese sollte nicht nur reiner Mittel zum Zweck der Veranschaulichung sein, sondern ihr Einsatz sollte kompatibel mit ihren Eigenschaften sein und bestenfalls einen Mehrwert bringen.

3. Erkenntnisse aus der Recherchearbeit

Als Grundlage für die Entwicklung der Ideen für das Tokenkonzept wurden bereits bestehende Projekte, welche Token auf einer Lernplattform einsetzen, recherchiert. An dieser Stelle sollen nur die daraus entstandenen Erkenntnisse und nicht die Projekte selbst vorgestellt werden.

Die Recherche hat gezeigt, dass die meisten Projekte Token als Zahlungsmittel auf ihrer Plattform für Lerninhalte einsetzen wollen [2; 3; 4]. Doch dies bringt auch einige Herausforderungen mit sich, sodass beispielsweise im Projekt Studium auf zwei verschiedene Blockchains gesetzt wird - eine für Zahlungsaktionen und eine für Leistungsnachweise [4: 23]. Und auch die Möglichkeit, dass Token auf Exchanges gekauft und gehandelt werden können, stellt manche Projekte direkt vor Herausforderungen. Bei der Tutellus Lernplattform werden daher die Belohnungen in Fiat ausgepreist und erst bei Erhalt in TUT-Token umgewandelt, um starke Schwankungen des Tokens auszugleichen [5]. Neben diesem negativen Beispiel konnten aber auch viele interessante Ansätze aus den Projekten gesammelt werden.

So auch von der Plattform CoinMarketCap, welche zwar keine klassische Lernplattform ist, aber auch kurze Videokurse zu verschiedenen Token anbietet [6]. Diese werden von den Projektbetreibern eines Tokens erstellt und soll deren Projekte bekannter machen. Durch die Ausgabe einer geringen Menge von den projekteigenen Token am Ende eines Kurses werden Kursteilnehmer:innen direkt mit dem Token in Kontakt gebracht und so eine erste Beziehung hergestellt.

Als Lernplattform hingegen bietet Tutellus beispielsweise eine dApp an mit einem übersichtlichen Interface an, über welches die Nutzer:innen leicht mit der Blockchain interagieren können und so einen einfachen praktischen Zugang zu Kryptowährungen und Token erhalten [5]. Als Inspiration aus dem Studium Projekt kann der Einsatz von NFT Collectible Cards, die (angestrebte) Zusammenarbeit mit Unternehmen und das Konzept zur Prüfung von neuen Inhalten genannt werden [5: 21f]. Wobei für das Tokenkonzept der BCAM vor allem die NFT Collectible Cards ansprechend sind. Diese werden von den Ersteller:innen von Inhalten kreiert und können dann als Belohnung an Lernende ausgegeben werden. Diese können die NFTs wiederum auf einem NFTfi Marketplace austauschen.

Als Ideenvorlage für Gamification und Token konnte auch das LOL-Token Projekt dienen. Hier sammeln die Nutzer:innen zunächst Punkte, welche sie dann wiederum in LOL-Token umwandeln lassen können [3: 9]. Eine Gamification soll erreicht werden durch Avatare, die nach Vorlieben ausgewählt werden können, tägliche Quests und Quiz mit Belohnungen. Den Token wiederum können sie dann auf der Plattform einsetzen, um bspw. auf der Plattform Spiele freizuschalten, sowie bei Institutionen und bei Workshops verwenden und frei an der Börse handeln. Die Blockchain soll außerdem eingesetzt werden, um den Lernfortschritt zu

speichern – bspw. Kursbesuche und Zertifizierungen [3]. Die Recherche über das Unternehmen THX Network und dessen THX Token brachte vor allem Inspiration für Einsatzmöglichkeiten eines Tokens in Communitys. So kann die Ausgabe eines Tokens als Belohnung auf einen Beitrag erfolgen, der viel positives Feedback aus der Community erhalten hat. Außerdem werden hier auch Aktionen wie Registrierung und Profilervollständigung belohnt [7].

Neben den Lernplattformen wurde sich auch mit Gamification auf der Blockchain auseinandergesetzt. Bei diesen kommen vermehrt nicht mehr nur fungible Token zum Einsatz, sondern auch NFTs welche dann wiederum gehandelt werden. Hier hat sich bereits das Konzept „Play to Earn“ durchgesetzt, welches als Ideengeber für eine Adaption „Learn to Earn“ genutzt werden kann. [8]

Zuletzt wurde auch die LearnDash Erweiterung „Achievements“ auf seine Ansätze und deren Umsetzung geprüft. Dieses dient nicht nur als Inspiration für Ideen, sondern kann auch als Indikator dafür genutzt werden, welche Funktionalität LearnDash und WordPress anbieten. Das Add-on basiert auf Punkten, welche ausgelöst durch verschiedene Trigger an die Nutzer:innen ausgegeben werden können und welche dann bspw. auf Ranglisten verglichen werden können. Außerdem können Badges gesammelt werden, welche dann auf dem Profil dargestellt werden [9].

Aus der Recherche bestehender Projekte haben sich vor allem Ideen für den Erhalt von Token auf einer Lernplattform ergeben. Der Einsatz dieser Token basierte in den meisten Fällen nur darauf, weitere Inhalte freizuschalten oder die Token zu handeln und dadurch Geld zu verdienen.

Die Recherchearbeit umfasste allerdings nicht nur Projekte, sondern auch einen Überblick über die Grundlagen der Gamification und sinnvolle Gestaltung im E-Learning [1; 10]. Aus dieser Arbeit ergaben sich sowohl Ideen für die Ausgabe von Token an Nutzer:innen als auch für den möglichen Einsatz. Als Beispiel können Easter Eggs und Personalisierung eines Avatars als bekannte Gamification Ansätze genannt werden [11].

4. Konzeptentwicklung

Ausgehend von den gesammelten Ideen aus der Recherchearbeit wurde eine Übersicht erstellt und diese auch mit eigenen Ansätzen erweitert. Einen groben Überblick gibt folgende Tabelle.

Tabelle 1: Ideensammlung

Ausgabe von Token	Einsatz von Token	Mischformen
Abschließen einer Lerneinheit	Inhalt freischalten/Rabatt	Nachhilfe
Bestehen eines Quiz/Tests	Ranglisten	Abstimmungen
Registrieren/Profilerstellung	Badges	Teilhaberschaft
Feedback/Umfragen	Nachweis	Wetten
Easter Egg	Personalisierung/Gestaltung	NFT Collectible
Weiterempfehlung	Spenden	
(wiederholter) Plattformbesuch	Tausch gegen andere Token	

Diese Ansätze und die damit verknüpften detaillierteren Ideen wurden auf Grundlage verschiedener Gesichtspunkte für ihre Eignung für die BCAM Plattform bewertet. Zu diesen Punkten zählte Seriosität, Plattformziele, Umsetzbarkeit auf der Plattform und innerhalb des Projektrahmens. Vor allem durch den Projektrahmen wurden viele Ideen als zu komplex eingestuft und sich stattdessen auf Ideen fokussiert, für deren Umsetzung bereits Ansätze vorhanden waren. So gab es auf der Plattform bereits Kurse mit Wissenstests, sodass eine darauf

basierende Ausgabe von Token als leicht umsetzbar eingestuft wurde. Wohingegen die vielversprechende Idee eines Nachhilfetokens an diesem Punkt scheiterte. Auch wenn es ein interessanter Ansatz war, nicht nur gute Lernende zu belohnen, sondern auch die schwächeren etwas zur Verbesserung an die Hand geben zu können, ist die Plattform zum aktuellen Zeitpunkt dafür nicht geschaffen. Auch Ideen, welche sich eher mit dem Vorgang der Inhalterstellung befassen, wie Abstimmungen, Teilhaberschaft und Spenden, wurden zurückgestellt für einen späteren Zeitpunkt.

Weitere Ideen, die wegen des Charakters der vorgegebenen Plattform entfielen, waren das Freischalten von Inhalten (da diese frei zugänglich bleiben sollen) und der Tausch gegen andere Token (da aktuell keine Kooperation mit anderen Projekten vorgesehen ist). Auch die Ansätze basierend auf Weiterempfehlung und Plattformbesuch finden keine technische Unterstützung auf der Plattform, sodass deren Umsetzung als zu umfangreich eingestuft wurde.

Für die Einsatzmöglichkeiten von Token durch Nutzer:innen blieben damit noch die drei Ideen Badges, Rangliste und Nachweis. Eine reine Nachweisfunktion durch den Token würde sich zwar sehr gut für eine Umsetzung mit der Blockchain eignen, lässt sich allerdings schwer mit einem spielerischen Ansatz beim Erhalt der Token vereinen. Denn wenn die Token sowohl nach einem Quiz als auch beim Finden eines Easter Eggs ausgegeben werden, spiegeln sie nicht unbedingt den Wissenstand eines Lernenden wieder. Die beiden Ideen Badges und Rangliste entspringen beide der Recherche über Gamification im E-Learningbereich, widersprechen sich allerdings, wenn für beides Token genutzt werden soll. Denn Nutzer:innen mit vielen Token und damit einem guten Ranking könnten davor zurückschrecken diese Token auch für Badges zu investieren, da sie dann in der Rangliste sinken würden. Zwei konkurrierende Ideen auf einer Plattform umzusetzen, erschien nicht sinnvoll und es wurde sich letztendlich gegen die Rangliste und für die Badges entschieden.

Mit dieser Entscheidung wurden auch die NFT Collectible wieder in den Vordergrund gerückt. Denn diese bieten sich sehr gut an, um die Badges auch auf der Blockchain abbilden zu können. Non fungible Token sind einzigartig und können beispielsweise auch (Teilstücke eines) Kunstwerks abbilden. Dank dieser Verknüpfung von Badge und Blockchain, können die Nutzer:innen die Funktionsmöglichkeiten der verschiedenen Arten von Token direkt miterleben.

5. Ergebnis

Nach der Bewertung der gesammelten Ideen wurden die besten Ideen in einem Tokenkonzept zusammengebracht. Dabei wurde erneut auf die Kompatibilität der Ideen geachtet. Letztendlich beschreibt das Konzept, dass Nutzer:innen nach Abschluss der kleinsten Lerneinheit und nach dem Bestehen eines Quiz Token erhalten. Zusätzlich sind in den Tools, die in der Plattform integriert sind, Easter Eggs eingebaut. Mit den gesammelten (Lern-)Token können Badges erstellt werden, welche ebenfalls auf der Blockchain als NFT abgebildet werden.

Im Konzept wurden außerdem zwei weitere Herausforderungen betrachtet. Zum einen sollte zwischen den Kursen auf der Plattform und ihrem Umfang eine gewisse Balance hergestellt werden können, darüber wie viele Token gesammelt werden können. Zum anderen sollte nicht nur ein Bestehen eines Quiz belohnt werden, sondern ein gewisses Leistungsprinzip beachtet werden, welches auch Verbesserung mit einbezieht. Als Lösung für die erste Herausforderung wird die Belohnung nach Beenden einer Lerneinheit von einer gewissen Wahrscheinlichkeit abhängig gemacht, welche sich nach der Anzahl der Quiz des Kurses und dessen Umfang richtet. Für die zweite Herausforderung wurde eine Auszahlungsmatrix erstellt, bei dem eine Verbesserung im Zweitversuch eines Quiz belohnt wird. Dabei wurde beachtet, dass es für die Anwender:innen nicht lohnend ist, absichtlich schlecht zu sein.

Ausgehend von diesem Konzept wurde sich auch bereits mit der technischen Umsetzung beschäftigt. Diese soll in diesem Beitrag nur kurz betrachtet und ein Ausblick gegeben

werden. Generell erfolgt das Einbringen des Tokens und dessen Funktionen mithilfe eines selbst entwickelten Plugins für WordPress, welches auf die Funktionalität von LearnDash aufbaut. So wird beispielsweise die Anzeige für die Badges und die Anzahl der Token auf dem Profil mit integriert. Für die Umsetzung auf der Blockchain soll der ERC1155 genutzt werden, da dieser die beiden Tokenarten unterstützt und insgesamt sehr kostengünstige Transaktionen ermöglicht [12]. Für die Verbindung zwischen Badges und NFTs soll eine Bildungsvorschrift gefunden werden, welche ebenfalls auf der Blockchain abgelegt wird, sodass die Badges unabhängig von der BCAM Plattform aus dem NFT und dessen Daten abgeleitet werden können.

Letztendlich konnte ein Tokenmodell gefunden werden, welches die verschiedenen Ansprüche und Zielsetzungen des Projekts erfüllt. Die Rechercharbeit konnte dabei verschiedene Ideen liefern, welche auch in der zukünftigen Entwicklung des Projekts eine Rolle spielen können. Außerdem konnten bereits die Grundlagen für die Umsetzung geschaffen werden, auf welche nun die Realisierung im Detail erfolgt. Während der nun anschließenden Implementierungsphase kann erneut auf die Rechercharbeit zurückgegriffen werden, um auch hierfür Lösungsansätze zu finden. Mit dieser Arbeit und dem entwickelten Tokenmodell wurde dafür die nötige Grundlage geschaffen.

Datenverfügbarkeit

Es wurden keine eigenen Daten generiert.

Interessenskonflikte

Es bestehen keine Interessenskonflikte.

Literaturverzeichnis

1. Stieglitz, Stefan (2015): Gamification – Vorgehen und Anwendung. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 52, 6, 816–825.
2. European International University (2020): An Ed-Tech platform for the masses – Pedagog – European International University | Blog [<https://blog.eiu.ac/2020/11/08/an-ed-tech-platform-for-the-masses-pedagog/>, Abruf am 17.02.2022].
3. Krishnan Dr., Edward Roy (2020): LOLTOKEN BY EIU.AC. LOLTOKEN Whitepaper | V 2.0.
4. Peulic, Dejan: Studyum. Creating a new way to learn, through AI-based re-skilling.
5. Tutellus (2021): Whitepaper [<https://docs.tutellus.com/tutellus/whitepaper>, Abruf am 27.05.2022].
6. CMC (2021): Earn Cryptocurrency While Learning [<https://coinmarketcap.com/earn/>, Abruf am 31.10.2021].
7. thx.network (2022): Boost Engagement in Your Community [<https://thx.network/use-cases/boost-engagement-in-your-community>, Abruf am 17.02.2022].
8. Motagnani, Daniele/Dubokoic, Dan/Guazzo, Gianmarco/Prosperi, Luca/Zang, Kiefer/Tan, Lisa J. Y./Santoni, Nicola (2022): Economics of Play to Earn Gaming Economy. A Primer.
9. LearnDash Support (2021): Achievements Add-On - LearnDash Support [<https://www.learndash.com/support/docs/add-ons/achievements-add-on/>, Abruf am 17.02.2022].
10. Blumstengel, Astrid (1998): Entwicklung hypermedialer Lernsysteme. Berlin: Wiss. Verl. Berlin.
11. Schell, Jesse (2020): The art of game design. A book of lenses. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
12. OpenZeppelin (2021): ERC1155 - OpenZeppelin Docs [<https://docs.openzeppelin.com/contracts/3.x/erc1155>, Abruf am 17.02.2022].

Urbane Produktion für Sachsen – Rahmenbedingungen und Potentiale für eine Renaissance in Klein- und Mittelstädten

Marie-Luise Baldin ¹[\[https://orcid.org/0000-0002-0401-4464\]](https://orcid.org/0000-0002-0401-4464) und Jan Schaaf ¹[\[https://orcid.org/0000-0002-8168-0890\]](https://orcid.org/0000-0002-8168-0890)

¹ Hochschule Mittweida

Korrespondenz: baldin@hs-mittweida.de, schaaf@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Urbane Produktion im Sinne der „Herstellung und Bearbeitung von materiellen Gütern in dicht besiedelten Gebieten“ [1], erlebt in den letzten Jahren eine wieder erstarkende Bedeutung. Gründe dafür sind u.a. ressourcenschonendere und emissionsärmere Fertigungsprozesse, kürzere Transport- und Arbeitswege oder auch die Nähe zu Forschungs- und Bildungseinrichtungen. Während sich viele Studien zur Urbanen Produktion auf Agglomerationsräume beziehen, fehlen bislang Kenntnisse zu weniger stark verdichteten Regionen und auch zu Klein- und Mittelstädten. Der Beitrag wird diesen Fokus in den Blick nehmen und erste Erkenntnisse eines Forschungsprojektes darstellen, das gemeinsam mit Unternehmen in sächsischen Klein- und Mittelstädten Rahmenbedingungen und Netzwerke identifiziert.

1. Einleitung

Mit Beginn der Industrialisierung waren Städte Zentrum der Ansiedlung industrieller Produktion. Die dabei verwendeten Technologien ermöglichten nicht nur neue Produktions- und Transportformen, sondern erzeugten auch umwelt- und gesundheitsschädliche Emissionen. In der Folge wurde die Industrie nach und nach in suburbane Standorte verlagert [2].

Seit stärkere Umweltauflagen die Entwicklung von emissionsärmeren Produktionsweisen befördert haben und mit der Digitalisierung neue produzierende Sektoren entstanden sind [3; 4], erhält die Reurbanisierung der Produktion wieder eine verstärkte Aufmerksamkeit [2; 5; 6; 7].

Vorteile urbaner Produktionsstandorte liegen u.a. in kurzen Arbeits- und Transportwegen, Nutzung bereits vorhandenen Infrastrukturen (sowohl Bestandsgebäude als auch verkehrliche wie soziale Infrastrukturen) und der Nähe zu Forschungs- und Bildungseinrichtungen [5; 8].

Dagegen sind Flächenkonkurrenzen, hohe Miet- und Bodenpreise und *industrial gentrification* [9] Herausforderungen, die eine Ansiedlung von industrieller Produktion insbesondere in Großstädten erschweren. Im Folgenden werden daher die Potenziale einer Ansiedlung urbaner Produktion in Klein- und Mittelstädten in Sachsen untersucht. Die Ausführungen stützen sich auf Ergebnisse des Forschungsprojektes „Urban Production – Kommt die Industrie zurück in die Stadt“ des Instituts für Nachhaltigkeits- und Immobilienmanagement der Hochschule Mittweida.

2. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden einerseits auf Basis der Merkmale der sogenannten Future Urban Industries [10] und dem 'International Standard Industrial Classification (ISIC)' [11] Industriebranchen identifiziert, die grundsätzlich für die Produktion im urbanen Umfeld geeignet wären. Außerdem wurde eine Werkstatt mit 65 Unternehmer*innen, Wirtschaftsförder*innen, Wissenschaftler*innen und weiteren Interessierten durchgeführt, in der Standortfaktoren, Potenziale und Hemmnisse neuer Urbaner Produktion diskutiert wurden. Auf dieser Basis wurden Stärken, Schwächen, Risiken und Möglichkeiten der Neuansiedlung von Produktionsstätten in klein- und mittelstädtisch geprägten Räumen in Form einer SWOT-Analyse identifiziert.

3. Für Urbane Produktion geeignete Industriebranchen

Moderne Produktionstechniken, Digitalisierung und neue Wertschöpfungsprozesse der Industrie 4.0 verlangen qualifizierte Arbeitskräfte und Zugang zu Wissen und Kreativität. Beide Voraussetzungen bietet vor allem das urbane Umfeld [12: 3].

Die Future Urban Industries (FUI) gelten als Potenzielle „Pioniere einer Reindustrialisierung der Städte“ [10: 1]. Als zentrale Merkmale der FUI gelten:

- Teilnahme am internationalen Wettbewerb,
- Einfluss der Industrie 4.0 auf die Produktion,
- effiziente, flexible, individuelle Produktion,
- Abhängigkeit von hochqualifizierten Arbeitskräften,
- Abhängigkeit von Wissen, Innovation und Netzwerken und
- ein Angebot produktionsnaher Dienstleistungen (ebd.).

An diese Merkmale anknüpfend, können eine ganze Reihe von Branchen (nach ISIC) identifiziert werden, die aufgrund ihrer Standortgebundenheit (z.B. Schwerindustrie, Bergbau aber auch Landwirtschaft), der Größe ihrer Produkte (bspw. Flugzeuge oder Schiffe) oder der Größe ihrer Produktionsanlagen (z.B. Papierindustrie oder Raffinerien) *nicht* für urbane Standorte in Frage kommen.

Als geeignet können hingegen beispielsweise Produktionsstätten aus dem Bereich der Nanotechnologie, Medizintechnik oder Pharmazie gelten, die sehr wissensintensiv sind und hochqualifizierte Arbeitskräfte benötigen. Aber auch Teile der Konsumgüterindustrie könnten für urbane Produktion in Frage kommen, wenn sie bspw. sehr individuelle Produkte (bspw. maßgefertigte Möbel aber auch Bekleidung, Fahrräder) oder elektronische und optische Erzeugnisse, Datenverarbeitungsgeräte oder Maschinenbau und weiteres herstellen. Insgesamt zeigt sich eine Vielfalt an geeigneten Branchen.

4. Ergebnisse der SWOT-Analyse urbaner Produktion aus Unternehmer*innensicht

Im Rahmen der Werkstatt wurden eine Reihe von Fragen diskutiert, die mit innerstädtischen Industriefertigungen einhergehen, dazu gehörte u. a. die Frage nach der Zukunftsfähigkeit urbaner Produktion in Klein- und Mittelstädten, aber auch nach Mehrwerten und Hindernissen, die urbane Standorte mit sich bringen (siehe Abbildung 1):

Für die Teilnehmenden sind **Stärken** urbaner Produktion die Schaffung von Arbeitsplätzen im innerstädtischen Bereich und die damit verbundenen kürzeren Arbeitswege für Arbeitnehmer*innen. Diese können zur Erhöhung städtischer Lebensqualität beitragen, CO₂-Emissionen reduzieren und die Vereinbarkeit von Beruf und Familie verbessern.

Zudem können urbane Produktionsstätten in Städten positive Agglomerationseffekte erzielen, wenn Branchen mit ähnlichen Bedürfnissen bspw. gemeinsame Infrastrukturen nutzen, etwa geteilte Logistikstrukturen oder eine gemeinsame Zuliefererindustrie. Urbanisierungseffekte können zudem zu einem Ausbau der Angebote in Freizeit und Kultur führen, mit positiven Effekten für die urbane Lebensqualität. Steigende Gewerbesteuereinnahmen sind ein weiterer positiver Effekt.

Einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz kann urbane Produktion durch die Nutzung von Bestandsflächen und -gebäuden leisten, wenn CO₂-Emissionen durch Neubau von Gebäuden vermieden werden können.

Als **Chancen** werden auf Seiten der Unternehmen die bessere Arbeitskräftebindung, die Nähe zu Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie das Wertsteigerungspotenzial für Grundstücke und Immobilien gesehen. Für Arbeitnehmer*innen und Bürger*innen kommt das Engagement der Unternehmen in Stadtteil und Stadt als Chance hinzu, sowie ökologische Potenziale durch die Ermöglichung der Nutzung des ÖPNV oder des nicht-motorisierten Verkehrs für den Arbeitsweg. Anwohner*innen und Stadt profitieren zudem von steigenden Kaufkraftpotenzialen und dem Ausbau von Innovation, Wissen und Wertschöpfung am Standort.

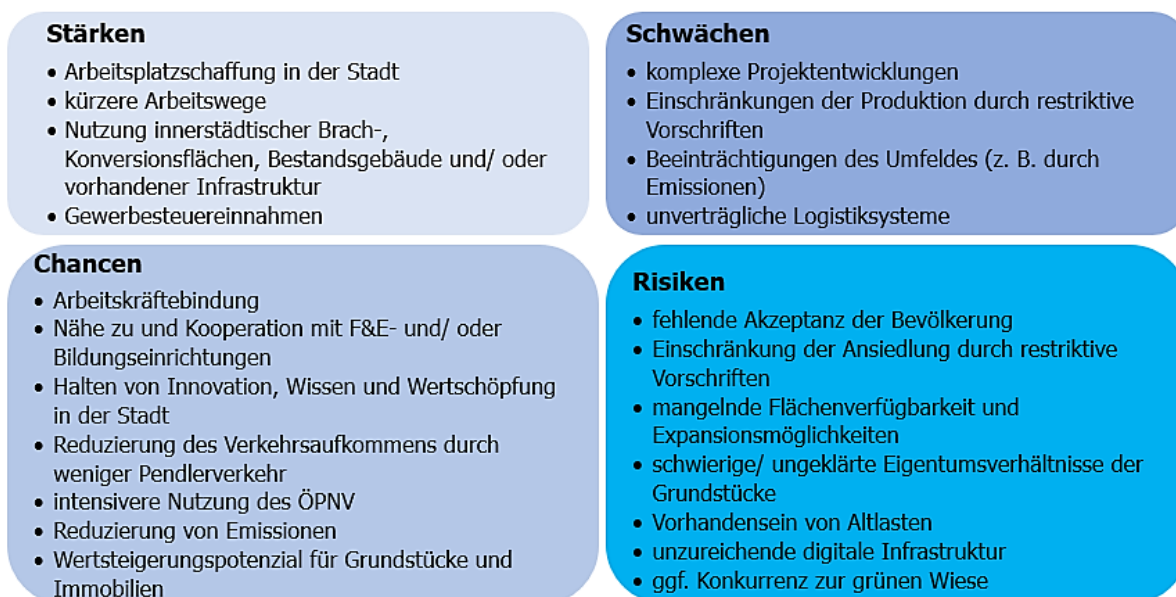


Abbildung 1: Ergebnisse der SWOT-Analyse zur Urbanen Produktion in Klein- und Mittelstädten (eigene Darstellung)

Für wissensintensive Branchen bietet die Nähe zu Bildungs- und Forschungseinrichtungen eine wichtige Chance für die Fachkräftegewinnung während andersherum das Vorhandensein potenzieller Arbeitsplätze auch ein Anreiz für die Standortwahl von Studierenden oder Auszubildenden sein kann.

Einen weiteren Vorteil kann die Nutzung von Sharing-Modellen bieten: Parkplätze von Produktionsstätten können außerhalb der Arbeitszeiten durch Anwohner*innen genutzt werden oder Nebenprodukte, wie Energie oder Wärme können in den städtischen Kreislauf eingebracht werden und so ein Beitrag zur Ressourceneffizienz geleistet werden.

Als **Schwächen** gelten die Komplexität der Projektentwicklung im urbanen Umfeld, denn Grundstückszuschnitte sind im innerstädtischen Bereich häufig weniger günstig als im Außenbereich [13: 45], was auch die Expansionsmöglichkeiten beschränkt. Dazu kommen umfangreiche Planungsanforderungen, bspw. bezüglich des Immissionsschutzgesetzes (BIm-

SchG) aber auch der städtebaulichen Eingliederung von Produktionsgebäuden in den Bestand. Künftig könnten auch hier noch höhere Anforderungen durch städtische Klimaanpassungsstrategien hinzukommen, die der Verstärkung des städtischen Wärmeinseleffektes entgegenwirken sollen (bspw. Gründächer, Fassadenbegrünungen, Regenwassermanagementsysteme usw.).

Auch eine Reihe von **Risiken** wurden durch die Teilnehmenden der Werkstatt benannt: zum einen wird ein mögliches Akzeptanzproblem der städtischen Bevölkerung befürchtet. Zum anderen wurden die bestehenden planungsrechtlichen Anforderungen, wie z.B. das Immissionsschutzgesetz (BImSchG) oder die Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO12) als z.T. kaum zu überwindende Hürde gesehen. Aber auch die Flächenknappheit und die teils unklaren Eigentumsverhältnisse von Gewerbeflächen, vor allem in Großstädten stellen ein Risiko für die Befragten dar.

Insgesamt zeigten die Einschätzungen der Teilnehmenden, dass die benannten Chancen und Stärken vor allem eine Standortwahl in Mittel- und Großstädten begünstigen würden [12 :11]. Begründet liegt dies vor allem in der Bedeutung der Nähe zu Forschungs- und Bildungseinrichtungen und dem damit verbundenen Fachkräftepotenzial. Aber auch kleinstädtische Standorte mit Hochschulbindung können hier durchaus Perspektiven aufweisen.

5. Fazit

Potenziale urbaner Produktion wurden bislang vor allem für Großstädte und Agglomerationsräume wie bspw. das Ruhrgebiet untersucht, während der klein- und mittelstädtische Raum unterrepräsentiert scheint. Gleichzeitig steigen seit einigen Jahren die Beschäftigtenzahlen im produzierenden Gewerbe in ländlichen Räumen mit Verdichtungsansätzen und dünn besiedelten ländlichen Räumen an [14]. Diese Entwicklung kann auf Potenziale von industriellen Produktionsstandorten abseits von Großstädten hindeuten.

Ein wesentliches Potenzial von Klein- und Mittelstädten können sicherlich die gegenüber Großstädten moderaten Miet- und Grundstückspreise sowie die von den Unternehmen als wichtig eingeordneten sicheren und geklärten Eigentumsverhältnisse sein, da hier Gewerbeflächen deutlich seltener im Fokus von Finanzmarktakteuren sind [15]. Die Nähe zu Forschungs-, Entwicklungs- und Bildungseinrichtungen kann auch in Klein- und Mittelstädten mit der entsprechenden Hochschulinfrastruktur und in deren Umland vorgefunden werden, wenngleich die Spezialisierungen hier selektiver sein dürften als in Großstädten.

Mit der Novelle der BauNVO 2017 wurden mit der Einführung des Urbanen Gebietes zudem neue Voraussetzungen für die urbane Produktion geschaffen: so können im Urbanen Gebiet gewerbliche Nutzungen neben Wohnnutzungen bestehen und es gelten bspw. tagsüber höhere Lärmwertgrenzen als im Kern- oder Mischgebiet. Gleichzeitig gilt es unter Berücksichtigung von Anforderungen an Klimaschutz und -anpassung weitere Hürden für die Ansiedlung industrieller Produktionsbetriebe abzubauen, um weiterhin wohnortnahe Arbeitsplätze zu schaffen.

Datenverfügbarkeit

Informationen zum Forschungsprojekt finden Sie unter: <https://www.institute.hs-mitt-weida.de/webs/inim/forschungsprojekte/>. Die Dokumentation des Workshops sowie die SWOT-Analyse werden auf Anfrage bereitgestellt.

Interessenkonflikte

Die Autor*innen bestätigen, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Förderung

Das Forschungsprojekt wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWKT) finanziert.

Literaturverzeichnis

1. Brandt, Martina; Gärtner, Stefan; Meyer, Kerstin (2017): Urbane Produktion – ein Versuch einer Begriffsdefinition. In: *Forschung Aktuell*, 08.
2. Bathen, Annette; Bunse, Jan; Gärtner, Stefan; Meyer, Kerstin; Lindner, Alexandra; Schambelon, Sophia et al. (2019): *Handbuch Urbane Produktion. Potenziale, Wege, Maßnahmen*. Gelsenkirchen, [17.02.2022]
3. Krüger, Thomas; Piegeler, Monika; Spars, Guido (2021): Eine Einführung. In: Thomas Krüger, Monika Piegeler und Guido Spars (Hg.): *Urbane Produktion. Neue Perspektiven des produzierenden Gewerbes in der Stadt?* Stuttgart, S. 7–12.
4. Piegeler, Monika; Spars, Guido (2021): Urbane Produktion - Konzept und Messung. In: Thomas Krüger, Monika Piegeler und Guido Spars (Hg.): *Urbane Produktion. Neue Perspektiven des produzierenden Gewerbes in der Stadt?* Stuttgart, S. 25–47.
5. Brandt, Martina; Gärtner, Stefan; Meyer, Kerstin (2018): *Urbane Produktion, Planungsrecht und dezentrale Finanzsysteme*. Institut Arbeit und Technik (Forschung Aktuell, 10), [28.01.2022].
6. Gärtner, Stefan; Meyer, Kerstin; Schonlau, Marcel (2021): Urbane Produktion: Ist da wirklich Speck dran? In: Thomas Krüger, Monika Piegeler und Guido Spars (Hg.): *Urbane Produktion. Neue Perspektiven des produzierenden Gewerbes in der Stadt?* Stuttgart, S. 48–69.
7. Läßle, Dieter (2016): Produktion zurück in die Stadt. Ein Plädoyer. In: *StadtBauwelt. Die Produktive Stadt*, 22, S. 22–29.
8. Lentjes, Joachim (2017): Urbane Produktion. In: Dieter Spath, Engelbert Westkämper, Hans-Jörg Bullinger und Hans-Jürgen Warnecke (Hg.): *Neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation*. Wiesbaden, S. 45–55.
9. Meyer, Kerstin; Beckamp, Marius (2020): Industrial Gentrification in London. Hintergründe, Erkenntnisse und „Lessons Learned“. In: *RaumPlanung Fachzeitschrift für räumliche Planung und Forschung*, 209, 6, S. 29–36.
10. Stiftung neue Verantwortung (Hg.) (2012): *Future Urban Industries – Produktion, Industrie, Stadtzukunft, Wachstum. Wie können wir den Herausforderungen begegnen?* (Policy Brief, 11/12), [20.05.2022].
11. United Nations (UN) (Hg.) (2008): *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities. Revision 4 (Statistical Papers Series M, 4)*. <https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/isc>, [23.05.2022]
12. Schaaf, Jan; Spindler, Isabel (2019): Urbane Produktion - Kommt die Industrie zurück in die Stadt? Mittweida (Diskussionspapier, 4), [15.02.2022].
13. Eckmann, Birte; Holthey, Linn; Krüger, Thomas; Spars, Guido (2020): Perspektiven für Gewerbe und Produktion in der Stadt. Zur Transformation von Gewerbestandorten. In: *RaumPlanung Fachzeitschrift für räumliche Planung und Forschung*, 209, 6, S. 44–49.
14. Jonas, Andrea (2020): Produktion in Stadt und Land? Eine empirische Analyse der Produktion in verschiedenen Raumtypen. In: *RaumPlanung Fachzeitschrift für räumliche Planung und Forschung*, 209, 6, S. 37–43.
15. Deutsche Bundesbank (Hg.) (2021): *Indikatorensystem zum deutschen Gewerbeimmobilienmarkt. Preisindikatoren*. <https://www.bundesbank.de/resource/blob/615086/17aa6db8e7ac0055320fe9d5e72150a0/mL/indikatorensystem-zum-deutschen-gewerbeimmobilienmarkt-data.pdf>, [07.02.2022].

Einfluss des UNESCO-Weltkulturerbe-Labels auf die touristische Entwicklung deutscher Kulturstädte

Maren Hille¹

¹ Hochschule Harz

* Korrespondenz: mhille@hs-harz.de

Kurzfassung. Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit städtischen Destinationen, welche eine Welterbestätte in ihrem touristischen Portfolio aufweisen. Im Speziellen soll untersucht werden, inwieweit sich die Ernennung einer Kulturstätte zum UNESCO-Welterbe auf die qualitative Entwicklung der Destination auswirkt, in der diese verortet ist. Hierzu wird das Modell von Sternad und Mödritscher herangezogen, welches sich mit qualitativen Wachstumssprüngen in Unternehmen beschäftigt. Die bei ihrem Ansatz identifizierten neun Wachstumsbereiche wurden geprüft und speziell auf Destinationen adaptiert. Mittels qualitativer Befragungen in vier deutschen Destinationen mit Weltkulturerbestätte soll ermittelt werden, ob eine Entwicklung in diesen Bereichen nach der Ernennung zum Welterbe erkennbar wird.

1 Einführung in die Thematik des UNESCO-Welterbes

Ausgehend vom Haager Abkommen aus dem Jahr 1954 wurde die Welterbekonvention im Jahr 1972 durch die UNESCO beschlossen und trat 1975 in Kraft [cf. 1: 102]. „Grundidee der Welterbekonvention und der aus ihr resultierenden Welterbeliste ist es, Natur- und Kulturerbestätten von außergewöhnlichem universellem Wert für die gesamte Weltgemeinschaft für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu bewahren“ [2]. Dem Beschluss der Welterbekonvention war die Rettung des nubischen Tempels von Abu Simbel in den 1960er Jahren vorausgegangen. Durch die Errichtung des Assuan-Staudammes wäre dieser an seiner ursprünglichen Stelle durch die Baumaßnahmen zerstört worden. Durch die Bündelung von Know How und finanzieller Ressourcen mehrerer Staaten, konnte der Tempel abgetragen und an höherer Stelle unbeschadet wiedererrichtet werden [cf. 3: 181].

Die Welterbeliste umfasst aktuell 1.154 Denkmäler, Gebäudeensembles und natürliche Regionen [cf. 4: 6], wovon sich 51 Stätten in Deutschland befinden. Damit liegt Deutschland im Nationenranking, wenn es um die Anzahl der Auszeichnungen zum UNESCO-Welterbe geht, an dritter Stelle (siehe Abbildung 1). Der Kategorie des Kulturerbes sind 48 Auszeichnungen zuzuordnen sowie drei der Sparte des Naturerbes (Werte von [5]). Gemischte Welterbestätten, sogenannte Mixed Sites, welche sowohl Merkmale der Kulturgüter als auch der Naturgüter erfüllen können, existieren in Deutschland (bis heute) auf der Welterbeliste nicht. Der hohe Anteil an Weltkulturerbestätten findet sich auch in der bestehenden deutschen Literatur wieder, in der der allgemeine Welterbebegriff dem Terminus Weltkulturerbe z.T. gleichgesetzt wird oder durch kulturbehafte Begriffe wie Denkmal oder Denkmalpflege substituiert wird [cf. 6: 55 f.].

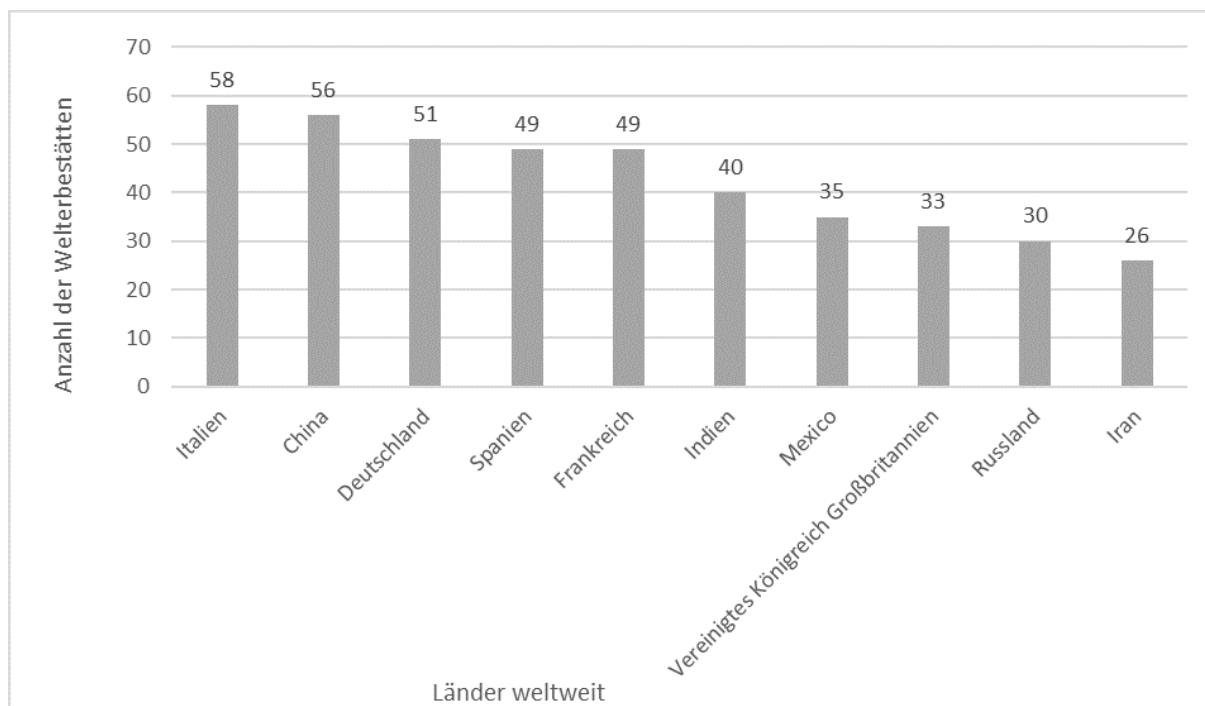


Abbildung 1: Nationen mit den meisten UNESCO-Welterbetiteln [5]

Eine Stätte kann zum Welterbe ernannt werden, wenn sie einen außergewöhnlichen, universellen Wert besitzt, Authentizität aufweist, d.h. historisch echt ist, ihre Integrität (Unversehrtheit) fortbesteht und daraus abgeleitet mindestens eines der zehn Ernennungskriterien der UNESCO erfüllt werden kann [cf. 2].

2 Vereinbarkeit von Schutzgedanke und Tourismus

Wie aus dem zuvor genannten Grundgedanken der UNESCO erkenntlich wird, wurde die Auszeichnung zum Welterbe nicht in Bezug auf eine touristische Entwicklung geschaffen. Da die Welterbekonvention jedoch von „193 Staaten“ [8] ratifiziert wurde, verfügt der Titel über einen hohen Bekanntheitsgrad und bekommt in der touristischen Destinationsvermarktung eine hohe Anziehungskraft hinsichtlich der Gästegewinnung beigemessen [cf. 7: 291].

„Eine Destination ist ein geographischer Raum (Ort, Region, Weiler), den der jeweilige Gast (oder ein Gästesegment) als Reiseziel auswählt. Sie enthält sämtliche für einen Aufenthalt notwendigen Einrichtungen für Beherbergung, Verpflegung, Unterhaltung/Beschäftigung. Sie ist damit die Wettbewerbseinheit im Incoming Tourismus, die als Geschäftseinheit geführt werden muss“ [9: 54]. Dementsprechend kann eine Destination im kleinsten Fall ein Resort oder ein Freizeitpark sein, jedoch auch eine einzelne Stadt, ein Land oder ein Kontinent [cf. 10: 24]. Innerhalb dieses Forschungsvorhabens werden im Speziellen Städte (mit Welterbestätte) als Destination betrachtet.

Eine Studie mit 6.003 Probanden, welche unter anderem die Relevanz des UNESCO Welterbestatus bei der Auswahl des Reiseziels einbezieht, zeigt, dass für 19% der Teilnehmer:innen der Titel sehr relevant ist und weiteren 33% eher relevant, wobei ein Interesse an einem Besuch einer Stätte sogar bei 81% liegt (Werte aus [11: 20]).

Zu hohe, un gelenkte Menschenströme können einer Welterbestätte jedoch schaden und Zweifel an der Vereinbarkeit zwischen dem Schutzgedanken der UNESCO und dem Tourismussektor aufkommen lassen [cf. 12]. Der Tourismus kann allerdings auch ein Schlüssel zur Erhaltung der Stätten darstellen, wenn finanzielle Einnahmen in Erhaltungsmaßnahmen

investiert werden. Wird darüber hinaus ein nachhaltiger Tourismus verfolgt, kann mittels Informationsangeboten ein höheres Bewusstsein für die Stätten und den respektvollen Umgang mit der Bevölkerung der Destination, geschaffen werden [cf. 12]. Hinsichtlich dieses Sachverhaltes stehen innerhalb der Untersuchung qualitative Kriterien der Destinationsentwicklung im Fokus. Die zu beantwortende Forschungsfrage lautet: Inwieweit wirkt sich die Ernennung einer Kulturstätte zum UNESCO-Welterbe auf die qualitative Entwicklung der Destination, in der diese verortet ist, aus?

3 Methodisches Vorgehen

Für die Untersuchung einer qualitativen Destinationsentwicklung wurde nach theoretischen Grundlagen zum qualitativen Wachstum/ zur qualitativen Entwicklung im Allgemeinen recherchiert und das Forschungsprojekt von Sternad und Mödritscher herangezogen. Diese betrachteten innerhalb eines Projektes Unternehmen des IT-Gewerbes, der Holzwirtschaft und der Hotellerie, welche sich durch eine hohe Produkt- und Servicequalität, ihren Geschäftserfolg, eine hohe Reputation bei Branchenexperten oder einen branchenüblichen Award auszeichneten [cf. 13: 6]. Mittels qualitativer Interviews mit Personen der obersten Führungsebene der Unternehmen, konnten neun Bereiche identifiziert werden, in denen durch gezielte Maßnahmen eine sprunghafte qualitative Entwicklung (Wachstumssprung) einsetzte. Hierzu zählen auf der Leistungs- und Angebotsebene die Spezialisierung, die Angebotsentwicklung und die Markenbildung. Zur Leistungserstellungsebene zählen die Prozessinnovation, die Infrastrukturschaffung und der Kulturwandel und unter dem Gesichtspunkt neuer Herausforderungen werden die Internationalisierung, Kooperationen und Referenzprojekte angeführt [cf. 14: 49 ff.].

In dieser Arbeit steht die Auszeichnung zum Welterbe, welche ebenfalls zu einer sprunghaften qualitativen Entwicklung führen kann, im Vordergrund. Da der theoretische Ansatz ursprünglich nicht ausschließlich touristisch geprägt war, wurde mittels bestehender Literatur und qualitativer Experteninterviews eine Übertragbarkeit der neun Bereiche auf Destinationen geprüft, bei denen das touristische Gesamtprodukt durch das Zusammenwirken vieler Unternehmen der Tourismusbranche, aber auch anderer Unternehmen entsteht.

4 Nähere Betrachtung ausgewählter UNESCO-Welterbestätten in Deutschland

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens sollen qualitative Experteninterviews in ausgewählten Destinationen mit Welterbestätte zur Identifikation der qualitativen Entwicklung in den neun von Sternad und Mödritscher aufgestellten Bereichen geführt werden. Um verschiedene Sichtweisen einzubeziehen, sollen sowohl leitende Personen der touristischen Leistungsträger als auch Experten anderer Branchen wie z.B. des Denkmalschutzes oder der Stadtverwaltung einbezogen werden (siehe hierzu auch [9: 91]).

Die Beantwortung der Forschungsfrage fußt maßgeblich auf den Ergebnissen der qualitativen Befragungen. Dementsprechend müssen sich alle Befragten valide an die Auswirkungen durch den Welterbetitel erinnern können. Um einzuschätzen, wie lange sich Personen verlässlich erinnern können, wurden Studien aus dem Bereich der Erinnerungspsychologie für die zeitliche Einschränkung herangezogen. Um Überlagerungsfehler in der Erinnerung zu reduzieren, werden ausschließlich Welterbestätten in die Betrachtung mit einbezogen, dessen Ernennung nicht weiter als 12 Jahre zurückliegt. Damit können auch mehr Personen als potentielle Informanten für die Befragung zur Destinationsentwicklung dienen, als bei Stätten, die bereits in den achtziger Jahren zum Welterbe ernannt wurden.

Da es jedoch mindestens 5-7 Jahre [cf. 15: 74] bedarf, bis eine strategische Entwicklung in einer Destination deutlich wird und durch die Corona Pandemie die touristischen Bestrebungen verlangsamt wurden, werden ebenfalls Destinationen ausgeschlossen, welche

den Titel erst ab 2015 verliehen bekommen haben. Durch die zeitliche Einschränkung (2011-2014) wurden die Destinationen Alfeld mit dem Faguswerk, Bayreuth mit dem Markgräflichen Opernhaus, Kassel mit dem Bergpark Wilhelmshöhe und Höxter mit dem Carolingischen Westwerk und der Civitas Corvey zur näheren Betrachtung gewählt. Neben der Tatsache, dass sich die Destinationen jeweils in einem anderen Bundesland befinden, fällt auch die thematische Breite mit der Auswahl einer Fertigungsstätte, eines musisch-/künstlerischen Bauwerks, eines Landschaftsparks und einer klerikalen Stätte auf.

5 Ausblick

Mittels des Forschungsvorhabens soll geklärt werden, wie sich eine qualitative Entwicklung von Destinationen auswirkt und wie sich diese speziell bei Destinationen mit Welterbestätte nach der Welterbewertung äußert. Durch das Heranziehen des Forschungsprojektes von Sternad und Mödritscher, wurde bereits ein theoretischer Ansatz gefunden, mit Hilfe dessen verschiedene Bereiche des Wachstums auch für Destinationen geprüft werden konnten.

Ziel ist es heraus zu finden, ob sich ein oder mehrere Bereiche durch die Welterbewertung besonders stark entwickeln konnten. Auch kann aufgrund der breit gefächerten Fallbeispiele geprüft werden, ob die Größe der Stadt oder das Kriterium, auf Grund dessen die Destination den Titel verliehen bekommen hat, einen Einfluss auf die Entwicklung haben kann.

Sollte sich herausstellen, dass sich mehrere Bereiche aufgrund der Welterbewertung positiv entwickelt haben, so kann dies auch andere Destinationen ermutigen, sich um den Titel mit einer Kulturstätte zu bewerben. Sollten keine merkbaren Effekte identifiziert werden können, so muss individuell abgeleitet werden, ob der langwierige Prozess bis zur Ernennung zum UNESCO-Welterbe eingeschlagen werden sollte.

Datenverfügbarkeit

Es handelt sich um eine Literaturrecherche und Interpretation vorhandener Studien. Es wurden bis zu diesem Zeitpunkt keine eigenen Daten in Form von qualitativen Interviews oder einer quantitativen Befragung durchgeführt. Die genutzten Literaturquellen sind angegeben.

Interessenskonflikte

Es liegen keine Interessenkonflikte vor.

Literaturverzeichnis

1. Strasser, P. (2007). Welt-Erbe? Thesen über das „Flaggschiffprogramm“ der UNESCO. In D. Hemme, M. Tauschek, & R. Bendix (Hrsg.), Prädikat „Heritage“ - Wertschöpfung aus kulturellen Ressourcen (S. 367). LIT Verlag Dr. W. Hopf.
2. DUK. (2021). Welterbe werden. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-werden>
3. Scholz, O. P. (1994). Abu Simbel: In Stein verewigte Herrschaftsidee. DuMont Buchverlag.
4. Jimura, T. (2019). World Heritage Sites – An Introduction. In World Heritage Sites (S. 1–19).
5. UNESCO World Heritage Centre. (2022). World Heritage List. <http://whc.unesco.org/en/list>
6. Swenson, A. (2007). Heritage, Patrimoine und Kulturerbe: Eine vergleichende historische Semantik. In D. Hemme, M. Tauschek, & R. Bendix (Hrsg.), Prädikat Heritage - Wertschöpfung aus kulturellen Ressourcen (S. 53–74). LIT Verlag Dr. W. Hopf.

7. Ryan, J., & Silvano, S. (2009). The World Heritage List: The making and management of a brand. *Place Branding and Public Diplomacy*, 5(4), 290–300. <https://doi.org/10.1057/pb.2009.21>
8. UNRIC. (2020). UN-Mitgliedstaaten. <https://unric.org/de/mitgliedstaaten/>
9. Bieger, T., & Beritelli, P. (2013). *Management von Destinationen* (T. Bieger & P. Beritelli (Hrsg.); 8. Auflage). Oldenburg Verlag.
10. Pike, S. (2008). *Destination marketing – An integrated marketing communication approach*.
11. inspektour GmbH, & FH Westküste. (2016). *Die touristische Relevanz der deutschen UNESCO-Welterbestätten und Nationalparks bei der Destinationswahl ITB 2017-Ergebnispräsentation gekürzt*.
12. Debrine, P. (2017). „Lasst uns bessere Touristen sein!“ - Nachhaltiger Tourismus zum Schutz des Welterbes. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-sein/nachhaltiger-tourismus-zum-schutz-und-erhalt-des-welterbes>
13. Sternad, D., & Mödritscher, G. (2020). Entrepreneurial Leaps: Growth Processes in Transition Phases Between Dynamic States. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 1–33. <https://doi.org/10.1177/1042258720929890>
14. Sternad, D., & Mödritscher, G. (2018). *Qualitatives Wachstum*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18880-1>
15. Wöhe, G. (2016). *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (G. Wöhe, U. Döring, & G. Brösel (Hrsg.); 26. Aufl.). Franz Vahlen GmbH

Standardisierte Vorgehensweise zur Parametrisierung von sandigen Böden für das hypoplastische Stoffgesetz – ein Beitrag zur Wiedernutzbarmachung der Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlerevier

Vanessa Fock^{1*}, Rosa Elena Ocaña Atencio¹ und Ralf Thiele¹

¹ Gruppe Geotechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

* Korrespondenz: vanessa.fock@htwk-leipzig.de

Kurzfassung. Numerische Simulationen leisten einen elementaren Beitrag zur Optimierung von geotechnischen Verdichtungsverfahren, die zur Stabilisierung von Böden zum Einsatz kommen. In solchen Simulationen ist es möglich, das komplexe Materialverhalten von Sanden mit dem hypoplastischen Stoffgesetz beschreiben zu können. Trotz des enormen Einschusses der Stoffparameter auf die Berechnungsergebnisse ist die Parametrisierung von Sanden für das hypopl. Stoffgesetz bisher nicht einheitlich geregelt. In diesem Beitrag werden verschiedene Parametrisierungsansätze an einem Sand erprobt und deren Simulationsergebnisse einander gegenübergestellt. Anschließend wird ein Vorschlag zur Standardisierung der Parametrisierung von Sanden für das hypopl. Stoffgesetz abgeleitet.

1 Einführung

Die G² Gruppe Geotechnik an der HTWK Leipzig beschäftigt sich im Projekt *RoDyCom* seit 2019 mit der Verdichtungswirkung von Walzenverdichtern mit unrunder Bandagengeometrien (Rolling Dynamic Compaction) im Hinblick auf die Kippenbödenverdichtung des Lausitzer Braunkohlereviers. Nach dem Abbau der Braunkohle werden die abgeräumten Erdmassen im Bereich des Tagebaus wieder locker verkippt und neigen bei Belastung zu großen Verformungen bzw. zum Versagen. Die Verbesserung der Stabilität der Böden durch Verdichtung ist essenziell für die Renaturierung und Rekultivierung dieser Gebiete.

Im Rahmen des Projekts werden numerische Studien zur Verdichtungswirkung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt. Mit dem hypopl. Stoffgesetz mit intergranularen Dehnungen [1; 2] ist es gelungen, die wesentlichen mechanischen Eigenschaften von Sanden, wie sie vor allem in der Lausitz vorzufinden sind, beschreiben zu können.

FEM-Berechnungen werden erheblich vom quantitativen Wert der Stoffparameter beeinflusst. Eine einheitliche Empfehlung für die Festlegung dieser existiert jedoch nicht. Im Folgenden werden verschiedene Ansätze zur Bestimmung der Stoffparameter aus bodenmechanischen Standardversuchen vorgestellt, die anschließend an einem Sand geprüft und validiert werden. Aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse der unterschiedlichen Parametersätze (PS) wird ein Vorschlag einer standardisierten Vorgehensweise zur Parametrisierung von Sanden für das hypopl. Grundmodell nach von Wolffersdorff [1] abgeleitet.

2 Parametrisierung der hypoplastischen Stoffparameter

2.1 Stoffparameter des Stoffgesetzes

Das hypopl. Stoffgesetz setzt sich aus dem Grundmodell (von Wolfersdorff [1] und der Erweiterung der intergranularen Dehnungen [2] zusammen und beinhaltet insg. 13 Stoffparameter. Acht dieser Parameter gehen in das Grundmodell ein und können wie folgt beschrieben werden:

- φ_c ist der Reibungswinkel im kritischen Zustand.
- Die Granulathärte h_s und der Exponent n beeinflussen das Kompressionsverhalten.
- e_{c0} , e_{d0} und e_{i0} sind die Grenzporozahlen bei einer Spannung von Null.
- Der Exponent α steuert die Abhängigkeit des Peak-Reibungswinkels von der Dichte.
- Der Exponent β steuert die Abhängigkeit der Bodensteifigkeit von der Dichte.

Die folgenden Untersuchungen konzentrieren sich auf die Parametrisierung der genannten acht Stoffparameter des Grundmodells. Für die zusätzlichen fünf Parameter der Erweiterung der intergranularen Dehnungen wurden die Werte aus Mašin [3: 132] angenommen.

2.2 Ermittlung der Parametersätze

Zum Vergleich der unterschiedlichen Parametrisierungsansätze wurde ein bereits gut dokumentierter Sand mit seinen vielfach erfolgreich verwendeten Stoffparametern ausgewählt (Tab. 1).

Tab. 1: Stoffparameter des sog. Karlsruhe-Sands [4]

φ_c [°]	h_s [MPa]	n	e_{c0}	e_{d0}	e_{i0}	α	β
30	0,28	5.800	0,84	0,53	1,00	0,13	1,0

Neben der ursprünglichen *Methode von Herle* [4; 5] wurden das *Minimalistic Experimental Programme* (MEP) von Mašin [3: 100], das *Online-Kalibrierungs-Tool ExCalibre* [6] und die rein *num. Kalibrierung* der Stoffparameter angewandt. Die hierfür notwendigen Versuche können Tab. 2 entnommen werden.

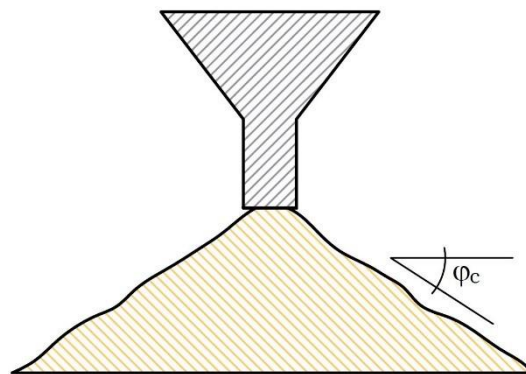


Abb. 1: Prinzip Schüttkegelversuch

Tab. 2: Versuche der Parametrisierungsansätze

Ansatz	Herle	MEP	Numerisch	ExCalibre
φ_c	Schüttkegelversuch			Autom. Kalibrierung
h_s	Rechnerisch aus Ödometerversuch an sehr lockerer Probe	Numerisch aus Ödometerversuch an sehr lockerer Probe		
n				
e_{c0}, e_{d0}, e_{i0}	Dichtebestimmung			
α	Rechnerisch (HR) o. grafisch (HG) aus Triaxialversuch an dichter Probe	Numerisch aus Triaxialversuch an dichter Probe		
β	Rechnerisch aus Ödometerversuch an dichter und lockerer Probe	Numerisch aus Triaxialversuch an dichter Probe → Trial & Error (N2, N4)	Numerisch aus Ödometerversuch an dichter Probe → Trial & Error (N1, N3)	

Die automatische Kalibrierung mittels ExCalibre erfolgte unter Angabe der Körnungslinie, des Schüttwinkels (Abb. 1) sowie der Ergebnisse eines Ödometer- (OEDO) und dreier Triaxialversuche (TRIAX).

Die num. Simulationen erfolgten mit dem FEM-Programm ABAQUS. Zur Bestimmung von h_s , n und β wurden sowohl kraft- (koEDO) als auch weggesteuerte Ödometerversuche (woEDO) durchgeführt. Aus den vier Ansätzen zur Bestimmung der Stoffparameter ergeben sich insg. acht PS (Tab. 3).

Tab. 3: Parametersätze (PS)

Methode	Kürzel*	φ_c [°]	h_s [MPa]	n	e_{c0}	e_{d0}	e_{i0}	α	β
Herle	HR**	32,9°	5.300	0,28	0,84	0,53	1,0	0,12	1,0
Herle	HG**	32,9°	5.300	0,28	0,84	0,53	1,0	0,06	1,35
MEP	MEP**	32,9°	2.400	0,36	0,76	0,38	0,91	0,28	1,75
Numerisch	N1***	32,9°	8.000	0,23	0,84	0,53	1,0	0,155	1,0
Numerisch	N2***	32,9°	8.000	0,23	0,84	0,53	1,0	0,155	1,2
Numerisch	N3**	32,9°	5.300	0,27	0,84	0,53	1,0	0,13	1,8
Numerisch	N4**	32,9°	5.300	0,27	0,811	0,405	0,973	0,15	1,2
ExCalibre	ExC**	32,9°	5.900	0,21	0,84	0,53	1,0	0,13	4,6

*siehe Tab. 2

** Die Bestimmung der Parameter erfolgte an woEDO.

*** Die Bestimmung der Parameter erfolgte an koEDO.

3 Validierung der Parametersätze

Die Validierung der PS erfolgte durch Simulationen eines zusätzl. KOEDO, wOEDO und TRIAX an Sandproben bei mitteldichter Lagerung. In Abb. 2 sind die Simulationsergebnisse im Vergleich zu den Versuchsdaten und den Berechnungen mittels Referenz-PS (Tab. 1) dargestellt.

Die Simulationsergebnisse wurden hinsichtlich ihrer Reproduktion der Versuchsdaten miteinander verglichen. Die besten Ergebnisse konnten hierbei durch die num. kalibrierten PS N1, N2, N3 und dem MEP-PS erzielt werden. Die größten Abweichungen bei der Simulation der OEDO traten bei den nach Herle ermittelten PS HR und HG (Abb. 2 a) und b)) und beim TRIAX beim PS ExC (Abb. 2 c)) auf. Mit PS ExC wird die Peak-Spannung im TRIAX deutlich überschätzt. Die restlichen PS (ausgenommen MEP) geben den qualitativen Verlauf des TRIAX gut wieder, unterschätzen die Spannungsentwicklung jedoch über den kompletten Versuch hinweg um mind. 50 kPa, was auf einen zu geringen Reibungswinkel φ_c hindeutet.

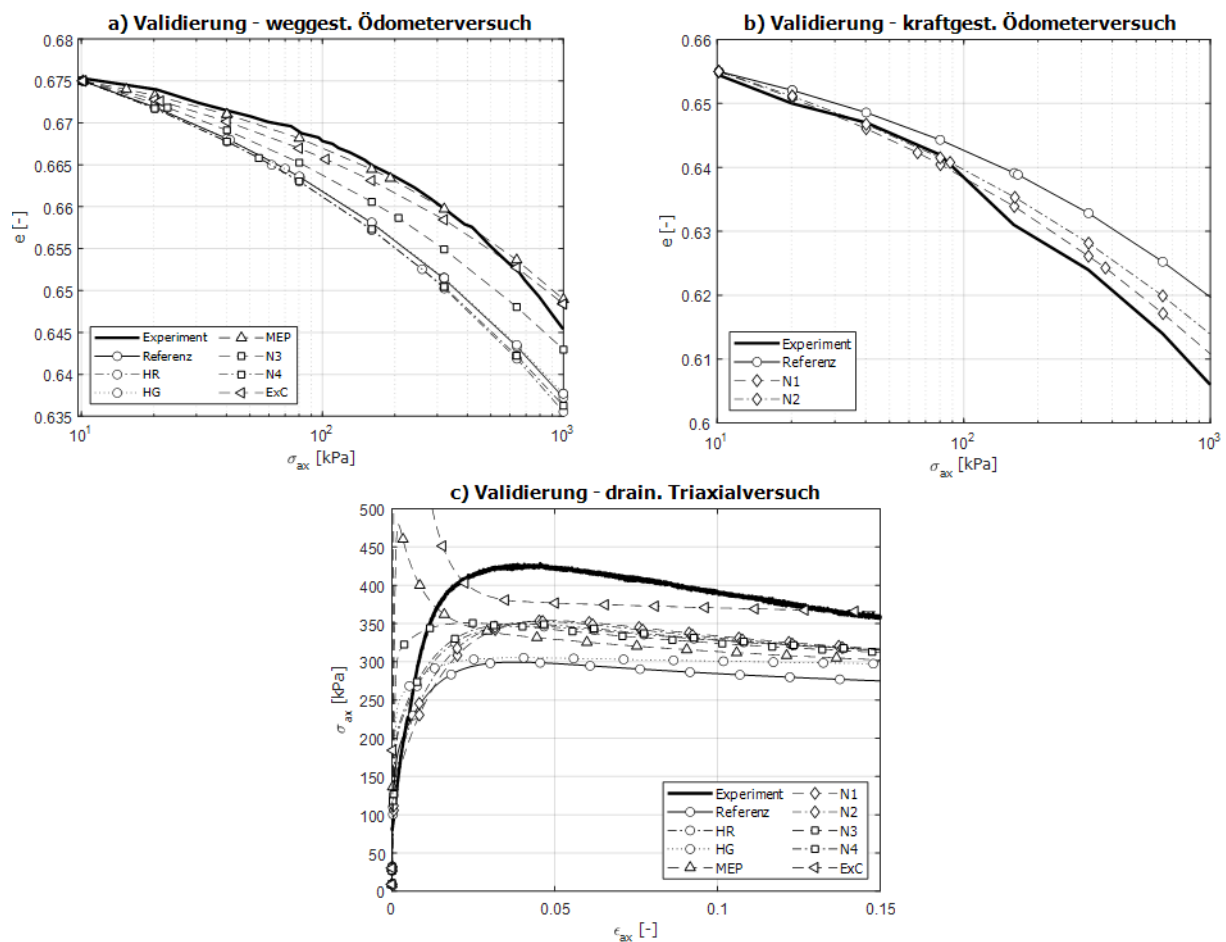


Abb. 2: FEM-Simulationen zur Validierung der PS: a) wOEDO, b) KOEDO und c) TRIAX

4 Vorschlag einer standardisierten Vorgehensweise zur Parametrisierung der Stoffparameter

In Abb. 3 ist der Vorschlag einer standardisierten Vorgehensweise zur Parametrisierung der acht Stoffparameter des Grundmodells dargestellt. Er kombiniert die untersuchten vier Ansätze hinsichtlich eines möglichst kleinen Prüfprogramms bei bestmöglichen Simulationsergebnissen. Besonderer Fokus muss auf die Durchführung der bodenmechanischen Versuche und damit auf die Güte der Versuchsdaten gelegt werden. Bei sehr lockerer Lagerung lieferten

weggest. im Vergleich zu kraftgest. Ödometerversuchen deutlich regelmäßigere Kompressionskurven und sind daher zu bevorzugen. Hinweise zur Optimierung der Schüttkegelversuche werden in Mašín [3: 90-91] gegeben und sollten zur Bestimmung von φ_c berücksichtigt werden. Die Parameter h_s , n , α und β sollten durch die Reproduktion der Versuchsdaten in num. Simulationen kalibriert werden. Startwerte für h_s und n können hierfür mittels MEP oder ExCalibre ermittelt werden.

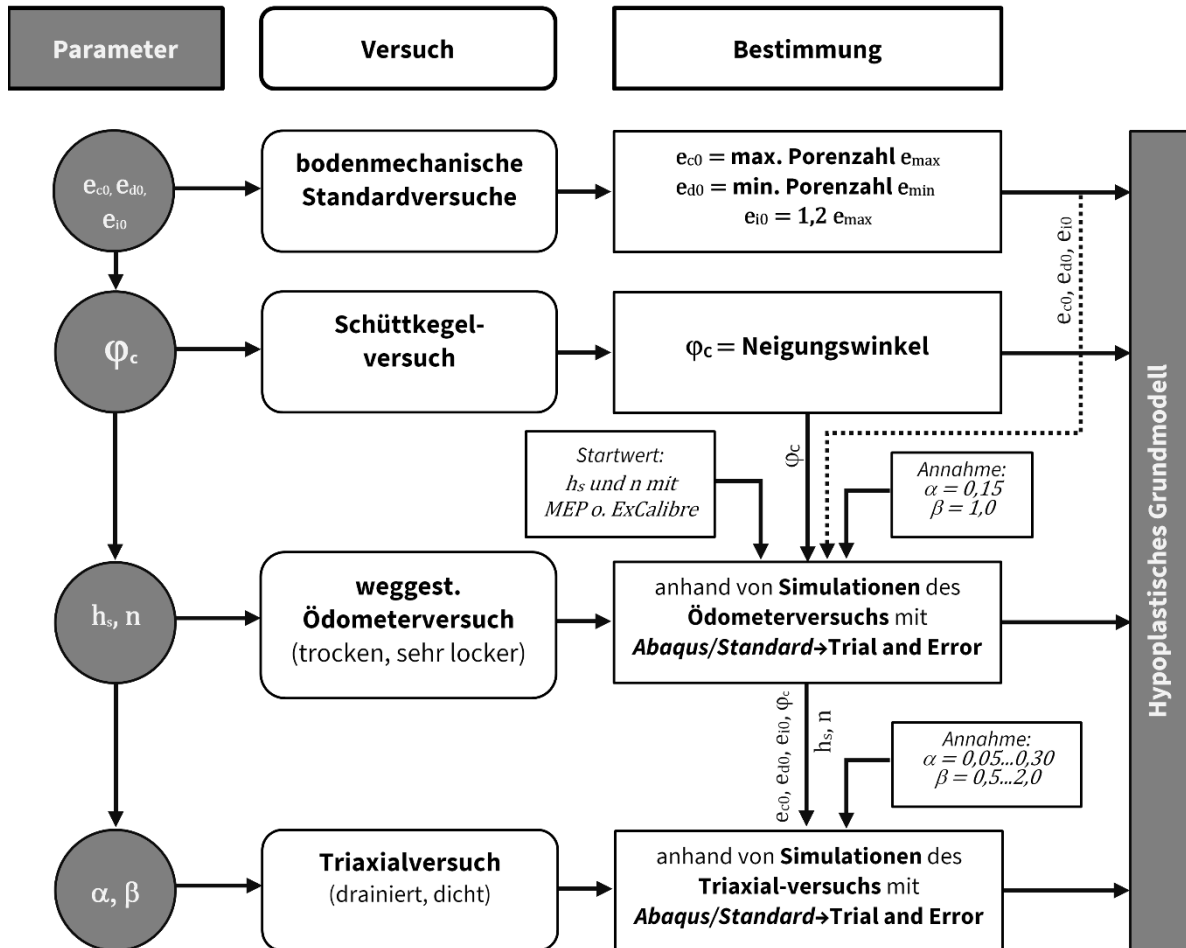


Abb. 3: Standardisierte Vorgehensweise zur Parametrisierung der Stoffparameter

5 Fazit und Ausblick

Für den Vorschlag zur Standardisierung des Vorgehens zur Parametrisierung von Sanden für das hypopl. Stoffgesetz wurden insg. vier Parametrisierungsansätze geprüft. Die Ermittlung der Stoffparameter erfolgte auf Grundlage gleicher Versuchsdaten. Mit dem Vorschlag wird im Wesentlichen den aktuellen Empfehlungen von Mašín [3] entsprochen. Der Fokus zukünftiger Untersuchungen liegt auf der Erweiterung des Vorgehens um die Bestimmung der Stoffparameter der intergranularen Dehnungen, um das volle Potential des Stoffgesetzes nutzen zu können.

Datenverfügbarkeit

Daten auf Anfrage bei der Autorin [Fock] erhältlich.

Beiträge der Autor*innen

Vanessa Fock: Methodik, Software, Validierung, Formale Analyse, Untersuchung, Datenküratierung, Schreiben – Originalentwurf, Schreiben - Überprüfung und Bearbeitung, Visualisierung. **Rosa Elena Ocaña Atencio:** Konzeptualisierung, Software, Schreiben – Überprüfung, Betreuung, Einwerbung von Finanzmitteln, Projektverwaltung. **Ralf Thiele:** Ressourcen, Betreuung, Einwerbung von Finanzmitteln, Projektverwaltung.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass sie keine bekannten konkurrierenden finanziellen Interessen oder persönlichen Beziehungen haben, die die vorgestellte Arbeit beeinflusst haben könnten.

Literaturverzeichnis

1. Wolffersdorff, P.-A. von (1996): *A hypoplastic relation for granular materials with a predefined limit state surface*. In: Mech. Cohes.-Frict. Mater. 1 (3), S. 251–271. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199607\)1:3<251::AID-CFM13>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199607)1:3<251::AID-CFM13>3.0.CO;2-3).
2. Niemunis, A.; Herle, I. (1997): *Hypoplastic model for cohesionless soils with elastic strain range*. In: Mech. Cohes.-Frict. Mater. 2 (4), S. 279–299. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199710\)2:4<279::AID-CFM29>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199710)2:4<279::AID-CFM29>3.0.CO;2-8).
3. Mašín, D. (2019): *Modelling of soil behaviour with hypoplasticity. Another approach to soil constitutive modelling*. 1st edition 2019. Cham: Springer International Publishing (Springer Series in Geomechanics and Geoengineering Ser). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03976-9>.
4. Herle, I. (1997): *Hypoplastizität und Granulargeometrie einfacher Korngerüste. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe*. Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe.
5. Herle, I.; Gudehus, G. (1999): *Determination of parameters of a hypoplastic constitutive model from properties of grain assemblies*. In: Mech. Cohes.-Frict. Mater. 4 (5), S. 461–486. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199909\)4:5<461::AID-CFM71>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199909)4:5<461::AID-CFM71>3.0.CO;2-P).
6. SoilModels (2018): *ExCalibre - SoilModels Automatic Calibration*. Online verfügbar unter <https://soilmodels.com/excalibre-en/>, zuletzt aktualisiert am 15.02.2018 [08.02.2022].

Analysis of the compression behavior of different cardboard materials during embossing

Ulrike Kaeppler^{1*}, Klaus Schneller², Florian Wallburg², Lutz Engisch¹,
and Stephan Schoenfelder²

¹ Leipzig University of Applied Sciences, Faculty of Computer Science and Media, Institute for Printing,
Processing and Packaging, Germany

² Leipzig University of Applied Sciences, Faculty of Engineering, Germany

* Corresponding author: ulrike.kaeppler@htwk-leipzig.de

Abstract. Embossing is an important design and functionality element. For instance, embossing is used to apply braille letters on medical products, or to enhance folding packages or brochures due to haptic effects. Usually, a multilayered cardboard material is used for such types of products. Up to now, high-quality and functional embossing has so far been associated with an extraordinarily large amount of experience-based know-how and with many cost-intensive trial-and-error experiments due to the mechanical complexity of cardboard material. In the presented work it is shown how experimental investigations and numerical simulations based on Finite-Element-Analysis can contribute to a virtual prediction of the embossing process and, therefore, can help to reduce time-consuming and expensive experiments.

1. Introduction

Nowadays, embossings are mainly created according to the trial-and-error principle. Employees with a high level of experience supervise the process from the selection of the material, over the creation of the tools, up to testing and delivery to the customer. However, the state of mechanical knowledge regarding the process of embossing itself is very limited so far, as it is a complex interaction between material, machine, tools and environmental conditions. A decisive factor for the embossing result is the compression behavior of the cardboard.

Fibrous materials, such as cardboard, have different layers and masses per unit area. Often the surface is covered with a coating. In most cases, this serves to smooth the surface and is important for further processing (printing, cutting, embossing). Fibers commonly used consist of 40 % cellulose, 30 % hemicellulose and 20 to 30 % lignin having again a structure that is composed of individual fibers of different lengths, widths, angles etc. [1; 2; 3]. Between the fibers there are either voids or fillers such as calcium carbonate or kaolin. The basis of the paper fibers (and, thus, for the paper strength) are hydrogen bonds [4; 5].

To obtain information about the compression behavior of different cardboards, a compression test is used in the presented study. During the test, a force is applied to the sample via a stamp. As the compression distance increases, the force increases exponentially until the material is fully compressed. The compression process is as follows: First, the roughness peaks are levelled out [6]. This requires a relatively small amount of force. For paper and cardboard, the Rz value is approximately 12 µm [7]. This is followed by the compression of the fiber structure and the elimination of the voids until the material is completely compacted.

The compression of the voids is followed by the compression of the fibers itself in the fiber structure. This significantly increases the force required for further compression. Compression is especially crucial for the forming process of embossing, nevertheless there is little research that describe the compression behavior numerically.

Due to the manufacturing process and the low thickness of the material, cardboard shows strongly anisotropic behavior in the plastic regime, which can be described by the Hill Yield Criterion [8]. In general, this model is applicable to materials with relatively small differences in yield stresses between the respective directions – which is not the case for cardboard [9]. Therefore, calculation approaches have been published trying to avoid this problem by completely uncoupling the thickness direction from the in-plane directions. As a consequence, only two-dimensional material models are obtained [10; 11]. This work shows a way of modeling the compaction behavior of cardboard using a three-dimensional Hill plasticity model, which provides the ability to analyze the full stress/strain state inside the material.

2 Experimental

2.1 Experimental Set up

Two different cardboard materials were used for the investigation. Fig. 1 shows an overview of the composition and its differences.

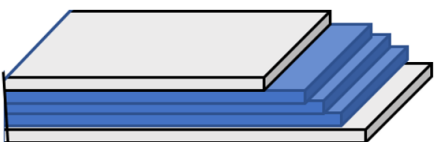
Material	Things in common	Differences
B3-230 and B3-330  outer layers: coating inner layers: fiber layers	3 layers double sided coating chemical pulp – therefore no lignin content	Mass per unit area B3-230: 230 g/m ² B3-330: 330 g/m ² Material thickness B3-230: 256 μm B3-330: 400 μm

Figure 1: Cardboard materials B3-230 and B3-330 used in the experiment

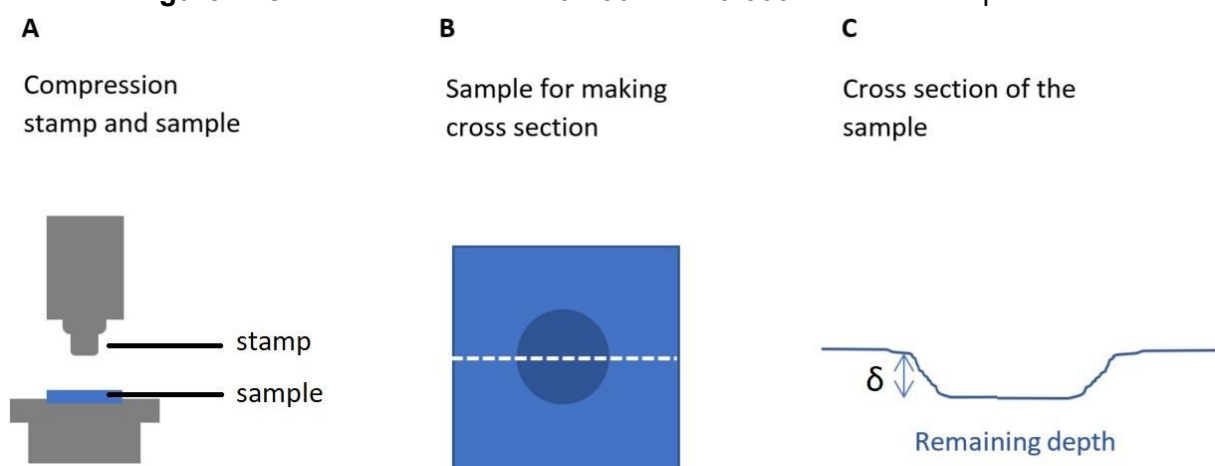


Figure 2: A: Measurement setting for measuring the compressibility of cardboard and B: Place of the virtual cross section and C: Cross section for measuring the resulting material thickness

To investigate the compressibility, the material thickness is first measured with a thickness gauge prior to compression (Frank Dickenmesser, Germany). An universal testing machine (ZwickRoell, Ulm, Germany) with a compression module is further used to investigate the compression behavior. Fig. 2 A shows the experimental set-up.

The compression module consists of a stamp with a circular test surface. Because of the round geometry, the stamp has a surface area of 100 mm² with a 1 mm rounding at the edge. The material is located on the counter-pressure stamp. The material is compressed at a constant speed of 5 mm/min until the test ends when the upper force limit of 15000 N is reached. Under this load, the material may be assumed as fully compressed. During the process, the force and the compression displacement are recorded to calculate the resulting material thickness under load.

With the help of a Keyence 3D macroscope (Keyence Germany GmbH, Neu-Isenburg, Germany), the resulting material thickness can be measured after pressure release. This is done by measuring the surfaces of the samples using the fringe light projection technique capturing height information of the samples. By means of a virtual cross-section through the compressed area, the resulting height of the compressed material can be determined. Fig. 2 B and C show the measurement process schematically. As shown in Fig. B, a vertical (and a horizontal) cross-section are conducted. In the resulting profile section (Fig. 2 C), the characteristic value δ , which denotes the *remaining indentation depth* is shown.

2.2 Numerical approach

Due to its fibrous structure, cardboard shows an orthotropic behavior in the elastic regime, leading to nine independent material parameters (three elastic moduli, poisson ratios and shear moduli respectively). For the compaction behavior, the elastic module in thickness direction (ZD) is of outstanding interest and can be derived from the described experiment. As mentioned before, anisotropic plasticity is often modeled using the Hill Yield Criterion, which is a general extension of the von Mises Criterion. The function of the yield surface is given in Eq. (1). σ_{ij} represents the actual stress state and the coefficients F, G, H, L, M, N contain the yield stresses along the three principle axes and shear planes, respectively:

$$F(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2L(\sigma_{23})^2 + 2M(\sigma_{31})^2 + 2N(\sigma_{12})^2 - 1 = 0 \quad (1)$$

The values used here were obtained by Coffin et al. [13]. They can be found in Table 1.

Table 1: Elastic and plastic parameters used for the simulation model

Elastic Parameter	E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
Value [MPa] resp. [-]	6000	3000	100	2000	100	100	0,2	0,02	0,01
Plastic Parameter	F	G	H	L	M	N			
Value [10^{-3}]	6,3542	3,6458	-1,9097	1,3889	1,0035	5,8681			

However, this yield criterion is independent of volumetric stresses/strains and, therefore, in its original form inadequate to model compaction of a material. In order to cover the compaction behavior of cardboard under compressive stresses, an additional compaction criterion, shown in Eq. (2), is introduced

$$\text{If } \sigma_{33} < \sigma_{\text{comp}} \quad \text{then} \quad \varepsilon_{\text{pl},11} = \varepsilon_{\text{pl},22} = 0 \quad (2)$$

where σ_{comp} gives the actual stress during the compaction process and $\varepsilon_{p,ii}$ are the plastic strains along the principal axes (first invariant of plastic strain tensor). As described in Sec. 2.1, the force rises exponentially during compaction of the material, while the maximum achievable compressibility is limited. This behavior is modeled with an exponential strain hardening approach and an increasing elastic modulus in z-direction, E_z , due to the compression of the fiber structure and the associated higher stiffness. The evolution of these two properties is shown in Eq. (3) and (4):

$$\sigma_{\text{comp}} = \sigma_{\text{comp},0} \cdot e^{a \cdot |\varepsilon_{p,zz}|} \quad (3)$$

$$E_z = E_{z,0} \cdot e^{b \cdot |\varepsilon_{zz}|} \quad (4)$$

where the index 0 implies the beginning of the compaction process. The parameters used for the compaction model are fitted from some other type of folding cardboard with a thickness of ca. 367 μm and are shown in Table 2. By choosing the parameters $a > b$, it is ensured that the hardening modulus increases faster than the elastic modulus and, thus, plastic strain of the material is limited. The simulation is conducted with a displacement-driven scenario up to 45% strain.

Table 2: Used material parameters for the compaction model

Parameter	$\sigma_{\text{comp},0}$ [MPa]	a	$E_{z,0}$ [MPa]	b
Value	20	8	60	6,8

3. Results and discussion

3.1 Material Thickness under Load

To determine the material thickness under load, the compression way was determined with the Zwick Universal testing machine. The compression way corresponds to the penetration depth of the tool into the material. Fig. 3 shows the force-displacement-data obtained from the experiment as well as from the simulation.

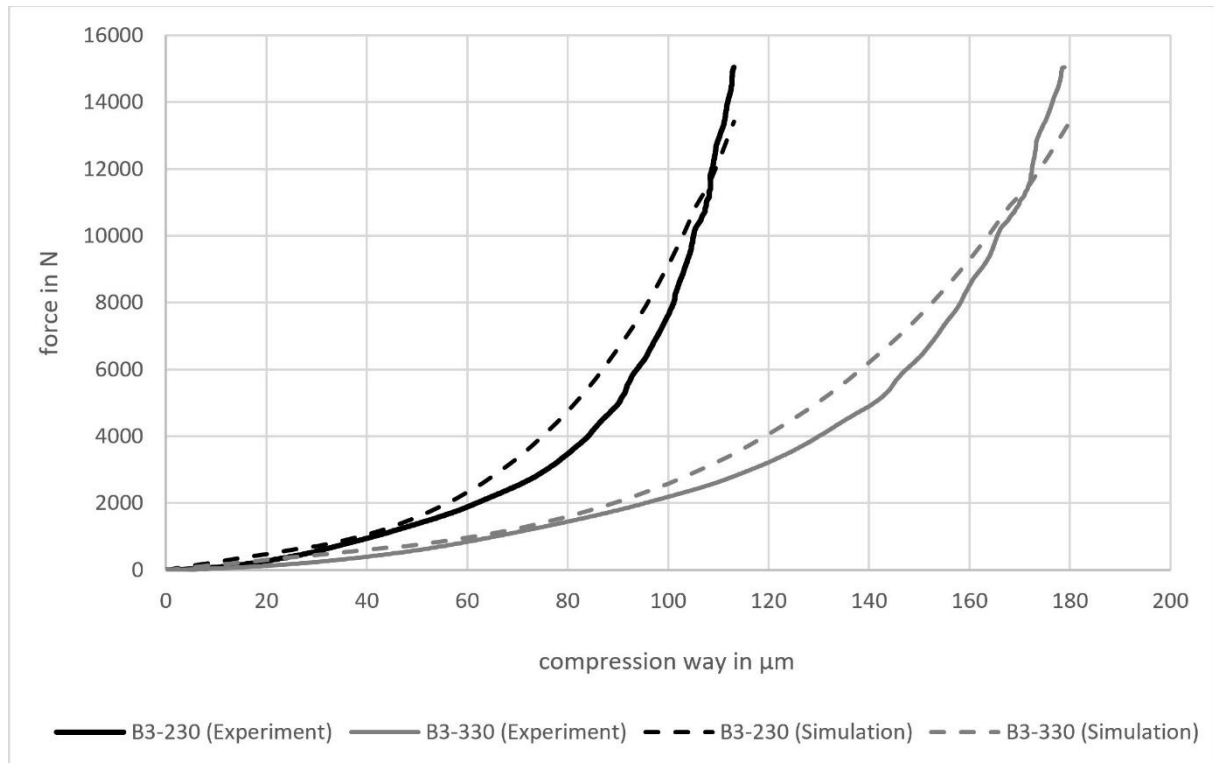


Figure 3: Force-displacement (compression way) diagram during the compression process

It can be seen from Fig. 3 that the force increases exponentially with increasing penetration depth. Due to their different material thicknesses, the two types of cardboard materials differ mainly in their maximum specific penetration depth, while the shape is similar. The simulation results agree reasonably well with the experimental data, but tend to underestimate the force towards the end of the compaction process. Due to the high stiffness of the material at the end of the process, achieving convergence is an issue. The results containing the information about the permanent displacement of the cardboard are presented in the following section.

3.2 Material Thickness after Pressure Relief

To determine the resulting material thickness after the process, the samples were taken out of the compression tool. They were then measured optically using fringe light projection. The penetration depth after pressure release could be calculated with a virtual profile section. The values for both cardboard materials are shown in Fig. 4 A. In both cases the material thickness after pressure release is significantly higher than the one under pressure. This is due to the elastic part of the displacement, which is recovered after releasing the pressure.

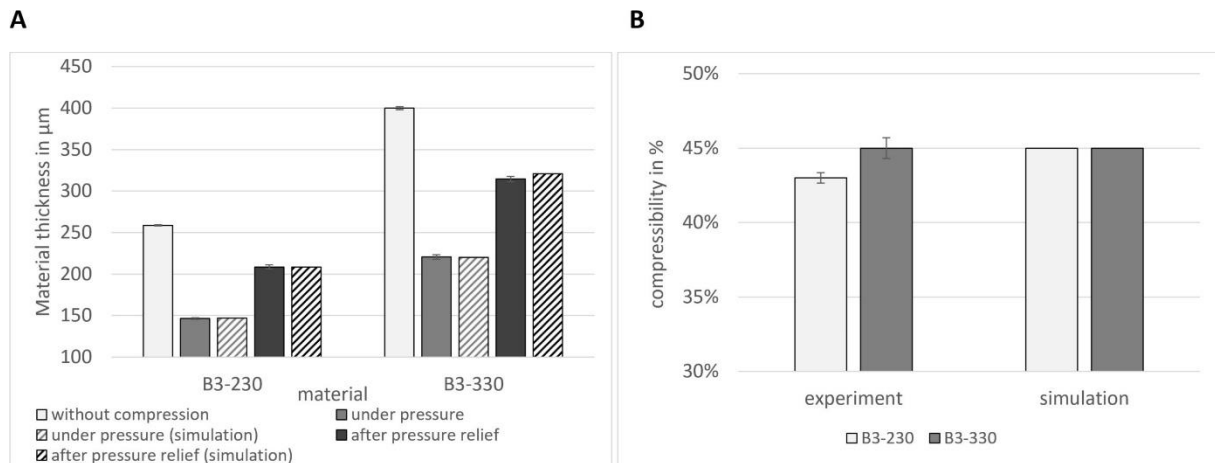


Figure 4: Experimental and numerical results - A: thickness of material in loaded and unloaded state and B: relative compressibility

To compare the compressibility of different cardboards and/or different grammages, the relative compressibility can be used. It is defined as the ratio of permanent displacement and initial material thickness. These results are shown in Fig. 4 B. The diagram shows that both times the compressibility is around 45 %. As expected, the relative compressibility of the thinner material does not differ significantly from that of the thicker material. Since the material model works with fixed parameters, the numerical result is the same for both cardboard material. Although this approach is well suited for the used cardboard materials, however, validation/re-determination of the parameters regarding other types of cardboard, e.g. for materials without coatings, should be subject of future research.

4 Summary

A high-quality and undamaged embossing is a result of many experimental efforts and a lot of practical knowledge. Digital technologies like numerical simulations can help to improve this economically and ecologically demanding process, but require a profound mechanical understanding of the material. The investigations presented here focused primarily on the compaction behavior of cardboard during the embossing process. Together with the first approaches of a material model for cardboard, it could be shown that it is numerically possible to adequately predict the compression behavior of the two types of cardboard tested. In subsequent works, the presented model will be extended to more extensive embossing processes and patterns in order to be able to further accelerate the digitalization of the embossing industry.

Data availability statement

Access to all data can be requested from the authors in individual cases.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgement

This work has been financially supported by the Saxonian Ministry of Science and Arts as well as the European Union within the research project SmartKMU (Project No. 100 38 21 59), which are gratefully acknowledged.

References

1. Bayerl, G., Pichol, K., 1986. Papier: Produkt aus Lumpen, Holz u. Wasser. volume 7727 of Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
2. Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G., 2009. Wood chemistry and wood biotechnology. volume 1 of Pulp and paper chemistry and technology. DE GRUYTER, Berlin.
3. Franke, W. (Ed.), 1993. Prüfung von Papier, Pappe, Zellstoff und Holzstoff: Teil 3: Physikalisch-technologische Prüfung. Springer, Berlin and Heidelberg.
4. Radzanowski, G., 2017. Untersuchungen zu Strukturveränderungen in Karton im ultraschallunterstützten Prägeprozess. Masterarbeit. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig. Leipzig.
5. Brenner, T., 2016. Anwendung von Ultraschall zur Verbesserung der Papierfestigkeit durch Beeinflussung der Fasermorphologie. volume 17 of Schriftenreihe Holz- und Papiertechnik. TU Dresden, Institut für Naturstofftechnik, Professur für Papiertechnik, Dresden.
6. Schaffrath, H.J., 1992. Modellierung der Kompression von Papier in z-Richtung bei niedriger Flächenpressung. Das Papier.
7. Käppeler, U., 2019. Charakterisierung physikalisch-chemischer Veränderungen im Karton im ultra-schallunterstützten Prägeprozess. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Leipzig.
8. Hill, R., 1948. A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals. Proc. Roy. Soc. London 193, 281–297.
9. De Borst, R., Feenstra, P.H., 1990. Studies in anisotropic plasticity with reference to the hill criterion. International Journal for numerical methods in engineering 29, 315–336.
10. Xia, Q.S., 2002. Mechanics of inelastic deformation and delamination in paperboard. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology. Atlanta.
11. Nygård, M., Just, M., Tryding, J., 2009. Experimental and numerical studies of creasing of paperboard. International Journal of Solids and Structures 46, 2493–2505. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2009.02.014>.
12. Coffin, D.W., Gustafsson, P.J., Hägglund, R., Kulachenko, A., Mäkelä, P., Nygård, M., Östlund, S., Uesaka, T., Niskanen, K., Berglund, L., Carlsson, L.A., 2011. Mechanics of Paper Products. DE GRUYTER, Berlin, Boston. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110254631>.

Steigerung der Produktsicherheit durch den Einsatz von Deep Learning in der manuellen Montage

Johanna Gerlach^{1*}, Alexander Riedel¹ und Frank Engelmann¹

¹ Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland

* Korrespondenz: Johanna.Gerlach@eah-jena.de

Kurzfassung. Produktfehler zu vermeiden hat in vielen Industriezweigen hohe Priorität. Eine Möglichkeit Fehler zu reduzieren, liegt in der Einbindung von Deep Learning in den Produktionsprozess. Fehler könnten automatisiert detektiert und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden. Im Forschungsprojekt wurde untersucht, inwiefern sich Montagefehler durch den Einsatz von Deep Learning reduzieren lassen.

Dazu wurde eine Baugruppe auf zwei Arbeitsplätzen montiert, welche sich nur hinsichtlich des eingesetzten Assistenzsystems (papierbasierte Anweisung vs. digitales System mit Deep Learning) unterscheiden. Dabei wurden alle auftretenden Montagefehler aufgezeichnet. Die Ergebnisse zeigen eine Fehlerreduktion von 45% und belegen das hohe Fehlervermeidungspotenzial durch den Einsatz von Deep Learning.

1. Einleitung

In bestimmten Industriezweigen, z.B. in der Medizintechnik, dem Explosionsschutz oder der Raum- und Luftfahrtindustrie, können schon aus kleinen Produktfehlern erhebliche Schäden resultieren. So kann bei einem explosionsgeschützt ausgelegten Produkt bereits eine fehlende Schraube zu einem Zünddurchschlag und damit zu einer verheerenden Explosion führen.

Produktfehler zu vermeiden hat in diesen Industriezweigen eine sehr hohe Priorität, sodass umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen notwendig sind. In vielen Fällen, insbesondere im Rahmen von Sichtprüfungen, wird die Qualitätssicherung von Menschen durchgeführt, deren Fähigkeiten Fehler zu erkennen zeitlich sowie personenbezogen stark variieren können.

Eine Möglichkeit, die Gefahr durch menschliche Fehler zu reduzieren, liegt in der Einbindung von Deep-Learning-Modellen in den Produktionsprozess. Indem Fehler bereits während des Herstellprozesses automatisiert detektiert und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden, könnten Produktfehler deutlich reduziert werden. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde daher untersucht, inwiefern sich Montagefehler durch den Einsatz eines Deep-Learning-Modells reduzieren lassen.

2. Methoden

Zunächst wurden zwei Arbeitsplätze zur Montage einer explosionsgeschützten Leuchte aufgebaut, welche sich lediglich hinsichtlich des eingesetzten Assistenzsystems unterscheiden. Während auf dem ersten Arbeitsplatz eine papierbasierte Arbeitsanweisung Verwendung fand (AP1), beinhaltete der zweite Arbeitsplatz ein umfangreiches digitales Werkerassistenzsystem (AP2), siehe Abbildung 1.

Im Zentrum des digitalen Assistenzsystems steht eine digitale Arbeitsanweisung, welche die Werker*innen Schritt für Schritt durch den Montageprozess führt. Über eine auf Deep Learning basierende Objekterkennung werden die einzelnen Montageschritte detektiert, sodass die Arbeitsanweisung selbstständig in den jeweils nächsten Arbeitsschritt weiterschaltet. Als weitere Hilfestellung wurde ein Pick-by-Light-System integriert, welches die im aktuellen Arbeitsschritt zu greifenden Teile aufzeigt. Die einzelnen Module sind jeweils mit einem industriellen Raspberry Pi verknüpft und kommunizieren über das MQTT-Netzwerkprotokoll miteinander.

Zur Erfassung des Werkstückstatus wurde das Objekterkennungsmodell YOLOv4 [cf. 1] eingesetzt. Das Training wurde auf einer Nvidia GeForce 1650 Super GPU unter Verwendung des Darknet Frameworks [cf. 2] durchgeführt. Das Modell wurde auf insgesamt 41 Objektklassen mit durchschnittlich je 134 Repräsentationen in den Trainingsdaten trainiert. Auf den entsprechenden Trainingsdaten wurde nach sechs Trainingsepochen eine Mean Average Precision @ 50% IoU von 99.81% erreicht. Für die Modellinferenz wird ein Nvidia AGX Xavier Embedded System eingesetzt, auf dem das YOLOv4 Modell unter TensorRT Optimierung in Echtzeit lauffähig ist.



Abbildung 1: Konventioneller Montagearbeitsplatz mit papierbasierter Arbeitsanweisung (links) und Montagearbeitsplatz mit Pick-by-Light-System, Objekterkennung und digitaler Arbeitsanweisung (rechts)

An beiden Arbeitsplätzen montierten jeweils 12 Versuchspersonen über eine Dauer von 8 Stunden jeweils mindestens 30 Baugruppen. Der Montageprozess wurde kontinuierlich überwacht und alle auftretenden Montagefehler manuell aufgezeichnet. Vorab wurden dazu mittels THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) [cf. 3] 70 potentielle Fehlerzustände identifiziert.

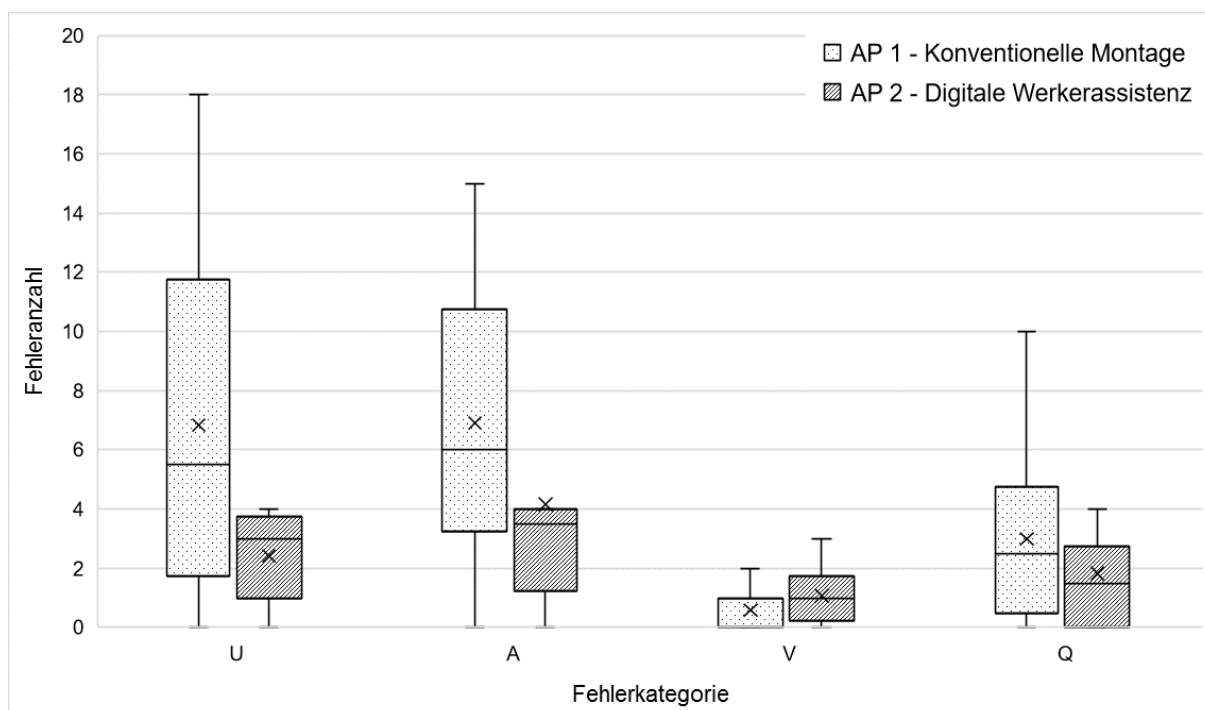
3. Ergebnisse

Für eine höhere Interpretierbarkeit wurden die identifizierten Fehler gemäß der Richtlinie VDI 4006 Blatt 2 [4] in die Kategorien Unterlassungsfehler (U), Ausführungsfehler (A), Verwechslungsfehler (V) und Quantitativer Fehler (Q) eingeteilt, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Einteilung der potentiellen Fehler in vier Fehlerkategorien

Fehlerart	U	A	V	Q
Absolute Anzahl	18	27	9	16
Relativer Anteil	25%	39%	13%	23%

Die Gesamtzahl der Fehler während 30 durchgeführter Montagen sinkt von durchschnittlich 16,4 bei konventioneller Montage auf 9,1 bei digital assistierter Montage. Dies entspricht einer Fehlerreduktion von 45%. Betrachtet man die Anzahl der Fehler pro Kategorie wird außerdem deutlich, dass bei Montagen an AP2 in drei von vier Fehlerkategorien weniger Fehler auftreten als an AP1, siehe Abbildung 2. Insbesondere Unterlassungsfehler (62% weniger), Ausführungsfehler (41% weniger) und quantitative Fehler (38% weniger) werden durch das Montageassistenzsystem wirksam verhindert. Zwar treten Verwechslungsfehler am AP2 häufiger auf als am AP1, aufgrund der sehr niedrigen absoluten Fehlerzahlen (0,6 vs. 1,0) ist dieser Effekt jedoch vernachlässigbar.

**Abbildung 2:** Anzahl der Montagefehler pro Kategorie (U = Unterlassungsfehler, A = Ausführungsfehler, V = Verwechslungsfehler, Q = Quantitativer Fehler)

Die Interpretation der Ergebnisse zeigt, dass Fehler durch Auslassung aktiv verhindert werden, da das System die Ausführung des nächsten Arbeitsschrittes nur dann zulässt, wenn der Abschluss des aktuellen Arbeitsschrittes visuell erkennbar ist. Der allgemein kleinere Interquartilsbereich am AP2 deutet auf eine geringere statistische Streuung der Fehlerzahl in dieser Gruppe und damit auf eine stabilere Montageumgebung hin.

Den Einfluss des digitalen Assistenzsystem auf die Montagedauer zeigt Abbildung 3. Durch den Einsatz des Systems lässt sich die durchschnittliche Montagezeit von 10 Minuten und 1 Sekunde auf 9 Minuten und 23 Sekunden (- 6,4 %) reduzieren. Insbesondere in der Anlernphase (Montage 1 bis 10) zeigt sich, dass die Proband*innen deutlich geringere Montagezeiten erzielten (- 9,2 %). Da sich die Untersuchung auf die ersten 30 Montagen beschränkt bleibt jedoch unklar, welchen Einfluss das digitale Assistenzsystem auf die sich langfristig einstellende Montagezeit hat. Da sich die Differenz zwischen AP1 und AP2 bereits in den letzten

zehn Montagen annähert (- 5,9 %) ist zu vermuten, dass die Montagezeit langfristig nicht signifikant reduziert werden kann. Dennoch zeigt sich, dass eine geringere Fehlerrate nicht mit einer erhöhten Montagedauer einhergehen muss.

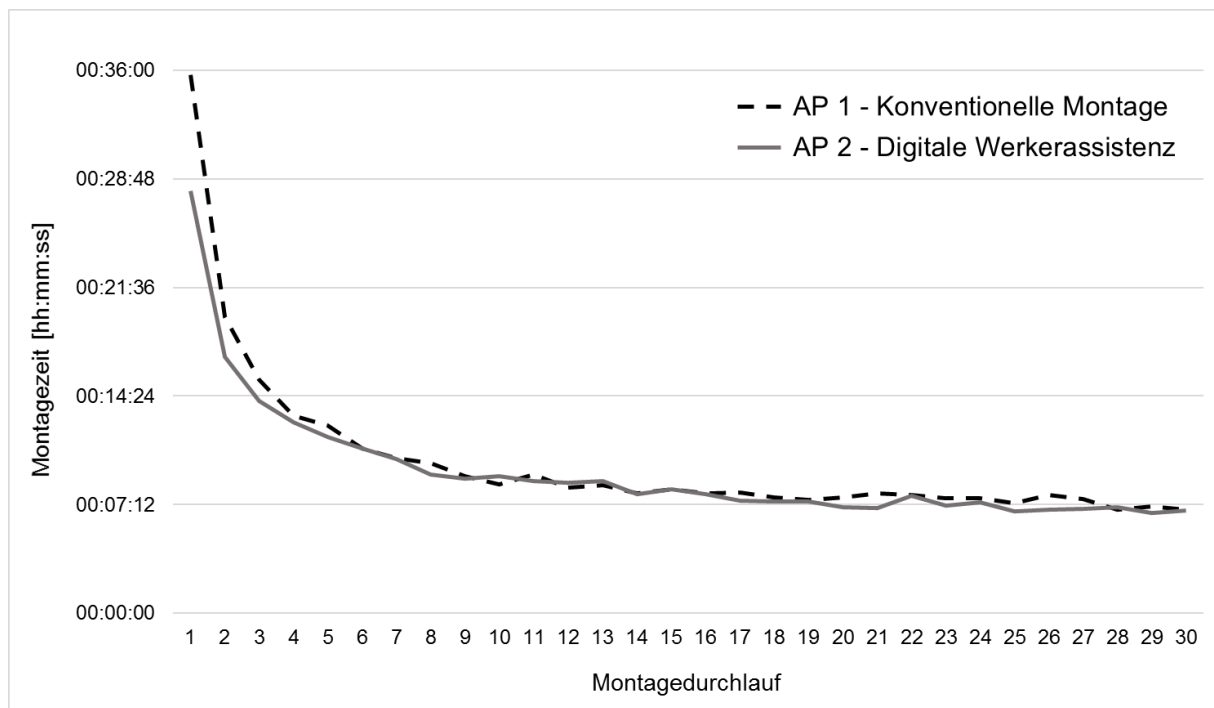


Abbildung 3: Durchschnittliche Montagezeit über 30 Montagen

4. Ausblick

Insgesamt zeigt das vorliegende Forschungsvorhaben ein hohes Fehlervermeidungspotenzial durch den Einsatz von Deep-Learning-Modellen in der manuellen Montage, ohne dass sich die Montagedauer erhöht. Da die aufgezeichneten Daten die relative Position jedes sichtbaren Bauteils zu jedem Zeitpunkt des Montageprozesses beinhalten, bestehen außerdem große Potenziale in Bezug auf die Rückverfolgbarkeit.

Der wirtschaftliche Wert des vorgestellten Systems sowie die Akzeptanz und Anwendbarkeit in einer realen Produktionsumgebung sind bislang noch unklar und sollten durch weitergehende Analysen ermittelt werden. Darüber hinaus sind rechtliche Aspekte je nach lokaler Gesetzgebung zu klären.

Datenverfügbarkeit

Aufgrund einer Verschwiegenheitsvereinbarung mit dem produktstellenden Unternehmen, können die Daten nicht zur Verfügung gestellt werden.

Interessenskonflikte

Seitens der Autor*innen bestehen keinerlei Interessenkonflikte.

Literaturverzeichnis

1. Bochkovskiy, Alexey; Wang, Chien-Yao; Liao, Hong-Yuan Mark (2020): YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf> [02.02.22].
2. Redmon, Joseph (2016): *Darknet: Open Source Neural Networks in C*. <http://pjreddie.com/darknet/> [02.02.2022].
3. Kirwan, Barry (1994): *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor & Francis.
4. VDI 4006 Blatt 2 (2015): *Menschliche Zuverlässigkeit - Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit*. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Einsatz von Funktechnologien im Industriefeld mit Blockchain

Vinzenz Lorenz^{1*}

¹ Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: lorenz1@hs-mittweida.de

Kurzfassung. In dem Beitrag wird die Entwicklung eines OpenThread-Netzwerks im Rahmen eines BMBF-Projekts vorgestellt, mit dem Produktionsdaten in eine private Blockchain übergeben werden sollen, um die Daten fälschungssicher und transparent zu speichern. Dafür wurden u. a. spezielle Funkmodule entwickelt, welche die Funkstandards OpenThread und Bluetooth Low Energy unterstützen und somit zusätzlich die Anbindung mobiler Endgeräte an die private Blockchain ermöglichen. Bei der Konzeption und Entwicklung der Funkmodule sowie der Kommunikationsprotokolle wurde darauf Wert gelegt, dass das Funknetz den hohen Anforderungen an seinen Einsatz im Industriefeld, wie Inbetriebnahme durch Plug-&-Play, Robustheit, Verfügbarkeit, Datendurchsatz, Latenz und vor allem IT-Sicherheit, gerecht wird.

1. Einleitung

Die grundlegenden Schutzziele für die Kommunikationstechnik sind Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit. Diese finden in unterschiedlicher Art Anwendung. Eine permissioned Blockchain erbringt diese Schutzziele und liefert zusätzlich die Verbindlichkeit der Daten [1]. Diese Vorteile können auch in drahtlosen Netzwerken eingesetzt werden. Über die Anbindung von diesen Netzwerken an eine Blockchain können Produktionsdaten fälschungssicher und transparent hinterlegt werden [2; 3; 4]. Im Rahmen des safe-UR-Chain Projektes, gefördert durch das BMBF [5], wurde ein drahtloses Netzwerk entwickelt, das diese Aufgaben erfüllt. Diese sind im industriellen Einsatz mit hohen Anforderungen verbunden: Inbetriebnahme durch Plug-&-Play, Robustheit, Verfügbarkeit, Datendurchsatz, Latenz und vor allem IT-Sicherheit [6; 7].

Die Anbindung des Funknetzwerkes erfolgt über s. g. Thin-Nodes, die keine vollständige Kopie der Blockchain besitzen. Sie geben die Transaktionen an die Full-Nodes weiter, die diese Transaktionen ausführen und in das Netzwerk bringen [1]. Die Thin-Nodes haben eine direkte Verbindung mit der Infrastruktur der Produktionsumgebung, wodurch Prozessdaten, Statusmeldungen und Warnungen direkt in die Blockchain gelangen. Die Funkkommunikation mit der Anbindung mobiler Geräte bildet hierbei die Schnittstelle zum Nutzer. Die Kommunikation soll durch selbst entwickelte Funkmodule erreicht werden, die in die Thin-Nodes integriert werden.

Das Funknetzwerk mit mobilen Geräten soll dabei den Produktionsmitarbeiter in der Wartung und dem Management des Fertigungsprozesses unterstützen und Statusinformationen aus der Blockchain übermitteln. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Freigabe von Meisterstücken an Fertigungsanlagen, die durch einen Mitarbeiter geprüft werden. Die Bestätigung gelangt durch mobile Geräte in die Blockchain und erhöht die Transparenz in der Produktionsumgebung. Der Abruf von Maschineninformationen von der Blockchain über mobile Endgeräte erleichtert die Mensch-Maschine-Kommunikation.

2. Methoden

Es sind verschiedene Methoden in diesem Projekt zum Einsatz gekommen. Eine davon war, den Ist-Stand der Übermittlung der Produktionsdaten sowie deren Verlauf und deren Manipulation zu ermitteln. In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern des Konsortiums konnten somit tiefe Einblicke in die Abfolge von Produktionsabläufen und die Sicherheit der anfallenden Daten gewonnen werden. Dabei zeigte die Analyse, dass bereits ein hoher Sicherheitsstand vorhanden ist und nur geringe Ansatzpunkte existieren, die eine Manipulation der Daten ermöglichen. Verbesserungsbedarf wurde in der Verbindlichkeit und Transparenz der Daten gesehen. Die Nachverfolgung, welcher Nutzer welche Daten verändert, in Produktionsprozesse eingreift oder auch Statusmeldungen ignoriert und bestimmte Prozesse genehmigt, ließ hier durch den Einsatz einer Blockchain neue Anwendungsmöglichkeiten zu.

In der hardwarenahen Softwareentwicklung der Funkmodule kam vor allem das V-Modell zum Einsatz. Das V-Modell sieht iterative Schritte vor und beinhaltet entwicklungsbegleitende Tests. Diese Tests und Erprobungen hatten einen großen Einfluss auf die Softwareentwicklung. Die Entwicklungsstrategie glich daher einer experimentellen Entwicklung, wobei Entwicklungsansätze verfolgt wurden und die dazugehörigen Tests den weiteren Entwicklungsweg bestimmten.

3. Konzeption

3.1 OpenThread und Bluetooth Low Energy

Die Funkmodule sollen zeitgleich zwei Funkübertragungstechnologien unterstützen. Auf der einen Seite sollen sie ein OpenThread-basiertes Mesh-Netzwerk aufbauen [8], das die Thin-Nodes des Blockchain-Netzwerks drahtlos miteinander verbindet. Auf der anderen Seite sollen sie die drahtlose Kommunikation der Thin-Nodes mit den mobilen Endgeräten über Bluetooth Low Energy (BLE) ermöglichen [9]. Hierfür ist ein Stack notwendig, der beide Technologien zeitgleich unterstützt. Dieser Stack wird von Nordic Semiconductor angeboten, und zwar auf dem Chip nRF52840 [10]. Eine gleichzeitige Unterstützung beider Technologien hat den Vorteil, dass die Funkprotokolle in ihrem vorgesehenen Zeitschlitz arbeiten und das Senden und Empfangen von Daten von keinem der verwendeten Funkprotokolle unterbrochen wird. Gearbeitet wird hier mit einem Zeitmultiplex [11], wie es die Abbildung 1 darstellt.

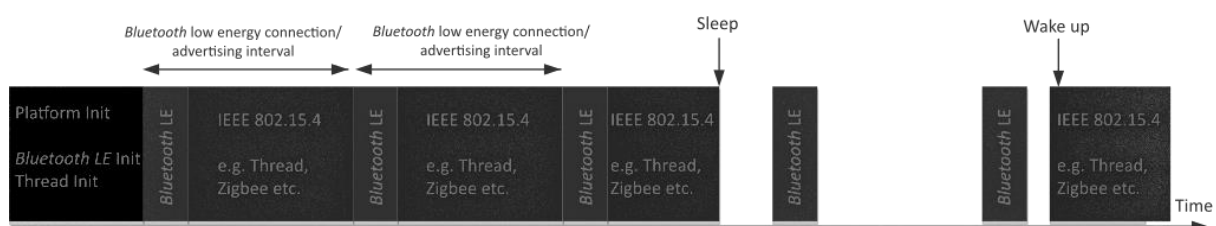


Abbildung 1: Zeitmultiplex, [11]

Das Advertising- und Connection-Intervall von BLE legt die Intervalldauer für das Zeitmultiplex fest, in dem der Wechsel zwischen den Funkprotokollen stattfindet. Um die Latenz von Thread und BLE gering zu halten, wurde in diesem Projekt mit einem Connection-Intervall von 100-200 ms gearbeitet. Der Datendurchsatz beträgt bei der BLE-Duplex-Verbindung je Richtung 390 kbit/s [12]. Die Datenrate von Thread ist um ein Vielfaches geringer als von BLE. Mit ca. 45 kbit/s ist eine Übertragung großer Datenmengen nicht möglich [8].

3.2 Allgemeiner Aufbau und Architektur

Die Abbildung 2 zeigt die Architektur des Gesamtsystems. Jeder Thin-Node ist mit einem Funkmodul ausgerüstet und kann über OpenThread und BLE Daten austauschen. Die Kommunikation mit dem Blockchainnetzwerk und einem mobilen Endgerät ist nur über BLE möglich. Alle Thin-Nodes sind Zugangspunkte für die mobilen Geräte und ermöglichen dem Nutzer Zugriff auf die Blockchain. Die Schnittstelle zwischen dem Funkmodul und dem Thin-Node wurde über ein UART-Interface realisiert. Sie übermittelt Anfragen und Daten in die Blockchain. Neben den Thin-Nodes, die jeweils über ein Funkmodul verfügen, gibt es auch Funkmodule, die im Standalone-Betrieb arbeiten und keine Verbindung zur Blockchain haben. Diese Module erweitern die Reichweite des Funknetzes und bilden zusätzliche Zugangspunkte für mobile Geräte. Im Hintergrund arbeitet der OpenThread-Funkstandard, der alle Funkmodule miteinander verbindet und eine bidirektionale Kommunikation zwischen den mobilen Geräten und den Thin-Nodes sicherstellt.

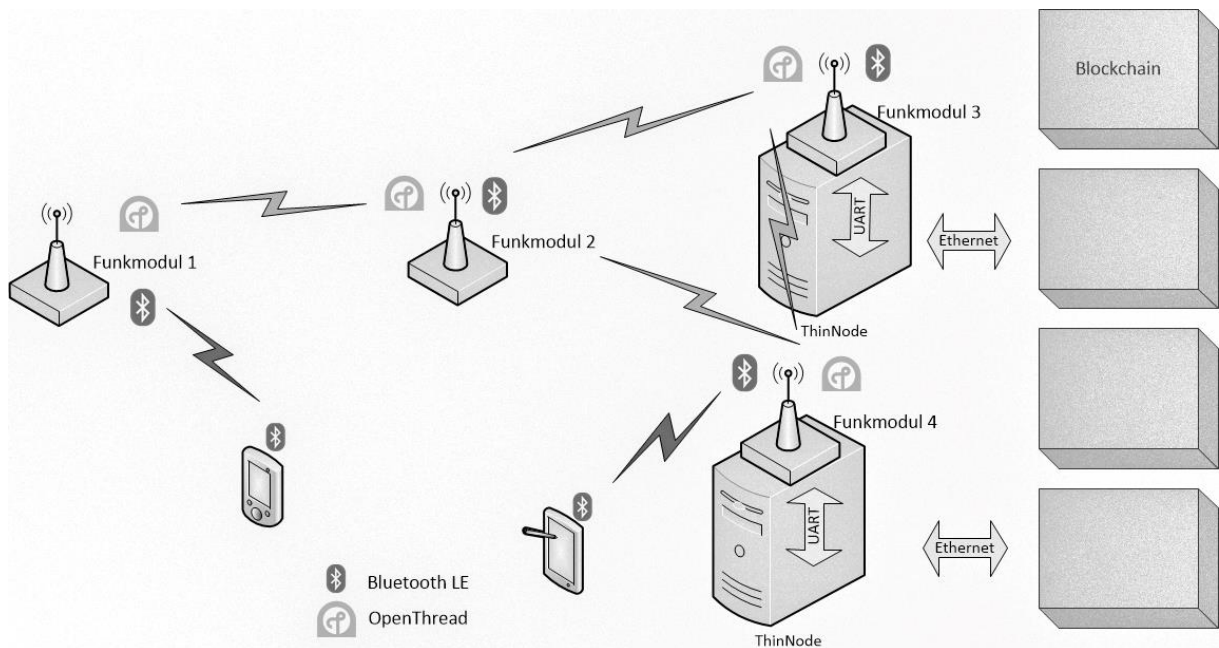


Abbildung 2: Architektur des Gesamtsystems, [eigene Darstellung]

3.3 Protokollentwicklung

Es wird deutlich, dass eine Vereinigung von OpenThread, BLE und UART über ein zusätzliches Protokoll erfolgen muss, um die Datenübertragung zwischen den Funkkomponenten und der Blockchain zu garantieren. Die Aufgabe des Protokolls ist es, die verschiedenen Adressen von BLE und OpenThread verfügbar zu machen, um eine übergeordnete Übertragung über mehrere Funkstandards zu gewährleisten.

Teil des übergeordneten Protokolls sind eigene Framestrukturen und Kommunikationsabläufe, die auf die Besonderheiten der Funkprotokolle angepasst sind. Dazu gehört, die verschiedenen Adressen von OpenThread und BLE zu unterscheiden und ineinander zu übersetzen. OpenThread arbeitet mit einer 16 Byte großen Mesh Local ID (MLEID), die jedes Gerät eindeutig identifiziert und auch bei erneuten Anmeldevorgängen und Verbindungsänderungen bestehen bleibt. Sie eignet sich damit sehr gut für die Adressierung der einzelnen Funkmodule im Thread-Netzwerk. Die Übertragung der Daten zum Zielknoten erfolgt selbstständig durch die Nutzung valider Routen. BLE arbeitet mit einer 6 Byte MAC-Adresse, die für die Adressierung in einem Netzwerk nutzbar ist.

Jedes Funkmodul hat eine eigene Registrierungstabelle (RegTable), in der die MLEID-Adressen der Funkmodule im OpenThread-Netzwerk und die BLE-Adressen der mobilen Geräte zugeordnet sind. Bei der Anmeldung eines neuen mobilen Gerätes sendet dieses über die verschlüsselte OpenThread-Verbindung die Zuordnung an alle Teilnehmer im Netzwerk.

3.4 Analyse der Sicherheitsniveaus von OpenThread und BLE

Die Sicherheit der drahtlosen Kommunikation steht in diesem Projekt an erster Stelle und kann auf die höchsten IT-Sicherheitsziele Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit fokussiert werden. Das OpenThread-Netzwerk erfüllt diese IT-Sicherheitsziele durch den Einsatz von Advanced Encryption Standard - Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication (AES-CCM). Das CCM-Verfahren ermöglicht die simultane Verschlüsselung und Authentifizierung der Daten vor ihrer Übertragung. Gesichert ist die Verbindung mit einem 128 Bit Masterkey, der in der Cryptocell des nRF52840 abgelegt ist [8].

Das Bluetooth Low Energy Protokoll 4.2 ist vollständig abwärtskompatibel zu früheren BLE-Versionen, die das LE Legacy Pairing nutzen. Das neue Verfahren, das ab Version 4.2 hinzukam, ist LE Secure (LESC). Dieses Verfahren nutzt einen einzelnen 128 Bit Long Term Key (LTK), um die Verbindung zu verschlüsseln. Dieser LTK wird mithilfe des Protokolls Public-Key-Cryptography Elliptic Curve Diffie Hellman (ECDH) ausgetauscht, das im Vergleich zum ursprünglichen BLE-Schlüsselaustauschprotokoll eine deutlich höhere Sicherheit bietet. Zusätzlich verfügt BLE über verschiedene Sicherheitslevel, um allen Anforderungen gerecht zu werden. Von Level 0 ohne Zugriffseinschränkungen bis Level 4 höchste Sicherheit. In Level 4, das in diesem Projekt Anwendung findet, nutzt BLE das LESL-Verfahren. Den notwendigen Schutz vor MITM-Attacken bietet eine sichere Pairing-Methode. In diesem Projekt wird mit Out of Band (OOB) Pairing und dem Passkey-Verfahren gearbeitet [9].

3.5. Erhöhung der Sicherheit durch die Symbiose aus OpenThread und BLE

Bei der Nutzung von BLE mit LESL und Level 4 ergeben sich einige Nachteile für den Nutzer. So ist es notwendig, bei einem Wechsel eines BLE-Zugangspunktes ein erneutes Pairing mit dem Funkmodul durchzuführen. Das ist in der Praxis nur schwer zu realisieren, denn bei jedem neuen Anmeldevorgang an einem neuen Funkmodul müsste eine Passkey-Eingabe oder ein NFC-Datenaustausch erfolgen. Gelöst wurde das Problem durch die Entwicklung eines eigenen Verfahrens, das durch das OpenThread-Netzwerk den Schlüsselaustausch im Hintergrund für die mobilen Geräte organisiert. Die Abbildung 3 zeigt ein mögliches Szenario. Der Nutzer meldet sich einmalig bei dem Funkmodul 1 über NFC an und verbindet sich damit über BLE (Schritt 1). Im Hintergrund sucht das mobile Gerät Funkmodul 2 und initiiert auch hier einen Verbindungsaufbau (Schritt 2). In diesem Fall wird das Passkey-Verfahren genutzt. Der Passkey wird über OpenThread an Funkmodul 1 geschickt, worüber das mobile Gerät den Passkey erhält (Schritt 3). Jede weitere Verbindung zu anderen Funkmodulen kann mit dem gleichen Verfahren durchgeführt werden.

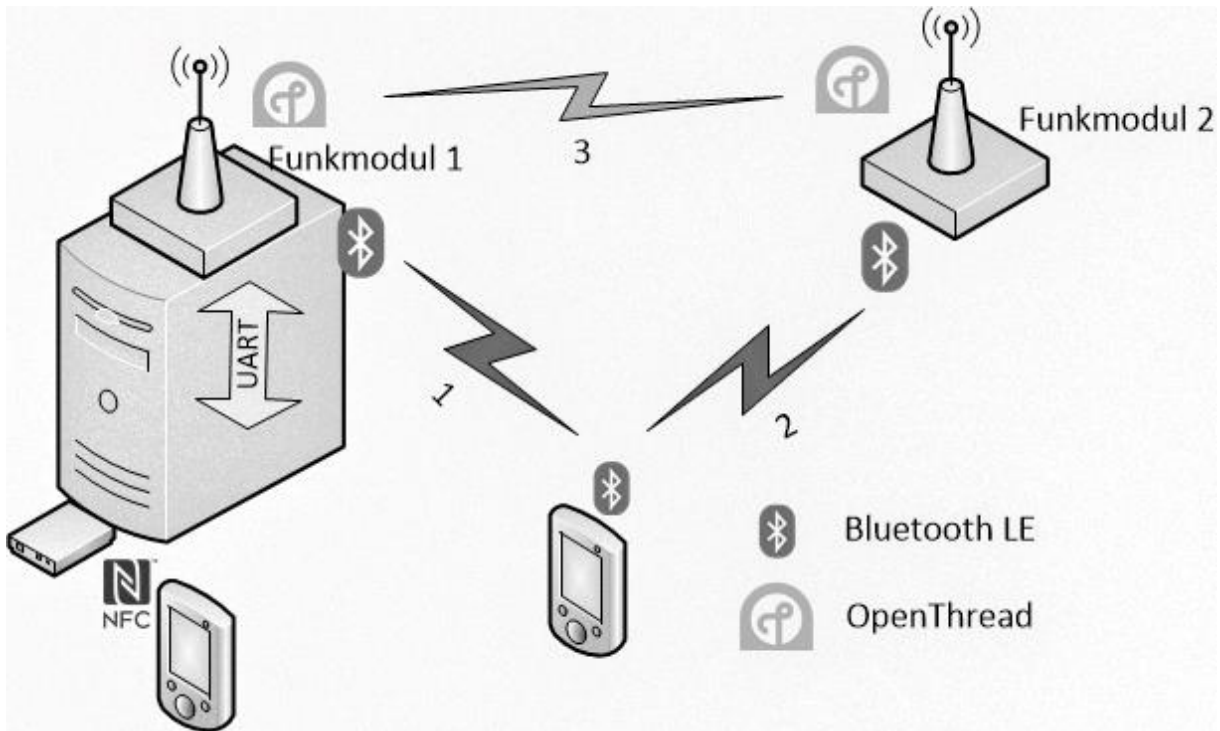


Abbildung 3: Übertragung des Passkeys beim Pairing, [eigene Darstellung]



Abbildung 4: entwickeltes Funkmodul, [eigenes Foto]

4. Hardwareentwicklung

Als Thin-Node wurde ein Hilscher NetPi ausgewählt. Dieser Industrie-PC bietet eine Schnittstelle für eigene Hardwareentwicklungen und schützt mit seinem Metallgehäuse gut gegen EMV-Störungen.

Das entwickelte Thin-Node-Funkmodul ist in der Abbildung 4 dargestellt. Für das Design des Funkmoduls war ein vierlagiges Layout notwendig, um alle erforderlichen Komponenten, wie den Chip nRF52840 mit Multiprotokollunterstützung [10], einen zusätzlichen Flash-Speicher, eine UART-Schnittstelle, die Antennen-Verbindung sowie ein Near Field Communication Interface (NFC), zu integrieren. Herausfordernd war, diese Komponenten auf einer Leiterplattenfläche von 40x40 mm zu implementieren. Ein Schwerpunkt lag auf der Anpassung und dem Tuning der Antenne. Die Antenne ist extern ausgeführt und wurde mit einem Netzwerkanalysator an die richtige Impedanz angepasst. Damit werden Reflexionen verhindert, die zu einem Leistungsabfall an der Antenne führen und die Reichweite reduzieren.

5. Softwareentwicklung

Die Umsetzung des Konzeptes aus Kapitel 3.3 erfordert die Nutzung vieler verschiedener Technologien und Protokolle. Hierfür wurde das Software Development Kit von Nordic benutzt, das den BLE-Stack und den OpenThread-Stack als Multiprotokoll in einer Entwicklungsumgebung vereint. Leider bietet Nordic keine Ready-to-Use-Lösung an, die eine zeitgleiche Nutzung der Crypto-Bibliothek für die IT-Sicherheitsverfahren von BLE und OpenThread ermöglicht. Deshalb wurde eine eigene Crypto-Bibliothek implementiert. Für den Pairing-Vorgang ist auch die Implementierung einer NFC-Bibliothek notwendig gewesen. Für die Kommunikation mit der Blockchain wurde eine UART-Bibliothek genutzt. Schwerpunkt der Softwareentwicklung war die Umsetzung des eigenen Protokolls, das auf den BLE- und OpenThread-Standard aufbaut. Dies beinhaltet u. a. die Umsetzung der konzipierten Framestrukturen und Kommunikationsabläufe sowie die Einrichtung spezieller Datenpuffer.

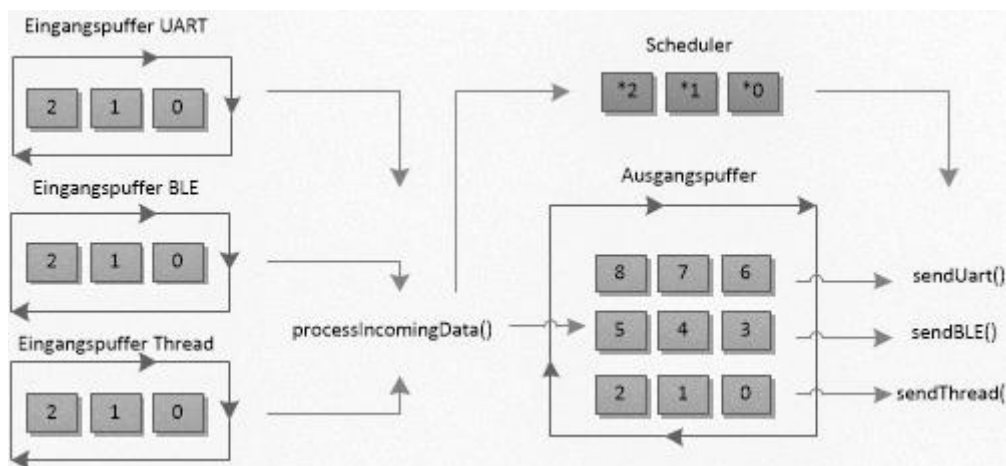


Abbildung 5: Datenpuffer, [eigene Darstellung]

Es gibt drei Eingangspuffer, die jeweils Daten erhalten (siehe Abbildung 5). Eine Thread-sichere Funktion sortiert die Daten und entscheidet, welche Daten an welchen Adressaten versendet werden. Der Scheduler legt die Sendereihenfolge fest, wofür mit Zeigern gearbeitet wird. Schlussendlich werden die Daten aus dem Ausgangspuffer durch den Scheduler versendet.

Im Rahmen dieses Projektes wurde auch eine Android-App entwickelt, die den automatischen Verbindungsaufbau mit den Funkmodulen durchführt. Außerdem musste das Kommunikationsprotokoll auch in der App implementiert werden, um einen reibungslosen Kommunikationsablauf zu den Funkmodulen und damit in die Blockchain zu gewährleisten.

6. Ergebnis/Diskussion

In diesem Projekt ist ein drahtloses Netzwerk entstanden, das die Übermittlung von industriellen Prozessdaten und Statusinformationen von mobilen Endgeräten in eine private Blockchain ermöglicht. Von den mobilen Endgeräten gelangen Quittierungen von Statusinformationen und Warnungen in die Blockchain, wodurch manipulationssicher nachvollzogen werden kann, wer zu welchem Zeitpunkt bestimmte Prozesse genehmigt und quittiert hat.

Eine weitere Innovation ist der Einsatz von mehreren Funkprotokollen auf einem Chip. Aus der gleichzeitigen Nutzung von OpenThread und BLE ergeben sich symbiotische Vorteile. OpenThread bietet eine hervorragende Möglichkeit, Mesh-Netzwerke zu bilden und ermöglicht mit dem schlüssellosen Austausch, das Netzwerk in Plug-&-Play aufzubauen. Durch die Vernetzung der einzelnen Funkmodule kann das Netzwerk zudem beliebig erweitert werden, und zwar ohne eine Anbindung an ein drahtgebundenes Netzwerk. OpenThread basiert auf dem

Standard IEEE 802.15.4, der von den meisten mobilen Geräten nicht unterstützt wird. Dieser Nachteil kann mit dem BLE-Standard kompensiert werden. Da BLE von allen mobilen Geräten unterstützt wird, ist eine breite Anwendung möglich. Ein weiterer Vorteil der Nutzung beider Funktechnologien ist, dass der Anmeldevorgang durch den automatischen Passkey-Austausch für den Nutzer vereinfacht werden konnte. Die Vereinfachung sicherheitsrelevanter Vorgänge führt zu einer erhöhten Nutzerakzeptanz und damit auch zu einer erhöhten Sicherheit.

Datenverfügbarkeit

Der Beitrag basiert nicht auf Daten, die in irgendeiner Form veröffentlicht werden könnten.

Interessenskonflikte

Der Autor erklärt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Erik Neumann, Kilian Armin Nölscher, Gordon Lemme, Adrian Singer, Security and traceability in civil production and value networks through blockchain, 6th International Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems, 3-10. October 2021.
2. Marc Jayson Baucas and Petros Spachos, Permissioned Blockchain-Driven Internet of Things Gateway Using Bluetooth Low Energy, ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC), 7-11. June 2020.
3. Rishabh Jain, Prachi Malik, Deepanshu Jain, Ronak Bhatia, Pratham Taneja, File Tracking and Security System Using BLE and Blockchain, 2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), 28-29. August 2021.
4. Umesh Bodkhe, Sudeep Tanwar, Karan Parekh, Pimal Khanpara, Sudhanshu Tyagi, Neeraj Kumar, Mamoun Alazab, Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review, in IEEE Access, Volume 8, 17. April 2020.
5. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Verbundprojekt: Sicherheit und Nachverfolgbarkeit in zivilen Produktions- und Wertschöpfungsnetzwerken durch Blockchain (safe-UR-chain) - Teilvorhaben Blockchainnetzwerke mit Funkclients für kritische Infrastrukturen, Förderkennzeichen:13N15150, 27. August 2019.
6. Vaibhav Pratap Singh, Tulasi Dwarakanath V, Haribabu P, N Sarat Chandra Babu, IoT Standardization Efforts - An Analysis, 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), 17-19. August 2017.
7. Malvin Nkomo, Gerhard P. Hancke, Adnan M. Abu-Mahfouz, Saurabh Sinha and Adeiza. J. Onumanyi, Overlay Virtualized Wireless Sensor Networks for Application in Industrial Internet of Things: A Review, Sensors 2018, 18. October 2018.
8. OpenThread Group, openthread.io, [Online]. available: <https://openthread.io/guides/thread-primer>, 14. Februar 2022.
9. Bluetooth SIG INC, Specification of the Bluetooth System, v4.2, 2014. Nordic Semiconductor, infocenter.nordicsemi.com, [Online]. available:
10. https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fsdk_tz_v4.1.0%2Fthread_ot_stack_overview.html&cp=8_3_2_0, 14. Februar 2022.
11. [Nordic Semiconductor, infocenter.nordicsemi.com, [Online]. available: https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fsdk_tz_v4.2.0%2Fble_154_multiprotocol.html&anchor=ble_154_multiprotocol_dynamic, 02. Mai 2022.
12. Nordic Semiconductor, infocenter.nordicsemi.com, [Online]. available: https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fsds_s140%2FSDS%2Fs1xx%2Fble_data_throughput%2Fble_data_throughput.html, 02. Mai 2022.

Security and Configurable Storage Systems in Industry 4.0 Environments: A Systematic Literature Study

Richard May¹[\[https://orcid.org/0000-0001-7186-404X\]](https://orcid.org/0000-0001-7186-404X)*

¹ Hochschule Harz

* Korrespondenz; rmay@hs-harz.de

Abstract. An increasing amount of Industry 4.0 data storages is highly configurable. As each variant includes individual features and interactions, ensuring data security becomes increasingly challenging. However, we are missing an analysis of research on security and configurable storages in Industry 4.0, especially those based on product-line engineering. To address this gap, we conducted a literature study covering relevant state-of-the-art publications (2013–2022). Overall, security for configurable systems seems under-explored. We highlighted that security standards and concrete mitigations techniques are usually not considered. In addition, we are missing an analysis of configurable storage and software systems in concert to identify threats, risks, and vulnerabilities caused by variability.

1. Introduction

Due to the increasing number of interacting systems, the manufacturing industry generates a growing amount of data stored and processed in a variety of storages, such as databases embedded into cloud environments [1]. An increasing number of the storages used in Industry 4.0 is highly configurable, meaning they are based on variability to address specific customer needs, hardware constraints, industry standards, or regulatory requirements [2; 3; 4]. Since the attack surface of these systems is constantly growing due to their variant-based scaling up and networking, ensuring security becomes increasingly challenging [5].

In this study, we focus on configurable storages since they are one of the major targets of attacks and feature interactions can potentially reveal secrets [6; 7]. Unfortunately, there is a lack of an overview of the current research conducted on security and configurable storages as part of Industry 4.0 environments, e.g., cyber-physical systems. To address this gap, we conducted a systematic literature review [8] of 28 papers. We argue that our study can help researchers and practitioners in better understanding current shortcomings and concerns in the context of security for configurable systems, especially configurable storages.

2. Literature Study Methodology

Our study objective was to identify, classify, and discuss research in the intersection of configurable storages and security in Industry 4.0 environments by employing a systematic literature review [8]. We intentionally also considered potentially underlying configurable software systems that may be the actual focus of the analyzed papers. First, we defined the following search string, covering the most relevant thematic terms:

("software as a service" OR "SaaS" OR "service-based" OR "service-oriented" OR "on-demand") AND ("product line" OR "SPL" OR "product famil*" OR "variant*rich" OR "config*") AND ("robot*" OR "manufacturing" OR "industry 4.0" OR "cyber*physical*")

Using this string, we employed an automated search on the literature databases IEEE Xplore, ACM Digital Library, and Scopus. Second, we only included peer-reviewed conference papers or journal articles written in English, published between 2013 and 2022, and dealing with security and configurable storages in the context of Industry 4.0.

Third, we defined ten criteria to extract valuable data from the selected papers, namely the application area (e.g., robotics), the practice-orientation of the system (i.e., concept or implementation), the focus of the publication (i.e., software or storage), the underlying variability modeling technique (focusing on software product lines), the storage type (e.g., database or cloud), the variability focus of the publication (i.e., software or storage), the general mentioning of security as well as security threats (e.g., SQL injection attacks), goals (e.g., CIA triad), standards (e.g., ISO/IEC 27000 series), and mitigation techniques (e.g., encryption).

The search was conducted on February 01, 2022, resulting in a total of 199 papers. After a title/abstract selection and a duplication removal, we considered 57 papers for the full-text selection. Next, we had to remove 29 more papers in the full-text selection, since these dealt only superficially with configurability or security. Finally, we considered 28 papers as suitable for our data extraction.

3. Data Extraction Results

In this section, we provide an overview of the extracted data (see Table 1). The majority of the papers focus on general manufacturing applications (21) and address only two more areas, namely robotics (6) and mechatronics (1). This result implies that most approaches could provide a high transferability and applicability to a variety of industrial use cases. Interestingly, 18 publications present concrete implementations, indicating a certain practice-orientation of the approaches. Regarding the publications' focus, we found that no paper refers to the storage alone but to storage in combination with software (8). Surprisingly, the majority considers the software (20) and only mentions storage as part of the overall software system. A similar trend emerges regarding the variability focus, where often only the software system is actually configurable (18) or the storage in the context of the overall software (9). Once the focus is only on the variability of the storage.

Table 1: Overview of the extracted data based on the defined criteria

Reference	Application area	Practice-orienta-	Publication focus	Software product	Variability focus	Storage type	Storage configur-	Security mentio-	Security threats	Security goals	Security standards	Mitigation techni-
Gherardi 2014 [9]	R	I	S ₁ , S ₂	●	S ₂	C, D	●	○	○	○	○	○
Wang 2015a [10]	G	C	S ₁	○	S ₁	C	●	○	○	○	○	○
Fischer 2015 [11]	M	I	S ₁	●	S ₁	D	○	○	○	○	○	○
Garcia 2015 [12]	G	C	S ₁	●	S ₁	D	○	●	○	○	○	○
Wang 2015b [13]	R	I	S ₂ , S ₁	○	S ₁ , S ₂	C, D	●	●	●	○	○	○
Galindo 2015 [14]	G	C	S ₁	●	S ₁	D	○	●	●	○	○	●
Carlsson 2016 [15]	G	I	S ₁	○	S ₁	C	●	●	○	●	○	●
Arrieta 2016 [16]	G	I	S ₁	●	S ₁	D	○	○	○	○	○	○
Groher 2016 [17]	G	I	S ₁	●	S ₁	D	○	○	○	○	○	○
Metzger 2016 [18]	G	I	S ₂ , S ₁	●	S ₁ , S ₂	C	●	○	○	○	○	○
McGee 2016 [19]	G	C	S ₁	●	S ₁	C	●	●	●	○	○	○
Heikkilä 2016 [20]	R	C	S ₁	●	S ₁	C	●	●	●	○	○	○
Yu 2017 [21]	G	I	S ₁ , S ₂	○	S ₁ , S ₂	C	●	○	○	○	○	○
McGee 2017 [22]	G	I	S ₁	●	S ₁	D	○	●	●	○	○	○
Iglesias 2017 [23]	G	C	S ₁	●	S ₁	C	●	○	○	○	○	○
Wang 2018 [24]	R	I	S ₁	○	S ₁ , S ₂	C, D	●	●	○	○	○	○
Jalil 2017 [25]	G	I	S ₂ , S ₁	●	S ₁ , S ₂	C	●	●	○	○	○	●
Krieter 2018 [26]	G	C	S ₂ , S ₁	●	S ₁ , S ₂	C	●	●	●	●	○	●
Çapa 2018 [27]	G	I	S ₁	○	S ₁	C, D	●	●	●	●	○	●
Zhang 2018 [28]	G	I	S ₂ , S ₁	●	S ₁ , S ₂	C	●	●	○	○	○	○
Lazreg 2019 [29]	G	I	S ₁	●	S ₁ , S ₂	-	●	○	○	○	○	○
Shaaban 2019 [30]	G	I	S ₁	●	S ₁	C	●	●	●	●	●	●
Cañete 2019 [31]	G	C	S ₁	●	S ₁	C	●	●	○	○	○	○
Jamshidi 2019 [32]	R	I	S ₁	○	S ₁	C	●	○	○	○	○	○
Chumpitaz 2019 [33]	G	C	S ₁ , S ₂	●	S ₁ , S ₂	C	●	●	●	○	○	●
Fischer 2020 [34]	G	I	S ₁	●	S ₁	D	○	○	○	○	○	○
Cañete 2020 [35]	G	C	S ₁	●	S ₁	E	●	●	○	○	○	○
Schlingloff 2021 [36]	R	I	S ₁	●	S ₁	C	●	○	○	○	○	○

General: ● Fulfilled, ○ Not fulfilled

Domain: R: Robotics, M: Mechatronics, G: General manufacturing

Practice orientation: C: Concept, I: Implementation

Publication focus/Variability focus: S₁: Software, S₂: Storage

Storage type: C: Cloud, D: Database

Most storages (21) are actual configurable, mainly because these are usually cloud environments, which are configurable by definition. The majority presents software product line-based solutions (21); the remaining papers (7) also usually reference product-line techniques although they are not based on them. One time, an edge environment is described. However, we assume that the cloud and edge environments also integrate a database as storage medium, although they do not mention it. Unsurprisingly, security is usually not considered in detail by the selected publications (17); threats (9), goals (4), standards (1), or mitigation techniques (7) are only rarely given. However, we found out that communication (e.g., between software system and storage) and the system configurability are main threats. These are addressed by diverse, generally described mitigation techniques, such as encryption or certificates. In two cases, security goals of the CIA triad, namely confidentiality and integrity, are mentioned. Only one paper refers to concrete security standards (IEC 62443, IEEE 1686).

4. Directions for Future Research

Overall, we identified three relevant research directions (**RD**) that should be addressed in future research. The often software product line-based approaches are often implemented in a certain theoretical context, but usually not implemented or evaluated within a practice-oriented environment. We argue that *collaborations with practitioners would increase the value of this research (RD₁)*.

We identified a strong connection between storages and configurable software systems, as most papers focus on both. However, the actual configurability of the storage and its associated requirements is rarely addressed. In contrast, most papers focus more on the configurability of software systems storing variability-related data in their storages, e.g., variants. We state that *it is essential to investigate software and storage in Industry 4.0 together in an equivalent manner (RD₂)* to understand interactions in data exchange between software and configurable storage and to identify potential security risks caused by configurability.

Mostly, security is either not considered at all or only described superficially. Threats (e.g., system configurability) are mentioned, but the associated issues and challenges are not addressed. Thus, we argue that security in the context of configurable storages in Industry 4.0 environments seems under-explored. *Research on configurable storages should be connected to concrete security standards (i.e., at least ISO/IEC 27000 series) and measures to address industry-specific artifacts, tasks, processes, and concrete security vulnerabilities (RD₃)*.

5. Conclusion

In this paper, we presented a literature study to provide an overview understanding of security in the context of configurable data storages in Industry 4.0 environments. Overall, we found several valuable insights and highlighted three directions for future research. Although there is extensive research on the security of (configurable) systems and established standards and norms, these are not usually referenced by configurable data storages, especially those based on software product lines. Consequently, we state the security in the context of configurable storages in Industry 4.0 environments seems under-explored despite the fact that these systems provide a growing attack surface due to their increasing complexity. We strongly recommend to connect configurable storages to concrete security approaches and international standards, e.g., by considering security not as a system's quality attribute or non-functional requirement, but as a concrete system feature with particular requirements.

Data availability statement

The analysis file generated during the study is available as an open access replication package: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7050709>.

Competing interests

The author declares that he has no conflicts of interest or competing interests.

References

1. Gabel, Matthias, and Jeremias Mechler (2017): "Secure database outsourcing to the cloud: Side-channels, counter-measures and trusted execution". CBMS, pp. 799–804. doi: <https://doi.org/10.1109/CBMS.2017.141>.
2. Pohl, Klaus, Günter Böckle, and Frank Van Der Linden (2005): "Software product line engineering: foundations, principles, and techniques". Heidelberg, Springer.
3. Apel, Sven et al. (2016): "Feature-oriented software product lines". Berlin, Springer.
4. Krüger, Jacob et al. (2017): "Beyond software product lines: Variability modeling in cyber-physical systems". SPLC, pp. 237–241. doi: <https://doi.org/10.1145/3106195.3106217>.
5. Kenner, Andy et al. (2021): "Safety, security, and configurable software systems: a systematic mapping study". SPLC, pp. 148–159. doi: <https://doi.org/10.1145/3461001.3471147>.
6. Bamrara, Atul. (2015): "Evaluating database security and cyber attacks: A relational approach". The Journal of Internet Banking and Commerce 20/2: pp. 1–17.
7. Gamundani, Attlee M., and Lucas M. Nekare (2018): "A review of new trends in cyber attacks: A zoom into distributed database systems". IST-Africa, pp. 1–17.
8. Kitchenham, Barbara Ann, David Budgen, and Pearl Brereton (2015): "Evidence-based software engineering and systematic reviews". Boca Raton, CRC press.
9. Gherardi, Luca, Dominique Hunziker, and Gajamohan Mohanarajah (2014): "A software product line approach for configuring cloud robotics applications". CLOUD, pp. 745–75. doi: <https://doi.org/10.1109/CLOUD.2014.104>.
10. Wang, Yunxia, Jun Wei, and Chengchong Gao (2015a): "Customization design of cloud manufacturing resources based on polychromatic sets theory". IHMSC, pp. 518-521. doi: <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2015.255>.
11. Fischer, Stefan et al. (2015): "Bridging the gap between software variability and system variant management: experiences from an industrial machinery product line". SEAA, pp. 402–409. doi: <https://doi.org/10.1109/SEAA.2015.57>.
12. Garcia, Cleiton et al. (2015): "A software process line for service-oriented applications". SAC, pp. 1680–1687. doi: <https://doi.org/10.1145/2695664.2695743>.
13. Wang, Xi Vincent, Abdullah Mohammed, and Lihui Wang (2015b): "Cloud-based robotic system: architecture framework and deployment models". FAIM, pp. 1–8.
14. Galindo, José A. et al. (2015): "Supporting distributed product configuration by integrating heterogeneous variability modeling approaches". Information and Software Technology 62/1: pp. 78–100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.02.002>.
15. Carlsson, Oscar et al. (2016): "Configuration service in cloud based automation systems". IECON, pp. 5238–5245. Doi: <https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793489>.
16. Arrieta, Aitor et al. (2016): "Test case prioritization of configurable cyber-physical systems with weight-based search algorithms". GECCO, pp. 1053–1060. doi: <https://doi.org/10.1145/2908812.2908871>.
17. Groher, Iris et al. (2016): "Reusable architecture variants for customer-specific automation solutions". SPLC, pp. 242–251. doi: <https://doi.org/10.1145/2934466.2934492>.
18. Metzger, Andreas et al. (2016): "Coordinated run-time adaptation of variability-intensive systems: an application in cloud computing". VACE, pp. 5–11. doi: <https://doi.org/10.1109/VACE.2016.010>.
19. McGee, Ethan T., and John D. McGregor (2016): "Using dynamic adaptive systems in safety-critical domains". SEAMS, pp. 115–121. doi: <https://doi.org/10.1145/2897053.2897062>.

20. Heikkilä, Tapio, Tadeusz Dobrowiecki, and Lars Dalgaard (2016): "Dealing with configurability in robot systems". MESA, pp. 1–7. doi: <https://doi.org/10.1109/MESA.2016.7587120>.
21. Yu, Shiqiang et al. (2017): "Product-Service Family Enabled Product Configuration System for Cloud Manufacturing". MSEC, pp. 1–9. doi: <https://doi.org/10.1115/MSEC2017-2987>.
22. McGee, Ethan T. et al. (2017): "Designing for reuse in an industrial internet of things monitoring application." WASHES, pp. 19–25. doi: <https://doi.org/10.1145/3098322.3098323>.
23. Iglesias, Aitziber et al. (2017): "Product line engineering of monitoring functionality in industrial cyber-physical systems: a domain analysis". SPLC. 2017, pp. 195–204. doi: <https://doi.org/10.1145/3106195.3106223>.
24. Wang, Lihui, and Xi Vincent Wang (2018): "Cloud robotics towards a CPS assembly system". Cloud-Based Cyber-Physical Systems in Manufacturing, pp. 243–259. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67693-7_10.
25. Jalil, Dzulkafli, and Muhamad Shahbani Abu Bakar (2017): "Adapting Software Factory Approach into Cloud ERP Production Model". International Journal of Computer Science and Information Security 15/1: pp. 1–9.
26. Krieter, Sebastian et al. (2018): "Towards secure dynamic product lines in the cloud". ICSE-NIER, pp. 5–8. doi: <https://doi.org/10.1145/3183399.3183425>.
27. Çapa, Birol et al. (2018): "Rapid PLC-to-Cloud Prototype for Smart Industrial Automation". ISCSIC, pp. 1–5. doi: <https://doi.org/10.1145/3284557.3284710>.
28. Zhang, Zhenjie et al. (2018): "CMfgIA: a cloud manufacturing application mode for industry alliance". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 98/9: pp. 2967–2985. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2476-x>.
29. Lazreg, Sami et al. (2019): "Multifaceted automated analyses for variability-intensive embedded systems". ICSE, pp. 854–865. doi: <https://doi.org/10.1109/ICSE.2019.00092>.
30. Shaaban, Abdelkader Magdy, Thomas Gruber, and Christoph Schmittner (2019): "Ontology-based security tool for critical cyber-physical systems". SPLC, pp. 207–210. doi: <https://doi.org/10.1145/3307630.3342397>.
31. Cañete, Angel, Mercedes Amor, and Lidia Fuentes (2020): "Supporting the evolution of applications deployed on edge-based infrastructures using multi-layer feature models". SPLC, pp. 79–87. doi: <https://doi.org/10.1145/3382026.3425772>.
32. Jamshidi, Pooyan et al. (2019): "Machine learning meets quantitative planning: Enabling self-adaptation in autonomous robots". SEAMS, pp. 39–50. doi: <https://doi.org/10.1109/SEAMS.2019.00015>.
33. Chumpitaz, Luis, Andrei Furda, and Seng W. Loke (2019): "Evolving Variability Requirements of IoT Systems". Software Engineering for Variability Intensive Systems, Auerbach Pubs, pp. 321–334.
34. Fischer, Juliane et al. (2020): "VarApp: Variant management app for IEC 61131-3 compliant legacy software". ICPS, pp. 269–276. doi: 1 <https://doi.org/10.1109/ICPS48405.2020.9274774>.
35. Cañete, Angel (2019): "Energy efficient assignment and deployment of tasks in structurally variable infrastructures". SPLC, pp. 222–229. doi: <https://doi.org/10.1145/3307630.3342704>.
36. Schlingloff, Bernd-Holger, and Niels Hoppe (2021): "A Framework for Cloud-based Testing of Multi-variant Cyber-physical Systems". MECO, pp. 1–4. doi: 10.1109/MECO52532.2021.9460159.

Mikrogalvanische Kennzeichnung als Kopierschutz

Torsten Döhler^{1*}, Andrea Böhme^{1*}, Mandy Hofmann¹, Jens Neumann², Reinhard Boehem²,
Andreas Foitzik¹ und Ute Geißler¹

¹ Technische Hochschule Wildau

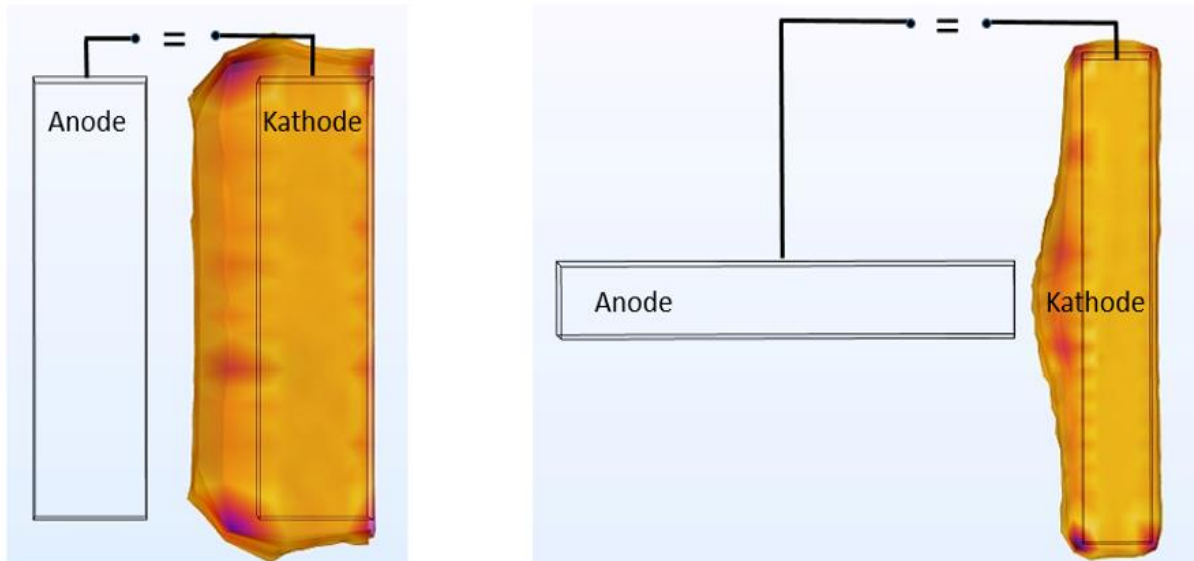
² Schiefer & Co. (GmbH & Co.)

* Korrespondenz: tdoehler@th-wildau.de, aboehme@th-wildau.de

Kurzfassung. Um eine gute Produktqualität in der Galvanik zu erreichen, müssen Störgrößen wie zum Beispiel der "Hundeknochen"- Effekt vermieden werden. In dieser Arbeit wurde dieser Ansatz genutzt, um eine Methode zur Kennzeichnung als Produktschutz zu entwickeln. Mit definiertem Aufbau und optimalen Parametern ist es möglich, auf geeigneten Substraten, unikale visuell nicht differenzierbare Schichten abzuscheiden. Die abgeschiedenen Schichten und deren lokale Verteilung wurden mit Hilfe konfokaler Lasermikroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse und Laserinterferenzmessungen charakterisiert und qualitativ als auch quantitativ analysiert. Interessenten stellt es damit ein im Grunde traditionelles Verfahren zur Verfügung, das mit dem gewählten Ansatz zu neuen Innovationen führen kann.

1. Einleitung

In industriellen Prozessen gibt es Einflussgrößen und inhärente Effekte, die für eine optimale Produktqualität verhindert oder zumindest reduziert werden müssen. In der elektrochemischen Beschichtungstechnik ist der sogenannte „Hundeknocheneffekt“ beispielsweise äußerst unerwünscht [1]. Daher wird in elektrochemischen Aufbauten durch eine gezielte anodenseitige Anordnung von Elektroden oder dem Einbringen von Anodengittern eine Parallelisierung der Feldlinien an der Kathode erzwungen, um diesen Effekt zu verhindern. Im vorgestellten Prozess soll dieser unerwünschte Effekt angewendet werden, um neben der eigentlichen Beschichtung einen Bereich zu prozessieren, der vom Kanteneffekt abhängig ist und somit eine Art der inhomogen verteilten Beschichtung gestattet [1; 3]. Das Ziel des gemeinsamen Forschungsprojekts der Firma Schiefer & Co. und der TH Wildau war die Abscheidung von Submikrometerstrukturen im Sinne einer optisch nicht differenzierbaren Kennzeichnung auf einer metallischen Oberfläche auf Grundlage des Kanteneffektes (Abbildung 1) [4]. Für die Anwendung wurde ein spezieller Testaufbau entwickelt, um prozesstechnische Optimierung an der Beschichtung durchführen zu können.



Normaler Hundeknocheneffekt

Reverser Hundeknocheneffekt

Abbildung 1: Stark vereinfachte und überzeichnete Darstellung der Schichtdickenausbildung des „normalen“ (links) und des „reversen“ elektrochemischen Hundeknocheneffektes (rechts), modelliert mit Comsol Multiphysics – Modul Elektrodeposition

2. Materialien und Methoden

Für die Versuchsreihen wurde der Abscheiderebereich der Kathode (Substrat) auf 1cm^2 festgelegt. Die geplante Schichtschichthöhe ergab sich aus dem Auflösungsvermögen der geplanten Messtechniken sowie aus den Aspektverhältnissen der gefertigten Mikrostrukturierungen. Die Schichtdicken sollten wegen der angestrebten visuellen Unkenntlichkeit unter $2\ \mu\text{m}$ liegen. Als Versuchsaufbau wurde ein miniaturisiertes galvanisches Labormuster konzipiert, um Prozessführung, Parametrisierung und Elektrodenmuster gezielt anzupassen. Die Strukturierungen auf den prozessbestimmenden Anodenelektroden, wurden mit dem Mikrofertigungszentrum (Kern Micro, Kern, Eschenlohe, Germany) hergestellt. Als Elektrodenmaterial wurden für die Anodenelektroden Platin und für die Kathoden Silber, Gold und Nickel festgelegt. Als Elektrolyt wurde das Haftgoldbad von Wieland (AC 3 SSF (stark sauer mit 3 % Au) $3,0\ \text{g/l}$, T: $20\text{--}30\ ^\circ\text{C}$, U: $1,5\text{--}4,0\ \text{V}$, J: $0,5\text{--}1,2\ \text{A/dm}^2$, pH-Wert $1,5\text{--}1,8$, ρ : $18,2\ \text{g/cm}^3$, (110 HV), Schichtdicke: $< 6\ \mu\text{m}$) verwendet. Anodenseitig wurden Probenkörper in verschiedenen Geometrien: Stab (plan ($2,3 \times 2,3\text{mm} - 5,29\ \text{mm}^2$), dachförmig, gelocht, geschlitzt sowie planare Substrate mit Strukturen auf einer Fläche $10 \times 10 \times 2\text{mm}$, hergestellt. Die entworfenen CAD-Modelle der Elektroden wurden in eine Simulationssoftware (Comsol Multiphysics, Modul Electrodeposition) übertragen und als Modellbildung für die Abstimmung der Prozessparameter in Abhängigkeit der Geometrien und der kathodenseitigen Schichtverteilung angewendet. Die hergestellten Schichten konnten mit einem Laserkonfokalmikroskop (qualitativ), der Röntgenfluoreszenzanalyse (laterale Schichtdickenmessung) und mittels Interferenzmessung analysiert werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Auswahl der verwendeten Elektrolyte wurde durch die Eigenschaften in der Schichtbildung bestimmt. Die Verwendung spezieller Elektrolyte ohne Zusätze (z.B. Glanzbildner, Einebner, Schaumminderer) wurde geprüft, um mögliche Einflüsse festzustellen. Mit einem speziellen

Versuchsaufbau konnten Testreihen mit Galvanikbädern verschiedener Hersteller und den unterschiedlichen Inhaltsstoffen durchgeführt werden. Dabei zeigte das Haftgoldbad AC 3 SSF (stark sauer mit 3 % Au) ohne spezielle Zusätze von der Firma Wieland die besten Ergebnisse.

Auch die Elektrodenmaterialien wurden mit potenziellen Elektrolytbädern geprüft. Nach ersten Versuchsreihen und Analysen wurde als Elektrodenmaterial anodenseitig Platin, und kathodenseitig Silber, Gold und Nickel festgelegt. Beschichtetes Titan und Graphit wurden für diese Anwendung nicht weiter betrachtet, da diese Materialien zu Verunreinigungen im Galvanikbad führen können.

Die Konzeption der anodenseitigen Elektrodengeometrie erfolgte mittels Simulationssoftware und Modellbildung der Elektroden sowie einer Auswahl geeigneter Kennzeichnungsmerkmale. Es wurden Rauheits- ($R_a < 2 \mu\text{m}$) und Reinheitsanforderungen an die Substratmaterialien festgelegt, damit der veränderte Abscheidcharakter geregelter und die Verteilung der Feldlinien neben der forcierten Feldverteilung homogener erfolgte. Die in Abbildung 2 dargestellte Probe wurde bei $T_{\text{Raum}} \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $U = \text{variabel}$, $I = 0,5 \text{ mA}$, $t = 30 \text{ min}$, $d = 700 \mu\text{m}$ mit einem Edelstahlrührwerk hergestellt. Die Probe zeigte in der optischen Analyse und mittels Laserkonfokalmikroskop (VKX-1100) keine sichtbaren Hinweise auf eine Schichtstruktur. Auch die Profilmessungen über die relevanten Schichtbereiche zeigten keine signifikanten Änderungen.

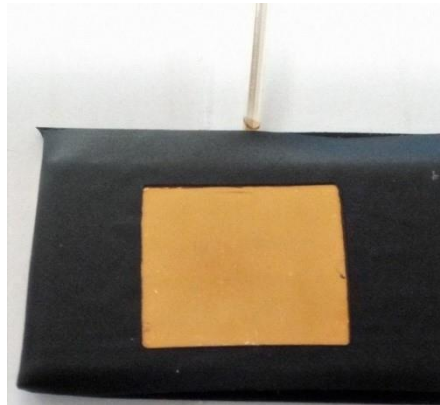


Abbildung 2: Beispiel einer Beschichtung mit dem vorgestellten Prozess mit einer visuell nicht erkennbaren Ausbildung eines Schichtdickenunterschiedes.

Um weitere Rückschlüsse über die Schichtstruktur erhalten zu können, wurden an ausgewählten Probensätzen die Gesamtschichtdicken der abgeschiedenen Schichten mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Die Messpunkte sind in einer Matrix so platziert worden, dass sie mindestens die Hälfte der relevanten Geometrien der jeweiligen Fertigungsanode abbilden konnten. Der Messabstandsbereich in XY-Richtung betrug $250 \mu\text{m}$. Die in Abbildung 3 gezeigten Grafiken weisen in der 3D Darstellung, sowie der projizierten Flächendarstellung die vermutete und simulierte Schichtdickenverteilung auf. Verursacht wurde die Erhöhung des Schichtdickenwachstums entlang bestimmter Geometriekanten der strukturierten Anode aufgrund der Verdichtung der Feldlinien und dem Anstieg der Stromliniendichte. Abbildung 3 (links) zeigt die Geometrie Nut durch Ausformung von zwei Erhebungen und Abbildung 3 (rechts) durch die kreuzförmige Ausformung der Schichtstruktur.

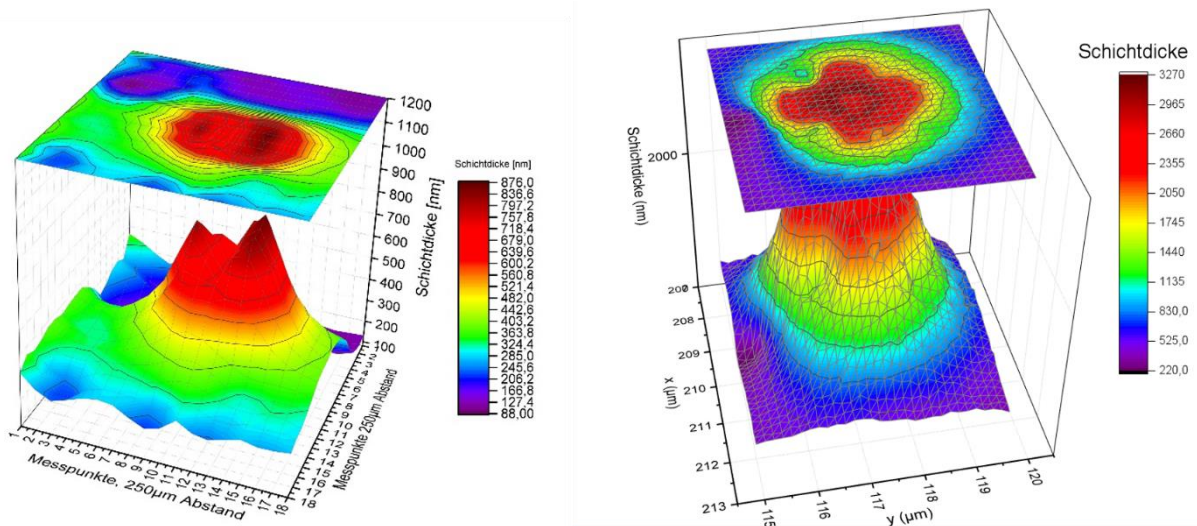


Abbildung 3: Analyse des Beschichtungsergebnisses einer Nut- und Kreuzanodengeometrie mittels RFA, Messbereich 250µm in x- und y-Richtung, Darstellung mit der Originlab Software

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein optisches Modul für die Interferenzmessung entwickelt, um kleineren mittelständigen Unternehmen eine kostengünstige Analysemöglichkeit zur Verfügung zu stellen. Diese qualitative Analyse der Oberfläche ermöglicht eine unmittelbare Visualisierung der Schichtdickenverteilung. In Abbildung 4 werden Interferogramme der Nut- und Kreuzanodengeometrie illustriert. Im Projektverlauf konnte der Effekt des Prozessierens in erster Instanz immer mit Hilfe dieser selbst entwickelten optischen Interferenzerkennungsmethode nachgewiesen werden.

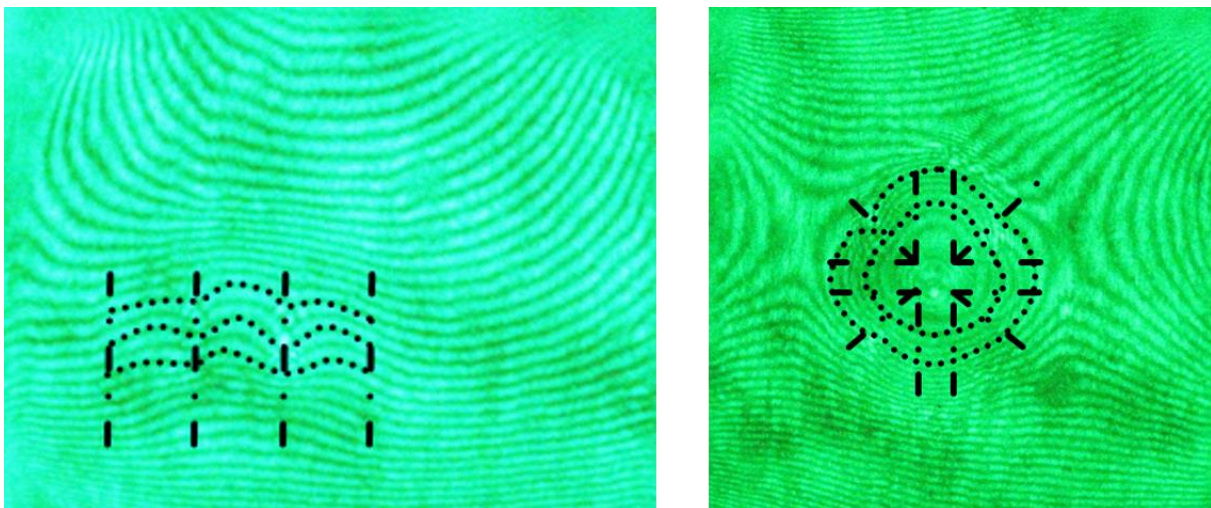


Abbildung 4: Interferogramme der unterschiedlichen Anodengeometrien (Nut- und Kreuzanodengeometrie)

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten mittels galvanischer Prozesstechnik unter Anwendung des umgekehrten „Hundeknochen“- Effektes Strukturen auf metallischen Probenkörpern hergestellt werden. Diese sind mit bloßem Auge nicht differenzierbar, bilden eine mikrostrukturierte Anodengeometrie ab und konnten mittels konventioneller Analyseverfahren sowie eines Interferenzerkennungsmoduls detektiert und beschrieben werden. Die Entwicklung ermöglichte, dass die notwendigen Anoden durch eine Kombination von Berechnung, Simulation und Fertigungstechnik hergestellt

werden konnten. Kathodenseitig wurde ein Prozess für die Abscheidung auf einer planaren Oberfläche entwickelt. In zukünftigen Arbeiten soll ein Übertrag der Technologie auf andere Substratmaterialien und Elektrolytsorten erfolgen. Die Anwendung der vorgestellten neuartigen Prozesstechnik kann Applikationen unterstützen, die z.B. in der Leiterplattenindustrie, der Photonik und Optik oder in der praktischen Anwendung in Verbindung mit der Digitalisierung liegen.

Datenverfügbarkeit

Die Autor*innen bestätigen, dass die Daten, die die Ergebnisse dieser Studie untermauern, im Artikel [und/oder] in den ergänzenden Materialien verfügbar sind.

Die Rohdaten wurden an der TH Wildau erstellt. Abgeleitete Daten, die die Ergebnisse dieser Studie unterstützen, sind auf Anfrage beim Korrespondenz-Autor [TD] erhältlich.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Finanzierung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ZIM, AiF) für die finanzielle Unterstützung (Fkz.: ZF4012231DF8).

Literaturverzeichnis

1. Kanani N. Dr. Ing. Dr. habil.: Galvanotechnik Grundlagen, Verfahren, Praxis, 2. erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag 2009
2. CAS, C. I. (29. 04 2015). China Patentnr. CN102766892B.
3. Jelinek, T. W. (2013). Abscheidung von Metall mit äußerer Stromquelle. In T. W. Jelinek, Praktische Galvanotechnik (S. 58). Bad Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag.
4. Offenlegungsschrift DE 10 2020 127 401 A1

Entwicklung und Evaluation eines anonymitätsfokussierten Feedbacktools auf Ring-Signatur-Basis

Martin Schuster^{1*}

¹ Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: mschust3@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Für die Blockchain Academy Mittweida sollte ein Feedback-System entwickelt werden, welches das Feedback für die angebotenen Kurse, anonym und Duplikation frei speichern kann. Es sollte möglich sein, ohne die Anonymität der Nutzer aufzuheben, festzustellen zu können, ob bereits Feedback eines Nutzers eingereicht wurde. Dafür wurde die Technologie der Linkable-Ring-Signaturen verwendet. Mit dieser Technologie können Nutzer zu einem Ring zusammengefasst werden und anonym Feedback einreichen. Um das Interesse und das Verständnis für diese Technologie abzufragen, wurde ein Video erstellt, welches das Verfahren vorstellt und dieses einer Probandengruppe präsentiert. Die Evaluation ergab, dass das Interesse an der vorgestellten Lösung vorhanden ist und das Konzept vermittelt werden konnte.

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Digitalisierung von analogen Vorgängen hat sich eine sicherheitskritische Problematik entwickelt. Diese besteht darin, die Anonymität des Nutzers zu gewährleisten und gleichzeitig sicherzustellen zu können, dass diese Anonymität nicht missbräuchlich ausgenutzt wird. Einen möglichen Lösungsansatz dafür bieten die Ring-Signaturen. Diese erlauben es, stellvertretend für eine Gruppe von mehreren Personen Daten zu signieren, ohne dabei die eigene Identität preiszugeben. Es existieren vollständige anonyme Varianten und jene, die eine Verknüpfung von mehreren Signaturen eines Senders erlauben. Dadurch wird die Technologie für viele Anwendungsbereiche wie beispielsweise Meinungsäußerungs-, E-Voting- oder E-Cash-Systeme interessant. Für die Blockchain Academy Mittweida, war es das Ziel, solch ein System zum Aufnehmen von Feedback für die Kurse zu entwickeln. Um das Interesse an dieser Lösung zu erfragen und das Verständnis für Technologie zu fördern galt es ein Erläuterungsvideo zu erstellen. Die Forschungsfrage, die sich dabei stellt, ist, ob man mit einer visuellen Erläuterung das Verständnis für eine Technologie bei Personen fördert und dadurch die Akzeptanz diese zu nutzen erhöht werden kann.

2 Methodik

2.1 Ring Signaturen

Ring-Signaturen, 2001 erstmals von Rivest, Shamir und Tauman vorgestellt, ermöglichen es, dem Nutzer eine Nachricht stellvertretend für seine zugehörige Gruppe zu signieren, ohne dabei seine eigene Identität preiszugeben. Die Gruppe an möglichen Unterzeichnern wird als Ring bezeichnet, der signierende wird als Unterzeichner betitelt und alle anderen als Nicht-

Unterzeichner. Es wird vorausgesetzt, dass alle Beteiligten über einen öffentlichen und privaten Schlüssel P_k, S_k , welcher das Signaturverfahren und seinen Verifikationsschlüssel beinhaltet, verfügen. Ein Ring-Signaturverfahren ist durch zwei Prozessschritte definiert. [1]

1. Ring-Unterzeichnung ($ring-sign(m, P1, P2, \dots, Pr, z, Sz)$), diese produziert die Ring-Signatur σ für die Nachricht m , mit den gegebenen öffentlichen Schlüsseln $P1, P2, \dots, Pr$ der r Ring Mitglieder, zusammen mit dem geheimen Schlüssel Sz des Unterzeichners z .
2. Ring-Signatur-Verifizierung ($ring-verify(m, \sigma)$) diese nimmt die Nachricht m und die Signatur σ entgegen und gibt ein wahr oder falsch aus, je nachdem ob es eine valide Signatur ist oder nicht.

Der Originalentwurf von Rivest, Shamir und Tauman hatte das Hauptaugenmerk auf der Anonymität des Unterzeichners und sah keinen Widerruf dieser Anonymität vor. [1] Da diese Eigenschaft nicht für alle Anwendungszwecke zielführend beziehungsweise nützlich ist, wurde das Verfahren erweitert. Mit den Linkable-Ring-Signaturen beispielsweise wurde eine Nachvollziehbarkeit, ob ein Mitglied bereits eine Nachricht aus der Gruppe gesendet hat, integriert. [2] Es haben sich noch weitere Varianten wie Tracable-, Threshold- oder Revocable-Ring-Signaturen entwickelt und zu diesen jeweils noch weitere Abwandlungen, sodass es bereits eine Vielzahl an Varianten gibt, die für unterschiedliche Einsatzzwecke verwendet werden können.

2.1 REST-API-Server

Um die Ring-Signatur Funktionalität möglichst flexible nutzbar zu machen, wurde sich dazu entschlossen, diese als ein REST-API-Server umzusetzen. Ein Vorteil dieses Programmierparadigmas ist die Skalierbarkeit des bereitgestellten Service, da jede Anfrage durch den Client in sich geschlossen ist. Dies bedeutet, dass in jeder Nachricht an den Server und als Antwort vom Server an den Client alle benötigten Informationen zur weiteren Verarbeitung enthalten sind. Die Anfragen an den Server werden dabei durch einen HTTP-Request realisiert. Durch diesen wird geregelt, wie der Client seine Anfrage formuliert und wie der Server auf diese antwortet. Die Anfragen werden dabei mittels der POST Methode realisiert. Diese überträgt die Anfrage im HTTP-Header, was das Senden größerer Datenmengen und möglicherweise sensibler Daten ermöglicht. Der Server wurde auf Node.js-Basis umgesetzt. Als Basis wurde das Express.js Framework der OpenJS Foundation genutzt. Dieses bietet bereits vorgefertigte Komponenten, um das Erstellen von REST-API-Funktionen zu erleichtern und zu vereinfachen. Es erlaubt durch vorgefertigte Komponenten, sogenannten Routen, gezielt Funktionen bereitzustellen, welche über URLs ausgelöst werden können. Für die Umsetzung der Ring-Signatur Variante wurde sich für die Linkable-Ring-Signatures entschieden. Dafür wurde eine Umsetzung von Victor Taelin genutzt, welcher eine Implementation in JavaScript und PureScript dafür erstellt hat. Diese Umsetzung wurde als Modul in die Node.js Installation eingefügt und stellt dadurch dem Server die Funktionalität zum Generieren von privaten und öffentlichen Schlüsseln, das Signieren einer Nachricht, das Überprüfen einer Signatur zu einer Nachricht sowie das Überprüfen, ob zwei Signaturen von einem Nutzer stammen, zur Verfügung. Es wurden jeweils eine eigene Route für jede der Funktionen erstellt. Diese erwarten die Daten, welche gesendet werden, im JSON-Format und liefern das Ergebnis ebenfalls im JSON-Format zurück. Dadurch soll ein einheitlicher Workflow mit den Eingabe- und Ausgabedaten gefördert werden.

Um die Fähigkeiten des REST-API-Servers zu testen und eine mögliche Limitierung ermitteln zu können, wurde ein Performance-Test (Abbildung 1) durchgeführt. Es wurde eine Testapplikation auf Node.js-Basis geschrieben, welche automatisiert Anfragen zur Signierung einer Nachricht an den Server schickt. Die Ergebnisse für die Bearbeitungszeit, die Länge der Signatur und die Anzahl der Ringmitglieder wurde in eine entsprechende Log-Datei geschrieben. Dies geschieht dabei, beginnend mit einem Ringmitglied und nachfolgende in 5 Mitglieder

Schritten, mit bis zu 500 Ringmitgliedern. Die Begrenzung auf 500 Mitglieder hat sich als limitierender Faktor des Servers herausgestellt, da die Länge der Signatur zu lang wird, um diese ohne weitere Modifikationen an der Konfiguration des Servers, zu versenden.

Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass das Verfahren wie schon in der initialen Vorstellung von Liu, J. K. und Wong, D. S., ein lineares Verfahren ist. Insgesamt bleibt die Berechnungszeit bei 500 Nutzern mit 2500 Millisekunden beziehungsweise 2,5 Sekunden noch in einem angemessenen Rahmen. Die Länge der Signatur ist bei 500 Nutzer mit 95000 Zeichen sehr lang, sodass bei einer geplanten Speicherung in einer Datenbank dies besonders beachtet werden müsste.

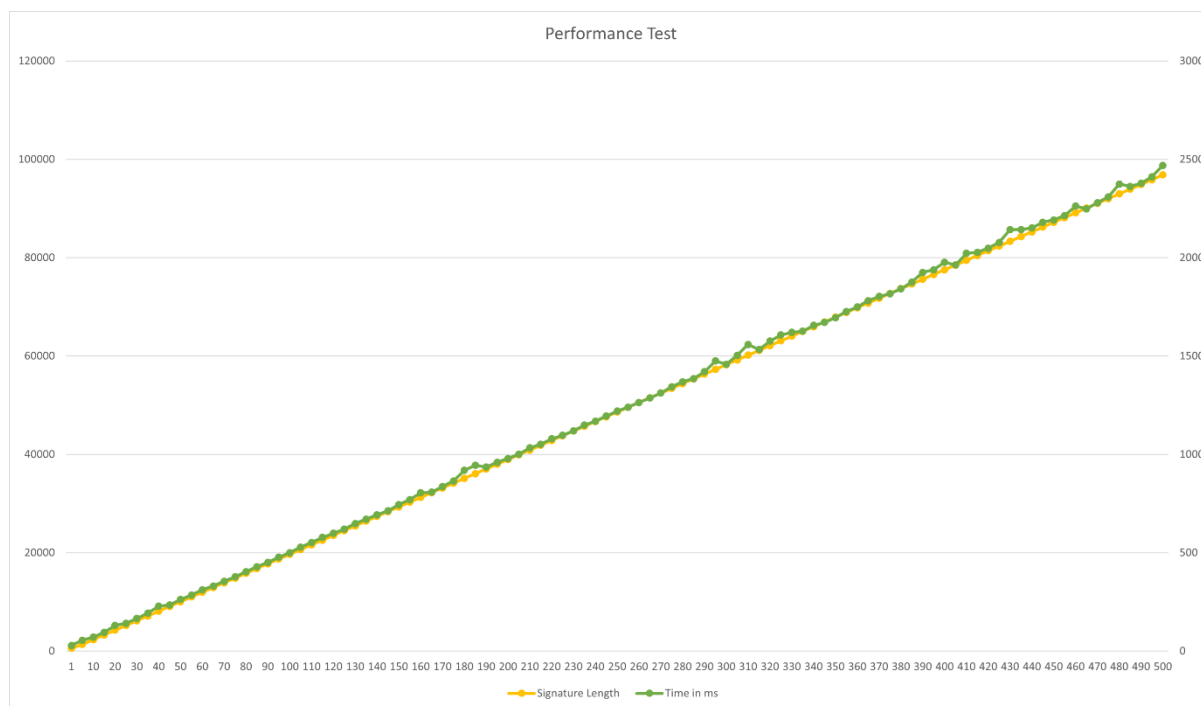


Abbildung 1: REST-API-Server Performance Test

2.3 Visualisierung

Damit das Verständnis und die Akzeptanz für das Vorhaben erprobt werden kann, galt es eine Visualisierung des Themas anzufertigen. Das Ziel, welches für die Visualisierung gesetzt wurde, ist, dass es leicht verständlich und den Empfänger nicht mit zu vielen technischen Details überfordern soll. Dafür wurde zunächst ein grobes Konzept angefertigt, welches den groben Ablauf beschreibt. Anschließend wurde der Text für das Voice Over ausgearbeitet und eingesprochen. Als nächstes wurde Animation mittels Vektorgrafiken erstellt, da diese sich einfacher animieren ließen durch das sogenannte Vektor-Tweening. Dabei werden die Zwischenschritte zwischen zwei Einstellungen automatisch generiert. Abschließend wurde die Animation und die Tonspur in einem Videoschnitt Programm zusammengefügt und das fertige Video auf der Videoplattform YouTube hochgeladen für die Verwendungen in der Evaluation.

3 Evaluation

Die Evaluation wurde in der zweiten Kalenderwoche 2022 durchgeführt. Die Probandengruppe aus 35 Personen, welche zu 77,1% männlich waren, mit 85,7% der Altersgruppe 21 bis 29 Jahre angehörten und mit 77,1% über einen Bachelorabschluss verfügten empfanden das Erläuterungsvideo als gut bis sehr gut Verständlich (91,4%). Das Interesse an der vorgestellten Lösung war bei 57,2% der Befragten gegeben und 94,3% der befragten würden solch ein System benutzen, um ihre Meinung Online mitteilen zu können.

4 Ergebnis

Im Rahmen der Forschungsarbeit konnte eine Prototypische Anwendung entwickelt werden, welche alle geforderten Funktionen enthielt. Aktuell wird diese Anwendung noch nicht im Produktivbetrieb eingesetzt, da die momentane Lösung zu zentralisiert ist sowie die gewünscht Einbindung einer Blockchain Technologie noch ausstehend ist. Die geleistete Arbeit bildet jedoch die Grundlage für eine Fortführung als Masterarbeit Projekt, dabei wird der Ansatz durch die Verwendung einer Browserextension sowie von Smart Contracts dezentralisiert.

Datenverfügbarkeit

Die in der Arbeit verwendeten Daten sind aufgrund von Sicherheitsbedenken nicht öffentlich einsehbar beziehungsweise wurden so weit wie nötig in der Arbeit offengelegt.

Interessenskonflikte

Es liegen keine Interessenskonflikte vor.

Literaturverzeichnis

1. Rivest, R. L., Shamir, A. & Tauman, Y. (2001): How to Leak a Secret. In C. Boyd (Hrsg.), *Advances in Cryptology ASIACRYPT 2001* (S. 552–565). Springer Berlin Heidelberg.
2. Fujisaki, E. & Suzuki, K. (2007). Traceable Ring Signature. In T. Okamoto & X. Wang (Hrsg.), *Public Key Cryptography PKC 2007* (S. 181–200). Springer Berlin Heidelberg.

Existenznachweise für Daten in unternehmensübergreifenden Blockchain-Netzwerken

Erik Neumann^{1*}[\[https://orcid.org/0000-0002-4483-589X\]](https://orcid.org/0000-0002-4483-589X)

¹ Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Hochschule Mittweida

* Korrespondenz: neumann3@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Das Projekt *safe-UR-chain* befasst sich mit der manipulationssicheren Speicherung von Produktionsdaten und deren Austausch über Unternehmensgrenzen hinweg. Das System basiert auf „verstrickten“ Blockchains, wobei jedes Unternehmen eine eigene Blockchain führt und in diese sporadisch Block-Hashes aus den Blockchains anderer Unternehmen integriert. In diesem System soll der Austausch von Produktionsdaten ermöglicht werden. Um die Manipulationsfreiheit dieser Daten nachzuweisen, wird ein effizienter, kryptografischer Akkumulator auf Block-Basis verwendet, der Mitgliedschaftsbeweise für Blöcke innerhalb der Blockchain ermöglicht. Somit kann die Existenz von Blöcken zwischen den zuvor Synchronisierten Block-Hashes belegt werden. Auf Basis dieses Beweises kann gezeigt werden, dass Daten aus der externen Blockchain in einem gewissen Block enthalten sind.

1. Einleitung

Die schrittweise Vernetzung und Digitalisierung von Produktionssystemen hat es Unternehmen ermöglicht, entlang der Wertschöpfungskette effizienter miteinander zusammenzuarbeiten. Neben der damit verbundenen Produktivitätssteigerung, ermöglicht diese Vernetzung jedoch auch neue Angriffe durch Cyberkriminelle [1]. Einer dieser möglichen Angriffe besteht in der Manipulation produktionsnaher Daten, durch die beispielsweise spätere Rückrufaktionen gestört werden können.

Um zu erforschen, wie gegen diese Kategorie von Angriffen vorgegangen werden kann, wurde 2019 das Projekt *safe-UR-chain* ins Leben gerufen. In diesem arbeiten Unternehmen und Forschungseinrichtungen an einem Blockchain-basierten System zur Speicherung von produktionsnahen Daten, sowie deren Austausch über Unternehmensgrenzen hinweg. Ziel des Projektes ist, Daten in diesem System durch die Verwendung der Blockchain-Technologie gegen nachträgliche Veränderung zu schützen [2].

2. Bestehendes System

Um die nachträgliche Manipulation von Daten zu verhindern, werden die Produktionsdaten in einer Blockchain (s. Abb. 1) gespeichert. Dafür werden die Daten, die innerhalb eines Unternehmens anfallen, zuerst in dessen Netzwerk verteilt. Diese Daten werden dann regelmäßig in sog. *Blöcken* zusammengefasst. Diese Blöcke enthalten einen Hash-Wert über alle in ihnen enthaltenen Daten, der durch die Verwendung eines *Merkle Trees* [3] errechnet wird. Mit diesem Hash-Wert kann die Mitgliedschaft jeglicher Daten im Block nachgewiesen werden. Mit dem Hash-Wert der Daten und einigen Metadaten (z.B. Zeitstempel), kann ein Hash-Wert für den gesamten Block erzeugt werden. In diesen Block-Hash geht auch der Hash des vorhergehenden Blockes ein. Diese Verknüpfung macht die Manipulation von Daten innerhalb der

Blockchain unmöglich, da sich hierdurch der Daten-Hash eines Blockes ändern würde, was ebenso zur Änderung des Block-Hashes und damit zum Bruch der Kette führen würde, weil Nachfolger-Blöcke auf den Hash ihres Vorgängers verweisen [4].

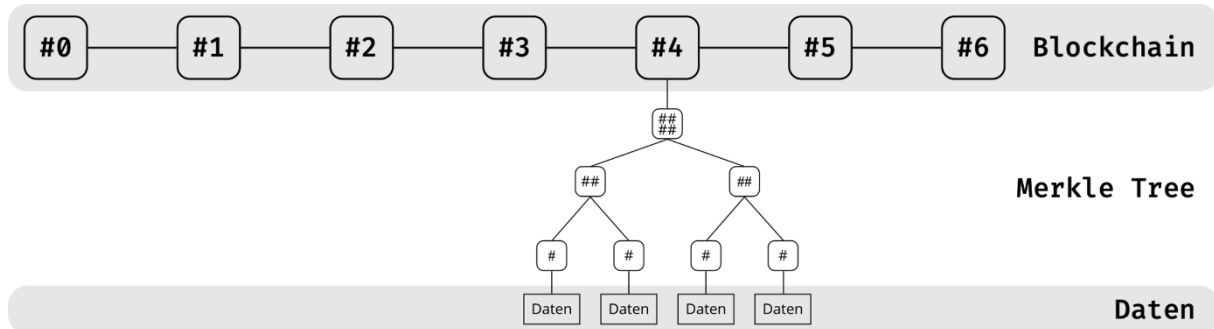


Abb. 1: Blockchain-Struktur mit Nutzdaten innerhalb eines Merkle-Trees

Die Blockchain wird im Unternehmensnetzwerk redundant auf vielen Computern (sog. *Nodes*) gespeichert und mithilfe eines Konsensverfahrens wird sichergestellt, dass die Blockchains auf all diesen Nodes langfristig die gleichen Blöcke enthalten.

Da die beteiligten Unternehmen physisch voneinander getrennt sind, ist die Nutzung einer zwischen Unternehmen geteilten Blockchain nicht möglich, da hierfür ggf. sehr große Datenmengen zwischen den Unternehmen synchronisiert werden müssten. Aus diesem Grund führt jedes Unternehmen eine eigene Blockchain für Produktionsdaten. Um sicherzustellen, dass Daten in den lokalen Blockchains nicht verändert werden können, synchronisieren Unternehmen einige der lokal erzeugten Block-Hashes untereinander und schreiben externe Block-Hashes in ihre lokale Blockchain. Damit wird die Veränderung von Daten immer bis hin zum letzten synchronisierten Block-Hash verhindert [5] (s. Abb. 2).

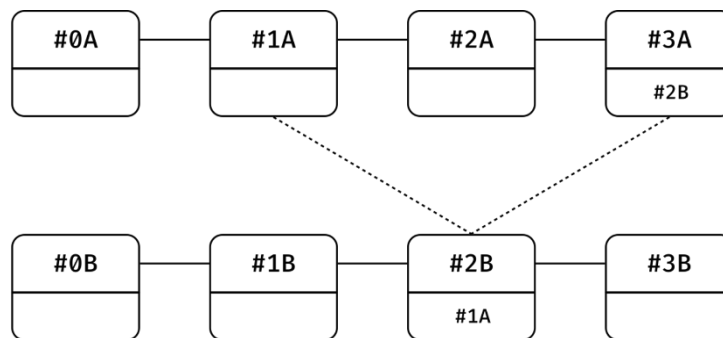


Abb. 2: „Verstrickte“ Blockchains zweier Unternehmen; Externe Block-Hashes werden als Daten in der jeweils lokalen Blockchain gespeichert

Eine nachträgliche Veränderung von Produktionsdaten kann im System somit erkannt werden. Nun soll ein manipulationssicherer Datenaustausch zwischen den Unternehmen ermöglicht werden. „Manipulationssicher“ bedeutet in diesem Kontext, dass das Unternehmen, das die Daten bereitstellt, beweisen kann, dass die Daten in seiner lokalen Blockchain existieren.

3. Problembeschreibung

Die Existenz von Daten innerhalb eines Blockes kann bewiesen werden, indem zuerst der Mitgliedschaftsnachweis innerhalb des Merkle Trees für den Block geführt wird. Danach kann mithilfe des Block-Hashes belegt werden, dass die Daten in dem Merkle Tree enthalten sind, der mit diesem Block assoziiert ist. Der Beweis, dass Daten in Blöcken enthalten sind, deren

Block-Hashes zuvor über Netzwerkgrenzen hinweg geteilt wurden, ist einfach möglich, da jegliche Daten für die Überprüfung des Beweises bereits in der anderen Blockchain enthalten sind (Block-Hashes).

Beweise für Daten, die in Blöcken mit nicht-synchronisierten Hashes enthalten sind, gestalten sich schwieriger. Hierfür muss zuerst gezeigt werden, dass der Block-Hash, der für die Überprüfung des Daten-Beweises notwendig ist, tatsächlich in der Blockchain des beweisenden Unternehmens enthalten ist.

Für den Beweis der Existenz von Daten wird somit ein Schema benötigt, dass anhand der vorher synchronisierten Block-Hashes einen Existenznachweis für andere Blöcke in der Blockchain eines bestimmten Unternehmens ermöglicht.

4. Lösung

Um die Existenz eines Blockes innerhalb der Blockchain nachzuweisen, können die Verknüpfungen zwischen Blöcken herangezogen werden. Da jeder Block auf seinen Vorgänger verweist, kann für jeden synchronisierten Block-Hash belegt werden, welcher Block-Hash ihm vorangeht. Und da dieser wiederum auf seinen vorhergehenden Block-Hash verweist, kann die Mitgliedschaft jedes Blockes in der Kette belegt werden. Dieser Vorgang kann wiederholt werden, bis die Kette rückwärts, bis zu einem weiteren bereits synchronisierten Block-Hash nachgewiesen ist. Jeder Hash zwischen diesen beiden Blöcken kann dann zum Nachweis der Existenz von Daten in den jeweiligen Blöcken genutzt werden. Dieses Vorgehen erlaubt einen nachvollziehbaren Beweis, allerdings verlangt es auch die Übertragung von ggf. sehr vielen Daten zwischen den Unternehmen, was durch die getrennten Blockchains ursprünglich verhindert werden sollte.

Um einen effizienteren Beweis zu ermöglichen, kann ein sog. *Akkumulator* verwendet werden. Eine solche Datenstruktur erlaubt den Mitgliedschaftsbeweis für Daten innerhalb eines Sets, wobei der Akkumulator selbst kleiner ist als das Set selbst. Mit einem Akkumulator kann also auch dargelegt werden, dass ein bestimmter Block im Set aller Blöcke (d.h. der Blockchain) enthalten ist. Wenn die Block-Datenstruktur so erweitert wird, dass jeder Block einen Akkumulator-Wert enthält, mit dem sich die Mitgliedschaft aller seiner Vorgänger in der Blockchain beweisen lässt, können auch Beweise für die Manipulationsfreiheit von übertragenen Daten erbracht werden.

Ein Beispiel für einen Akkumulator ist der bereits erwähnte Merkle Tree, dieser kommt jedoch für den Nachweis von Blöcken nicht infrage, da dieser pro Block über die gesamte Blockchain neu erstellt werden müsste. Stattdessen kommt ein Akkumulator zum Einsatz, der analog zum „Hochzählen“ einer Binärzahl funktioniert und intern Wurzeln von Merkle-Trees mit immer höherer Kapazität verwendet.

Der Akkumulator wird mit einem ersten Element initialisiert, dessen Hash an Position 0 gespeichert wird. Kommt ein zweites Element hinzu, wird sein Hash gebildet und mit dem Hash des ersten Elementes zusammengelegt. Aus dem resultierenden Daten wird wieder ein Hash gebildet und an der nächsten Position gespeichert. An Pos. 1 ist nun im Grunde ein Merkle Tree (bzw. dessen Wurzel), der das erste und zweite Datum enthält. Die Merkle Trees haben immer die Kapazität von 2^n (n = Position/Index), also die doppelte Kapazität ihres Vorgängers [6].

Weitere Elemente werden auf die gleiche Art eingefügt, Bäume werden immer zusammengeführt, um einen Baum mit der doppelten Kapazität zu erhalten (s. Abb. 3). Die Wurzeln der Merkle-Trees bilden den *Akkumulator-Wert*, mit dem Beweise über die Mitgliedschaft und Position von Blöcken innerhalb der Blockchain möglich werden. Die zugrundeliegenden Daten werden nicht gespeichert, nur die Wurzeln der Merkle Trees.

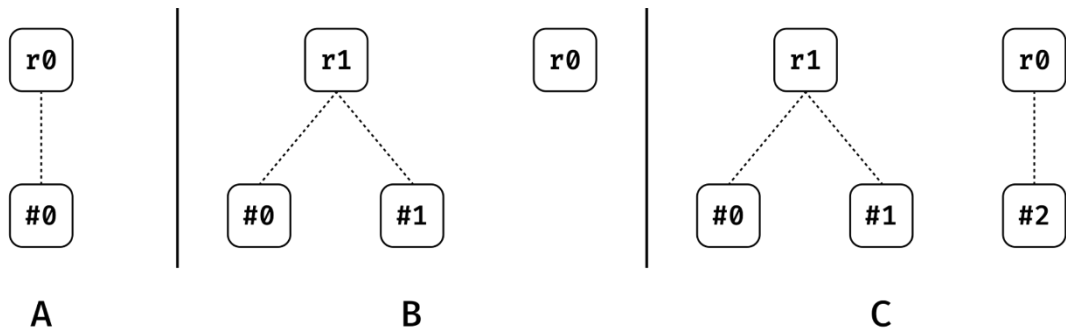


Abb. 3: Hinzufügen von Elementen zum Akkumulator; **A:** Initialisierung mit dem ersten Element; **B:** Hinzufügen eines zweiten Elementes, es wird ein Baum mit einer Kapazität von 2 erzeugt; **C:** Hinzufügen eines dritten Elementes an der nun freien Position 0

Beweise lassen sich analog zu „normalen“ Merkle Trees führen. Jedoch ist die Erstellung der Beweise vereinfacht, da die Hashes, die für den Beweis notwendig sind, in vorhergehenden Akkumulator-Werten auffindbar sind.

5. Ergebnis

Das beschriebene Schema erlaubt den effizienten Mitgliedschaftsnachweis für Blöcke innerhalb der Blockchain. Basis dafür ist eine angepasste Block-Datenstruktur (s. Abb. 4), die den zum Zeitpunkt ihrer Erstellung aktuellen Akkumulator-Wert enthält. Dieser kann zum Beweis der Zugehörigkeit jedes Vorgängerblockes zur Blockchain genutzt werden. Mithilfe dieser Anpassung kann die Existenz von Daten innerhalb einer unternehmensexternen Blockchain zweifelsfrei nachgewiesen werden. Der hierfür genutzte Beweis besteht zuerst aus einem Nachweis der Mitgliedschaft eines Blockes innerhalb der Blockchain, mit dessen Block-Hash ist der Beweis für die Existenz von Daten dann möglich.

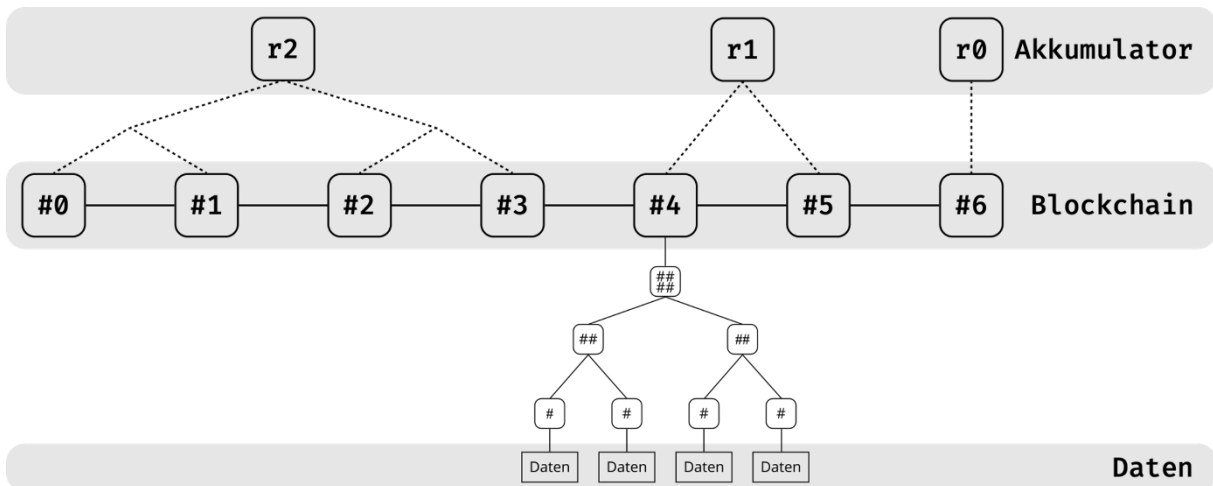


Abb. 4: Neue Struktur mit Akkumulator auf Block-Basis. Dargestellt ist die Beweisstruktur für Daten in Block #4, mit dem Akkumulator-Wert aus Block #6 (Beweis über $r1$ und den Hash von Block #4)

Datenverfügbarkeit

Der Beitrag erklärt ein Schema; es müssen keine extra Daten zur Verfügung gestellt werden.

Interessenskonflikte

Es gibt keine Interessenkonflikte.

Förderung

Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen der Bekanntmachung „Zivile Sicherheit – Kritische Strukturen und Prozesse in Produktion und Logistik“ unter den Förderkennzeichen 13N15150 bis 13N15153 gefördert.

Literaturverzeichnis

1. Bundeskriminalamt (2021): Cybercrime Bundestagsbild 2020
2. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): Sicherheit und Nachverfolgbarkeit in zivilen Produktions- und Wertschöpfungsnetzwerken durch Blockchain (safe-UR-chain)
3. Merkle, Ralph (1980): Protocols for Public Key Cryptosystems, 1980 IEEE Symposium on Security and Privacy: 125–127
4. Nakamoto, Satoshi (2008): Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System
5. Neumann, Erik et al. (2021): A High-Performance Solution for Data Security and Traceability in Civil Production and Value Networks through Blockchain
6. Reyzin, Leonid/ Yakoubov, Sophia (2015): Efficient Asynchronous Accumulators for Distributed PKI

Bedrohungsmodellierung im Machine Learning

Manuel Raddatz¹

¹ Technische Hochschule Brandenburg, Fachbereich Wirtschaft

* Korrespondenz: manuel.raddatz@th-brandenburg.de

Kurzfassung. Aufgrund zunehmender Globalisierung, der technologischen Weiterentwicklung und dem Grad der Vernetzung steigt die Anzahl der Bedrohungen kontinuierlich an. Sicherheitsanforderungen spielen oft nur eine untergeordnete Rolle. Mit der neuen Fassung zum IT-Sicherheitsgesetz (Kurzform für “Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme“) wurde dessen Geltungsbereich ausgedehnt und betroffene Unternehmen müssen Maßnahmen für die Steigerung der IT-Sicherheit ergreifen. Die Bedrohungsmodellierung ist ein strukturierter Prozess, der bereits in der sicheren Hard- und Software Anwendung findet. Sowohl Charakter der Angriffe als auch Zeitraum im Lebenszyklus unterscheiden sich zur traditionellen SW-Entwicklung. Ausgehend von der Machine Learning Struktur bietet dieser Beitrag einen Top-Down-Ansatz für die systemorientierte Perspektive der Bedrohungsmodellierung.

1 Einleitung

Der notwendige Aufwand für Angriffe auf IT-Systeme hat in den letzten Jahren abgenommen. Aus diesem Grund definieren verschiedene Normen und Standards Anforderungen an die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus für eine sichere Produktentwicklung [1] und der Durchführung einer Risikobewertung [2]. Die Nutzung des maschinellen Lernens ist in den letzten Jahren sehr stark gestiegen. Die Fähigkeiten zu lernen, ist eine der wichtigsten Eigenschaften von intelligentem Verhalten. Lernprozesse umfassen den Erwerb von neuem Wissen und der Entwicklung von neuen kognitiven und motorischen Fähigkeiten. Im Allgemeinen definiert das Lernen die Organisation von neuem Wissen mit einer effektiven Darstellung und der Entdeckung neuer Zusammenhänge durch das Beobachten und Experimentieren [3]. Das maschinelle Lernen wird bereits erfolgreich in den Bereichen für das autonome Fahren, der Bilderkennung, der intelligenten Gesundheitsversorgung, der Sicherheit und Sprachverarbeitung eingesetzt. Parallel zur steigenden Verbreitung ist die Nutzung von Machine Learning einer zunehmenden Bedrohung ausgesetzt [4].

2 Bedrohungen im Machine Learning

Aufgrund des breiten Anwendungsspektrums von Machine Learning ist die Technologie sehr vielen unterschiedlichen Bedrohungen ausgesetzt, die sowohl beabsichtigt als auch unbeabsichtigt zu Sicherheitsproblemen führen können.

In [5] und [6] wurden eine Taxonomie für die Bestimmung von Angriffen auf Machine Learning Modelle definiert. Dementsprechend basiert die Klassifizierung eines Angriffs auf die Eigenschaften Influence (Einfluss), Security Violation (Verletzung der Sicherheitsziele) und Specificity (Spezifität). Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick der Bedrohungskategorien mit Einordnung in die Dimensionen Taxonomie und den Phasen des Machine Learning Lebenszyklus.

Tabelle 1: Angriffsformen im Machine Learning

Angriffsform	Kurzbeschreibung	Phase im Lebenszyklus	Taxonomie
Poisoning	Böswillige Veränderungen der Trainingsdaten [7].	Training und Test	Influence
Evasion	Täuschung des Machine Learning Modells durch minimale Veränderungen der Eingabedaten [8].	Test und Deployment	Influence, Security Violation und Specificity
Inversion	Rekonstruktion der nicht sichtbaren Eingabedaten [9] sowie die Ermittlung der genutzten Trainingsdaten [10].	Deployment	Security Violation
Extraction	Über Beobachten der Einschätzungen des Modells zu den Ein- und Ausgabedaten wird dieses rekonstruiert [11].	Test und Deployment	Security Violation

Analog zu artverwandten Disziplinen wie der Hard- und Softwareentwicklung unterliegen Machine Learning

Modelle einem Lebenszyklus. Aktuell existiert kein zentral definiertes Modell. Die spezifischen Angriffe der Bedrohungskategorien richten sich gegen unterschiedliche Phasen im Lebenszyklus eines Machine Learning Modells.

Abbildung 1 zeigt einen Entwurf für ein ML-Lebenszyklus-Modell, das auf den Vorgaben von [12], [13] und [14] basiert. Zusätzlich sind den Phasen die Bedrohungskategorien zugeordnet.

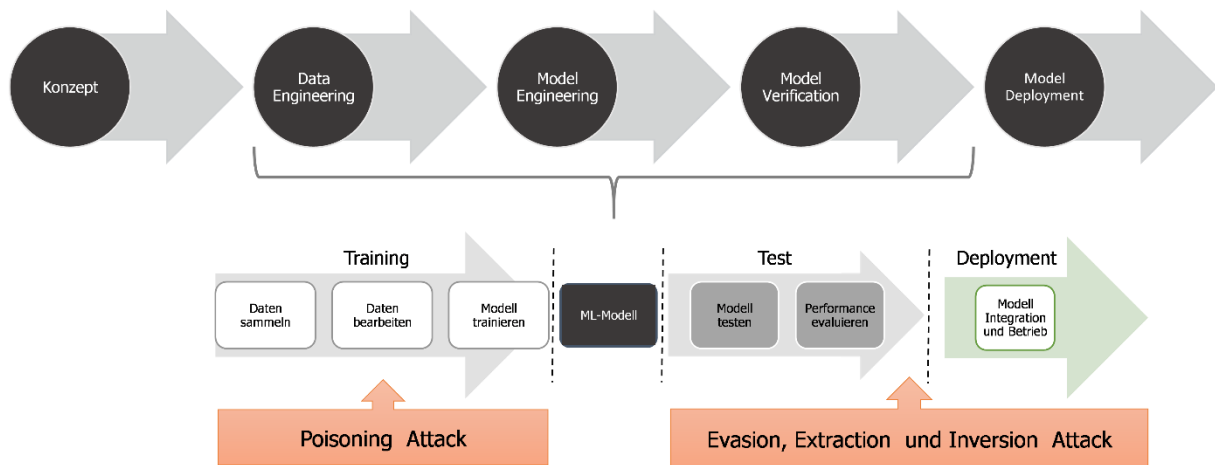


Abbildung 1: Bedrohungen für Machine Learning im Lebenszyklus vgl. [15]

3 Bedrohungsmodellierung

Sicherheitskonzepte und -modelle müssen im Rahmen eines Security by Design-Ansatz nachhaltig entwickelt und integriert werden. Im weitesten Sinn handelt es sich bei der Bedrohungsmodellierung um einen systematisch organisierten und methodisch strukturierten Prozess, der bereits im Rahmen von sicherer Software und Hardware Anwendung findet. [16]



Abbildung 2: Bedrohungen für Machine Learning im Lebenszyklus vgl. [17]

Unterschiedliche Perspektiven werden genutzt, um ein tiefes Verständnis für das Modell, den Betrieb aber auch den möglichen Angreifer zu erhalten [17]. In der *angreiferorientierten Perspektive* liegt der Fokus auf den/die möglichen Angreifer. Diese Betrachtungsweise entspricht dem natürlichsten Vorgang für die Bedrohungsmodellierung. Dabei stehen Fragen zur Motivation und zum Niveau im Mittelpunkt der Analyse. Bei dem Wissen zum Angreifer geht es vorrangig nicht um die Identifikation einer einzelnen Person, als vielmehr um die Erfassung der entsprechenden Angreifergruppe und dem daraus resultierenden Umfang, dem Können und der Motivation. Das Ergebnis der Analyse liefert weniger technischen Input für die Implementierung von Schutzmaßnahmen als vielmehr das Wissen zum weiteren Vorgehen sowie der Priorisierung von Gegenmaßnahmen. [18]

Die *wertorientierte Perspektive* bildet im Prozess die Phase zur Identifikation der zu schützenden Werte gemäß Abbildung 2 ab. Sie ist ein sehr wichtiger Einstieg in den Prozess der Bedrohungsmodellierung. Sie ist die Brücke zwischen dem Modell der Domäne und dem Erfassen der spezifischen Bedrohungen. Es werden sowohl die Anforderungen der Domäne als auch die der beteiligten Stakeholder berücksichtigt. Neben der Erfassung aller potentiellen Bedrohungen spielt die Effizienz eine wichtige Rolle. Ohne die richtigen und wichtigen Werte zu kennen, sind die nachgelagerten Phasen weniger effizient. [19]

Bei der *strukturorientierten Perspektive* wird das Machine Learning System in seine einzelnen Funktionsbereiche zerlegt und die Komponenten separat analysiert. Im Rahmen dieser Sichtweise wird das System auf eine Art und Weise modelliert, die es erlaubt, Bedrohungen bereits in der Entwurfsphase zu erfassen. In diesem Zusammenhang ist es ausreichend, dass nur die wesentlichen Komponenten modelliert werden, ohne ins Detail zu gehen. [18] Anhand der strukturorientierten Perspektive wird der iterative Charakter der Bedrohungsmodellierung deutlich. In kleinen, aufeinander abgestimmten Schritten werden die Sicherheitsvorgaben verfeinert. Die wichtigen Informationen im Rahmen der strukturorientierten Bedrohungsmodellierung sind Datenhaltung, Datenfluss und Datentransformation. Aus den genannten Bausteinen lassen sich die Vertrauensgrenzen für die Sicherheitsarchitektur ableiten. [17]

Für die strukturorientierte Bedrohungsmodellierung stehen unterschiedliche Notationen zur Auswahl. Eine Option bietet das Datenflussdiagramm (DFD). Es entstammt der Methode für die strukturierte Systemanalyse (SSA) und wurde von Gane und Sarson [20] in den 1970er Jahren entwickelt. Ein DFD ist ein Werkzeug für die Modellierung des Datenflusses. Sowohl in der klassischen Software als auch in Machine Learning Anwendungen bilden Daten den wichtigsten Baustein. Im Zusammenwirken mit den Methoden der Bedrohungsidentifikation bietet ein DFD eine sehr gute Möglichkeit Bedrohungen zu erfassen. [17]

Ein DFD zeigt den Datenfluss zwischen den Akteuren eines Systems. Dabei kann es sich um interne Komponenten oder externe Systeme handeln. Ihre Gemeinsamkeit ist die Datenverarbeitung. Die Modellierung bietet drei Hierarchiestufen für die Definition der Granularität der Modelle:

- DFD Level 0: In der ersten Hierarchiestufe werden die Datenflüsse über die Systemgrenzen hinweg beschrieben. Das Modell dieser Stufe wird als Kontextdiagramm bezeichnet [21].
- DFD Level 1: Die zweite Stufe dokumentiert die einzelnen Datenflüsse zwischen den internen und externen Systemkomponenten, die miteinander verbunden sind.
- DFD Level 2: In der dritten Stufe werden die Datenflüsse zwischen den internen und externen Systemkomponenten modelliert, die in den einzelnen Prozessschritten eines Anwendungsfalls miteinander verbunden sind.

Die modellierten Komponenten werden über die Hierarchiestufen hinweg zerlegt womit die einzelnen Datenflüsse detaillierter beschrieben werden.

3.1 Struktur des Machine Learning

Die Struktur des Lernens zeigt sich auf unterschiedliche Art und Weise. Sowohl Zeit, Raum als auch Lernform bieten Möglichkeiten für die Unterscheidung.

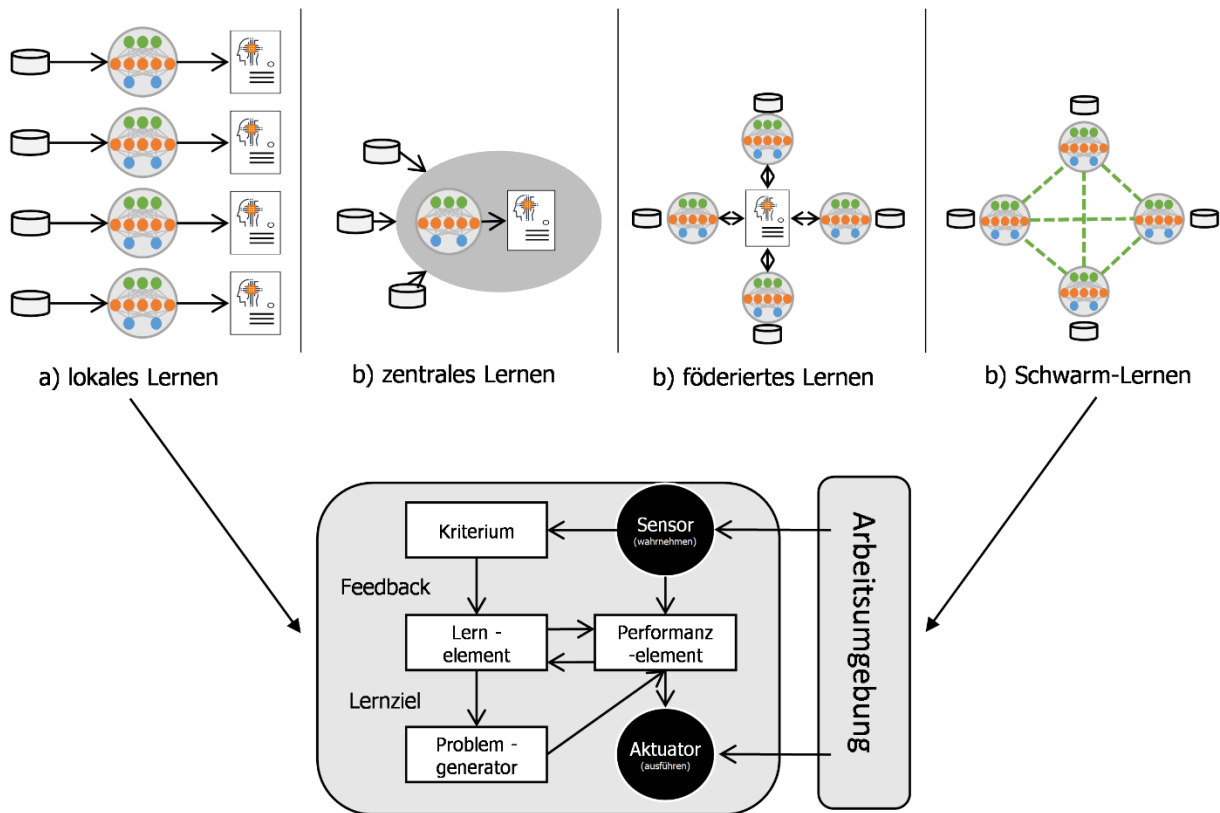


Abbildung 3: Machine Learning Struktur vgl. [22] und [23]

Abbildung 3 zeigt die hierarchische Sichtweise der Machine Learning Struktur. Die oberste Schicht bildet die Machine Learning Architektur. Die genutzte Architektur bestimmt den grundlegenden Aufbau der beteiligten Systeme und Agenten. Die zweite Schicht ist über den Aufbau des Machine Learning Agenten und seiner Arbeitsumgebung definiert. Sowohl Auswahl als auch Implementierung der Elemente des Agenten und der Komponenten der Arbeitsumgebung haben einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtsystem. Die Lernform bildet ein weiteres Strukturelement im Machine Learning. In dieser Stufe entscheiden Leistungs- und Lernelement des Agenten über das Lernproblem. Der vorhandene Feedbacktyp ist verantwortlich für das gegenwärtige Lernproblem des Agenten. Dabei spiegeln die unterschiedlichen Feedbacktypen die Lernformen wider. [22]

3.2 Strukturorientierte Bedrohungsmodellierung im Machine Learning

Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch ein DFD. Die Architektur folgt dem zentralen Lernen. Ziel ist das Erlernen einer Regressionsfunktion.

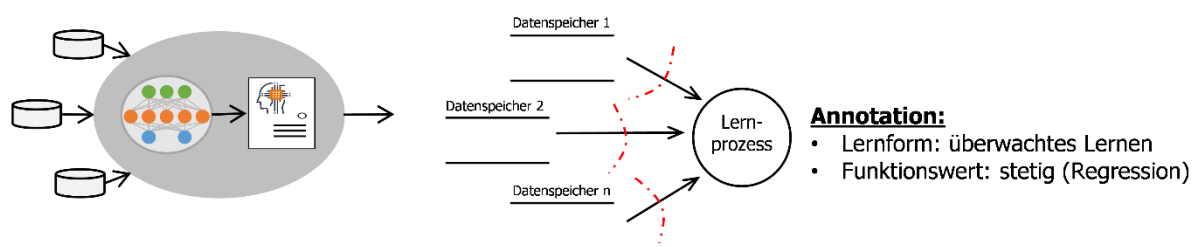


Abbildung 4: Machine Learning DFD

Über die Architektur mit den dislozierten Datenspeichern und dem zentralen Lernsystem, welches als Prozess modelliert ist, besteht in der Poisoning-Attacke ein mögliches Bedrohungsszenario. Über entsprechende Annotationen zur geplanten Umsetzung der Agentenfunktion können den DFD-Symbolen zusätzliche Informationen beigefügt werden, um über ein DFD-Modell die Struktur des maschinellen Lernens abzudecken. Im weiteren Prozessverlauf können die konkreten Gegenmaßnahmen automatisch bestimmt werden. In Anbetracht der zeitlichen Differenzierung von Bedrohungen im Lebenszyklus eines Machine Learning Modells ist es notwendig, dass die Modellierung für die unterschiedlichen Phasen durchgeführt wird, um das gesamte Bedrohungsspektrum abzudecken.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Gründe für das Durchführen einer Bedrohungsmodellierung können sehr vielfältig sein. Hauptsächliches Ziel ist die Identifizierung von möglichst allen Bedrohungen für ein System, sowie die Erfassung und Planung von entsprechenden Gegenmaßnahmen, die die Auswirkungen von Angriffen verhindern bzw. reduzieren sollen. Die Bedrohungsmodellierung ist ein Teil des Security Engineering Prozess [24]. Hier nimmt sie eine gesonderte Stellung ein. Für die Umsetzung der Bedrohungsmodellierung existieren unterschiedliche Methoden, die in [25] und [26] zusammengefasst werden.

Aufgrund der vielen Ähnlichkeiten zwischen dem Machine Learning und der Softwareentwicklung liegt es nahe, dass das vorhandene Wissen und die Methoden zur Bedrohungsmodellierung für das Machine Learning angepasst werden. Methoden zur Bedrohungsidentifikation wie STRIDE [18] oder LINDDUN [27] nutzen die strukturorientierte Perspektive. Die Methoden enthalten eine feste Zuordnung der Bedrohungsformen für die einzelnen Elemente eines DFD, um den weiteren Prozess zu automatisieren. Ein ähnliches Vorgehen kann für die Bedrohungsmodellierung im Machine Learning eingeführt werden. Dafür ist es notwendig, den DFD-Symbolen den entsprechenden Bedrohungskategorien zuzuordnen. Für eine weitere Spezifizierung der Angriffe und Gegenmaßnahmen sind zusätzliche Annotationen für die einzelnen Symbole notwendig. Diese Symbole beschreiben die weiteren Hierarchiestufen der Machine Learning Struktur. Anhand der beigefügten Informationen und einer internen Threat Intelligence ist es möglich, dass die notwendigen Gegenmaßnahmen als zusätzliche Schritte im ML-Lebenszyklus automatisiert geplant werden.

Datenverfügbarkeit

Der Beitrag basiert nicht auf Daten, bis auf die genannten Quellen im Literaturverzeichnis.

Interessenskonflikte

Der Autor bestätigt, dass zum Beitrag keine Interessenkonflikte bestehen.

Literaturverzeichnis

1. „Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme,“ Geneva, 2019.
2. J. T. F. T. Initiative, „Guide for Conducting Risk Assessments,“ Washington, D.C., 2012.
3. R. S. Michalski, J. G. Carbonell und T. M. Mitchell, *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, 1 Hrsg., Los Altos: Morgan Kaufmann, 1983.
4. M. Xue, C. Yuan, H. Wu, Y. Zhang und W. Liu, „Machine learning security: Threats, countermeasures, and evaluations,“ *IEEE Access*, Bd. 8, p. 74720–74742, 2020.
5. L. Huang, A. D. Joseph, B. Nelson, B. I. P. Rubinstein und J. D. Tygar, „Adversarial machine learning,“ in *Proceedings of the 4th ACM workshop on Security and artificial intelligence*, 2011.
6. M. Barreno, B. Nelson, R. Sears, A. D. Joseph und J. D. Tygar, „Can Machine Learning Be Secure?,“ in *Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Information, computer and communications security*, Taiwan, 2006.
7. B. Biggio, B. Nelson und P. Laskov, „Poisoning Attacks against Support Vector Machines,“ in *29th International Conference on Machine Learning (ICML 2012)*, Edinburgh, 2012.
8. B. Nelson, M. Barreno, F. J. Chi, A. D. Joseph, B. I. P. Rubinstein, U. Saini, C. Sutton, J. D. Tygar und K. Xia, „Exploiting machine learning to subvert your spam filter.,“ *LEET*, Bd. 8, p. 16–17, 2008.
9. M. Fredrikson, S. Jha und T. Ristenpart, „Model inversion attacks that exploit confidence information and basic countermeasures,“ in *Proceedings of the 22nd ACM SIGSAC conference on computer and communications security*, 2015.
10. R. Shokri, M. Stronati, C. Song und V. Shmatikov, „Membership inference attacks against machine learning models,“ in *2017 IEEE symposium on security and privacy (SP)*, 2017.
11. F. Tramèr, F. Zhang, A. Juels, M. K. Reiter und T. Ristenpart, „Stealing Machine Learning Models via Prediction {APIs},“ in *25th USENIX security symposium (USENIX Security 16)*, 2016.
12. R. Ashmore, R. Calinescu und C. Paterson, „Assuring the machine learning lifecycle: Desiderata, methods, and challenges,“ *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Bd. 54, p. 1–39, 2021.
13. R. Garcia, V. Sreekanti, N. Yadwadkar, D. Crankshaw, J. E. Gonzalez und J. M. Hellerstein, „Context: The missing piece in the machine learning lifecycle,“ in *KDD CMI Workshop*, 2018.
14. R. Souza, L. Azevedo, V. Lourenço, E. Soares, R. Thiago, R. Brandão, D. Civitarese, E. Brazil, M. Moreno, P. Valduriez, M. Mattoso, R. Cerqueira und M. A. S. Netto, „Provenance Data in the Machine Learning Lifecycle in Computational Science and Engineering,“ in *2019 IEEE/ACM Workflows in Support of Large-Scale Science (WORKS)*, 2019.
15. Q. Liu, P. Li, W. Zhao, W. Cai, S. Yu und V. C. M. Leung, „A survey on security threats and defensive techniques of machine learning: A data driven view,“ *IEEE access*, Bd. 6, p. 12103–12117, 2018.
16. A. Selzer, H. Schöning, M. Laabs, S. Dukanovic und T. Henkel, *IT-Sicherheit in Industrie 4.0 - Mit Bedrohungen und Risiken umgehen*, 1 Hrsg., Stuttgart: Kohlhammer Verlag, 2020.
17. S. Paulus, *Basiswissen Sichere Software - Aus- und Weiterbildung zum ISSECO Certified Professionell for Secure Software Engineering*, 1 Hrsg., Heidelberg: dpunkt.verlag, 2012.
18. A. Shostack, *Threat Modeling - Designing for Security*, New York: John Wiley & Sons, 2014.
19. N. Messe, V. Chiprianov, N. Belloir, J. El-Hachem, R. Fleurquin und S. Sadou, „Asset-Oriented Threat Modeling,“ in *2020 IEEE 19th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, 2020.
20. C. Gane und T. Sarson, *Structured Systems Analysis - Tools and Techniques*, 1 Hrsg., New York: Prentice-Hall, 1979.

21. R. Ibrahim und S. Y. Yen, "An automatic tool for checking consistency between Data Flow Diagrams (DFDs)," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Bd. 69, p. 2010, 2010.
22. S. J. Russell und P. Norvig, *Artificial Intelligence - A Modern Approach*, 3 Hrsg., London: Prentice Hall, 2010.
23. S. Warnat-Herresthal, H. Schultze, K. L. Shastry, S. Manamohan, S. Mukherjee, V. Garg, R. Sarveswara, K. Händler, P. Pickkers, N. A. Aziz und others, "Swarm learning for decentralized and confidential clinical machine learning," *Nature*, Bd. 594, p. 265-270, 2021.
24. "Information technology - Security techniques - Systems Security Engineering - Capability Maturity Model," Geneva, 2008.
25. K. Tuma, G. Calikli und R. Scandariato, "Threat analysis of software systems: A systematic literature review," *Journal of Systems and Software*, Bd. 144, pp. 275-294, 2018.
26. W. Xiong und R. Lagerström, „Threat modeling – A systematic literature review,“ *Computers & Security*, Bd. 84, pp. 53-69, 2019.
27. M. Deng, K. Wuyts, R. Scandariato, B. Preneel und W. Joosen, „A privacy threat analysis framework: supporting the elicitation and fulfillment of privacy requirements,“ *Requirements Engineering*, Bd. 16, p. 3–32, 2011.

Schwingungsbasierte Schadensdetektion an Eisenbahnradreifen

Robin Pianowski^{1*} Robert Kamenzky¹ und Peter Blaschke¹

¹ Technische Hochschule Wildau

* Korrespondenz: robin.pianowski@th-wildau.de

Kurzfassung. Die Verkehrswende bedingt einen Ausbau des Schienen-Personenverkehrs. Eine in situ Schadenserkenkung während des Betriebs kann einen Beitrag zur Kapazitätserhöhung und Sicherheit im Schienenverkehr liefern. Im Vortrag werden Forschungen bezüglich einer schwingungsbasierten, zerstörungsfreien Methode zur Detektion von Radreifenschäden vorgestellt. Über eine Transferpfadanalyse wird auf den Körperschall jedes Rades während der Überfahrt rückberechnet. Mit dem synthetisierten Körperschall wird mittels des akustischen Resonanztests die Schadensidentifikation durchgeführt.

1. Einleitung

Radreifen von Schienenfahrzeugen weisen im Betrieb verschiedene Fehlstellen auf, die den reibungslosen Betrieb stören oder zu einem Fahrzeugausfall führen können.

Das Maschinendynamiklabor der TH Wildau forscht zum Thema der prädiktiven Schadenserkenkung an Radreifen, die während der Überfahrt des Schienenfahrzeugs über eine Messstelle erfolgt. Als grundlegende Methode dient der Akustische-Resonanztest (ART), umgangssprachlich Klangprobe. Die Klangprobe ist als subjektives Prüfverfahren in der Industrie verbreitet, in dem Werkstücke von einem Prüfer angeschlagen und abgehört werden. Anhand des Klangs des Werkstücks kann ein erfahrener Prüfer auf den Zustand schließen [1].

Im wissenschaftlichen Sinne lässt sich daraus schlussfolgern, dass die modalen Eigenschaften von intakten und schadhaften Bauteilen voneinander abweichen. Der spektrale Unterschied lässt eine Aussage zum Zustand des betrachteten Werkstücks zu [1].

Im Normalfall werden die Bauteile bei der ART frei aufgehängt, um die Schwingantwort zu erfassen. Das Team der TH Wildau verwendet die Transferpfadanalyse und -synthese, um das Körperschallsignal des Radreifens bei Überfahrt aus dem Signal der Schiene zu extrahieren.

2. Radreifen Aufnahmevorrichtung

Für reproduzierbare Labor- und Feldversuche wurde eine eigens entwickelte Aufnahmevorrichtung für Straßenbahn-Radreifen im Labor konstruiert und gefertigt. Die Aufnahmevorrichtung ist modular gestaltet und kann für Versuche auf Normal- und Meterspur verwendet werden. Es können Radreifen mit verschiedenen Durchmessern eingespannt und aufgrund der rotatorisch gelagerten Welle auf der Schiene bewegt werden.

Die Aufnahme eines Radreifens erfolgt über eine radiale Einspannung von der Innenseite. Ein vierarmiger Stern mit Auslegern wird an den Innendurchmesser des Radreifens angepasst. Die Einspannung folgt kraftschlüssig durch acht Schubhebelspanner. Der Kontakt zum Radreifen erfolgt zwecks einer Entkopplung über Gummipuffer.

Die Radreifenaufnahme wird mit einer Welle und zwei Stehlagern am Grundgestell befestigt. Das Grundgestell ist aus Aluminium-Strangpressprofilen verschraubt und mit zwei Bockrollen versehen. Die Bockrollen besitzen ein Gummiprofil. Dies sichert bei akustischen Messungen zum einen, dass nur der Schallbeitrag der Radreifen gemessen wird und zum anderen eine Entkopplung von Grundgestell und Schiene.



Abbildung 1 links und Mitte: Vorrichtung zur Radreifenaufnahme mit gummigepufferten Schubstangenspannern. Ermöglicht Rotation und Verfahren auf der Schiene.; rechts: Grundgestell mit montierter Radreifenaufnahme. Überfahrt einer einzelnen Schiene oder Gleis in Normal- oder Meterspur durch spurgehaltene Bockrollen möglich

3. Transferpfadanalyse (TPA) und -synthese (TPS)

Die TPA/TPS ist ein zweistufiger Prozess. In der Transferpfadanalyse wird das schwingfähige System auf dessen Übertragungseigenschaften von einem definiertem Punkt A zu Punkt B analysiert. Hierbei werden Transferpfade mit zugehörigen Übertragungsfunktionen gebildet. Die Funktionen werden darauffolgend an einem Versuchsaufbau gemessen. Anschließend werden die Übertragungsfunktionen zu Transferpfaden zusammengesetzt. Es kann mit einem Input-Signal aus Punkt A mittels Transferpfadsynthese ein Output-Signal im Punkt B synthetisiert werden.

Im Projekt wird zunächst ein Proof of Concept zur Transferpfadanalyse und -synthese durchgeführt. Hierbei soll aus einem Beschleunigungssignal aus der Schiene, aufgenommen mit einem Piezo-Beschleunigungssensor, das Gesamtschallspektrum der Überfahrt eines Radreifens über die Schiene synthetisiert werden.

Für den Versuch wurde die entwickelte Radreifenaufnahme und eine zwei Meter lange S49 Schiene verwendet. Der Aufbau und die Messungen wurden im Halbfreifeldraum des Maschinendynamiklabors durchgeführt. Nach der Messung der Übertragungsfunktionen können diese zu oben erklärtem Modell zusammengesetzt werden. Es ist jetzt möglich, dass Überfahrtgeräusch des Radreifens aus dem Schwingungssignal der Schiene zu synthetisieren.

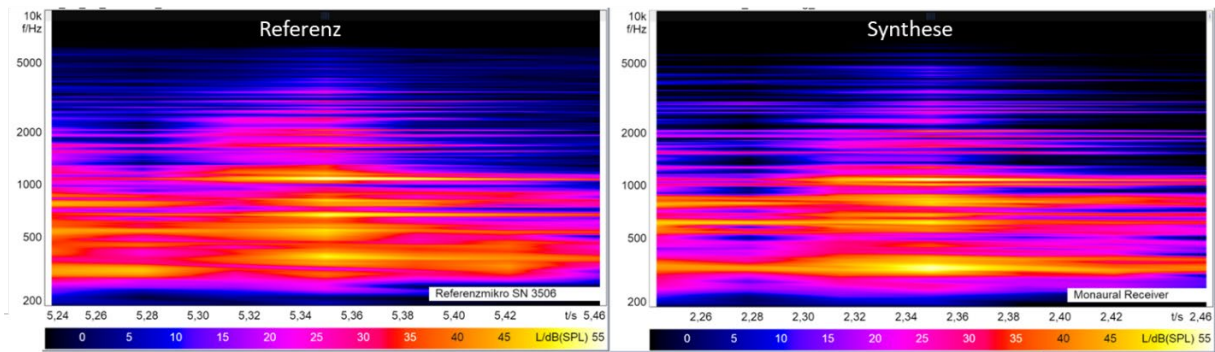


Abbildung 2 Spektraler Vergleich der synthetisierten Schienenüberfahrt des Radreifens gegenüber einer Referenz-Mikrofonmessung

Ein Vergleich zwischen Synthesesignal und einer Mikrofon-Referenzmessung ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Summenschallpegel der Synthese und des Referenzsignals weichen weniger als einen dB voneinander ab. Die Übertragungsfunktionen mussten manuell nachbearbeitet werden, um dieses Ergebnis zu erreichen.

Im Spektralen Vergleich zeigen sich jedoch Unterschiede. Im Bereich von 600 Hz bis 1400 Hz herrscht eine hinreichende Übereinstimmung zwischen Referenz und Synthese. Im darunterliegenden Frequenzbereich, besonders bei 500 Hz, fehlen jedoch Frequenzbestandteile in der Synthese.

Für den Proof of Concept zur Adaptierung der TPA/TPS an eine Radreifenüberfahrt sind die Ergebnisse vielversprechend. Mit dem Ziel der späteren Rückrechnung auf das Körperschallsignal des Radreifens ist eine spektrale Abweichung zwischen Referenz und Synthese suboptimal. Die Schadenserkennung basiert auf der Untersuchung des Frequenzspektrums, welches präzise aus der Überfahrt extrahiert werden muss.

Als nächster Schritt wird im Halbfreifeldraum ein realitätsnaher Gleisaufbau von vier Metern Länge aufgebaut. Dieser enthält ein Gleis mit einem Gewicht von 25 Kg pro Meter sowie Holzschwellen und den Oberbau K. Bei der TPA und TPS wird in folgenden Versuchen die Bildung der Übertragungsfunktionen priorisiert. Übergeordnet ist die Reduzierung der spektralen Abweichung zwischen Referenz und Synthese.

4. Schadenserkennung

In der Schadenserkennung an Radreifen sollen Fehlstellen anhand spektraler Unterschiede zu Gutteilen identifiziert werden. Hierfür werden die Parameter Eigenfrequenz, Dämpfung und Amplitude herangezogen. Weiterhin wird eine Modenkopplung der Schäden untersucht.

Zu jeder Eigenfrequenz existiert eine dedizierte Schwingform. Es soll untersucht werden, ob eine definierte Schädigung einen Einfluss auf eine bestimmte Schwingform oder ihre höheren Ordnungen hat. Ziel ist eine Eingrenzung der Schadensart anhand der beeinflussten Eigenfrequenz und Schwingform.

Zur Untersuchung der modalen Eigenschaften werden experimentelle Modalanalysen an zwei Arten von Radreifen der Straßenbahn durchgeführt. Untersucht wurden drei Radreifen eines Typs A und zwei Radreifen eines Typs B. Die Radreifentypen unterscheiden sich in der Geometrie und alle Testobjekte sind gebraucht. Die Radreifen werden an einer Traverse mit einem Riemen aufgehängt, um eine möglichst Frei-Frei Lagerung zu erhalten. Die Kraftanregung erfolgt auf der Lauffläche. Die Schwingantwort der Radreifen wird mit einem 3D Laser-Doppler-Vibrometer aufgenommen. Parallel zu der experimentellen Modalanalyse werden die Radreifen numerisch mit der FEM untersucht.

Die Messergebnisse und die Simulationsergebnisse zeigen identische Schwingformen innerhalb einer Gruppe und ähnliche Formen zwischen den Radreifengruppen A und B. Hieraus ist ableitbar, dass die Schwingform durch die Ringförmigkeit der Radreifen dominiert wird. Die Schwingformen können nach dem Schema der chladnischen Klangfiguren nach Knotenlinien und Knotenringen eingeteilt und benannt werden.

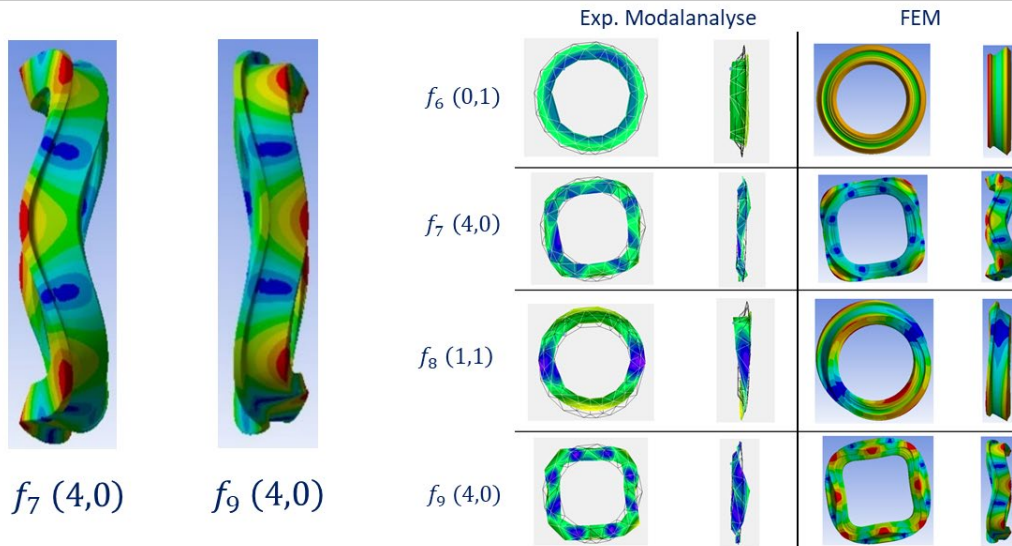


Abbildung 3 rechts: Beispielhafte Schwingformen der Radreifen (Typ A) aus der FEM Modalanalyse. Einteilung der Schwingformen nach chladnischen Klangfiguren in Knotenlinien und Knotenringe. Links: Unterschied der zwei Arten von Biegeschwingungen mit ausschließlich Knotenlinien am Beispiel der Moden f_7 und f_9 . Maxima der Beschleunigung am Spurkranz (f_7) und an der Lauffläche (f_9)

Bei Betrachtung der Abbildung 3 zeigen sich zwei ähnliche Modenformen f_7 und f_9 , die vier Knotenlinien und keine Knotenringe aufweisen. Die Geometrie der Radreifen ist radial symmetrisch, jedoch nicht axial. Daher prägen sich zwei Arten von Biegemoden mit ausschließlich Knotenlinien aus. Die Maxima der Schwingform liegen bei der f_7 am Spurkranz. In der f_9 liegen die Maxima auf der Lauffläche. Demnach lassen sich diese Biegemodengruppen als laufflächen- und spurkranzseitig definieren.

In Abbildung 4 ist die Abweichung der Eigenfrequenzen von zwei Radreifen des Typs B dargestellt. Die horizontale Achse stellt die identifizierten Modenformen dar. Auf der vertikalen Achse sind die prozentualen Abweichungen der Eigenfrequenzen aufgetragen.

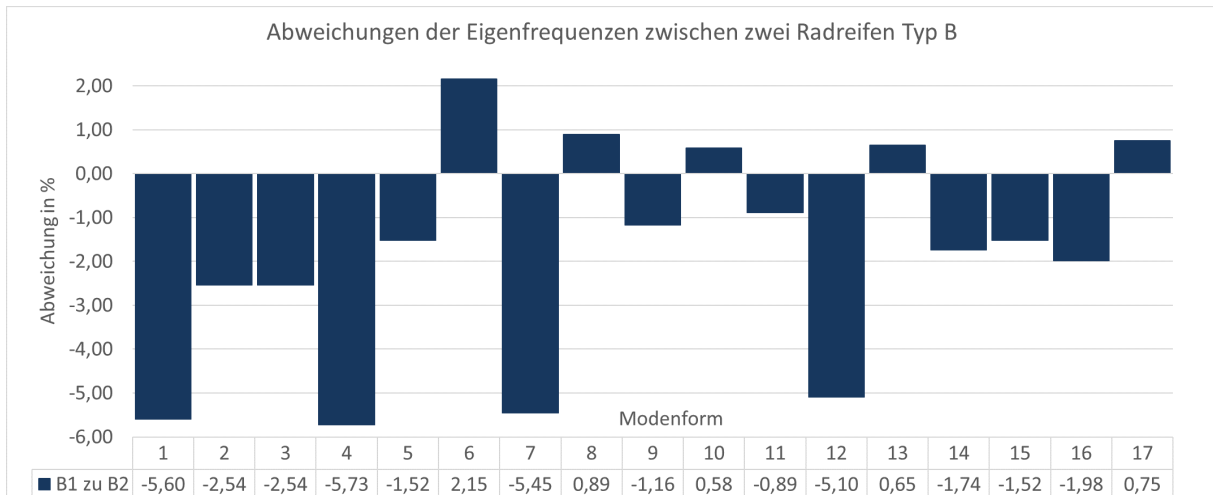


Abbildung 4 Prozentuale Abweichung der Eigenfrequenzen von zwei verschlissenen Radreifen des Typ B. auffällige Abweichung bei f_1 , f_4 , f_7 , f_{12}

Die Abweichung zwischen den beiden Radreifen pendeln zwischen $\pm 2\%$. Deutliche Ausreißer existieren bei den Moden f_1 , f_4 , f_7 und f_{12} . Hier liegt die Abweichung bei über 5%.

Bei Betrachtung der Moden mit hoher Abweichung lässt sich feststellen, dass diese zur gleichen Gruppe von Schwingungsmoden gehören. Alle vier weisen ausschließlich Knotenlinien auf und haben ihre Maxima am Spurkranz, wie in Abbildung 5 dargestellt.

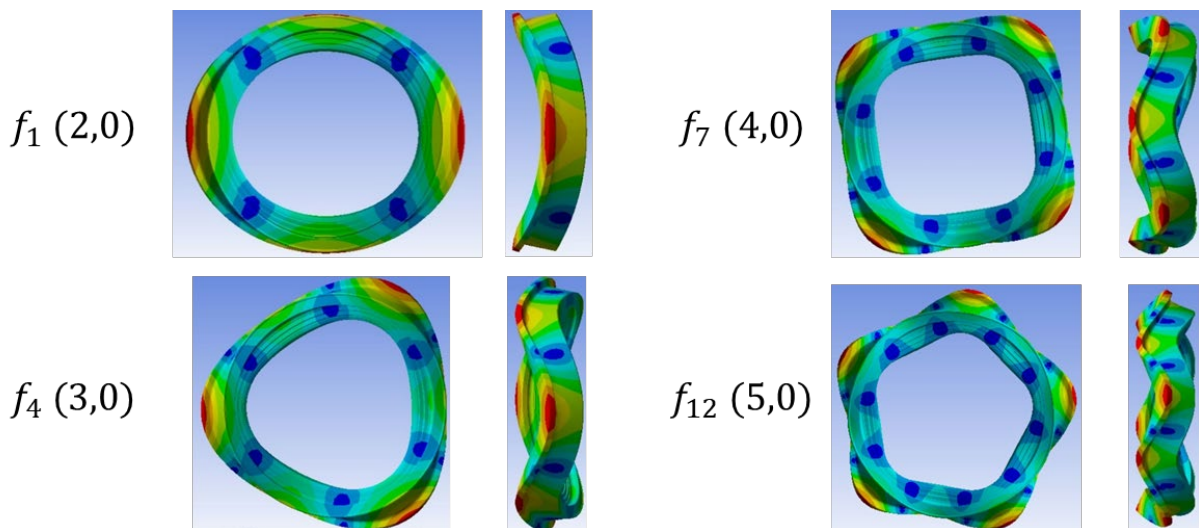


Abbildung 5 Modenformen f_1 , f_4 , f_7 und f_{12} mit hohen Abweichungen der Eigenfrequenz zweier Radreifen Typ B gehören alle zur Gruppe der Moden mit ausschließlich Knotenlinien und Maxima auf dem Spurkranz

Dies lässt die Vermutung zu, dass einer der Radreifen einen Defekt oder einen Verschleiß am Spurkranz aufweist. Eine geometrische Änderung, wie bspw. ein durch mechanischen Abrieb schmalere Spurkranz ist denkbar.

In folgenden Untersuchungen werden die beiden Radreifen präzise geometrisch vermessen. Des Weiteren wird eine Prüfung auf äußerliche und innerliche Schäden durchgeführt. Die weiteren Parameter Amplitude und Dämpfung werden mit einbezogen.

Im Verlauf der Forschung wird ebenfalls der Einfluss der Aufnahmevorrichtung untersucht. Die experimentellen Modalanalysen wurden Frei-Frei durchgeführt. Dabei können Abweichungen in den Eigenfrequenzen festgestellt werden. In Zukunft werden weitere Modalanalysen vollzogen. Der Radreifen wird im eingespannten Zustand in der Vorrichtung untersucht und eingespannt auf der Schiene stehend. Dies wird eine Erkenntnis liefern, ob die modalen Unterschiede im eingespannten Zustand und mit Kontakt zur Schiene detektiert werden können.

Ebenfalls sind A/B Vergleiche zwischen neuen Radreifen und definiert geschädigten Radreifen geplant, um die Charakteristika von Schäden zu ergründen. Parallel wird ein digitaler Zwilling eines neuen Radreifens gebildet. Mit diesem lassen sich Schäden numerisch in der FEM-Modalanalyse simulieren und ihre Auswirkungen approximieren.

Datenverfügbarkeit

Die der Veröffentlichung zugrundeliegenden Daten können auf Anfrage herausgegeben werden.

Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Förderung

Das Forschungsvorhaben wird durch Drittmittel des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) gefördert.

Literaturverzeichnis

1. Hertlin, Ingolf (2003): „Riss- und Gefügeprüfung mit akustischer Resonanzanalyse im Schall- und Ultraschallbereich für Kfz-Sicherheitsteile“. DGZfP-Jahrestagung 2003
URL: <https://www.ndt.net/article/dgzfp03/papers/v18/v18.htm> [23.05.2022]

Low-cost Pipettierroboter auf Basis einer Portalfräse

Mike Hauschultz^{1*}; Maria Friedo¹; Hannes Jacobs¹; Mohammad Lafta¹; Andreas Engels¹ und Andreas H. Foitzik¹

¹ Technische Hochschule Wildau

* Korrespondenz: mike.hauschultz@th-wildau.de

Kurzfassung. Zur Herstellung von langfristig stabilen Metall-Kautschuk-Verbunden sind chemische Haftvermittler notwendig. Nach Auftrag dieser wird Kautschuk mittels Gummispritzgießen auf die metallischen Grundkörper aufgebracht. In Klein- und Kleinstserien kann der Haftvermittler in präzisen Volumina händisch mit Hilfe eines Fluid-Dispensers aufgetragen werden. Allerdings verhindert dies eine Homogenität und Gleichheit der Schichtdicke, wodurch die Zuverlässigkeit und Stärke der Haftung variieren können. Als technische Lösung wurde ein Pipettierroboter avisiert. Mit Hilfe mehrerer mechanischer und elektrischer Adaptionen – so auch einer neuen Steuerungstechnik – wurden verschiedene Fluid-Dispenser auf 3-Achs-Portalfräsen integriert. Somit konnte die volle Funktionsfähigkeit erreicht werden.

1. Einleitung

Feste Verbunde zwischen Kautschuk und Aluminium finden sich u.a. in der Automobilindustrie, bei der sowohl die Stabilität als auch Dichtheit im Vordergrund stehen. Zu diesem Zweck werden spezielle Haftvermittler verwendet, die derzeit für Kleinserien per Hand mittels Fluid-Dispenser auf die metallischen Grundkörper aufgetragen und anschließend getrocknet werden. Dadurch kann der aufgespritzte Gummi sich besser mit dem metallischen Grundkörper verbinden, um die u.U. sicherheitsrelevanten Bauteile ausfallsicher zusammenzuführen.

In einem Kooperationsprojekt mit der Firma „Motzener Gummi- und Kunststoffverarbeitung GmbH“ sollte zur Entlastung von Arbeitskräften und Prozessoptimierung ein Robotersystem entwickelt werden, mit dem ein automatisierter Auftrag von Haftvermittlern möglich ist. Dieser Prozess soll die nötige menschliche Zuarbeit reduzieren, wodurch Arbeitskräfte für andere Tätigkeiten freigestellt werden können. Solche Dosierroboter müssen auf den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden. Diese Anpassung muss in Hardware und Software erfolgen, weshalb sich innerhalb dieses Projektes für eine Steuerung durch die Open Source-3D-Drucker-Firmware Marlin entschieden wurde.

2. Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Abschnitt werden die für die Arbeit notwendigen theoretischen Grundlagen beschrieben. Dabei wird die Funktionsweise von Spritzenpumpen und Dosiergeräten erklärt.

2.1 Spritzenpumpen

Spritzenpumpen in der Medizintechnik werden in der Regel zur dauerhaften und genauen Dosierung von kleinen Medikamentenmengen verwendet. So kann das Risiko für den Patienten reduziert werden, indem die Konzentration im Blut auf einem Niveau bleibt. Die Wirkung von Medikamenten, die sich sonst zu schnell zersetzen würden, kann so sichergestellt werden [cf. 1: 452].

Spritzenpumpen werden für die gezielte und reproduzierbare Dosierung von Fluiden verwendet. Prinzipiell treibt dabei ein Schrittmotor eine oder mehrere Gewindestangen oder Spindeln an, um eine Plattform zu bewegen (Abbildung 1 a). Diese sorgt für einen Vorschub des Spritzenkolbens. Die Genauigkeit der Extrusion ist somit von folgenden Faktoren abhängig: Spritzenvolumen, Ganghöhe des Gewindes, Schrittweite des Motors und ggf. von einer Übersetzung [cf. 2].

2.2 Pneumatische Dosiergeräte

Den Spritzenpumpen gegenüber stehen pneumatische Dosiergeräte. Durch ein kurzzeitiges Anlegen von Druckluft wird ein Überdruck im Flüssigkeitsbehältnis erzeugt, infolgedessen der Druck durch die Abgabe von Flüssigkeit durch die Düse abgebaut wird. Da das hinzugeführte Luftvolumen nicht unbedingt dem gleichen Volumen entspricht, das an Flüssigkeit abgegeben werden soll, kann der Überdruck auch durch ein Ventil am oberen Ende abgelassen werden. Abhängig von der Größe der Düse kann auch mit einem Vakuum gearbeitet werden, um ein unerwünschtes, gravitatives Abtropfen von Flüssigkeit zu verhindern. Bei kleineren Düsendurchmessern ($\varnothing \approx 100 \mu\text{m}$) findet keine Tropfenbildung allein durch Gravitation statt [cf. 3].

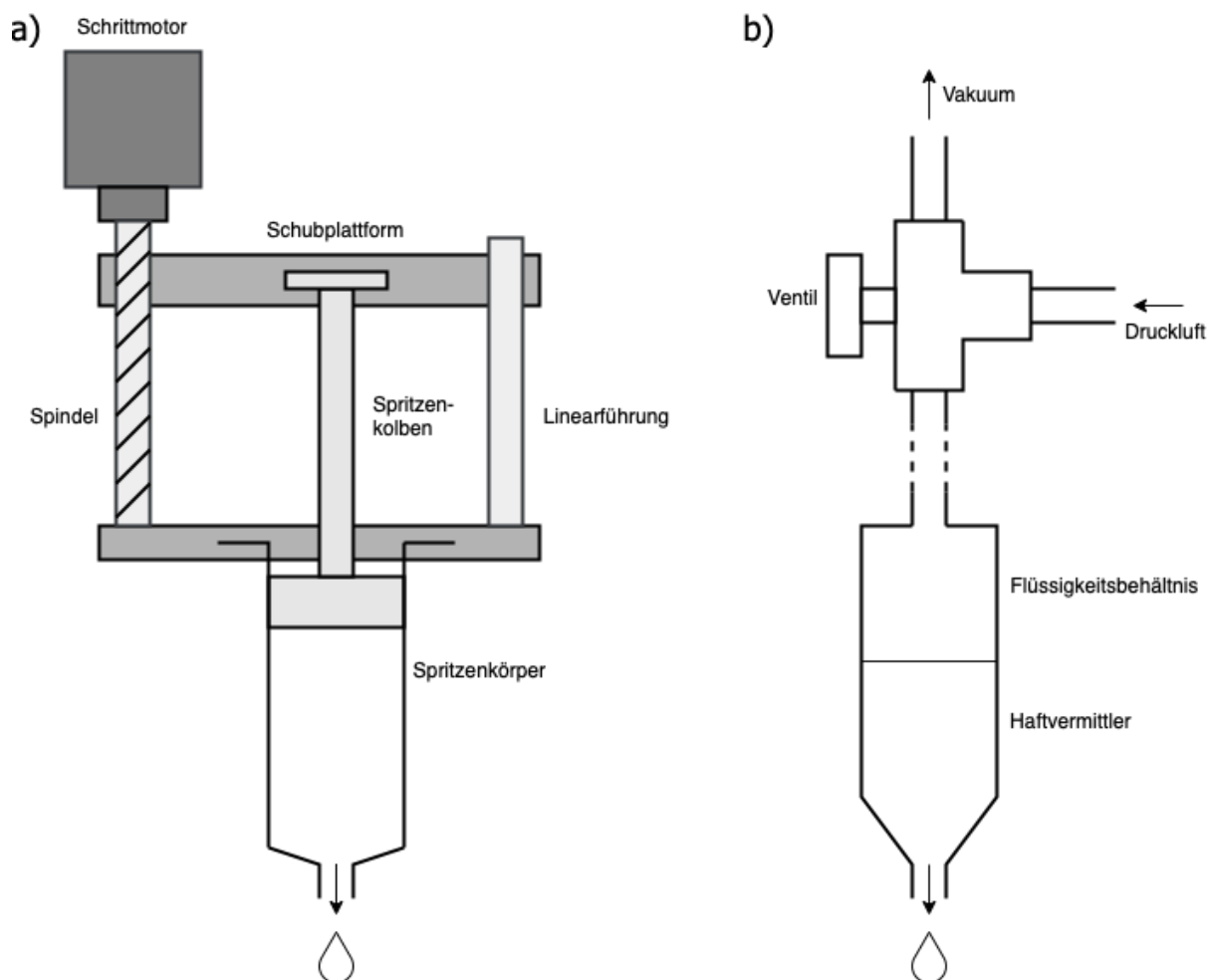


Abbildung 1: Extrusionssysteme: a) Spritzenpumpe, b) pneumatisches Dosiergerät (eigene Abbildungen)

3. Methoden

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Methoden für den Aufbau und die Herstellung der vollen Funktionsfähigkeit nötig waren. Dabei wird zunächst auf das Design eingegangen, bevor die Validierung erläutert wird.

3.1 Design von Systemkomponenten mittels Computer-Aided Design (CAD)

Diverse Systemkomponenten wurden mit der CAD-Software SolidWorks konstruiert. Dazu zählen neben der Spritzenpumpe auch Halterungen für Extrusionssysteme, Displays und Proben. Die Maße wurden dabei von frei verfügbaren Konstruktionsskizzen oder mit Hilfe von Messschiebern bestimmt. Neben der Übersetzung der Spritzenpumpe war zu beachten, dass ausreichend Platz für die Proben vorhanden ist und sowohl Extruder als auch Proben fest fixiert werden können. Dadurch soll erreicht werden, dass immer eine reproduzierbare Prozessabfolge ermöglicht wird.

3.2 Validierung der Verfahrengenauigkeit

Eine wichtige Bedingung für eine reproduzierbare Benetzung von metallischen Grundkörpern ist u.a. die Verfahrengenauigkeit. Nur so kann sichergestellt werden, dass immer die exakt gleichen Punkte angefahren werden. Ein Parameter der Verfahrengenauigkeit besteht in der Genauigkeit des Homing-Prozesses. Es wurde sich dabei für die Option des „Sensorless Homing“ entschieden, die von der 3D-Druck-Firmware Marlin bereitgestellt wird. Dabei steigt durch das Anfahren einer Begrenzung der nötige Kraftaufwand für den Motor, wodurch die Stromaufnahme steigt. Dieses Signal wird detektiert. Um die Reproduzierbarkeit der Nullpunktbestimmung und der Fahrwege zu validieren, wurde 50-mal in Folge ein Homing-Prozess durchgeführt. Im Anschluss wurde jeweils in die Mitte der Grundfläche gefahren und mit einer am Extruder befestigten Kanüle (\varnothing 0,8 x 40 mm) in ein eingespanntes Blatt Papier gestochen.

3.3 Test des Gesamtsystems

Zum Test des Gesamtsystems wurde mit Hilfe eines Python-Scripts G-Code generiert (siehe Tagungsbeitrag von M. Friedo: „Steuerungstechnik für das Auftragen von fluiden Haftvermittlern“). Dieser sollte die metallischen Grundkörper an allen Positionen anfahren und dabei während einer Kreisbewegung mehrfach Flüssigkeit abgeben. Beim Anfahren der nächsten Reihe wurde die Flüssigkeit verstrichen.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die im Verlauf der Arbeit gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

4.1 Extrusionssysteme

Wie sich beim Testen zeigte, haben beide Extrusionssysteme Vor- und Nachteile in der Anwendung. Dadurch, dass die Spritzenpumpe mit einem Schrittmotor angetrieben wird, können Flüssigkeiten nicht nur präzise abgegeben sondern auch aufgenommen werden (Abbildung 2). Geringe Abweichungen von unter 0,5 μL sind durch die vergleichbar hohe Größe der durch Schwerkraft abgelösten Tropfen zu erklären ($3,750 \mu\text{L} \pm 0,054 \mu\text{L}$). Außerdem können auch Volumina im laufenden Programm verändert werden. Dies erlaubt nicht nur eine Benetzung von Grundkörpern sondern auch die praktische Durchführung einfacher Pipettivorgänge. Deshalb wurde außerdem eine Fixierung für ein Reaktionsgefäß-Rack gefertigt.

Das pneumatische Dosiergerät bietet den Vorteil einer schnelleren Extrusion und eines geringeren Gewichts an der beweglichen z-Achse. Dadurch sind schnellere Abläufe möglich, weshalb sich entschieden wurde diesen Extruder im Gesamtsystem zu untersuchen.

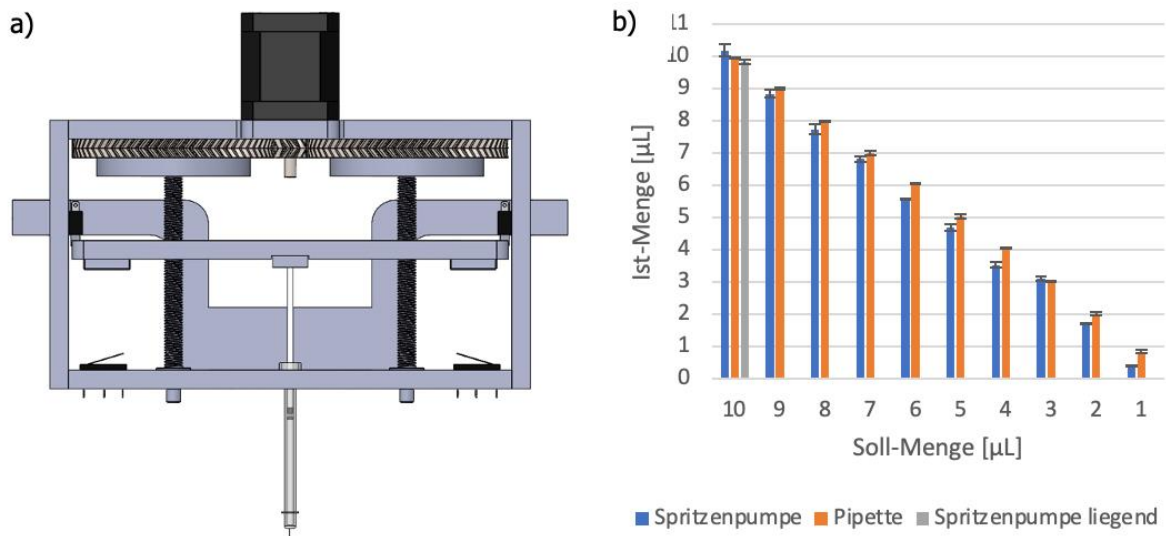


Abbildung 2: a) Spritzenpumpe in letzter Designrevision mit Übersetzung 11:65, 0.9° Schrittmotor und 300 µL Spritze; Spritze wechselbar (Abbildung erstellt mit SolidWorks), b) abgegebene Flüssigkeitsmenge im Vgl. zu Labor

4.2 Gesamtsystem

Für den erzielten Anwendungsfall der Benetzung von metallischen Grundkörpern bietet sich das System mit pneumatischem Dosiergerät eher an, da es schnellere Abläufe ermöglicht. Daher wurde dieses System weiter untersucht. Trotzdem wurden beide Systeme testweise umgesetzt (Abbildung 3). Bei der Validierung der Verfahrengenauigkeit wurde 50-mal in Folge in dieselbe Einstichstelle getroffen. Entsprechend wurde eine sehr hohe Verfah- und Homing-Reproduzierbarkeit erreicht. Im Test des Gesamtsystems konnte erfolgreich mit einem Python-Script G-Code erstellt werden, der im Anschluss für die Benetzung aller Teile bei einer kreisförmigen Bewegung verwendet werden konnte. Die Flüssigkeit auf der jeweils zurückliegenden Reihe wurde mit einer Verstreichvorrichtung erfolgreich verteilt.

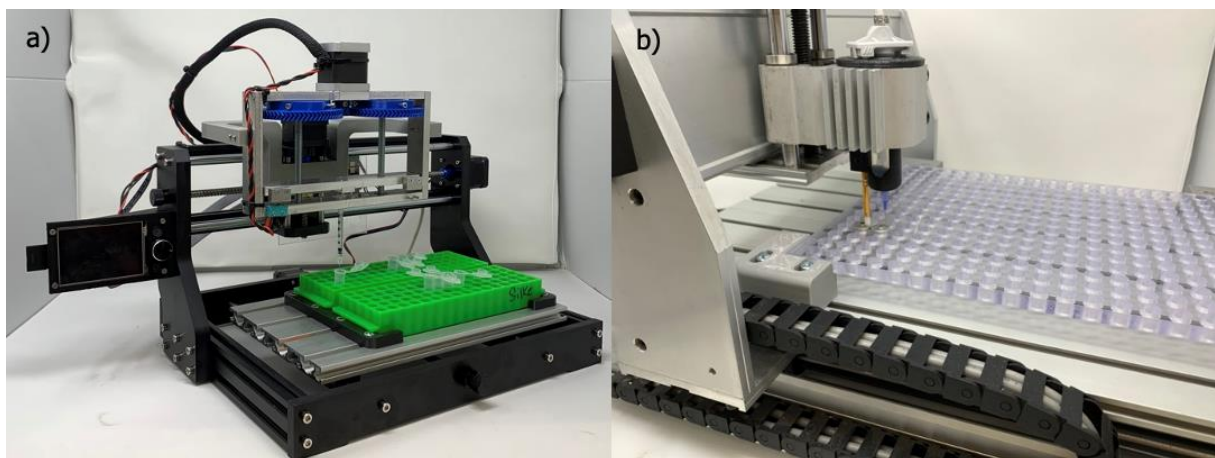


Abbildung 3: Gesamtsysteme, a) Aufbau mit Spritzenpumpe für die Durchführung einfacher Pipettierprotokolle, b) Aufbau mit pneumatischem Dosiergerät für Haftvermittlerbenetzung von Aluminium-Grundkörpern, mit zusätzlicher Verstreichvorrichtung für eine gleichmäßige Benetzung

5. Ausblick

In nachfolgenden Projekten könnte ein vom Spritzenpumpensystem abgeleiteter Aufbau entstehen. Dieses Konstrukt kann durch seine Übersetzung Proben mit unterschiedlichen Viskositäten abgeben. Entsprechend könnte ein solches System zum Auftrag von Wärmeleitpaste verwendet werden. Darüber hinaus sollte evaluiert werden, ob der Pipettierroboter mit Spritzenpumpe für die Abarbeitung einfacher Pipettierprotokolle geeignet ist.

Durch die geschaffene Grundlage einer gleichmäßigen Haftvermittlerbenetzung könnte in einem Folgeprojekt die daraus resultierende Qualität der Verbindung zwischen metallischem Grundkörper und aufgespritztem Gummi evaluiert werden. Dazu sollte die Abreißfestigkeit getestet werden.

Datenverfügbarkeit

Die Autor*innen bestätigen, dass die den Ergebnisse der Studie zugrunde liegenden Daten in diesem Artikel zur Verfügung stehen. Die Rohdaten wurden an der Technischen Hochschule Wildau erstellt. Abgeleitete Daten sind auf Anfrage beim Korrespondenz-Autor (M Hauschultz) verfügbar.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen bestätigen, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Engeln, Christian et al. (2017): „Anästhesie-Arbeitsplatz“. In: Kramme, Rüdiger (eds.) (2017): Medizin-technik, Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung. Berlin, Springer Verlag: 445–465.
2. Chemyx Technical Support Team (15.04.2022): Syringe Pump Design. www.chemyx.com/support/knowledge-base/application-reference-by-topic/syringe-pump-design/ [03.05.2022]
3. Eslamian, Morteza/ Ashgriz, Nasser (2011): „Drop-on-Demand Drop Generators“ 3: 581-601. 10.1007/978-1-4419-7264-4_25.

Miniaturisierung einer Smartwatch für Hautfeuchtesensorik

Jessica Strauch^{1a}, Martin Wellmann^{1b}, Maria Friedo^{1c}, Felix Welzel^{1d} und Andreas H. Foitzik^{1e}

¹ Technische Hochschule Wildau

Korrespondenz: ^a jessica_nadine.strauch@th-wildau.de, ^b martin_peter.wellmann@th-wildau.de,

^c maria_helene.friedo@th-wildau.de, ^d felix.welzel@th-wildau.de, ^e afoitzik@th-wildau.de

Kurzfassung. Das Ziel des Projekts ist, den Zustand der Haut von Neurodermitis-Patienten bei verschiedenen Bedingungen und Belastungszuständen erfassen zu können. Dazu wurde ein Prototyp gefertigt, in den ein Mikrosensor zur Bestimmung der Umgebungsfeuchtigkeit, ein Controller mit Bluetooth zur Datenübertragung, sowie ein Lithium-Akku zur Energieversorgung verbaut wurden.

1. Einleitung

Die Haut ist das größte Organ des Menschen. Wie andere Organe kann sie diverse Krankheiten aufweisen, die sich bei ihr unter anderem durch eine Veränderung des Hautbilds äußern können. Viele dieser Krankheiten können durch Ärzte und den Einsatz teils teurer Diagnostika erkannt werden, dennoch gibt es nur wenige Instrumente, die eine Langzeitbeobachtung des Hautzustands ermöglichen. Doch seit einigen Jahren gibt es immer mehr mobile Geräte, wie Smartwatches, die mit den in ihnen verbauten Sensoren erlauben, einige Vitalparameter aufzeichnen und verarbeiten zu können. Zu diesen Parametern gehören unter anderem die Erfassung von Puls, Blutdruck und Sauerstoffsättigung. Im Rahmen dieses Projektes wurden Luftfeuchtesensoren in einen tragbaren Prototyp integriert, um auch die Hautfeuchtigkeit und Schweißproduktion messbar zu machen.

2. Methoden

Für den Bau des Prototypens wurde ein Schaltplan bestehend aus einem Feuchtigkeitssensor, einem Controller (Arduino BLE33, [1]) mit Bluetooth-Funktion, sowie eine wiederaufladbare Lithium-Polymer-Batterie mit dazugehörigem Lademodul entworfen (s. Abbildung 1). Beim verbauten Feuchtigkeitssensor handelt es sich um einen von Bosch entwickelten Mikrosensor, der speziell für die Verwendung in mobilen Endgeräten konzipiert wurde. Gehäuse. In diesen spielen insbesondere die Größe und ein geringer Stromverbrauch eine wichtige Rolle. Der Stromverbrauch des Sensors bei gleichzeitiger Messung von Feuchtigkeit und Temperatur liegt bei 1,8 μ A. Bei Leerlaufphasen schaltet der Sensor automatisch in den Standby-Modus, was seinen Stromverbrauch auf 0,1 μ A drosselt. Weitere wichtige Eigenschaften des Sensors sind seine hohe Messgenauigkeit ($\pm 3\%$ RH) und Auflösung (0.008 %RH), sowie kurze Ansprechzeiten, von unter einer Sekunde [2]. Für die Verwendung am Körper wurde der Sensor in ein Polymer aus Polydimethylsiloxan eingebettet.

Das Ansteuern und das Auslesen des Feuchtesensors erfolgten über einen Arduino Nano [1]. Durch seine Bluetooth Low Energy Antenne kann dieser auch zur Übertragung der

Messwerte genutzt werden. Dazu wurde eigens eine App für Android Smartphones geschrieben. Die Energieversorgung wurde durch einen Lithium-Polymer-Akku sichergestellt, um einen langfristigen Betrieb für umfangreiche medizinische Testreihen zu ermöglichen. Im letzten Schritt wurde in einer Designstudie ein Gehäuse für den Schaltplan designet und im 3D-Druck gefertigt (s. Abbildung 2).

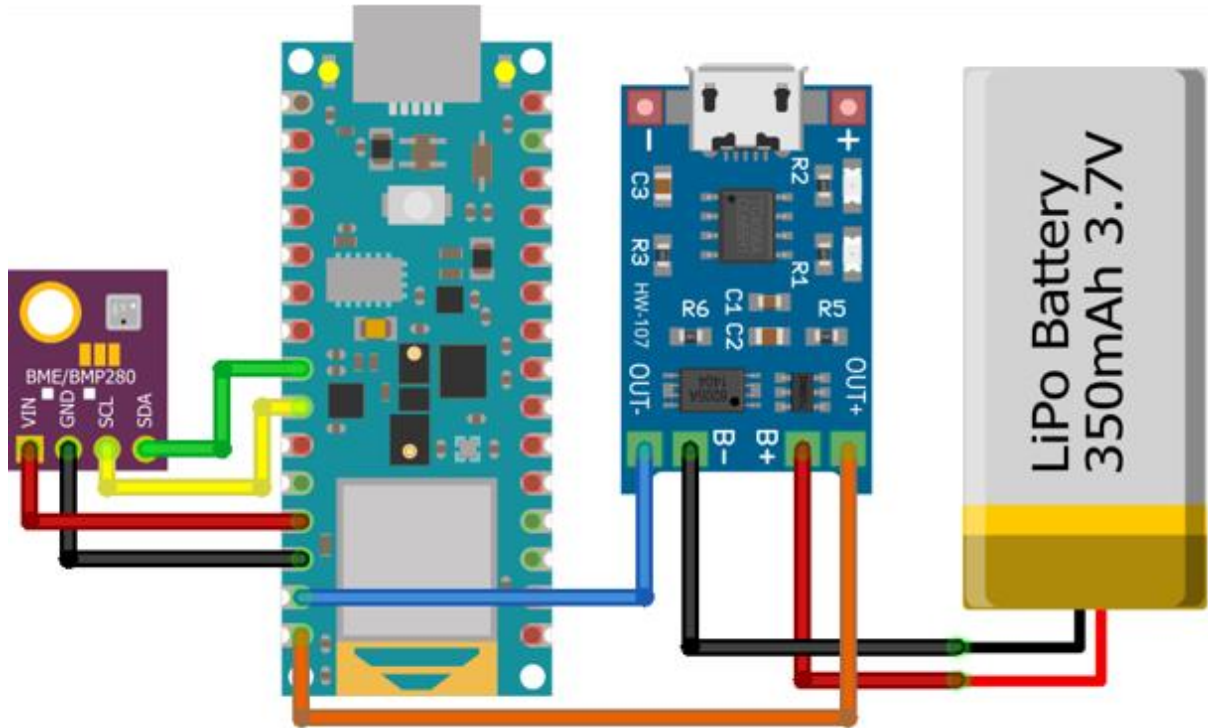


Abbildung 1: Schematische Darstellung des verwendeten Schaltplans

3. Ergebnis/Diskussion

Der fertige Prototyp besteht neben der Schaltung im Wesentlichen aus drei Teilen: der Bodenplatte, einem Deckplättchen und dem Gehäusedeckel. Alle drei Komponenten wurden mittels additiven 3D Druck unter Verwendung eines ABS-Filaments erzeugt. Bei der Verbindung von Gehäusedeckel und -boden wurde auf eine Verschraubung verzichtet. Stattdessen werden die Teile mittels Klickverschluss zusammengesteckt, was das beim Prototyping häufig notwendige Öffnen und Schließen des Gehäuses erleichtert. Die Bodenplatte besitzt eine Aussparung, in die der Sensor eingesetzt werden kann. Das Abdeckplättchen, das direkt auf den Sensor gesetzt und durch den Gehäusedeckel auf fixiert wird, sorgt dafür, dass der Sensor nicht von außen in das Gehäuse gedrückt werden kann. Alles in allem hat das Gehäuse Außenmaße von 54 * 40 * 24 mm (L*B*H). Der Messintervall der verbauten Schaltung wurde so eingestellt, dass sich über einen Zeitraum von mehr als einer Woche Messwerte aufzeichnen lassen. Zur Reduktion der Größe des Prototyps könnte im Weiteren eine Leiterplatte entworfen werden, die mehrere der Komponenten, wie den Controller, das Lademodul und den Mikrosensor auf sich vereint. Des Weiteren sollen in einer Vergleichsstudie die erzeugten Messpunkte mit den Messwerten kommerzieller Systeme, wie dem Corneometer® oder dem Tewameter® der Firma Courage + Khazaka Electronic GmbH verglichen und in Relation gebracht werden, um die Anwendungsmöglichkeiten des gefertigten Prototyps eruieren zu können.

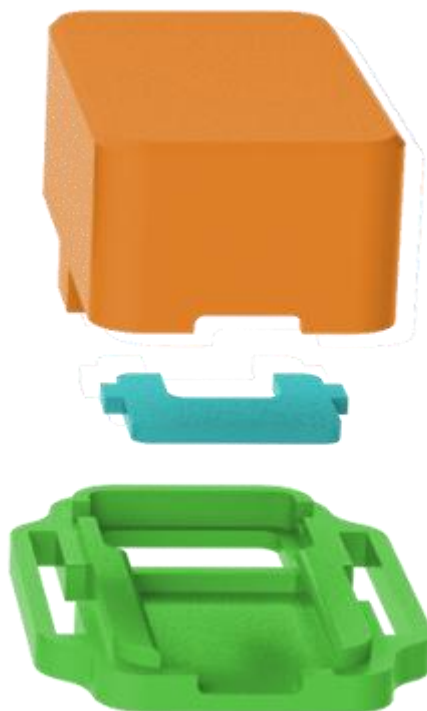


Abbildung 2: Explosionszeichnung des designed Gehäuses mit eingefärbten Komponenten (von oben nach unten: Deckel, Abdeckplättchen, Bodenplatte)

Datenverfügbarkeit

Hiermit bestätigen die Autor*innen, dass alle für die vorliegende Arbeit relevanten Daten im Artikel und in den ergänzenden Materialien zur Verfügung stehen. Weitere Informationen und Daten können bei den Autor*innen abgefragt werden.

Interessenskonflikte

Es bestehen keine Interessenskonflikte, die die vorliegende Arbeit und ihre Veröffentlichung betreffen.

Literaturverzeichnis

1. Arduino Nano 33 BLE, Abrufbar unter: <https://store.arduino.cc/arduino-nano-33-ble> [abgerufen am 04. Mai 2022]
2. Datenblatt BME280, Abrufbar unter : <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/#technical> [abgerufen am 04. Mai 2022]

A test system for safely measurements of cancer-inducing UV-C diodes produced in a simple and cost-effective way by rapid prototyping

Moritz Heinrich^{1,a}, Hannes Jacobs^{1,b}, Maria Luisa Di Vona^{2,c}, Roberto Pizzoferrato^{2,d}, and Andreas H. Foitzik^{1,e}

¹ Technical University Wildau

² Department of Industrial Engineering, University of Rome Tor Vergata

Corresponding authors: ^a moheinrich@th-wildau.de, ^b jacobs@th-wildau.de, ^c divona@uniroma2.it, ^d pizzoferrato@uniroma2.it, ^e andreas.foitzik@th-wildau.de

The rapid development of new technologies in the field of light emitting diodes are offering opportunities to explore new applications with shorter wavelengths and higher light output within the UV-C spectrum. To validate new LEDs in prototype applications an adaptive test system is advantageous, which fulfills safety standards and can be rapidly produced in a cost- and time saving way.

This work is focused on an open-source solution for rapid 3D printing of an UV-C radiation measuring device. Especially for research groups or universities which can not afford big safety labs.

The high-energy electromagnetic radiation with wavelengths in the UV-C spectrum damages microstructures. The underlying study for this work focuses on the denaturation of compounds in DNA structures caused by UV-C radiation. This denaturation disinfects microorganisms but has also a cancer-inducing effect on human cells by direct exposing.

Therefore an important criterion for this test system was to realise this set-up in a way the radiation cannot penetrate to the outside during measurement processes. In order to enable a quick realisation at low cost, a prototype was developed that offers full functionality through 3D printing process. The prototype has a simple, passive cooling device for the LEDs and consists of two interlocking parts. It has been designed to quickly change the diodes and cables. A mechanic fixation point has been built-in for mounting the diodes at a defined distance to the measurement system to ensure repeatable measurements.

A photodiode is used to determine the wavelengths and the light output intensities of the LEDs which will be validated. By using 3D print polymers as the basic structural material, such as ABS, the production of the prototype is very cost-effective and can rapidly be printed.

The setup contains a resistance control system to manually regulate the light output of the diodes and thus prevent the irradiation limits of the sensor diode from being exceeded.

After modeling and printing the prototype a series of tests has shown the functionality of that UV-C Diode test system. First models printed with less than 40 % infill showed a permeability for uv / vis radiation. By increasing the infill up to 50 %, the transmission of light could be prevented and the system worked well. To increase the radiation absorbing effect, the color of the filament used is black.

The measurement results from this experimental setup serve as a basis for research on the disinfection performance of different UV-C diodes.

Used material & components:

Polymer: ABS (Black), 1,75 mm, PrimaValue

Tests ensor: Ocean Optics USB 2000+

LEDs: SZT LED 5 V UV-C 250 nm, 260 nm, 270 nm, 290 nm, 300 nm

Electronic: RK09K113-LOG10K, rotary potentiometer, mono, 10 kOhm

3D Printer: Makerbot Replicator X2

Print Density: 50 % infill

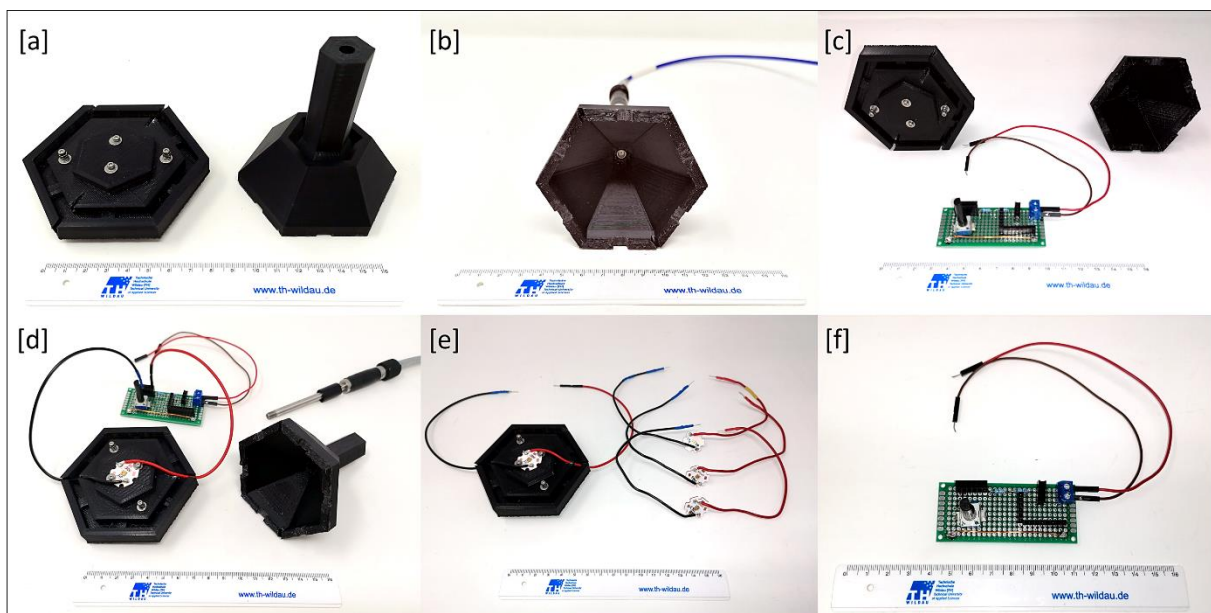


Figure 1: Photographs of the 3D printed test system for measuring UV-C radiation in a safe application. Picture [a] shows both parts of the 3D printed model [Fig. 2]. [b] shows the upper part with sensor (Ocean Optix USB 200+). [c] [d] Show electronic components used to operate the UV-C-LEDs [e]. [f] shows an example of measurement curves of 2 UV-C LEDs with that system.

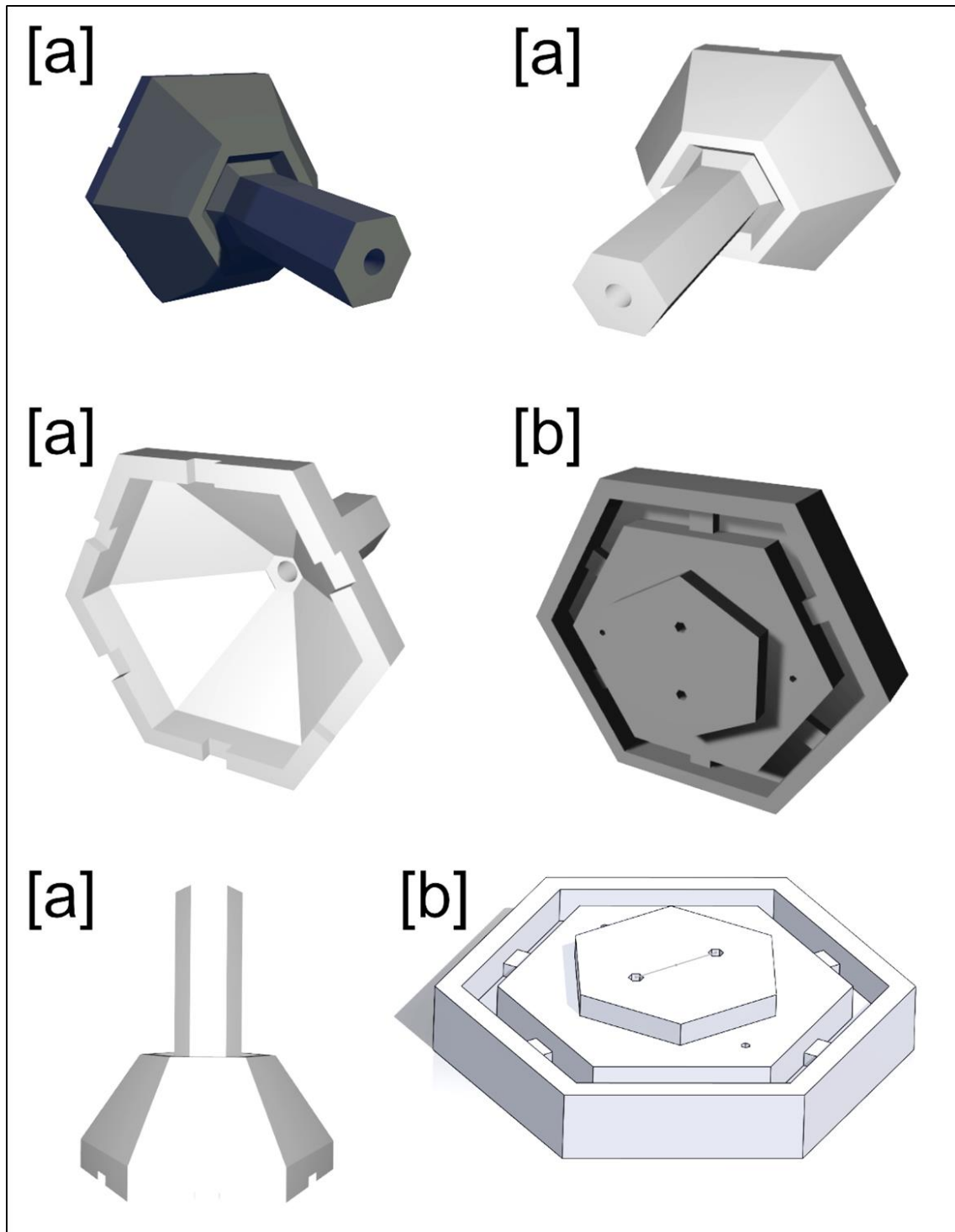


Figure 2: CAD models for 3D printing of this measuring system for UV-C radiation. The top part [a] and the bottom part [b] are shown.

Underlying and related material

Both CAD files are available on <https://nextcloud.th-wildau.de/nextcloud/index.php/s/RXNETZrf7CAQinp>.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Beurteilung des Einflusses von Agrarumweltmaßnahmen auf Honigbienen basierend auf genetischer Pollenanalyse mit Nanoporesequenzierung

Birgit Pannicke¹, Lisa Prudnikow¹ und Röbbe Wünschiers¹

¹ Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Kurzfassung. Intensive Landnutzung einhergehend mit dem Einsatz von Pestiziden und einer Verminderung des Blütenreichtums ist ein wesentlicher Faktor, der zum Verlust von Bestäuberinsekten beiträgt. Diese Arbeit befasst sich mit der Analyse von Pollenproben, die von Honigbienenvölkern an landwirtschaftlich unterschiedlich intensiv genutzten Standorten stammen. Das Ziel ist die Bestimmung der in den Proben enthaltenen Pflanzenarten anhand von DNA-Barcodes und der Nanoporesequenzierung, um so Aussagen über den Einfluss dieser unterschiedlich genutzten Landschaften auf das Sammelverhalten von Honigbienen treffen zu können. Erste Ergebnisse beinhalten die DNA-Extraktion und die Identifikation universeller Primer als Vorbereitung auf die Sequenzierung mit dem *MinION Mk1c* von *Oxford Nanopore Technologies*.

1. Motivation

Die intensive Landnutzung einhergehend mit dem Einsatz von Pestiziden und einer Verminderung des Blütenreichtums ist ein wesentlicher Faktor, der zum Verlust von Bestäuberinsekten beiträgt [1]. Eine ernstzunehmende Entwicklung, bedenkt man, dass über 70% der weltweiten Kulturpflanzen von Bestäubernetzwerken abhängig sind, wobei insbesondere die Honigbiene ökonomisch eine zentrale Rolle einnimmt [2]. Ökologische Landwirtschaft ist eine Möglichkeit, dieser Problematik zu begegnen – dennoch gilt es zu untersuchen, wie konkrete Maßnahmen (z.B. Blühstreifen) tatsächlich zum Erhalt von Bestäuberinsekten beitragen können [3]. Die Analyse von Bienen-Pollenhöschchen ist ein entscheidender Ansatzpunkt für diese Fragestellung, da sie Auskunft über das Sammelverhalten und die Nahrungsvielfalt der Bestäuber geben [4]. DNA-Metabarcoding und die Nanoporesequenzierung stellen dabei wirksame Werkzeuge dar, die im Hochdurchsatz für eine schnelle und akkurate Zuordnung solcher Pollenproben sorgen können [5].

2. Methodik

Diese Studie ist Teil des *ComBee*-Projektes, einer Kollaboration unter der Leitung der Forschungsgruppe für funktionelle Agrobiodiversität der Universität Göttingen. Das Projekt untersucht dabei die Auswirkungen verschiedener Agrarumweltmaßnahmen auf Bestäuberinsekten [6]. Im Zuge dessen befasst sich diese Arbeit mit der Analyse von Pollenproben, die von Honigbienenvölkern an 19 landwirtschaftlich unterschiedlich intensiv genutzten Standorten stammen. Das Ziel ist die Bestimmung der in den Proben enthaltenen Pflanzenarten anhand von DNA-Barcodes, d.h. kurzen Sequenzabschnitten, die aussagekräftig genug sind, um eine speziesspezifische Zuordnung zu ermöglichen [7]. Da Pollenkörner mit einer sehr robusten Zellwand aus Sporopollenin versehen sind [8], erforderte die DNA-Extraktion der Proben zunächst

einen mechanischen Aufschluss der Pollenkörner mithilfe kleiner Keramikkugeln. Des Weiteren stand im Hinblick auf die anschließende Vervielfältigung der Barcode-Regionen mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) die Identifikation universeller Primer im Vordergrund, um eine Amplifikation der entsprechenden DNA-Abschnitte in einer breiten Masse an Pflanzenspezies zu ermöglichen.

3. Erste Ergebnisse

Der Erfolg der DNA-Extraktion von Pollenproben kann sehr unterschiedlich ausfallen, abhängig von Form, Größe und Zusammensetzung der Pollenzellwand [9]. Aus diesem Grund, wurden zunächst unterschiedliche DNA-Extraktionskits getestet, um bestmögliche Mengen und Reinheitsgrade an DNA für den weiteren Prozess zu erhalten. Zudem wurden unterschiedliche Barcode-Regionen auf ihre Eignung für das Projekt geprüft – insbesondere im Hinblick auf die *long-read* Nanoporesequenzierung fiel die Wahl zum einen auf das Chloroplastengen für die *RuBisCO large subunit (rbcL)* und zum anderen auf den im Zellkern lokalisierten *Internal transcribed spacer (ITS)*. Zusätzlich wurde für die PCR des *rbcL*-Barcodes ein universeller *reverse* Primer konzipiert, welcher im Vergleich zu vorangegangenen Studien [10; 11] nicht nur einen Teil, sondern die vollständige Amplifikation dieses Genabschnitts ermöglichen soll.

4. Ausblick auf den weiteren Verlauf des Projekts

Die folgenden Schritte dieser Studie beinhalten die Amplifikation der Barcode-Regionen und anschließend die Sequenzierung mit dem *MinION Mk1c* von *Oxford Nanopore Technologies*. Ein weiterer Abschnitt ist die Erstellung einer aktuellen Datenbank für den Abgleich der Barcode-Sequenzen. Die Erkenntnis darüber, aus welchen Pflanzenarten die einzelnen Proben zusammengesetzt sind, soll am Ende in den Kontext des Landschaftsmanagements gesetzt werden. Ziel ist es, dadurch einerseits Aussagen über den Einfluss dieser unterschiedlich genutzten Landschaften auf das Sammelverhalten von Honigbienen treffen zu können und andererseits die Nanoporesequenzierung für die Analyse solcher Umweltproben weiter zu etablieren.

Datenverfügbarkeit

Die Verfügbarkeit von Daten ist für diese Art von Einreichung nicht relevant.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass sie keine Interessenskonflikte haben.

Literaturverzeichnis

1. Vanbergen, A. J. and The Insect Pollinators Initiative (2013): Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(5): 251–259.
2. Klein, A.-M. et al. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B. Biological sciences*, 274: 303–313.
3. Haaland, C.; Naisbit, R. E. and Bersier, L.-F. (2011): Sown wildflower strips for insect conservation: A review. *Insect Conservation and Diversity*, 4: 60–80.
4. Pornon, A. et al. (2016): Using metabarcoding to reveal and quantify plant-pollinator interactions. *Scientific reports*, 6(27282): 1–12.
5. Leidenfrost, R. M. et al. (2020): Analyzing the dietary diary of bumble bee. *Frontiers in plant science*, 11(287): 1–9.

6. Westphal, C.; Hass, A. and Paxton, R. (2021): ComBee: Kombinierte Agrarumweltmaßnahmen, Bienendiversität und Gesundheitszustand von Wild- und Honigbienen. <https://www.uni-goettingen.de/de/646422.html> [05.05.2022].
7. Fišer Pečnikar, Ž. and Buzan, E. V. (2014): 20 years since the introduction of DNA barcoding: From theory to application. *Journal of applied genetics*, 55: 43–52.
8. Li, F.-S. et al. (2019): The molecular structure of plant sporopollenin. *Nature plants*, 5: 41–46.
9. Hawkins, J. et al. (2015): Using DNA metabarcoding to identify the floral composition of honey: A new tool for investigating honey bee foraging preferences. *PloS one*, 10(8): 1–20.
10. Bell, K. L. et al. (2017): Applying pollen DNA metabarcoding to the study of plant-pollinator interactions. *Applications in plant sciences*, 5(6): 1–10.
11. Richardson, R. T. et al. (2021): Application of plant metabarcoding to identify diverse honeybee pollen forage along an urban-agricultural gradient. *Molecular ecology*, 30: 310–323.

Validation of an innovative passive collector for pollutant analysis in groundwater

Jan Millauer^{1*}, Hannes Jacobs¹, Joerg-Helge Hein²; Alina Brendler²; Marilena Minieri³, and
Andreas H. Foitzik¹

¹ Technical University of Applied Sciences Wildau

² GCI GmbH

³ University of Rome Tor Vergata

* Corresponding author: jan.millauer@th-wildau.de

Abstract. A passive pipe sampler device for contaminant analysis in groundwater was developed which create a permanent sampling flow from groundwater and in addition to temperature, conductivity and pressure, now also has room for specific sorbents. The large surface of the adsorber offers more binding surface for the analyte and the constant movement of the sorbent with fresh groundwater also provides homogeneous binding. The spectroscopic analyses at the monitoring site of the pipe passive sampler for groundwater monitoring points enables a measurement-based validation of the sorbent circulation as an alternative to a visual assessment. The optimum pump speed for the sorbents Lewatit® M500 and SR7 was evaluated. The 42mm slim measuring device allows the use in DN50 monitoring well and thus allows the setup of a closer measuring network.

1. Introduction

Our groundwater is one of the most valuable resources, whose quality is continuously decreasing over the last years due to pollutions. Nitrate is increasingly ending in the groundwater due to excessive fertilization, which has been proven by the latest Nitrate Report 2020 [1]. An early warning system that detects contaminant concentrations in groundwater continuously and is connected to an alarm system could be a method to validate water quality. Pollutants that are exposed / fluctuate / enter groundwater only in lowest concentrations during a certain period of time are difficult to detect. The mobile pipe passive sampler can be used in all (un)moving water resources and allows sampling with subsequent laboratory measurement. The advantage of this system is, besides the measurement of lowest pollutant concentration, the small device diameter. Groundwater measuring points with a filter pipe of DN50 are already sufficient.

2. Method

The system will measure temperature, pressure and conductivity of the water. The pump draws actively a part of the groundwater and flows permanently through a 10 ml glass vial (see fig. 1) with filter insert (0 - 72 ml/min). A globular ion-exchange resin can be used as an adsorber in the sample vessel for the analyte. The reversible accumulation of the analyte will be done over several days / weeks, so that the measured values can be recorded in the laboratory afterwards. Reproducible results are only possible with constant parameters. The adsorber must be surrounded by fresh groundwater from all sides, but must not settle.

To validate the pumping speed, a measuring station was developed in addition to a subjective visual evaluation. There were 3 LEDs in the station to illuminate three different positions of the vial. For each measurement, a spectrometer probe was connected opposite each LED. The holder for the LEDs and the spectrometer probe was 3D printed with ABS (see fig. 2). This validation will not take place during groundwater measurement, but when a new adsorber is to be used, it is necessary to determine the flow characteristics of the adsorber.

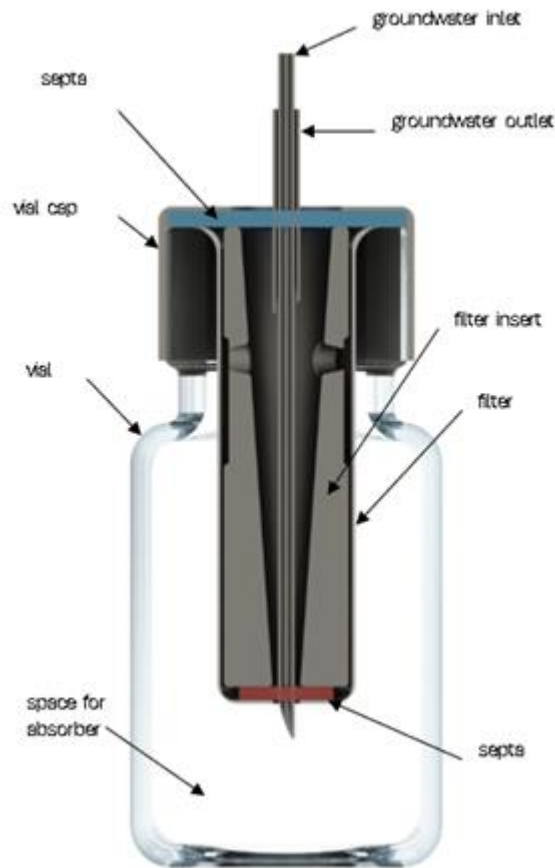


Fig.1: Setup of the used vial for the adsorber material

3. Results and discussion

The behavior of both adsorber was fluidically similar - small quantities entered the neck of the bottle at low pumping speeds - with increasing adsorber quantities, turbulences generated by the adsorber itself (grid / swarm turbulence [2]) became predominant, so that with more material, higher speeds as well as surface area could be provided for the analyte. While SR7 can only be used from 0.4 g and 22.5 ml/min up to 1 g at 65 ml/min, M500 showed good flowability at 30 ml/min regardless of quantity.

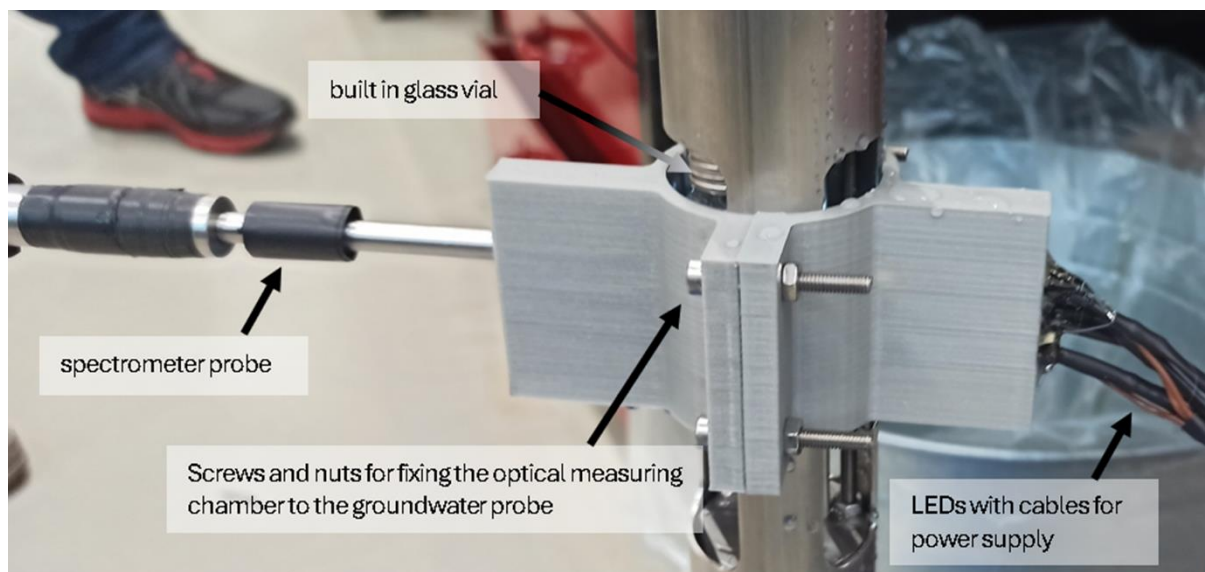


Fig.2: Optical measuring chamber for detection of absorption in operation

4. Summary

A slim groundwater measuring device was produced, allowing to use it in more measuring stations for water analysis. The tighter measurement network for monitoring the water quality might be improved with this developed measurement device. The developed measuring method enables to optimize the flow rate together with the flow characteristics of the adsorber material. Further work should be done with this groundwater measuring device to make practical measurements. In addition, this device will be equipped with an online measurement chamber for nitrates, and this data can be requested online, giving the user immediate access without waiting for laboratory analysis.

Data availability

If you are interested in the used measurement data, please send a request to the author (jan.millauer@th-wildau.de). CAD data are not available in this case.

Competing interests

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

1. BMEL, BMU 2020, Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft Nitratbericht 2020
2. Kraume, Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik - Grundlagen und apparative Umsetzungen - 2. Aufl. 2012, p 88-89

Die Dorf- und Hofladenszene in Sachsen-Anhalt

Versuch einer Kartierung

Christian Reinboth^{1*}

¹ Hochschule Harz

*Korrespondenz: creinboth@hs-harz.de

Kurzfassung. Die Bedeutung von Dorf- und Hofläden für die ländliche Versorgung nimmt stetig zu. Da bislang kaum Erkenntnisse zur Entwicklung der Dorf- und Hofladenszene in Sachsen-Anhalt vorliegen, wurde der Versuch einer möglichst vollständigen Erfassung auf Basis freier Daten unternommen. Im Ergebnis zeigt sich eine breit aufgestellte Szene mit teils hochprofessionellem Online-Marketing, die im Vergleich mit Discountern und Vollsortimentern vor allem bei den Öffnungszeiten an Attraktivität einbüßt.

1. Einleitung

Seit über einem Jahrzehnt lässt sich in vielen ländlichen Regionen Europas ein deutlicher Rückgang an Nahversorgungsmöglichkeiten feststellen, der sich vor allem aus der Aufgabe vieler inhabergeführter Geschäfte in kleineren Orten und der Tendenz zur Zentralisierung von Angeboten großer Nahversorger „auf der grünen Wiese“ erklärt [cf. 1: 140]. Diese Entwicklung benachteiligt gerade ältere und weniger mobile Menschen, die sich schwerer fußläufig oder mittels des oft nur schwach ausgebauten ÖPNV versorgen können. Vor diesem Hintergrund wächst die Bedeutung von teils bürgerschaftlich geführten Dorfläden sowie auch von Hofläden zum Eigenvertrieb landwirtschaftlicher Produkte für die Selbstversorgung.

2. Forschungsfrage

Da für Sachsen-Anhalt kein Vollverzeichnis aller Hof- und Dorfläden existiert sowie allgemein nur wenige Erkenntnisse über die Entwicklung der Szene im Land vorliegen, wurde der Versuch unternommen, mit Hilfe frei verfügbarer Daten eine möglichst vollständige Erfassung aller Läden sowie deren wesentlicher Eigenschaften wie Rechtsformen oder Öffnungszeiten vorzunehmen.

3. Vorgehensweise

Die Erfassung erfolgte im August 2021 auf Basis von Suchanfragen mittels als geeignet identifizierter Begrifflichkeiten (neben „Hofladen“ und „Dorfladen“ z.B. „Bauernladen“ oder „Konsum“) auf Ebene der Kommunen an den Kartendienst Google Maps sowie der Verifikation aller Treffer über Betreiberseiten oder Gewereregister. Nicht aufgenommen wurden Anbieter, die ausschließlich Verkaufsautomaten für landwirtschaftliche Eigenerzeugnisse bestücken.

4. Ergebnisse

Insgesamt wurden 21 Dorf- und 89 Hofläden identifiziert, die sich nahezu gleichmäßig auf die elf Landkreise (ohne kreisfreie Städte) verteilen (Abb. 1). Das Gros aller Läden (93 von 110, darunter alle 21 Dorf- und 72 von 89 Hofläden) weist feste Öffnungszeiten aus, nur wenige Hofläden öffnen auf Anfrage (10), saisonal (2) oder zur Abholung (3). Die mittlere Wochenöffnungszeit der Dorfläden liegt bei 41 (Median: 36,5), die der regelmäßig geöffneten Hofläden bei 31 (Median: 30) Stunden. Die meisten (76%) Hofläden sowie zwei Drittel aller Dorfläden sind Einzelunternehmen, bei den Dorfläden ist als Rechtsform zudem die Genossenschaft, bei den Hofläden die Gesellschaft bürgerlichen Rechts geläufig (Tab. 1). Ein Drittel aller Dorfläden und etwas mehr als zwei Drittel (67%) aller Hofläden verfügt über einen eigenständigen Internetauftritt. Eine detaillierte Darstellung aller Ergebnisse dieser Erhebung findet sich in [2].

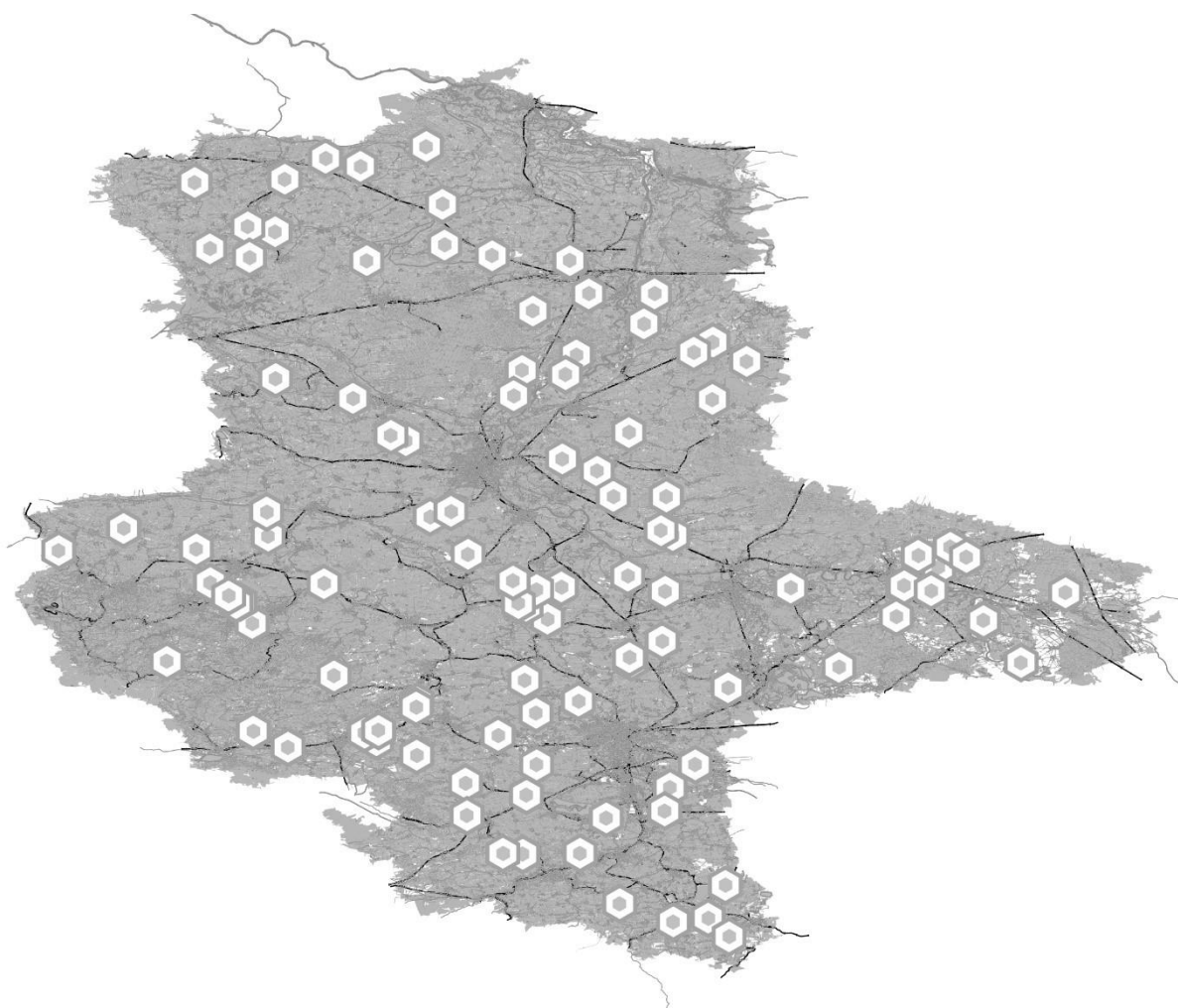


Abbildung 1: Die unter Einsatz von freien Open Street Map-Geodaten kartierten Standorte der Dorf- und Hofläden.

Tabelle 1: Rechtsformen der in Sachsen-Anhalt identifizierten Dorf- und Hofläden.

Rechtsform	Gesamt	Dorfläden	Hofläden
eG	11	7	4
e.V.	1	0	1
Einzelunternehmen	82	14	68
GbR	9	0	9
GmbH	4	0	4
GmbH & Co. KG	2	0	2
Stiftung	1	0	1
Gesamt	110	21	89

5. Diskussion und Ausblick

Die im Vergleich mit Wochenöffnungszeiten großer Discounter (78 bis 90 Stunden) deutlich kürzeren Öffnungszeiten von Dorf- und Hofläden, die meist weder Tagesrandzeiten noch Samstage einschließen, schränken die Attraktivität für Personen außerhalb der Zielgruppe der Senior*innen erkennbar ein. Dies gilt vor allem für Dorfläden, da Hofläden über ortsansässige Kund*innen hinaus auch Anfahrtskundschaft aus einem weit größeren Umkreis rekrutieren, die Lebensmittel direkt beim Erzeuger erwerben möchte. Das Angebot von Dorfläden ist hingegen für mobile Ortsansässige gut substituierbar, weshalb enge Öffnungszeiten in höherem Maße abschrecken dürften. Vor diesem Hintergrund wäre zu evaluieren, unter welchen Rahmenbedingungen die Erschließung neuer Zielgruppen für Dorfläden durch Technik – etwa Selbstkassen oder Automaten – sowohl plausibel als auch wirtschaftlich darstellbar wäre. Mit Blick auf die hohe Anzahl an aus dieser Betrachtung ausgeschlossenen Automatenverkaufsstellen, sollte darüber hinaus auch deren Beitrag zur Nahversorgung näher untersucht werden.

Datenverfügbarkeit

Der verwendete Datensatz ist unter folgender URL verfügbar: <https://www.mytecla.de/de/aktuelles/neue-open-access-studie-zur-hof-und-dorfladenszene-in-sachsen-anhalt.html>

Interessenskonflikte

Es liegen keine Interessenskonflikte vor.

Literaturverzeichnis

1. Küpper, Patrick/Tautz, Alexandra (2015): „Sicherung der Nahversorgung in ländlichen Räumen Europas. Strategien ausgewählter Länder im Vergleich“. *Europa Regional* 21 (3): 138–155.
2. Reinboth, Christian (2021): „Dorf- und Hofläden in Sachsen-Anhalt: Standorte, Rechtsformen, Öffnungszeiten und digitale Präsenz“. Wernigerode: TECLA e.V. [DOI: <https://doi.org/10.17613/bcnd-kg14>]

Verifying the Elliptic Curve Verifiable Random Function Secp256r1 on Blockchain

Nomana Ayesha Majeed¹ and Alex Kemloh Kouyem¹

¹ Fakultät Angewandte Computer und Biowissenschaften, Hochschule Mittweida

* Corresponding author: majeed@hs-mittweida.de

Abstract. Randomness is a critical issue in peer-to-peer networks because random numbers allow us to fairly select the candidates, resolve the lotteries, select block producers, etc. The difficulty is that each participant wants to verify that the random number was randomly generated, this led to the invention of verifiable random functions (VRF). The VRF is a pseudo-random function that provides a solution to blockchain-based random number generation.

This paper focuses on the implementation of an elliptic curve-based VRF introduced by NIST called ECVRF-secp256r1 in Solidity. The algorithm verifies the randomness on-chain, tests the gas consumption at each stage, and compares it to the ECVRF-secp256k1.

1. Introduction

Providing randomness to the blockchain without compromising the decentralization is critical due to the deterministic nature of the blockchain. Four important directions namely cost, time, randomness, and security need to be considered while generating a random number. There are several methods such as commit and reveal, blockchain as a source of randomness, Oracle pattern, etc. But none of these methods ensure all four domains, this leads to the invention of verifiable random function.

2. Technical background

2.1 Blockchain

The Blockchain is a distributed immutable append-only database that is shared among the nodes of a peer-to-peer computer network. Ethereum is a decentralized blockchain platform that securely executes and verifies application code using smart contracts [1]. It offers a flexible platform to build decentralized applications using Solidity and EVM.

2.2. Secp256k1 and Secp256r1 curve [2]

Secp256k1 curve is based on the Koblitz curve whereas the Secp256r1 curve is a random curve introduced by NSA. Regarding secp256r1, it is assumed that the randomly selected parameters are more secure but there is a concern that random coefficients can provide the black door since it is almost impossible to prove that they are purely random. Parameters in the secp256k1 curve are chosen with relatively high rigidity therefore, it is considered as more efficient curve.

2.3 Elliptic curve VRF [3]

VRF is a cryptographic primitive that maps input to a verifiable pseudorandom output. For a key pair (pk, sk) and an input x , a VRF produces a unique pseudorandom verifiable output and a non-interactive proof of correctness. It satisfies three properties called provability, pseudorandomness, and trusted uniqueness. Additionally, elliptic curves have an advantage in terms of small security key size over RSA.

3. Our Contribution

We implemented an elliptic curve based VRF [4] for both secp256r1 and secp256k1 curves in JavaScript and Solidity. We executed the proof off-chain using JavaScript because transmitting the proof on-chain would reveal the secret key. However, the smart contract verifies the proof on-chain using the verify function. We also implemented a fast way to verify proofs by performing scalar multiplications off-chain, since adding and multiplying elliptic curve points on the blockchain is expensive.

We tested the gas consumption based on 10 randomly selected secret keys and seeds of different lengths for both curves at each stage. The following table summarizes the min, max, and average gas consumption:

Table 1. Average gas consumption for secp256k1 and secp256r1 curve

Methods (Solc 0.6.12, optimizer: true)	secp256r1				secp256k1			
	min	max	avg	avg cost	min	max	avg	avg cost
fastVerify	55035	197198	76550	\$0.21	65501	203857	99781	\$0.27
verify	1489351	1749433	1615921	\$4.47	1529800	1786976	1634355	\$4.51
proofToHash	23564	23600	23596	\$0.06	23564	23600	23597	\$0.06
computeFastVerifyParams	1487122	1747195	1613680	\$4.46	1527608	1784779	1632151	\$4.51
decodeProof	50523	50568	50548	\$0.14	56837	56894	56872	\$0.16
hashAndTryIncrement	47626	189785	69141	\$0.19	58104	196447	92374	\$0.25
hashPoints	28465	28513	28499	\$0.08	28453	28513	28497	\$0.08

According to the table 1, we concluded that secp256r1 consumes slightly less gas than secp256k1 (on average < 23.231 gas) [5]. By using the “computeFastVerifyParams” we can save on average ~1613680 gas.

To identify the difference between functions fastVerify, verify, and hashAndTryIncrement, we have analyzed these functions against the test vectors as given below:

Table 2. Average gas consumption for secp256k1 and secp256r1 curve using different seeds and keys

Secret keys:		c9afa9d845ba75166b5c215767b1d6934 e50c3db36e89b127b8a622b120f6721	817f508d2d36aaa7ca077d1fd3c27d710 75aa979c59a9b75fc4a29b8cd27f3e0		
seed	methods	secp256r1	secp256k1	secp256r1	secp256k1
''	fastVerify	102333	99614	55035	99602
	verify	1651202	1644866	1563218	1630763
	hashAndTryIncrement	94912 (3 rounds)	92229 (2 rounds)	47626 (1 round)	92229 (2 rounds)
'test'	fastVerify	55229	65723	102519	99867
	verify	1530011	1601713	1636950	1661479
	hashAndTryIncrement	47820 (1 round)	58314 (1 round)	95106 (3 rounds)	92455 (2 rounds)
'optimization'	fastVerify	78927	65834	78991	65806
	verify	1651491	1655153	1672512	1555690
	hashAndTryIncrement	71554 (2 rounds)	58410 (1 round)	71570 (2 rounds)	58394 (1 rounds)
'VRF is pretty amazing'	fastVerify	79118	134231	55464	65942
	verify	1634215	1688928	1623232	1584749
	hashAndTryIncrement	71697 (2 round)	126810 (3 rounds)	48043 (2 rounds)	58521 (1 round)
'Example of EC-DSA with an-sip256r1 and SHA-256'	fastVerify	127557	66600	56110	66588
	verify	1749433	1614904	1587918	1633671
	hashAndTryIncrement	120151 (4 rounds)	59179 (1 round)	48701 (1 round)	59179 (1 round)

The function hashAndTryIncrement used to generate a valid curve point for both fastVerify and verify consumes more than 80% of the total amount of gas. Some combinations (public key + seed) requires the algorithm to perform several rounds to search for a valid curve point, this causes an increase in gas consumption since each new round cost ~20,000 - 40,000 gas. Additionally, hashAndTryIncrement consumes much gas therefore, the question is whether we can also perform this function off-chain? This will allow us to save ~69,141 gas for the secp256r1 curve and ~92,374 gas for the secp256k1 curve.

4. Conclusion

Applications using VRF must ensure that the key pair is generated correctly using good randomness. In addition, implementers should be careful that the proof does not obscure the seed. Anyone who knows the public key and proof can use an off-chain dictionary attack to search for the seed by checking guesses for the seed with VRF_verify. Chainlink [6] offers a random number generator using VRF with secp256k1 curve but the cost is extremely high. Implementing VRF with secp256r1 would slightly reduce the costs but performing scalar multiplications off-chain will drop the costs dramatically.

Data availability statement

The underlying data is available upon request from the authors.

Competing interests

The authors declare that they have no conflicts of interest.

References

1. Ethereum.org (2022), "ethereum.org," . <https://ethereum.org/en/what-is-ethereum/>. [Accessed 14-03-2022].
2. Brown, D. R. (2010). Sec 2: Recommended elliptic curve domain parameters. Standards for Efficient Cryptography
3. Micali, S., Rabin, M., & Vadhan, S. (1999, October). Verifiable random functions. In 40th annual sym-posium on foundations of computer science (cat. No. 99CB37039) (pp. 120-130). IEEE.
4. S. G. L. R. J. V. Dimitrios Papadopoulos (2021): "Verifiable Random Funtions (VRFs)," . <https://datatracker.ietf.org/doc/pdf/draft-irtf-cfrg-vrf-06>. [Accessed 05-01-2022]
5. Cao, M. (2021): "Announcing our Verifiable Random Function (VRF) library in Solidity". <https://medium.com/witnet/announcing-our-verifiable-random-function-vrf-library-in-solidity-c847edf123f7>. [Accessed 12-02-2022]
6. Chainlink Developers: "Introduction to chainlink VRF". <https://docs.chain.link/docs/chainlink-vrf/> [Accessed 19-04-2022]

Steuerungstechnik für das Auftragen von fluiden Haftvermittlern

Maria Friedo^{1*}; Mike Hauschultz¹; Hannes Jacobs¹; Mohammad Lafta¹; Andreas Engels¹ und Andreas H. Foitzik¹

¹ Technische Hochschule Wildau

* Korrespondenz: maria_helene.friedo@th-wildau.de

Kurzfassung. Das Ziel dieses Projektes war es eine automatisierte Lösung für das Auftragen von Haftvermittlern auf metallische Grundkörper im Nanoliterbereich zu ermöglichen. Für die automatisierte Auftragung von Haftvermittler wurde eine neue Steuerungseinheit auf Grundlage eines Mainboards für die Ansteuerung von 3D-Druckern verwendet, als Firmware diente Marlin. Notwendig waren Anpassungen im Bereich der Motorströme, Geschwindigkeiten, Beschleunigung, Sensitivität, Druckbettgröße und Auswahl von Mainboard und Display. Für die Verfahrenswege wurde G-Code mittels eines Programms in Python generiert. Für eine homogene und gleichmäßige Benetzung werden die einzelnen zu benetzenden Objekte angefahren und der Pipettiervorgang gesteuert. Es war möglich die vollständige Funktionsfähigkeit herzustellen.

1. Einleitung

Das Ziel dieses Projektes war es daher eine automatisierte Lösung für das Auftragen von Haftvermittlern auf die metallischen Grundkörper im Nanoliterbereich zu ermöglichen. Technologischer Hintergrund war das Gummispritzgießen auf einen metallischen Körper, der chemische Haftvermittler ist für eine optimierte mechanische Verbindung zwischen dem Gummi und dem Metall notwendig. Bisher wurde der Haftvermittler per Hand aufgetragen, was kosten- und personalintensiv ist. Als Alternative sollte eine automatisierte Lösung entwickelt werden.

2. Experimentelles und Ergebnisse

Als technische Lösung wurden zunächst mehrere Pipettierroboter entwickelt und gefertigt, der mechanische Grundkörper war jeweils eine Portalfräsmaschine, von der alle mechanischen und elektronischen Elemente entfernt wurden (siehe Tagungsbeitrag: M. Hauschultz, Low-cost Pipettierroboter auf Basis einer Portalfräse, <https://doi.org/10.52825/ocp.v2i.151>).

Für die automatisierte Auftragung von Haftvermittler wurde eine neue Steuerungseinheit entwickelt gefertigt und implementiert. Als Grundlage diente ein Mainboard der Firma Big-TreeTech für die Ansteuerung von 3D-Druckern. Dabei waren einige elektrische Modifikationen notwendig, um von der 3D-Druckersteuerung auf die Steuerung eines Pipettierroboters zu kommen. Dies waren unter anderem zwei Relais-Steuerungen, um die Zustellung des Fluids zu ermöglichen, sowie um einen Notaus zu gewährleisten. Die Firmware des Mainboards ist Marlin, eine weitverbreitete open-source Steuerung für 3D-Drucker. Die fertige Steuerungseinheit zeigt Abbildung 1.

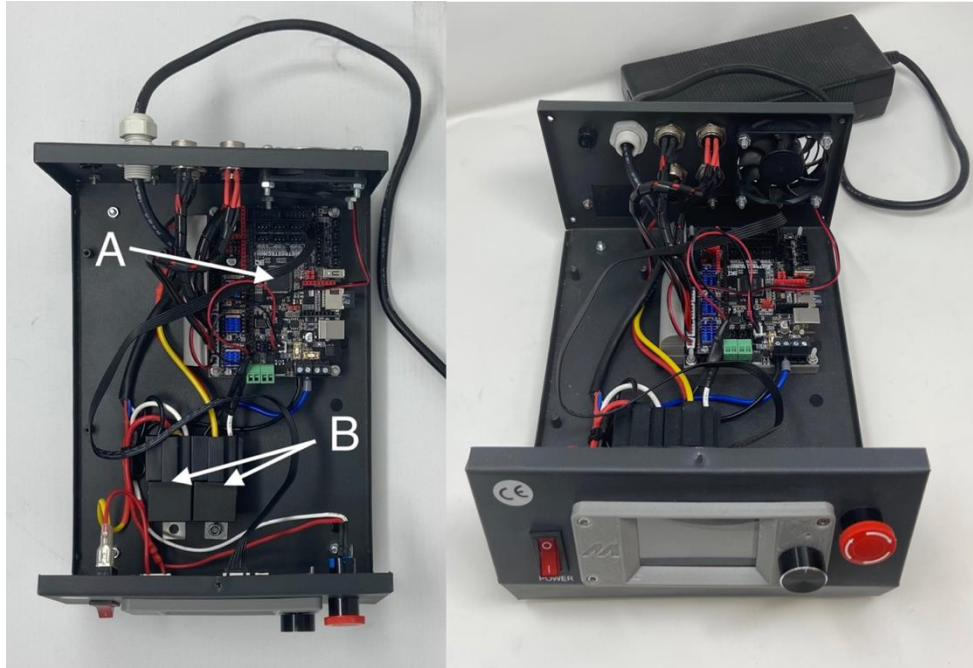


Abbildung 1: Draufsicht (links) auf Steuerungseinheit mit Motherboard von BigTreeTec (A) und integrierten Relais (B). Schrägansicht (rechts) auf Steuerungseinheit. Details siehe Text.

Notwendig waren die Anpassung einer Reihe von Parametern wie der Motorströme, Geschwindigkeiten des Vorschubs, Beschleunigung in den drei Achsen x, y und z, die Sensitivität der Stromaufnahme, die Druckbettgröße und die Auswahl des Displays. Die Sensitivität der Stromaufnahme wurde unter anderem dazu genutzt den Nullpunkt der Verfahrswege im Sinne eines „Sensorless Homing“ zu definieren. Bei einem starken Anstieg der Motorströme ist der jeweilige Nullpunkt erreicht, weil das Ende des Verfahrswegs der jeweiligen Achse erreicht wird. Dadurch kann man auf Endschalter verzichten.

Der notwendige G-Code für die Verfahrswege der eigentlichen Pipettiereinheit wurde mittels eines Programms in Python generiert. In diesem Programmcode wurden die notwendigen Verfahrswege für die homogene und gleichförmige Benetzung mit Haftvermittler umgesetzt. Dazu zählten zum einen das Anfahren der einzelnen zu benetzenden Objekte und zum anderen der Verfahrsweg beim eigentlichen Pipettiervorgang.

Die Zustellung des Haftvermittlers erfolgte für jeden metallischen Grundkörper wahlweise als zwei oder vier Tropfen an verschiedenen Stellen, um eine möglichst vollständige Benetzung zu erreichen. Die homogene Verteilung auf dem Metallkörper wurde durch einen zusätzlichen Teilprozess mit einer Verstreichvorrichtung sichergestellt.

3. Zusammenfassung

Für das Handling von Flüssigkeiten auf Festkörpern eignen sich kommerziell erhältliche kostengünstige Portalfräsen. Als Steuerungselektronik lässt sich ein kommerziell erhältliches Motherboard eines 3D-Druckers verwenden. Der notwendige G-Code für die Verfahrsachsen lässt sich mit Hilfe der vielseitig angewandten objektorientierten Programmiersprache Python generieren. In Summe war es möglich, die vollständige Funktionsfähigkeit der Anlage umzusetzen.

Datenverfügbarkeit

Im Rahmen dieser Studie keine wurden Datensätze erstellt oder analysiert. Die Daten, die die Ergebnisse dieser Studie untermauern, sind verfügbar von <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin>.

Interessenskonflikte

Interessenskonflikte: Die Autor:innen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Integration von Künstlicher Intelligenz in das Arbeitssystem-Modell nach REFA

Pietschmann, Ch ^{1*}, Müller-Eppendorfer, K. ¹, Eckardt, R. ¹ und Goldhahn, L.¹

¹ Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Professur Produktionsinformatik,

InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaften

* Korrespondenz: pietschm@hs-mittweida.de

Kurzfassung. Künstliche Intelligenz (KI) findet in der heutigen Arbeitswelt zunehmend Anwendung. Für die Gestaltung hybrider Arbeitssysteme und zugehöriger Fertigungsprozesse können Datenanalysen, Algorithmen und Visualisierungen entscheidende Beiträge liefern. KI soll den Menschen unterstützen, entlasten, jedoch nicht ersetzen. Der Fokus der KI-Unterstützung liegt hier im Bereich der manuellen Montage und Bereitstelllogistik. Grundlagen bieten das REFA-Arbeitssystem in Verbindung mit dem Periodensystem der KI. Darauf basiert die entwickelte Methodik zur Arbeitsplatzgestaltung. Die Entwicklung spezifischer KI-Elemente erfolgt an den Beispielen Bewertung von Arbeitsposition und -haltung sowie Identifizierung falscher Bauteile.

1. Einleitung

Der digitale Wandel bietet im Bereich der Fertigungsprozesse viele Chancen den Menschen mit Hilfe von KI-gestützten Systemen zu entlasten [1; 2]. Auch für die Bewältigung flexibel wechselnder Arbeitsaufgaben, bedingt durch die zunehmende Produktvarianz, sind innovative technische Hilfsmittel gefragt, um die Arbeitenden physisch und psychisch zu entlasten. [3; 4] Neuartigen Disstress durch Daten und Informationen gilt es aber zu vermeiden.

Der Beitrag stellt die Einsatz- und Integrationspotenziale der KI zur Unterstützung des Menschen im Bereich der manuellen Montage und Bereitstelllogistik vor. Als Grundlage der Analysen wird das Arbeitssystem-Modell nach REFA herangezogen. Die Betrachtung des Arbeitssystem-Modells erfolgte hierbei zerlegt in seine Elemente, um eine hinreichend genaue Detaillierung aller relevanten Faktoren (z. B. Ein- und Ausgabedaten und deren Darstellung innerhalb der KI) zu erhalten. Die Identifizierung der potenziellen Einsatzbereiche der KI am Beispiel eines Arbeitssystems ist somit präzise möglich. Für die Vereinbarkeit zwischen den Elementen des Arbeitssystems und den möglichen Teilfunktionen einer KI wird das Periodensystem der KI herangezogen.

2. Theoretische Betrachtungen

Das Arbeitssystem ist eine Menge von Elementen, welche zielgerichtet zusammenwirken [5]. Das zugrundegelegte **Arbeitssystem nach REFA** [6] wird durch die 8 Systemelemente (Eingabe, Ausgabe, Arbeitsaufgabe, Mensch, Betriebs- bzw. Arbeitsmittel, Arbeitsablauf, Arbeitsplatz und Arbeitsumgebung) beschrieben. (vgl. auch Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen DIN EN ISO 6385:2016 - [3]) Um eine Arbeitsaufgabe zu erfüllen werden dem Menschen am Arbeitsplatz dabei zunächst innerhalb der Eingabe Arbeitsgegenstände, Informationen und Energie zur Verfügung gestellt. Unter Zuhilfenahme von Arbeits-

und Betriebsmitteln werden die Eingaben innerhalb eines Transformationsprozesses (verwenden, verändern, neu erstellen) in einen anderen Zustand zur Ausgabe überführt. Von außen wirken dabei verschiedene Umgebungseinflüsse (z. B. Lärm, Klima) und ggf. andere Arbeitssysteme ein.

Das **Periodensystem der KI** klassifiziert relevante Teilfunktionen der KI [7]. Diese werden in die Kategorien *Assess* – Erfassen und Erkennen, *Infer* – Deuten und Lernen sowie *Respond* - Reagieren untergliedert. Dabei beziehen sich die KI-Elemente aus dem Bereich *Assess* auf das Erfassen unterschiedlichster Daten (für die Montage z. B. Erfassung von Bauteilen im Arbeitsbereich). Die KI-Elemente aus dem Bereich *Infer* finden im nächsten Schritt, bei dem aus diesen Daten auf Informationen, Situationen oder Zustände geschlossen wird Anwendung (z. B. über die erfassten Bauteile schließend die passende Arbeitsanleitung finden oder den nächsten Arbeitsschritt auswählen). Mit KI-Elementen aus dem Bereich *Respond* erfolgt danach die Reaktion auf die erfassten und ausgewerteten Daten (z. B. Visualisierung der nächsten Arbeitsschritte). Ein komplexer KI-getriebener Anwendungsfall besteht aus mindestens einem KI-Element pro Kategorie. Das Periodensystem der KI ermöglicht damit, die Einsatzbereiche der KI im Arbeitssystem übersichtlich zu identifizieren und Ideen für neue Anwendungen zu generieren [7; 8].

Durch die kombinierte Nutzung des Arbeitssystem-Modells nach REFA und des Periodensystems der KI wird eine analytische Betrachtung der einzelnen KI-Elemente und der Handlungsfelder im Arbeitssystem ermöglicht. Deren gegenseitige Beeinflussungen sowie Abhängigkeiten ermöglichen es, strukturiert und nachvollziehbar die Einsatzbereiche der KI im Arbeitssystem zu identifizieren, zu analysieren und nachfolgend eine möglichst optimale Konzeption zu erreichen (Abbildung 1).

Schwerpunkte der Betrachtung bilden die KI-gestützte ergonomische Arbeits(platz)bewertung sowie die anwendungsorientierten digitalen Assistenzsysteme mittels Objekterkennung.

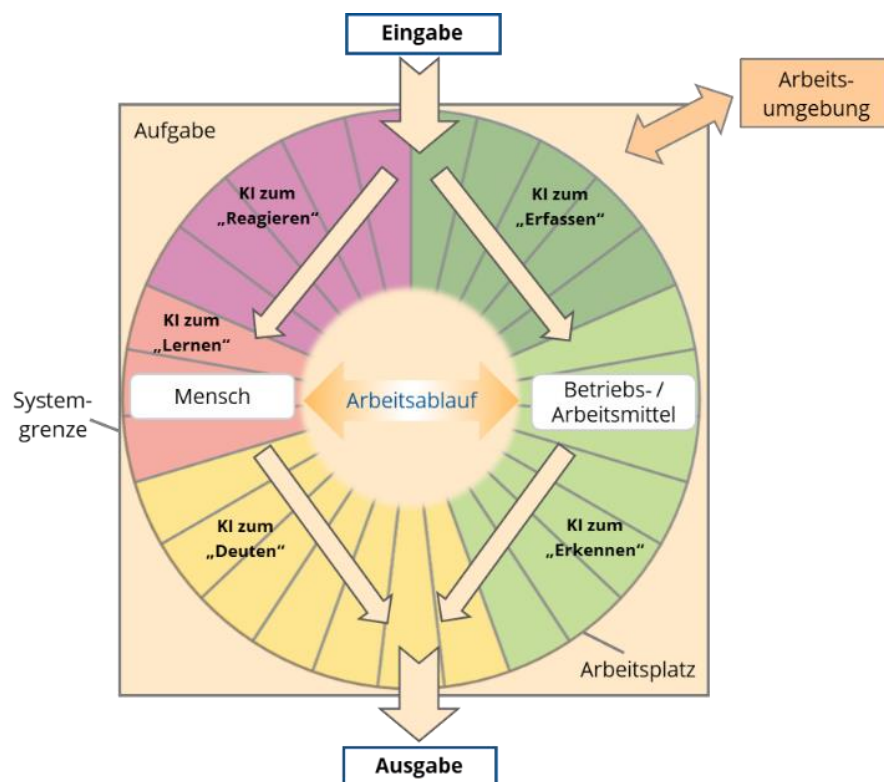


Abbildung 1: Integrationsmöglichkeiten der KI in das Arbeitssystem-Modell nach REFA

3. Praktische KI-Anwendung

Nachfolgend wird die KI-gestützte ergonomische Arbeits(platz)bewertung beispielhaft anhand der Arbeitsposition und -haltung der Mitarbeitenden im Bereich der Montage und der Materialbereitstellung erläutert.

Der konkrete Anwendungsfall bezieht sich auf die manuellen Montage einer Steckdose an einem Steharbeitsplatz. Als Eingabe fließen die Informationen zum Produkt (z. B. Materialdaten), Arbeitsgegenstände (z. B. Grundkörper Steckdose) sowie Energie (Strom) in das Arbeitssystem und werden durch Mitarbeitende und Arbeitsmittel (Vorrichtung, Schrauber) mittels der Arbeitsaufgabe „montieren“ transformiert / gefügt. Die Ausgabe bilden dabei fertige Steckdosen, Emissionen und Abfall. Die Arbeitsumwelt beeinflusst das Arbeitssystem durch physikalische Kenngrößen (u. a. Licht, Lärm, Temperatur), welche entsprechend gesetzlicher Grenzwerte, Vorgaben, Normen und Richtlinien auf vertretbare Werte eingestellt werden sollen.

Im Folgenden wird die angestrebte Nutzung der Elemente des Periodensystems der KI zur Bewertung der Arbeitsposition und -haltung an diesem Montageplatz näher beschrieben.

Elemente der Teilfunktion *Assess* erkennen die Haltung- und Arbeitspositionen. Hier werden speziell die Elemente **Ir** (**I**mage **R**ecognition – Erkennen der Mitarbeitenden an Hand von Kamerabildern), **Ii** (**I**mage **I**dentification – Erkennen der Mitarbeitenden als Personen in einem Bild / Video) und **Da** (**D**ata **A**alytics – Datenanalyse zum Erkennen der ergonomischen Arbeitsposition und -haltung) genutzt.

Mit der Teilfunktion *Infer* zur Deutung der Ergebnisse und dem Lernen aus diesen erfolgt die Bewertung der Ergonomie auf Basis arbeitswissenschaftlicher Vorgaben. Diese wird durch die Elemente **Pi** (**P**redictive **I**nference – dem Vorhersagen von schädigenden Arbeitshaltungen und -positionen auf Grundlage z. B. der Gelenkwinkel und „angelernten“ Verhaltensweisen) und **PI** (**P**lanning – Analyse der Konsequenzen der Arbeitshaltung- und -position an Hand von Restriktionen und Vorgaben) definiert.

Die Bewertungsergebnisse werden innerhalb der Teilfunktion *Respond* mit Hilfe des Elementes **Cm** (**C**ommunication) durch Visualisierung des konkreten Ergebnisses und Ausgabe an den Benutzer dargestellt, vgl. Abbildung 2. [7]

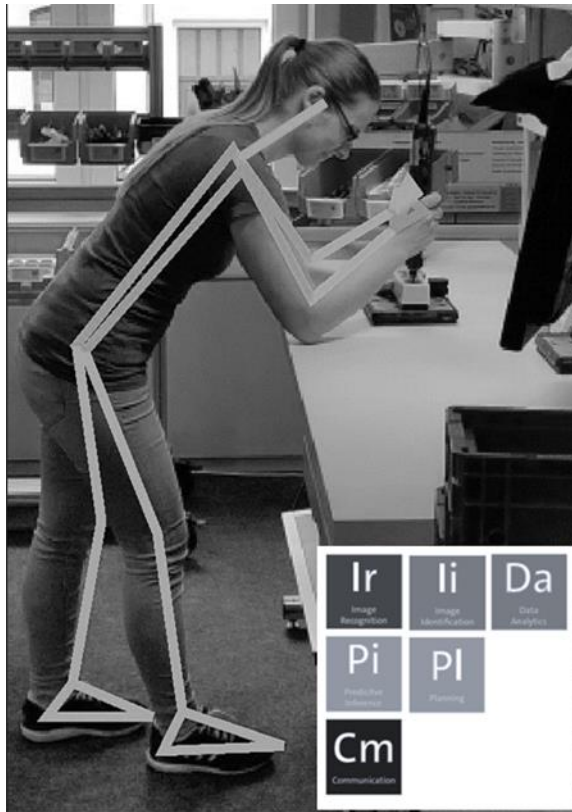


Abbildung 2: Ergonomiebewertung am Beispiel Arbeitsposition und -haltung

4. Fazit

Die Einsatzbereiche der KI können durch das methodische Vorgehen unter Nutzung des Arbeitssystem-Modells nach REFA sowie des Periodensystems der KI übersichtlich identifiziert und Ideen für neue Anwendungen generiert werden. Die Beschreibung der KI-Unterstützung wird durch Nutzung der einzelnen KI-Elemente innerhalb der drei Teilfunktionen (Assess, Infer und Respond) verständlicher und nachvollziehbar aufgeschlüsselt.

Datenverfügbarkeit

Alle im Text verwendeten Informationen und Daten wurden mit den von den Autor*innen genannten Quellen geschrieben bzw. sind von dem genannten Autorenteam erstellt worden.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Automationspraxis (2020). Künstliche Intelligenz. Mehr Assistenz als Ersatz für den Menschen. Verfügbar unter <https://automationspraxis.industrie.de/news/ki-mehr-assistenz-als-ersatz-fuer-den-menschen/> [17.02.2022].
2. Litzel, N. (2021). BigData-Insider - KI wird uns nicht ersetzen – sie macht uns noch wertvoller, Verfügbar unter <https://www.bigdata-insider.de/ki-wird-uns-nicht-ersetzen-sie-macht-uns-noch-wertvoller-a-1061315/> [17.02.2022].

3. DIN EN ISO 6385 (2016). Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth.
4. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2016). Digitalisierung am Arbeitsplatz. Verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Publikationen/a875-monitor-digitalisierung-am-arbeitsplatz.html>, PDF S. 16 [28.04.2022].
5. Hettinger, Th., Wobbe, M. (1993). Kompendium der Arbeitswissenschaft: Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl.
6. REFA Fachverband e.V. (2021). REFA-Grundausbildung 4.0 - Begriffe und Formeln. München, Carl Hanser.
7. Bitkom e. V. (2018). Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. - Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz: Ein Navigationssystem für Entscheider, Verfügbar unter https://www.bitkom.org/sites/main/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf [17.02.2022].
8. Goldhahn, L., Roch, S. (2021). Potenziale der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt Montage, In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), ARBEIT HUMANE gestalten. Frühjahrskongress 03.-05. März 2021. Bochum, Dortmund: GfA Press, B.5.10.

Bedarfsgerechte Serviceplanung durch Einsatz von Künstlicher Intelligenz

Constantin Pohl^{1*}, Michael Cebulla² und Thomas Heimrich¹

¹ Hochschule Schmalkalden

² Hochschule Anhalt

* Korrespondenz: c.pohl@hs-sm.de

Kurzfassung. Zustände von Anlagen können mittels Sensorik automatisiert erfasst und ausgewertet werden. Dies erlaubt eine vorausschauende Wartung. In unserem Praxisprojekt wurde eine Plattform aufgebaut, welche in Echtzeit Sensordaten von Anlagen erfasst, speichert, weiterverarbeitet und darstellt. Mit Modellen des maschinellen Lernens werden aus abgeleiteten Features Vorhersagen und Klassifikationen vorgenommen, mit denen z.B. der ideale Zeitpunkt für einen Ölwechsel bestimmt wird. Training und Einsatz der Modelle im kontinuierlichen Betrieb sowie das Forecasting sind in die Plattform integriert, ein Dashboard zeigt die Auswertungen an. Insbesondere KMUs können über die Plattform KI-basierte Dienste nutzen, ohne eine eigene IT-Infrastruktur aufbauen zu müssen.

1. Einleitung

Beim Betrieb von Anlagen und Maschinen fallen regelmäßig Wartungen an, um die Funktionalität so lange wie möglich zu gewährleisten. Bei kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMUs) werden hierfür oft externe Servicetechniker des Herstellers eingesetzt, die extra anreisen und Komponenten wie Öl und Filter abhängig von den Betriebsstunden vor Ort austauschen.

Industrie 4.0 hat mittlerweile dafür gesorgt, dass Prozesse und Zustände von Anlagen und Maschinen häufig durch Sensorik erfasst und ausgewertet werden können [cf. 1]. Der nächste Schritt besteht darin, diese Daten automatisiert und durch Einbindung von Algorithmen der künstlichen Intelligenz so auszuwerten, dass eine vorausschauende Wartung ermöglicht wird. Daraus ergeben sich große Einsparpotenziale an Ressourcen wie Öl und Verschleißteilen sowie Fahrtkosten für Servicetechniker, die nun nach tatsächlichem Bedarf und nicht mehr nach festen Intervallen reisen können.

2. Architektur

In Zusammenarbeit mit lokalen Industriepartnern wurde über ein noch laufendes Praxisprojekt eine Plattform aufgebaut, mit dem Ziel, diese Funktionalität zur Verfügung zu stellen. Eine Übersicht der Plattform findet sich in Abbildung 1.

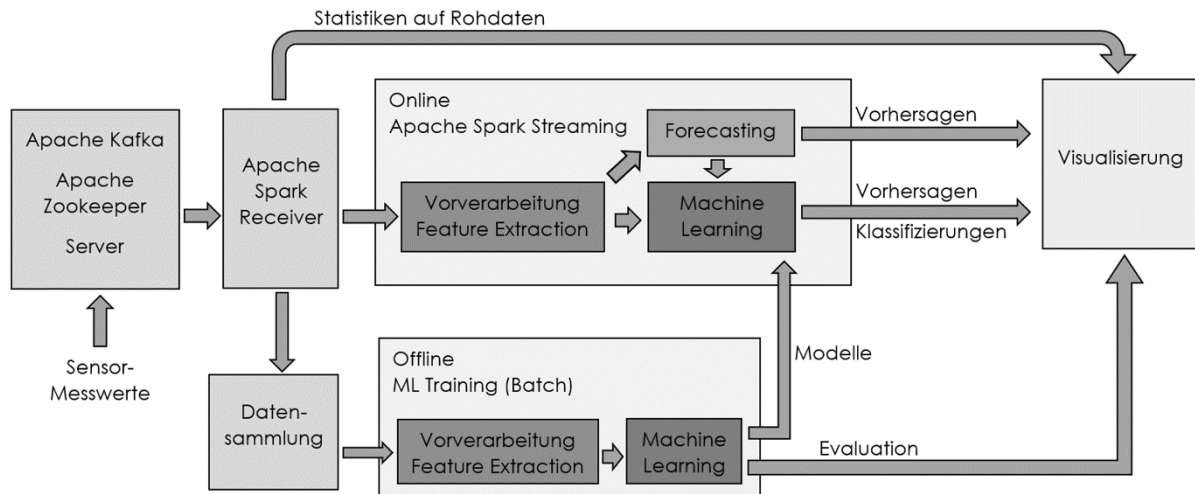


Abbildung 1: Architektur der aufgebauten Plattform

Die von der Sensorik kontinuierlich erfassten Daten der Anlage werden vor Ort gebündelt und an die Plattform gesendet, welche auf einem lokalen Server oder in der Cloud laufen kann und von der Anlage aus erreichbar ist. Dort werden die empfangenen Daten vorverarbeitet, gespeichert und in Echtzeit ausgewertet. Dabei ist in zwei wesentliche Komponenten der Plattform zu unterscheiden, der Online- und Offline-Verarbeitung der Daten.

2.1 Offline-Komponente

Prinzipiell müssen Modelle der künstlichen Intelligenz eine Trainingsphase durchlaufen, bevor sie in der Anwendung einsetzbar sind. Dazu werden vor dem Realbetrieb Sensordaten gesammelt, in Features umgewandelt und in der Offline-Komponente zum Training genutzt. Die daraus entstandenen Modelle können verifiziert und verglichen werden, auch wenn sich an den eingehenden Features Änderungen ergeben, wie beispielsweise ein zusätzlicher in der Anlage angebrachter Sensor.

Haben die Modelle die gewünschten Ergebnisse erbracht, können sie in der Online-Komponente zum Einsatz kommen.

2.2 Online-Komponente

Hier findet die Verarbeitung der eingehenden Sensordaten in Echtzeit statt, welche durch die Modelle kontinuierlich klassifiziert und zur Vorhersage genutzt werden können, wie beispielsweise zur Bestimmung des idealen Zeitpunkts eines Ölwechsels aus Sicht des Systems. Dabei ist weiter in zwei Anwendungsfälle zu unterscheiden, der Zustandserkennung sowie dem Forecasting.

Während die Zustandserkennung den Zweck hat, basierend auf den aktuell eingegangenen Daten zu klassifizieren und Anomalien zu entdecken, dient das Forecasting dazu, durch mehrere zuletzt erhaltene Daten einen Trend oder zumindest eine Tendenz zu erhalten, z.B. die Schätzung der Restlebenszeit eines Filters.

Die jeweiligen Ergebnisse können zur Visualisierung über ein Dashboard angezeigt werden, einschließlich der zurückliegenden Historie, indem Rohdaten und Ergebnisse persistent gespeichert sind. Die gesamte Plattform basiert dabei auf der Apache Spark Technologie. Diese erlaubt es, je nach Anzahl der Verbindungen zu Anlagen auf der verfügbaren Hardware zu skalieren und die Last zu verteilen.

3. Schluss

Im Rahmen des Projektes konnte eine Plattform aufgebaut werden, die es ermöglicht, KI-basierte Dienste in KMUs bereitzustellen, ohne eine eigene IT-Infrastruktur aufbauen zu müssen. In der Entwicklungsphase können auf dieser Plattform verschiedene KI-Verfahren erprobt und weiterentwickelt werden, um dann schließlich zum Einsatz gebracht werden zu können.

Datenverfügbarkeit

Aufgrund weiterer zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Industriepartner des Projekts konnte keine Vereinbarung über die gemeinsame Nutzung von Daten getroffen werden, sodass zum jetzigen Zeitpunkt keine unterstützenden Daten verfügbar sind.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Javaid, Mohd et al. (2021): Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications, Sensors International Band 2, KeAI Publishing, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100110>