

Erstes Symposium
der Promovierenden an
der Hochschule Bochum

am 30.10.2018
im Geothermiezentrum
der Hochschule Bochum

Tagungsband

Impressum

Herausgeberschaft: Hochschule Bochum
Dr. Daniel Stietenroth, MBA
Dezernat 7 Forschungsförderung
Lennershofstr. 140
44801 Bochum

Bestellung: unter ISBN 978-3-00-060976-3 über
daniel.stietenroth@hs-bochum.de
+49 234 32 10890

Druck: Hochschule Bochum, Dezernat 1, IMS

Einordnung

Die Promovierenden an der Hochschule Bochum leisten gemeinsam mit ihren Betreuerinnen und Betreuern einen wichtigen Beitrag zur wissenschaftlichen Sichtbarkeit und Vernetzung. In den regelmäßig stattfindenden Vernetzungstreffen der Promovierenden kam die Idee auf, ein selbst organisiertes Symposium zu veranstalten, um

- die Sichtbarkeit der Promotionsvorhaben und der damit verbundenen Personen zu erhöhen,
- die Interdisziplinarität der Arbeitsansätze und das breite Themenspektrum der Promotionen an der Hochschule Bochum zu zeigen,
- den konstruktiven Umgang mit Herausforderungen in Promotionsverfahren an Fachhochschulen zu fördern.

Das Symposium der Promovierenden fand am 30. Oktober 2018 im Auditorium und Foyer des Geothermiezentrums an der Hochschule Bochum statt.

Teilnehmende waren einerseits die Promovierenden und ihre Betreuerinnen und Betreuer an der Hochschule Bochum, andererseits wurden insbesondere externe Betreuerinnen und Betreuer, Kooperationspartner aus Wissenschaft und Wirtschaft, Promovierende und Interessierte der umliegenden Hochschulen und der Region eingeladen. Promotionsinteressierte Studierende bekamen einen Einblick in die Phase der Promotion, thematische Anregungen und konnten Ansprechpartner finden. Die Veranstaltung war offen für alle interessierten Hochschulangehörigen.

Am Vormittag rückten die Karrierepfade in den Fokus: Es wurde in zwei Plenarvorträgen aus verschiedenen Winkeln auf das Thema geblickt: Prof. Dr.-Ing. David Schepers (Hochschule Ruhr-West) - ein Promotions-Alumnus unserer Hochschule - reflektierte konstruktiv-kritisch die Zeit seiner Promotion, erläuterte besondere Highlights und Herausforderungen und beschrieb seinen Weg über die Wirtschaft hin zur Professur. Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner und Dr.-Ing. Anna Grevé (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT) zeigten insbesondere Karrierewege im Bereich der anwendungsorientierten Forschung und der Wirtschaft auf (jeweils Präsentation und Fragen/Diskussion).

Alle in der ganztägigen Ausstellung gezeigten Poster wurden im Plenum kompakt vorgestellt:

„3-slide-3-minutes“ – Kurzvorträge (3 Minuten je Poster) der Promovierenden.

Am Nachmittag lag der Fokus ganz auf den laufenden Promotionsprojekten: Es wurden Arbeiten von Promovierenden an der Hochschule Bochum vorgestellt. Neben den fachlichen Inhalten ihrer Arbeiten wurden auch die Rahmenbedingungen (etwa Betreuung, Finanzierung) und die Interdisziplinarität des Arbeitsansatzes behandelt. Die vorgestellten Arbeiten kamen aus unterschiedlichen Fachbereichen und befanden sich in unterschiedlichen Stadien (etwa Themenfindung, Projektdurchführung, Abschluss der Arbeit).

Eingerahmt wurde das Programm ganztägig durch eine Poster Ausstellung auf Stellwänden, in der laufende Promotionsprojekte an der Hochschule Bochum vorgestellt wurden. Während der Mittags- und Nachmittagspause gab es „postersessions“: Promovierende stellten ihr Promotionsprojekt direkt am Poster vor, nachdem sie es vorab im Plenum im Rahmen des dreiminütigen Kurzvortrages beworben hatten. Das Graduierteninstitut NRW war ebenfalls in der Ausstellung vertreten.

Zur Einreichung eines Posters und zur Beteiligung an den Kurzvorträgen („3-slide-3-minutes“) waren alle Promovierenden der Hochschule aufgefordert – nicht alle konnten aktiv teilnehmen, viele sind mit einem Beitrag zu Ihrer wissenschaftlichen Arbeit in diesem Tagungsband vertreten.

Die Promovierenden an der Hochschule Bochum werden vielfältig unterstützt: Auf der einen Seite stehen die Angebote der langjährigen Kooperationspartner Research School der Ruhr-Universität Bochum und dem Graduierteninstitut NRW, auf der anderen Seite stehen die finanziellen Förderungen über die qed-Stiftung und die Gleichstellungsbeauftragte der Hochschule Bochum - die auf Initiative des Präsidiums zukünftig noch weiter ergänzt werden. Darüber hinaus finden regelmäßige Vernetzungstreffen der Promovierenden statt, die offen für alle Promovierenden und an einer Promotion Interessierten sind.

Fachhochschulen haben einen besonderen Bezug zur Region. Die Promovierenden haben sich daher bewusst dafür entschieden, diesen Tagungsband in deutscher Sprache zu verfassen, auch wenn viele Beiträge dafür aus dem Englischen zurück übersetzt wurden.

Großer Dank gilt allen, die zum Gelingen dieses ersten Symposiums der Promovierenden an der Hochschule Bochum beigetragen haben! Das sind die Förderorganisationen, die viele Forschungsprojekte mit einer Finanzierung erst ermöglichen, die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, die diese Projekte eingeworben haben, aber insbesondere die Promovierenden selbst, die durch Ihre Beiträge überzeugten und darüber hinaus die Veranstaltung organisiert haben, sowie die Gastgeber im Geothermiezentrum der Hochschule Bochum und vielen, vielen Weiteren: DANKE!

Dr. Daniel Stietenroth, MBA

Forschung und wissenschaftlicher Nachwuchs

Dezernat 7 Forschungsförderung

Inhalt

Einordnung	i
Fachbereich Architektur	
Gaspar Galambos: VIMENTUM – Tragelemente zu Leichtbauhallen	9
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen	
Denis Busch: Querkrafttragfähigkeit von Hohlkörperdecken in Abhängigkeit der Hohlkörperhöhenlage	15
Daniel P. Gradzki: Experimentelle Untersuchung des Gesteinsabtrags mittels Hochdruckwasserstrahl	19
Florian Hahn: Geomechanische Charakterisierung des Ruhrkarbons unter thermischer Belastung zur Beurteilung eines Hochtemperatur – Grubenwärmespeichers	23
Kevin Lippert: Greener - Charakterisierung und Priorisierung geothermischer Reservoirs als Handlungsgrundlage für die regionale Energiewirtschaft	25
Fabian Netzel: Anwendung von instationären Bemessungsansätzen in der wasserwirtschaftlichen Praxis	31
Fachbereich Elektrotechnik und Informatik	
Martin Hellwig: Fahrtenmanagement zur Reichweitenoptimierung unter Berücksichtigung zeitvarianter Einflüsse in der Simulation von Elektrofahrzeugen	35
Alexandra Jaik: Nachhaltige soziale Konsumpraktiken im Quartier am Beispiel von Leihläden	41
Tobias Scholz: Anwendung von Data-Mining Methoden in Kombination mit in-operation Algorithmen zur Reduzierung des Ressourcenaufwands bei der Vermessung und Charakterisierung von Lithium-Ionen Akkumulatoren	43
Fachbereich Geodäsie	
Christian Müller: System-orientierte Raumsimulationen für eine nachhaltige Stadtplanung	47
Fachbereich Mechatronik und Maschinenbau	
Daniel Altegoer: Entwicklung einer hocheffizienten Zweiphasenkühlung für Photovoltaik-Anlagen	51
Sarah Jasper: Analyse des Hochdruck Jetting Bohrprozesses für geothermische Tiefbohrungen	55
Fachbereich Wirtschaft	
Elena Niehuis: Genderspezifische Wertorientierungen im Nachhaltigen Kleidungskonsum	59
Konrad Pawlikowski: Entwicklung einer Methodik zur Komplexitätsbewertung von variantenreichen Produkten am Beispiel der Automobilindustrie	63
Stephan Wallaschkowski: Geschlechterbilder und Rollenerwartungen als Barrieren für nachhaltigen Kleidungskonsum: Eine Analyse aus Sicht des Nachhaltigkeitsmarketing	69
Programm	75

VIMENTUM – Tragelemente zu Leichtbauhallen

Gaspar Galambos, M. Sc.

Hochschule Bochum, Fachbereich Architektur, Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen,
Tragwerklehre und Baukonstruktion, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal

gaspar.galambos@hs-bochum.de

Schlagworte: Optimierung Stabflechtwerke, parametrisches Entwerfen, nachhaltiges Bauen

Einleitung

Das Forschungsprojekt befasst sich mit VIMENTUM, einer eigens entwickelten Software, die den Nutzer in die Lage versetzen soll, tragkonstruktiv effiziente Stabflechtwerkschalen zu generieren.

Mit Stabflechtwerkschalen können große stützenfreie Räume mit beliebiger Grundrissgeometrie aus kurzen Traggliedern und im Sinne des nachhaltigen Bauens ohne schweres Hebezeug geschaffen werden. Grundlage für die Flechtwerke bilden im Forschungsprojekt beispielhaft Stäbe mit rundem Querschnitt aus Nadelholz (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Mit Studierenden gebaute Flechtwerkschale an der Hochschule Bochum

Stand der Technik

Die Grundidee basiert auf Leonardo da Vincis Aufzeichnungen. Werden kurze Stäbe in einer bestimmten Reihenfolge gefügt, entsteht eine Struktur, die ohne Verbindungsmittel tragfähig ist, wie z.B. die gesteckte Bogenbrücke (vgl. Abb. 2).

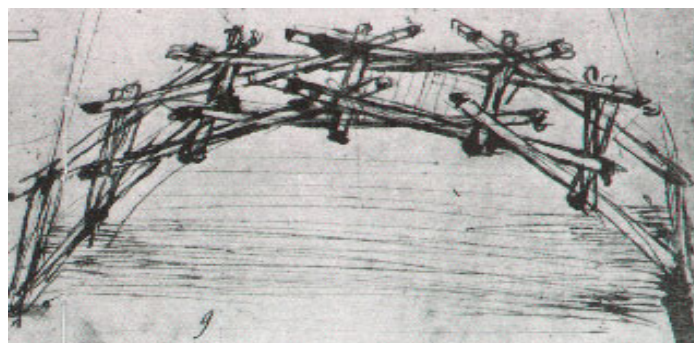


Abb. 2: Gesteckte Bogenbrücke von Leonardo da Vinci 1482 (Popovic 1996)

Wird diese Idee in eine zweite Achsrichtung fortgeführt, entstehen Stabflechtwerkschalen. Als Basis für Stabflechtwerkschalen dienen mindestens drei, in der Forschungsarbeit beispielhaft vier Stäbe, die sich wechselseitig (reziprok) tragen (vgl. Abb. 3). Die Weiterführung der Grundmodule zu größeren Einheiten führt durch die Stapelung der Stäbe zu ein- oder zweiachial gekrümmten Trägerrosten. Für die Schalengeometrie sind daher Stabdurchmesser und Stablänge wesentliche Parameter. Kurze und dicke Stäbe führen zu einer großen, dünne und lange Stäbe zu einer kleinen Schalenkrümmung.

Im Falle der reinen Stapelung handelt es sich bei den Trägerrosten zunächst um relativ ineffiziente Tragwerke, da der Lastabtrag hauptsächlich über die Biegebeanspruchbarkeit der Stäbe erfolgt (vgl. Abb. 4).

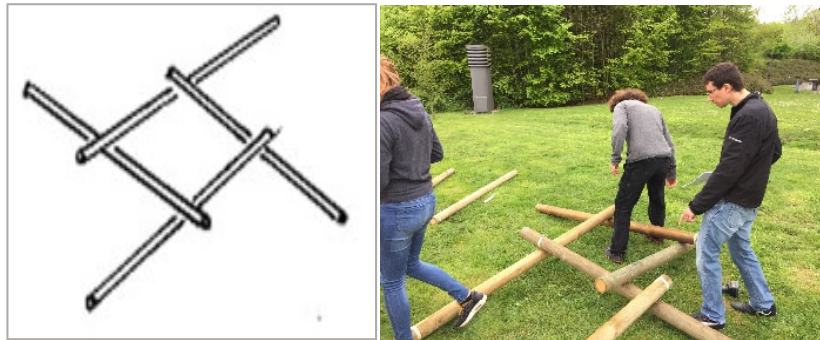


Abb. 3: Grundmodule aus vier Stäben

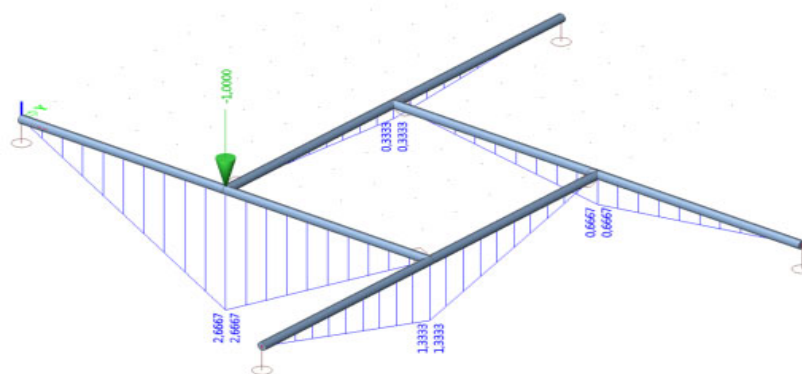


Abb. 4: Momentenverlauf eines Grundmoduls unter einer Einzellast

VIMENTUM als Forschungsziel

Das Softwaretool VIMENTUM zur Generierung optimierter Flechtwerkschalen soll entwickelt werden. Zur Steigerung der Effizienz soll VIMENTUM folgende Ansätze berücksichtigen:

- (1) Zur Reduzierung der Biegebeanspruchung der Stäbe sollen geeignete Knotenpunktverbindungen entwickelt werden, um eine Bogentragwirkung über die tragkonstruktive Kopplung der Knotenpunkte zu erzeugen.
- (2) Zur Reduzierung der Biegebeanspruchung der Stäbe sollen Schalen erzeugt werden, deren Oberflächen Minimalflächen nahekommen (vgl. Seifenblase).
- (3) Eine Aufbaureihenfolge soll vorgegeben werden, um die Zwangskräfte, die beim Flechten der Schalen entstehen zu reduzieren. Eine präzisere bauliche Umsetzung der Schalengeometrie soll so möglich werden.

(1) Methode zur Reduzierung der Biegebeanspruchung durch Aktivierung der Bogentragwirkung

Ein Flechtwerk soll durch geeignete (einfache) Stabverbindungen so verbunden werden, dass die Stäbe Längskräfte (Normalkräfte) übertragen. Dadurch entsteht ein Stabzug (in Abb. 5 rot markiert). Wird ein solcher Stabzug an den Auflagerpunkten gegen seitliches Verschieben (horizontal) fixiert, entstehen polygonale Bogentragwerke. Der Lastabtrag (oder die Effizienz des Tragwerkes) ist gegenüber dem Lastabtrag eines maßgeblich biegebeanspruchten Flechtwerks damit ganz wesentlich verbessert.

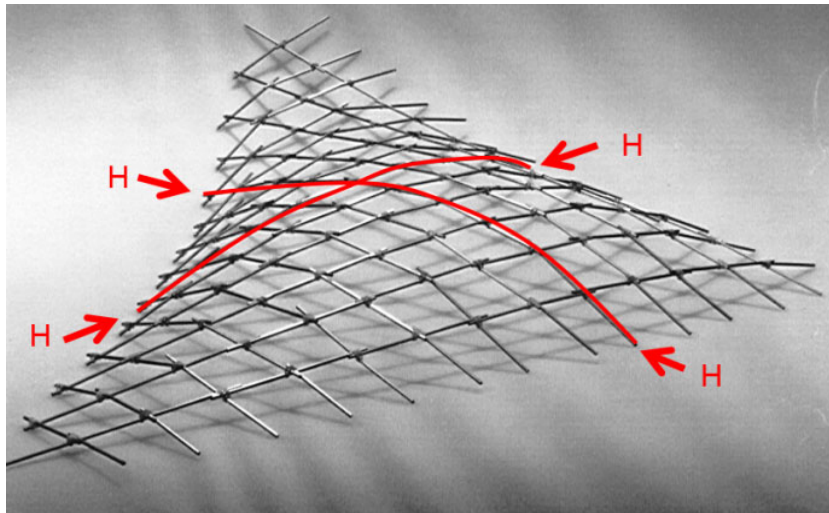


Abb. 5: Aktivierung der Bogentragwirkung in einem reziproken Stabflechtwerk

Die Form einer Stabflechtwerkschale ergibt sich beim Aufbau durch die Stapelung der Stäbe. Im fortlaufenden Aufbauprozess führt dies zu einer ständigen Winkeländerung zwischen den einzelnen Stäben (vgl. Abb. 6). Neben der für die Bogentragwirkung notwendigen Weiterleitung der Normalkräfte, ergibt sich hier daher eine besondere Anforderung an die erforderliche Verdrehbarkeit der Knotenverbindung während der Montage.

Zunächst werden für die Verbindungen vorzugsweise kostengünstige, leistungsstarke laterale Anschlüsse (z.B. SPAX-Vollgewindeschrauben) untersucht (vgl. Abb. 6). Im Bauzustand werden vorerst nur so viele Schrauben in den Knotenpunkt eingebracht, dass lediglich ein Abrutschen der aufliegenden Stäbe vom unteren Stab verhindert wird. Die notwendige Verdrehbarkeit wird dabei durch die Plastizität der Verbindungsmittel erreicht. Um die Winkeländerungen während des Bauprozesses möglichst gering zu halten, soll VIMENTUM einen Bauplan vorgeben. Sobald der geplante Winkel zwischen den aufliegenden Stäben erreicht ist, wird der Knotenpunkt für die weiterzuleitenden Normalkräfte ausgebildet.

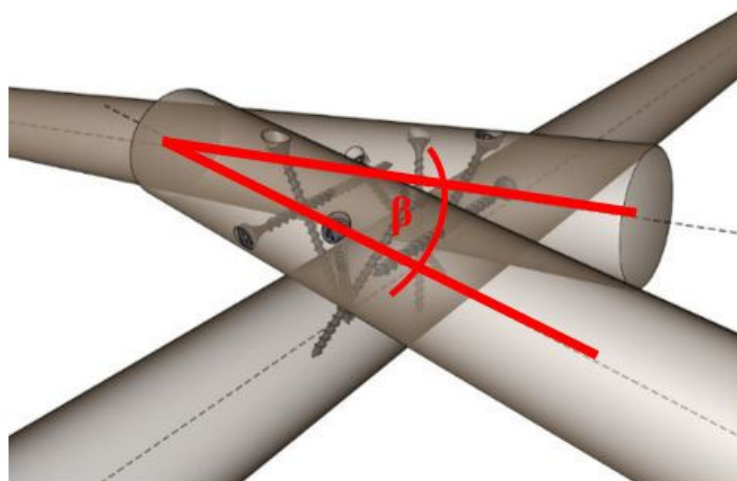


Abb. 6: Schematische Darstellung einer Knotenverbindung

(2) Methode zur Reduzierung der Biegebeanspruchung durch Anpassung der Schalengeometrie an Minimalflächen

Eine weitere Steigerung der Effizienz von Stabflechtwerkschalen wird erreicht, wenn deren Oberflächen Minimalflächen nahekommen. Minimalflächen tragen sämtliche gleichmäßig verteilt auftretende Kräfte über Druck- oder über Zugspannungen ab (vgl. Seifenblase).

Die zu analysierende und weiterzuentwickelnde Konstruktionsmethode ist die approximative Bauweise. In VIMENTUM wird eine beliebige Form des Grundrisses vordefiniert und mit einem vorzugebenden und biegesteifen Trägerrost belegt (vgl. Abb. 7). In der Forschungsarbeit wird dafür beispielhaft ein Trägerrost mit rechteckigen Elementen verwendet.

Die computergestützte Simulation der physikalischen Relaxation wird genutzt, um zunächst die Systemlinien einer hautartigen Schale zu generieren (vgl. Abb. 8). Dabei wird über ein Masse-Feder-System ein Gleichgewichtszustand unter der gleichmäßig verteilten Eigenlast der Stäbe hergestellt.

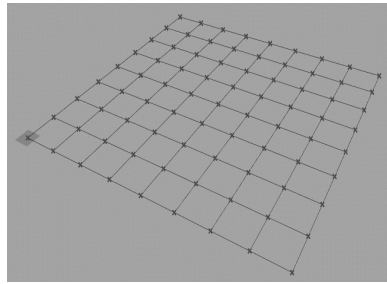


Abb. 7: Trägerrost: Am Beispiel einer quadratischen Grundfläche

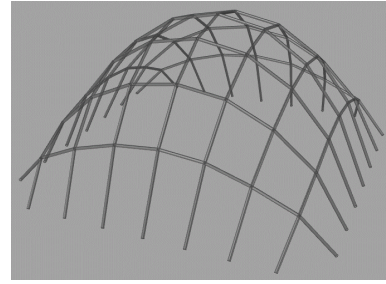


Abb. 8: Einlagige Schale

Die Endpunkte der Stäbe in der Schale werden anschließend in den Knotenpunkten jeweils auf ihrem Nachbarstab gegen den Uhrzeigersinn um den Öffnungsfaktor α verschoben (vgl. Abb. 9 und Abb. 10). Um die Bogenwirkung erzeugen zu können, werden die Endpunkte der Stäbe im Forschungsvorhaben um den Öffnungsfaktor $\alpha = 0.50$ versetzt. Dies entspricht der halben Stablänge des Nachbarstabes. Die daraus entstehende Geometrie ist in Abb. 11 dargestellt.

Die Exzentrizitätsmaße der Anschlussknoten werden mithilfe der sogenannten Schwarmmethode iterativ ermittelt. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen, die sich aus den Stabdurchmessern im Verhältnis zu den Stablängen ergeben, werden die Stäbe dabei neu angeordnet. Knoten werden entsprechend ihrer Lage also auch außerhalb der Schalenachsfläche angeordnet (vgl. Abb. 12).

Die theoretischen Grundlagen zur Methode der Dynamischen Relaxation und der anschließenden Überführung der einlagigen Schale in die reziproke Bauweise der Flechtwerke werden von C. Douthe und O. Baverel (2009) beschrieben.

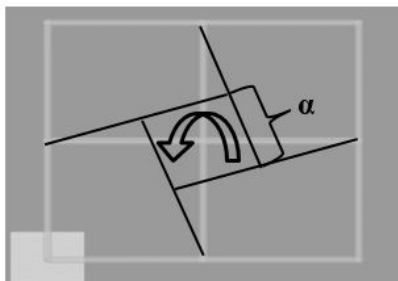


Abb. 9: Schematische Darstellung der Verschieberichtung

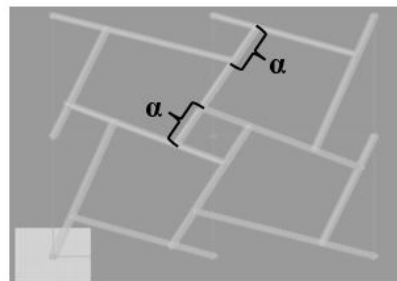
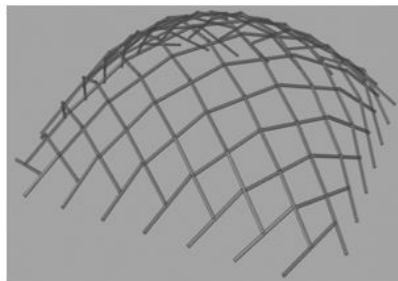
Abb. 10: Um den Öffnungsfaktor α verschobene Trägerroststruktur

Abb. 11: Geometrie der Stabflechtwerkschale

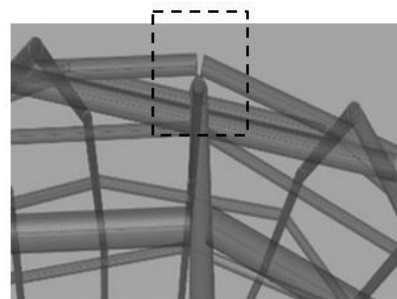


Abb. 12: Geometrie der gestapelten Struktur

(3) Methode zur Festlegung der Aufbaureihenfolge

In einem weiteren Schritt soll VIMENTUM durch ein Modul ergänzt werden, das die Lastverteilung innerhalb der Stabflechtwerkschale dem Nutzer fortlaufend durch die Darstellung der

Momentenlinie zeigt. So werden die Auswirkungen von geometrischen Veränderungen an der Schalengeometrie auf die Lastverteilung direkt visualisiert.

Diese Möglichkeit wird auch für die Festlegung der Aufbaureihenfolge genutzt. Zunächst wird in der untersten Reihe vorerst probeweise jeder Stab einmal entfernt. Die dabei auftretenden Momente werden gespeichert und miteinander verglichen. Der Stab, der bei seinem Fehlen in der Struktur, die geringste Veränderung in der Momentenverteilung über die Struktur verursacht, wird gespeichert und aus der selbigen entfernt. Dieser Vorgang wird für jeden Stab in einer Reihe und nacheinander für jede Reihe wiederholt. Aus diesem Prozess erhält der Nutzer schließlich automatisiert die Aufbaureihenfolge.

Mit Hilfe dieser Aufbaureihenfolge können Zwangsspannungen reduziert und Verdrehungen der Knotenpunkte während des Bauprozesses kalkulierbar gemacht werden. Die Winkeländerungen beim Aufbau verringern sich auf ein Minimum.

Die bauliche Umsetzung einer Stabflechtwerkschale wird dadurch wesentlich vereinfacht und eine präzisere Umsetzung der Geometrie möglich gemacht.

Fazit

Mit VIMENTUM ist der Nutzer aktuell in der Lage mit Hilfe der Dynamischen Relaxation über einer beliebigen Grundfläche eine tragkonstruktiv effiziente einlagige (alle Stäbe liegen in einer Ebene) Schale zu erzeugen. Ihre Geometrie kann die Software in die Geometrie der reziproken Stabflechtwerkschale überführen.

Das Modul zur Festlegung der Aufbaureihenfolge muss noch implementiert werden.

Die an der Hochschule Bochum gebaute Stabflechtwerkschale hat gezeigt, dass die Knotenpunktlösung mit den SPAX-Vollgewindeschrauben grundsätzlich funktioniert, aber die Winkeländerungen innerhalb der Knotenpunkte während des Bauprozesses sehr groß waren. Der Bauprozess bedingt, dass sich nicht nur die unmittelbaren Nachbarknoten eines ergänzten Stabes, sondern auch alle bereits vorhandenen Knotenpunkte ebenfalls verdrehen müssen. Die notwendigen Verdrehungen innerhalb eines einzelnen Knotenpunktes führten zu großen Zwangskräften, da die Vielzahl der aktivierten (mitverdrehen) Knotenpunkte die zu überwindende Gesamtsteifigkeit extrem erhöhte. Das Resultat waren Abweichungen in der Geometrie der gebauten Schale gegenüber der geplanten Struktur.

Mit VIMENTUM soll Planern letztendlich ein Softwaretool zur Verfügung gestellt werden, mit dem nachhaltige und tragkonstruktiv sehr effiziente Schalen in Form reziproker Stabtragwerke aus kurzen Traggliedern mit variablen Grundflächengeometrien entworfen werden können. Die Schalengeometrie kann anschließend im Sinne des Building Information Modelling in eine beliebige 3D-Tragwerkanalysesoftware für die weitere Bearbeitung exportiert werden.

Literaturverzeichnis

- Baverel, O.; Douthe, C. (2009): Design of nexorades or reciprocal frame systems with the dynamic relaxation method, in: Computers and Structures, Volume 87, 2009, S.1296-1307.
- Kohlhammer, T. (2013): Strukturoptimierung von Stabförmigen Flächentragwerken mittels reziproker Analyse (Dissertation), ETH Zürich, Zürich, Schweiz
- Popovic, O. (1996): Reciprocal Frame Structures (Dissertation), University of Nottingham, Nottingham, England
- Song, Peng.; Fu, C.-W.; Goswami, P.; Zheng, J.; Mitra N.J., Cohen-Or, D. (2014): Reciprocal Frame Structures Made Easy, Nanyang Technological University, Singapur, University College London, Tel Aviv University, <http://vecg.cs.ucl.ac.uk/Projects/SmartGeometry/reciprocal_frame/reciprocalFrames_sig13.html>, 26.02.2014.

Querkrafttragfähigkeit von Hohlkörperdecken in Abhängigkeit der Hohlkörperhöhenlage

Denis Busch, M.Sc.

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau / Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum

denis.busch@hs-bochum.de

Schlagworte: Hohlkörperdecken, Hohlkörperhöhenlage, Bauteilversuche, FEM-Berechnungen

Einleitung

Im Bauwesen wird ein sehr großer Anteil des verbauten Betons in Decken- und Fundamentplatten verarbeitet. Ein wesentlicher Nachteil des Baustoffes Beton stellt sein hohes Eigengewicht dar, welches dazu führt, dass für die lastabtragenden Bauteile der größte Lastanteil nicht durch die Nutzung, sondern durch das Eigengewicht hervorgerufen wird. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts werden, zur Reduktion des Eigengewichtes und zur CO₂-Minimierung, Stahlbetonhohldielen im Bauwesen eingesetzt. Da diese Decken nur einen einachsigen Lastabtrag ermöglichen, ging die Entwicklung Mitte der 90er Jahre zu zweiachsig gespannten Hohlkörperdecken über. Bei zweiachsig gespannten Hohlkörperdecken werden die Hohlkörper, wie in Abbildung 1 dargestellt, zwischen der oberen und der unteren Bewehrungslage der Stahlbetondecke eingebaut. Das marktführende Unternehmen Heinze Cobiax Deutschland GmbH benutzt zurzeit kugelförmige und ellipsoidförmige Hohlkörpervarianten.

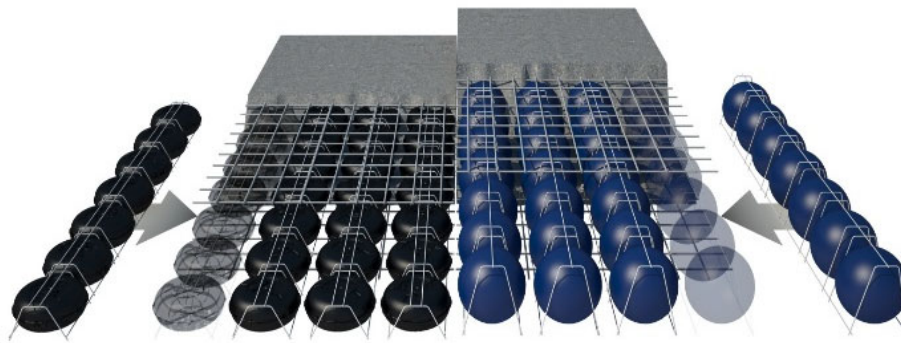


Abbildung 1: Ellipsoidförmige (links) und kugelförmige (rechts) Hohlkörper der Firma Heinze Cobiax Deutschland GmbH

Material & Methoden

FEM-Berechnungen

Zur Erwirkung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen werden neben Bauteilversuchen auch häufig ergänzend FEM-Berechnungen durchgeführt. Mittels FEM-Berechnungen lassen sich beispielsweise kostengünstig zahlreiche Variationen der Hohlkörperlage und der Materialeigenschaften untersuchen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein FEM-Modell, welches mit der Software DIANA der Firma DIANA FEA erstellt wurde. Bei diesen Untersuchungen konnte ein Einfluss der Hohlkörperhöhenlage auf die Querkrafttragfähigkeit der Hohlkörperdecke beobachtet werden.

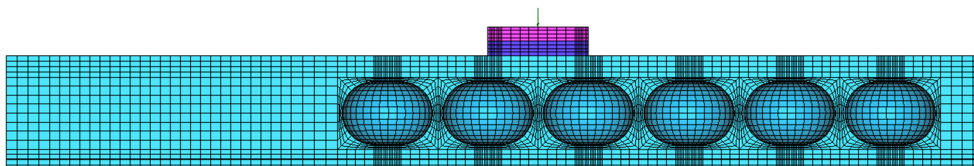


Abbildung 2: FEM-Modell modelliert mit der Software DIANA

Bauteilversuche

Um den Einfluss der Hohlkörperhöhenlage auf die Querkrafttragfähigkeit der Hohlkörperdecke zu verifizieren, wurden Bauteilversuche mit drei unterschiedlichen Hohlkörperhöhenlagen, die in Abbildung 3 dargestellt sind, durchgeführt.

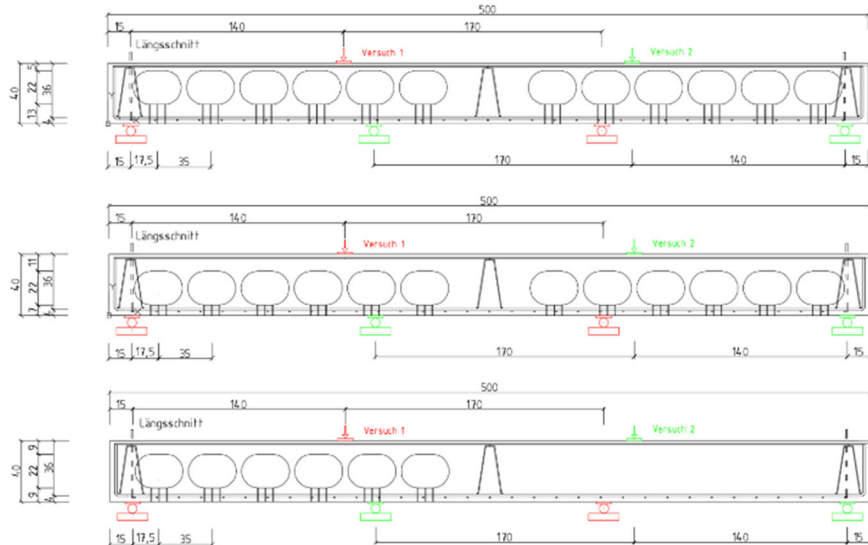


Abbildung 3: Versuchs Aufbau der Bauteilversuche mit oberer, unterer und mittlerer Hohlkörperhöhenlage im Längsschnitt

Im Versuchsprogramm wurde das Hohlkörpermodul „Slim-Line“ mit einer Hohlkörperhöhe von 22 cm verwendet. Da bei dieser Untersuchung die Auswirkung der Hohlkörperhöhenlage auf die Querkrafttragfähigkeit im Mittelpunkt stand, wurde im Hinblick auf einen ausreichend dicken Deckenspiegel bei unterschiedlich gewählten Hohlkörperhöhenlagen eine Deckenstärke von 40 cm gewählt. Die minimal erforderlichen oberen und unteren Deckenspiegel wurden unter Berücksichtigung der erforderlichen Betondeckung, die nach Gesichtspunkten der Dauerhaftigkeit und des Brandschutzes gewählt wurden, sowie der Dicke der Längsbewehrungslage ermittelt. Die Dicke des oberen Deckenspiegels (a) und des unteren Deckenspiegels (b) variieren somit zwischen:

- $a = 5 \text{ cm}, b = 13 \text{ cm}$
- $a = 9 \text{ cm}, b = 9 \text{ cm}$
- $a = 11 \text{ cm}, b = 7 \text{ cm}$

Um die Höhenlage der Hohlkörper sicher zu stellen, wird jeder Hohlkörper, wie in Abbildung 4 dargestellt, durch drei Gewindestangen nach unten an der Schalung fixiert.

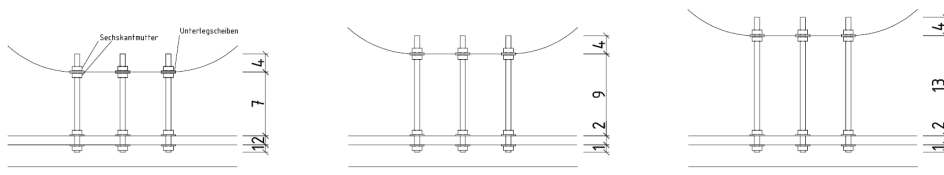


Abbildung 4: Sicherstellung der Hohlkörperhöhenlage durch drei Gewindestangen nach unten an der Schalung

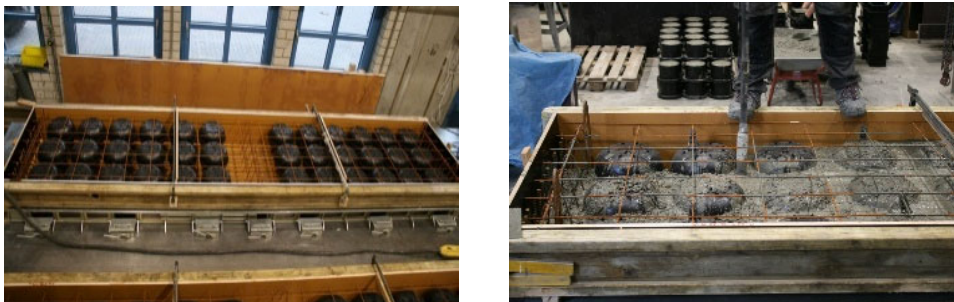


Abbildung 5: Fertige Schalung mit eingebauten Hohlkörpern (links) und Betonage des Hohlkörperdeckenstreifens (rechts)

Ergebnisse

Bei allen Bauteilversuchen konnte während der Belastungssteigerung die gleiche Rissentwicklung beobachtet werden. Das Versagen trat bei allen Versuchskörpern durch Anwachsen des Risses in die Betondruckzone und durch einen ausgeprägten Riss entlang der Längsbewehrung ein. Nahezu alle Versuchskörper versagten auf gleiche Weise. Tabelle 1 und die Kraft-Verformungsdiagramme in Abbildung 6 zeigen den Unterschied der Querkrafttragfähigkeit zwischen den einzelnen Hohlkörperhöhenlagen. Die Versuchskörper mit dem kleinsten unteren Deckenspiegel V-Q-22-30-0.75-u wiesen die geringste Querkrafttragfähigkeit (175 und 174 kN) und die Versuche mit dem größten unteren Deckenspiegel V-Q-22-30-0.75-o die größte Querkrafttragfähigkeit (195 und 221 kN) auf. Jedoch weichen die Ergebnisse der zwei Versuche mit oberer Hohlkörperhöhenlage hinsichtlich ihrer Bruchlast und ihrer Verformungen deutlich voneinander ab. Beim zweiten Versuchskörper V-Q-22-30-0.75-o-2 fand auf dem (Bruch-)Lastniveau des ersten Versuchskörpers V-Q-22-30-0.75-o-1 eine Lastumlagerung statt, bei der ein Teil der Last in ein Sprengwerk umgelagert wurde, so dass sich in diesem Fall eine deutlich höhere Querkrafttragfähigkeit ergab. Die Querkrafttragfähigkeit der Deckenplatte mit mittlerer Hohlkörperhöhenlage liegt mit 195 kN auf dem gleichen Niveau wie diejenige des Versuchskörpers V-Q-22-30-0.75-o-1 mit oberer Hohlkörperhöhenlage.

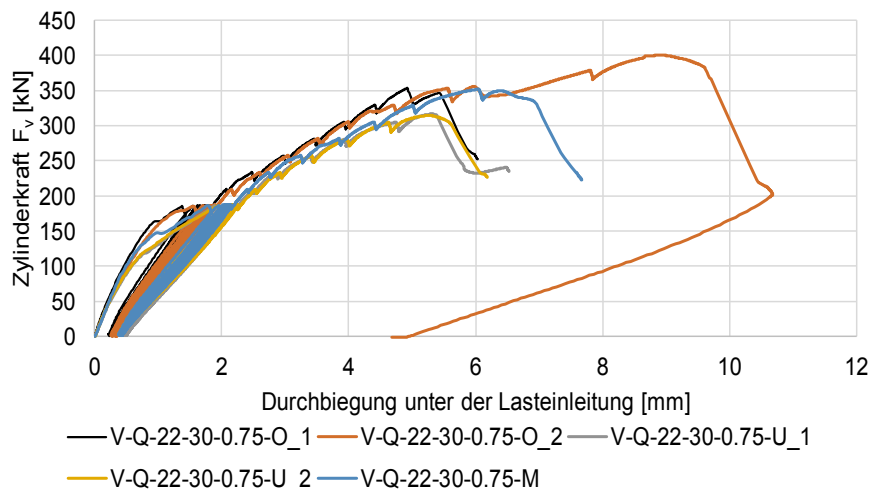


Abbildung 6: Kraft-Verformungsdiagramme der durchgeführten Bauteilversuche

Lage der HK	oben		unten		mittig
Querkraft im Bruchzustand in kN	195	221	175	174	195

Tabelle 1: Übersicht über die in den Bauteilversuchen erzielten Querkräfte

Mittels physikalisch nichtlinearer FEM-Berechnungen wurden die Bauteilversuche nachgerechnet. Die Nachrechnungen zeigen sowohl hinsichtlich des Rissbildes (Abbildung 7), als auch hinsichtlich der Bruchlast eine sehr gute Übereinstimmung mit den Bauteilversuchen. Das Kraft-Verformungsdiagramm zeigt des Weiteren die sehr gute Übereinstimmung der Steifigkeit des Bauteils im gerissenen Zustand (Zustand II).

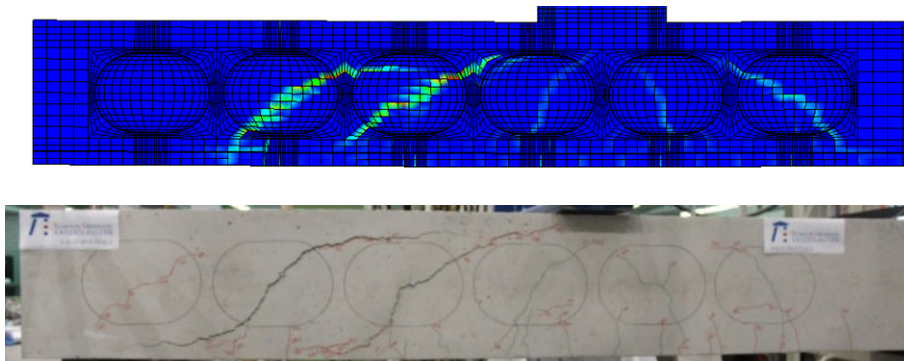


Abbildung 7: Rissbild im Bauteilversuch (unten) und in der FEM-Berechnung (oben)

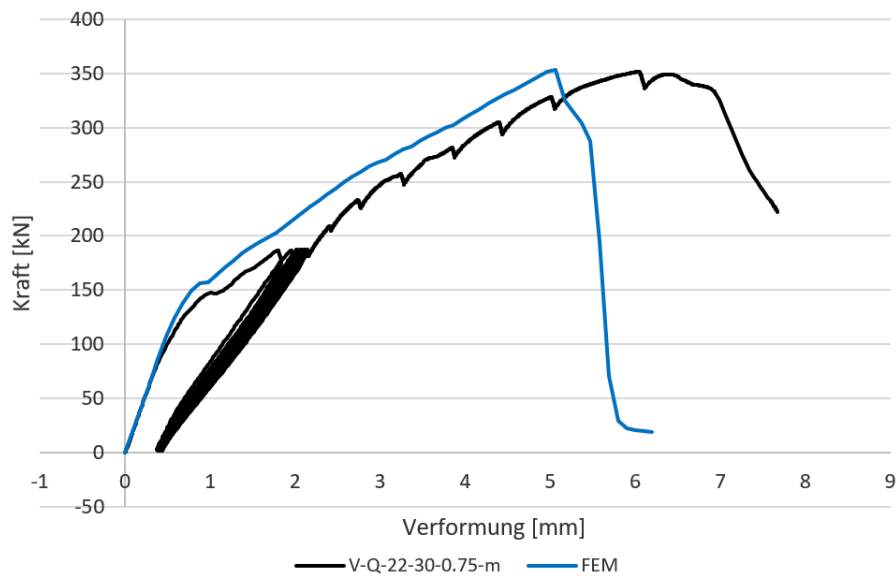


Abbildung 8: Kraft-Verformungsdiagramme des Bauteilversuches V-Q-22-30-0.75-m und der FEM-Nachrechnung

Zusammenfassung

Sowohl in den FEM-Berechnungen, als auch in den durchgeführten Bauteilversuchen ist ein Einfluss der Höhenlage der Hohlkörper auf die Querkrafttragfähigkeit von Hohlkörperdecken zu erkennen. Dabei stellte sich heraus, dass die Querkrafttragfähigkeit umso höher ist, je höher der Hohlkörper im Querschnitt liegt. Es ist somit möglich, durch geschicktes Platzieren der Hohlkörper im Bauteil eine höhere Querkrafttragfähigkeit der Hohlkörperdecke zu erzielen.

Literatur

Heinze Cobiax Deutschland GmbH (2017): Technologiehandbuch

DIANA FEA BV (2017): DIANA Finite Element Analysis - User's Manual Release 10.2, Delft, Netherlands

Experimentelle Untersuchung des Gesteinsabtrags mittels Hochdruckwasserstrahl

Daniel P. Gradzki¹, Volker Wittig¹, Ralph Lindken², Marcus Petermann³, Rolf Bracke¹

¹ Internationales Geothermiezentrum Bochum, Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum

² Hochschule Bochum, Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum

³ Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44780 Bochum

daniel.gradzki@hs-bochum.de

Schlagworte: Wasserstrahlbohren, Jetting, Radial Jet Drilling, Gesteinsabtrag, Abtragsmechanismen

Einführung

Die Nutzung von Erdwärme als grundlastfähige und regenerative Energiequelle kann einen wichtigen Teil der Energiewende, insbesondere auf dem Wärmemarkt, darstellen. Ein entscheidendes Hindernis sind die hohen Kosten für die notwendigen Tiefbohrungen, welche bis zu 70 % der Gesamtanlagenkosten darstellen (Stober 2012).

In diesem Forschungsvorhaben wird ein auf Hochdruckwasserstrahlen basiertes Bohrverfahren analysiert. Ziel ist es die Wechselwirkungen zwischen Hochdruckwasserstrahl und Gestein besser zu verstehen und später gezielte Verbesserungen der Prozessparameter durchführen zu können. Bislang sind die für den Gesteinsabtrag verantwortlichen Mechanismen nur sehr grob verstanden. Potenzielle Mechanismen sind nach Salem Ragab (2013) wie folgt aufgelistet:

- Oberflächenerosion
- Hydraulisches Brechen
- Poroelastisches Versagen
- Kavitationserosion

Die experimentellen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit sollen ein verbessertes Verständnis, der für den Gesteinsabtrag verantwortlichen Mechanismen, ermöglichen.

Methodik

Zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Hochdruckwasserstrahl und Gesteinsprobe wurde ein Prüfstand aufgebaut (Abbildung 1), mit Hilfe dessen der Gesteinsabtrag beobachtet und überwacht werden kann. Dieser Prüfstand umfasst ein Messsystem aus Kraft- und Beschleunigungssensoren, eine Hochgeschwindigkeitskamera sowie akustische Sensoren.

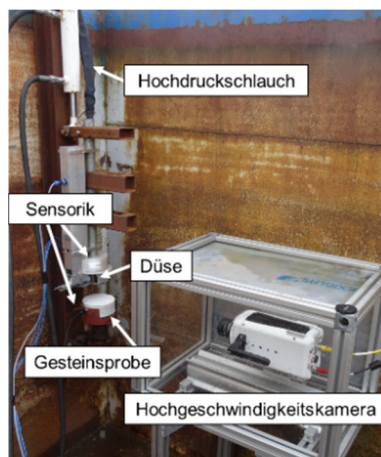


Abbildung 1: Prüfstand – Atmosphärenbedingungen

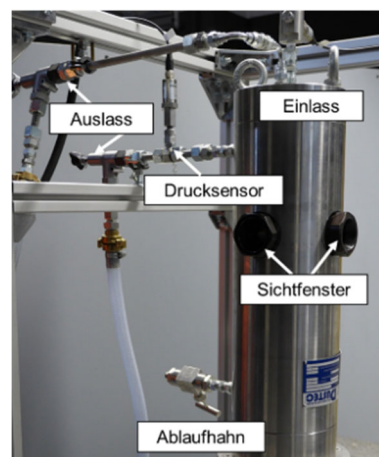


Abbildung 2: Prüfstand - Bohrlochbedingungen

Die ersten Experimente wurden unter atmosphärischen Bedingungen durchgeführt und dienen als Grundlage für weitere Untersuchungen. Die Einwirkdauer auf die Gesteinsprobe wurde im Rahmen der Experimente von ca. 200 ms schrittweise bis auf ca. 200.000 ms erhöht. Im Anschluss an die Experimente wurden die Bohrlöcher, in Bezug auf Lochtiefe und -volumen, vermessen.

In einem weiteren Prüfstand (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) soll der Einfluss der Umgebungsparameter untersucht werden. In der Druckzelle können Bohrlochbedingungen simuliert werden. Dazu wird eine Druckzelle mit Wasser geflutet und unter Druck gesetzt. Der Betriebsdruck beträgt maximal 50 MPa (500 bar). Dieser Betriebsdruck simuliert die fluiddynamischen Bedingungen in 5.000 m Tiefe. Zudem sind in der Druckzelle Sichtfenster eingelassen, um den Wasserstrahl unter diesen Bedingungen beobachten zu können. Erste Versuche zeigen, dass der Wasserstrahl in Wasser stark kavitiert (Abbildung 7). Die Kavitation kann jedoch mit erhöhtem Gegendruck unterdrückt werden, wodurch dieser Abtragsmechanismus in Zukunft genauer betrachtet werden kann.

Ergebnisse

In einer ersten Versuchsreihe wurde der zeitliche Verlauf des Gesteinsabtrags mittels Hochdruckwasserstrahl bei Obernkirchener Sandstein ermittelt. Der Volumenstrom betrug 25 l/min bei 2,0 mm Düsendurchmesser und einem Abstand von 30 mm zwischen Düse und Gesteinsprobe. Die gebohrten Löcher wurden im Anschluss vermessen.

In Abbildung 3 und 4 sind die zeitlichen Verläufe der Bohrlochtiefe und des Bohrlochvolumens dargestellt. Innerhalb der ersten 10 Sekunden verändert sich das Bohrloch am stärksten. Der Gesteinsabtrag ist hier am größten. Nach längerem Bohren ist zu beobachten, dass sich die Bohrlochtiefe nicht signifikant verändert, wobei das Bohrlochvolumen weiterhin zunimmt.

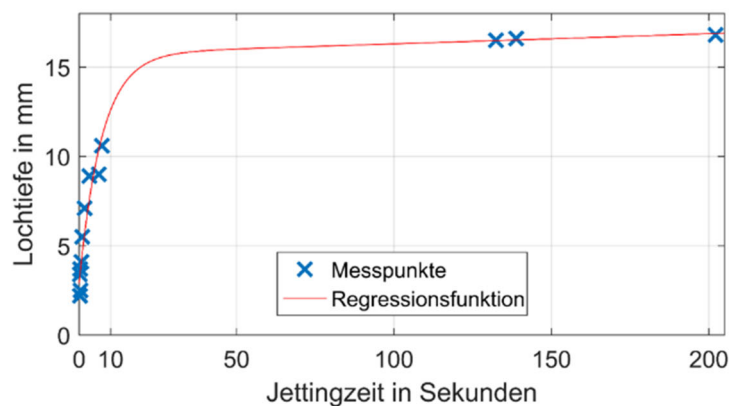


Abbildung 3: Lochtiefe in Abhängigkeit der Einwirkdauer

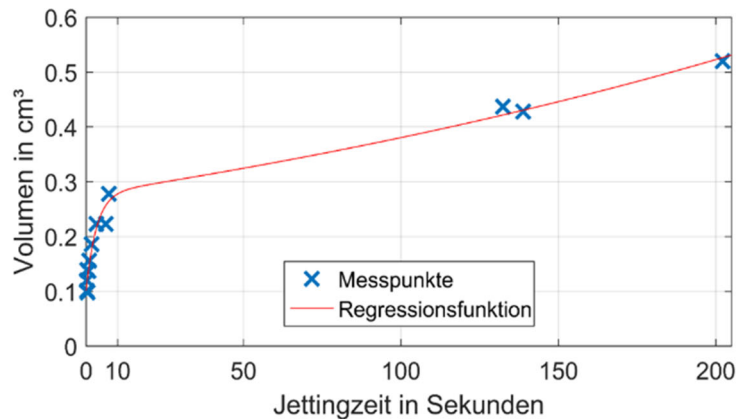


Abbildung 4: Lochvolumen in Abhängigkeit der Einwirkdauer

Dieser Effekt ist in der Literatur bereits beschrieben und in Abbildung 5 exemplarisch dargestellt. Anhand der maximalen Tiefe sowie der Steigung der Funktion lassen sich zudem verschiedene Gesteine auf ihre Bohrbarkeit hin untersuchen.

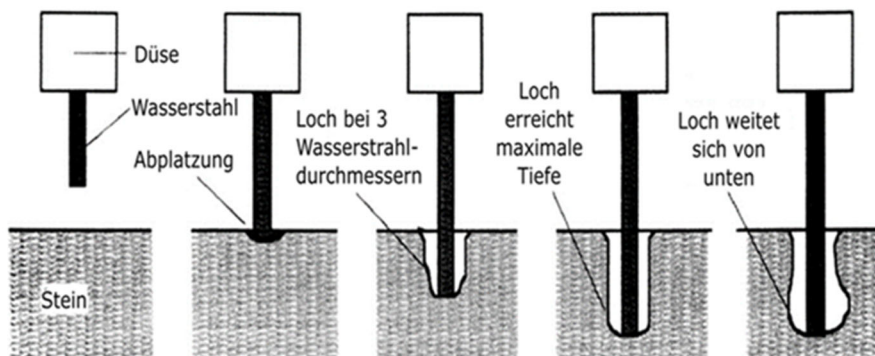


Abbildung 5: Entwicklung des Bohrlochs (Summers 1995)

Mit zunehmender Bohrlochtiefe dominieren die Wechselwirkungen zwischen ein- und ausströmendem Wasserstrahl, die in Abbildung 6 dargestellt sind. Es bilden sich Turbulenzen im Bereich der Bohrlochsohle, welche im weiteren Verlauf zunehmen. Die Energie des einströmenden Wasserstrahls nimmt in der Folge mit zunehmender Tiefe ab. Ist die maximale Tiefe erreicht genügt die Energie des Wasserstrahls nicht um einen weiteren Gesteinsabtrag zu generieren. Ab diesem Zeitpunkt wird das Bohrloch lediglich vom ausströmenden Wasser geweitet.

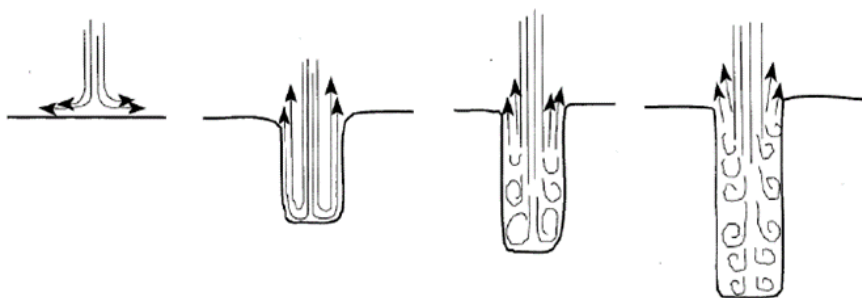


Abbildung 6: Strömungszustände innerhalb des Bohrlochs (Delabbio 1999)

Zusammenfassung und Ausblick

In bisherigen Versuchsreihen ist die zeitliche Abhängigkeit des Gesteinsabtrags beim Wasserstrahlbohren dargestellt worden. Dieser Sachverhalt ist in der Literatur bereits beschrieben und konnte am vorhandenen Prüfstand reproduziert werden. Anhand der Bohrlochtiefe und des Bohrlochvolumens kann die Bohrbarkeit verschiedener Gesteine untersucht werden.

Zur genaueren Analyse der Abtragsmechanismen werden in zukünftigen Versuchsreihen Bohrlochbedingungen simuliert und so beispielsweise der Effekt von Kavitation genauer betrachtet. Diese kann mit Hilfe von Gegendruck unterdrückt werden, wodurch ein Vergleich der Bohrbarkeit mit und ohne Kavitation möglich ist.

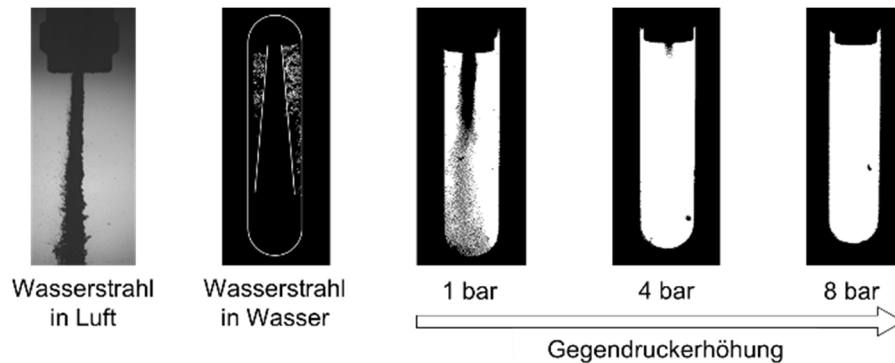


Abbildung 7: Wasserstrahl in unterschiedlichen Medien und Gegendruckbedingungen

Literatur

- Delabbio, F.C. (1999): Development and characterization of an alternative hard rock excavation method with high pressure water jet. PhD thesis. Queensland
- Salem Ragab, A.M. und Kamel, A. M. (2013): Radial Drilling Technique for Improving Well Productivity in Petrobel-Egypt. SPE 164773. Cairo
- Stober, I. und Bucher, K. (2012): Geothermie. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Summers, D.A (2009): Waterjetting Technologie. Transferred to Digital Printing 2009. Taylor & Francis. New York

Danksagung

Dieser Beitrag wird zum einen durch das „FH Struktur“ Förderprogramm für Fachhochschulen des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (AZ: 322-8.03.04.02 – FH-Struktur 2016/04), zum anderen durch das EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (Horizon 2020) im Projekt SURE (grant agreement No 654662) gefördert.

Geomechanische Charakterisierung des Ruhrkarbons unter thermischer Belastung zur Beurteilung eines Hochtemperatur - Grubenwärmespeichers

Florian Hahn¹, Theresa Jabs², Rolf Bracke¹, Michael Alber²

¹ International Geothermal Centre, Lennerhofstr. 140 - 44801 Bochum - Germany

² Ruhr Universität Bochum, Universitätsstr. 150 - 44801 Bochum - Germany

florian.hahn@hs-bochum.de

Schlagworte: Mine Thermal Energy Storage / Grubenwärmespeicher

Abstract

Ziel dieses F&E-Vorhabens ist es, am Beispiel der ehemaligen Zeche Dannenbaum in Bochum ein technisch und wirtschaftlich tragfähiges Konzeptmodell für einen Hochtemperatur - Grubenwärmespeicher (HT-MTES) zur energetischen Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken zu erstellen (siehe Abb. 1). Im Sommer kann nicht genutzte Abwärme aus solarthermischen Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Blockheizkraftwerken (BHKW) oder industriellen Produktionsprozessen im Grubenwasser der ehemaligen Vortriebe und Abbauflächen gespeichert werden. In der Wintersaison kann diese überschüssige Wärme aus dem Grubenwasser gewonnen und direkt für Heizzwecke in Gewerbe- und/oder Wohngebieten genutzt werden. Für die Bewertung eines solchen Grubenwärmespeichers in einem ehemaligen Bergwerk müssen die entsprechenden geomechanischen Parameter des Ruhrkarbons unter thermischer zyklischer Belastung bewertet werden. Daher unterliegen die Hauptgesteinsarten des Ruhrkarbons (Schieferton, Sandschieferton und Sandstein) vor und nach der thermischen Zyklischen Belastung von Temperaturen bis 90°C einer geomechanischen Charakterisierung. Fast 200 stillgelegte Bergwerke im Ruhrgebiet Nordrhein-Westfalens bieten ein enormes Potenzial für diese neue Art der thermischen Energiespeicherung.

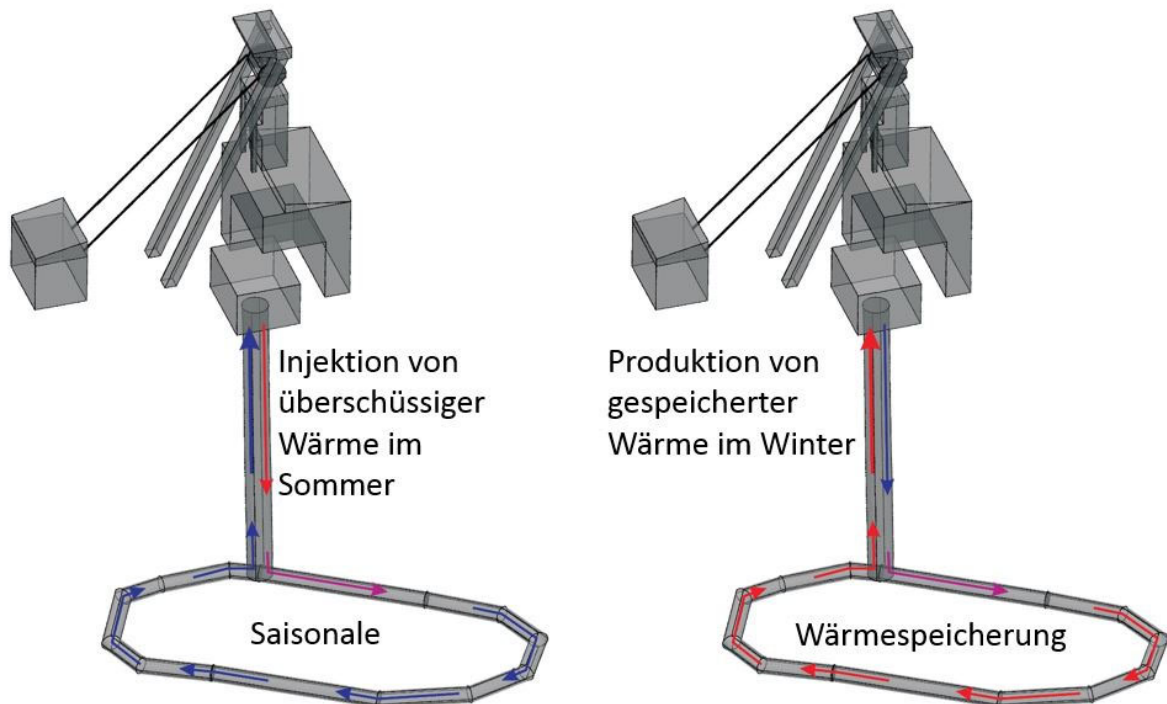


Abbildung 1: Saisonaler Grubenwärmespeicher (GZB)

Standort

Auf dem Betriebsgelände des ehemaligen Opel Werks (siehe Abb. 2) befinden sich im Nordwesten die beiden Hauptförderschächte. Das Grubengebäude ist bis auf eine Tiefe von -695,5 m NN bergbaulich erschlossen. Nach Stilllegung der Zeche wurden die beiden Schächte verfüllt. Oberhalb

der 4. Sohle, bis -190 m NN, ist das Grubengebäude zum jetzigen Zeitpunkt geflutet. Es ist davon auszugehen, dass innerhalb des Grubengebäudes ein ungestörtes Temperaturniveau von ca. 37°C auf der 8. Sohle bei einer Teufe von -693 m NN anzutreffen ist.

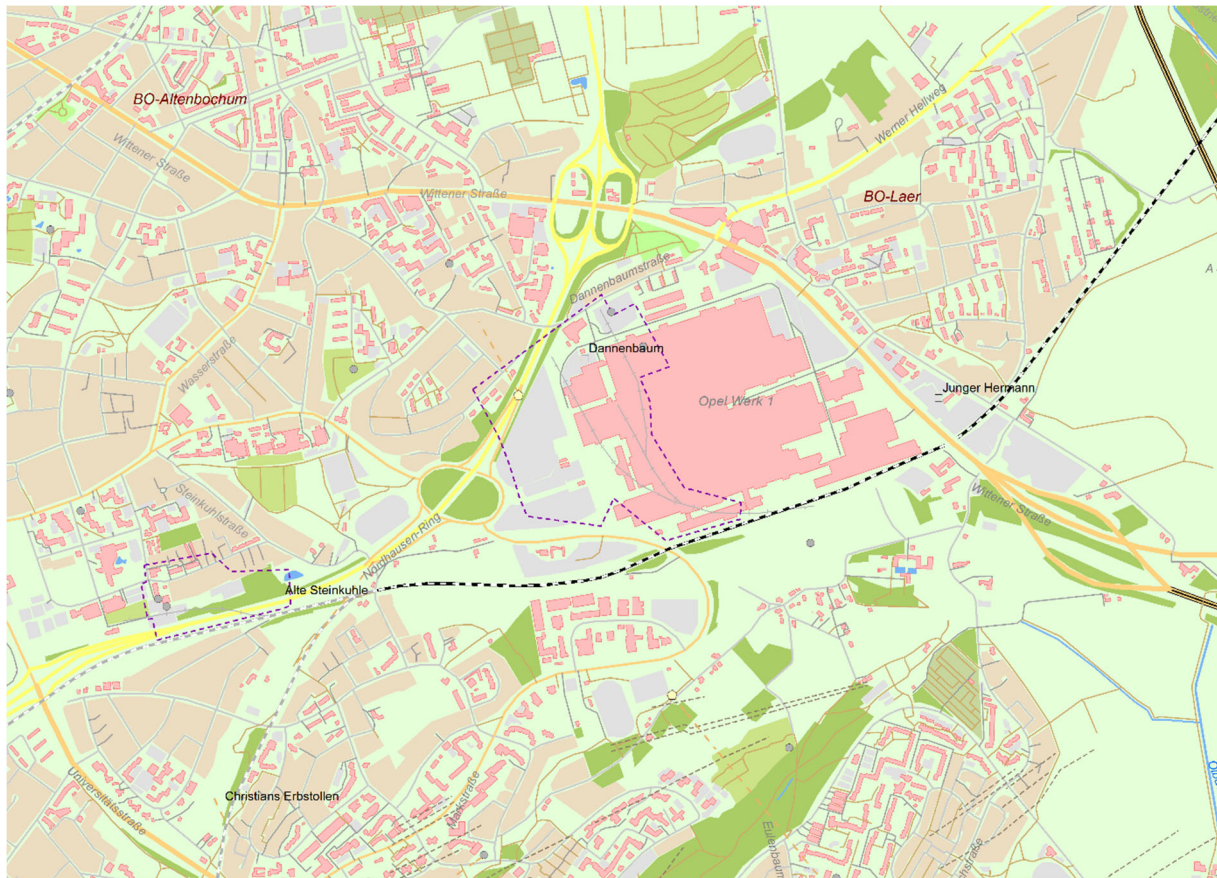


Abbildung 2: Ehem. Opelstandort (Werk 1) in Bochum-Laer (www.ruhrkohlenrevier.de)

Ausblick

Für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien ist die Entwicklung von Speicherkapazitäten von hoher Priorität. Bisher ungenutzte Bergwerksstrukturen bieten, vor allem im Ruhrgebiet, ein vielversprechendes Potential für die Wärmespeicherung, da ein hohes Maß an saisonal ungenutzter Abwärme aus Kraftwerks- und Industrieprozessen, zur „Nachnutzung“ bereitstünde. Daher müssen fundamentale Erkenntniswerte mit Bezug auf Wärmespeicherung in ehemaligen Bergwerksstrukturen gewonnen werden, um diese Technologie weiter zu entwickeln und etablieren zu können. Bei einer technischen und wirtschaftlichen Umsetzung einer Pilotanlage wären die Ergebnisse mit Bezug auf Auslegung und Betrieb eines saisonalen Wärmespeichers innerhalb eines ehemaligen Steinkohlebergwerks auf viele weitere Standorte in Deutschland und weltweit skalierbar.

Literatur

Huske, J. (2006): Die Steinkohlenzechen im Ruhrrevier. Daten und Fakten von den Anfängen bis 2005. 3., überarb. und erw. Aufl. Bochum: Dt. Bergbau-Museum (Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 144).

Leonhardt, J. (1983): Die Gebirgstemperaturen im Ruhrrevier 90 (2), S. 218–230.

Greener - Charakterisierung und Priorisierung geothermischer Reservoirs als Handlungsgrundlage für die regionale Energiewirtschaft

Kevin Lippert, Mathias Nehler, Martin Balcewicz, Rolf Bracke, Adrian Immenhauser

Internationales Geothermiezentrum Bochum, Lennershofstraße 140, 44801 Bochum

kevin.lippert@hs-bochum.de

Schlagnote: Tiefe Geothermie, Aufschlussanalogstudie, Karbonat-Reservoir, Strukturgeologie, Petrophysik

Einführung

Tiefe Geothermiebohrungen und -kraftwerke im Münchener Raum leisten bereits heute einen wichtigen Beitrag zur Fernwärmeversorgung der bayerischen Landeshauptstadt. Auch das größte europäische Verbund-Wärmenetz in der Region Rhein-Ruhr soll zukünftig verstärkt aus tiefegeothermischen Reservoirs gespeist werden. Um das Potenzial und die Produktivität dieser alternativen Wärmeversorgung einschätzen zu können, sind umfassende Analysen der in Frage kommenden geologischen Reservoir-Formationen notwendig. Aufschlussanalogstudien wie sie in den Malm-Karbonaten des Molassebeckens in Bayern durchgeführt wurden, werden als Vorbild für die geplanten Projekte Nordrhein-Westfalens herangezogen. Dabei werden die relevanten, an der Erdoberfläche austreichenden Gesteinsformationen, untergliedert in verschiedene Faziesbereiche, auf ihre strukturgeologischen sowie thermo- und petrophysikalischen Eigenschaften analysiert. Durch Laborversuche mit variierenden Druck- und Temperaturbedingungen oder chemischen Fluidzusammensetzungen können die gewonnenen Daten in die zu erwartende Reservoirtiefe extrapoliert werden (Homuth 2014).

Im Fokus der geologischen Untersuchungen für die Fernwärmeversorgung von Rhein und Ruhr liegen die mittel- bis oberdevonischen Massenkalk Nordrhein-Westfalens. Diese streichen besonders markant an der Nordflanke des Remscheid-Altenaer-Großsattels und an den Randbereichen des Velberter Sattels aus. Das besondere Interesse an dieser geologischen Einheit kann durch die Mächtigkeit der Massenkalkschichten, die zu erwartende Tiefenlage von ca. 4 km unter weiten Teilen des Ruhrreviers, bekannte Verkarstungserscheinungen und den tektonischen Werdegang der Schichten begründet werden. Entlang der erwähnten Antiklinalstrukturen befinden sich zudem große Kalk- und Dolomitsteinbrüche, die sowohl für die Probenahme als auch für die strukturgeologische Kartierung optimale Ausgangsbedingungen bieten (Caffier & Schlegel 2018; Thiel 2018).

Methodik

Wesentliche, bereits durchgeführte Untersuchungen der Aufschlussanalogstudie stellen die strukturgeologische Störungs- und Kluftanalyse, die makro- und mikroskopische Faziesauswertung, Wärmeleitfähigkeitsversuche und Durchlässigkeitstests dar. Bei sämtlichen gewonnenen Gesteinskennwerten wird zwischen den verschiedenen Faziesbereichen unterschieden, um im Nachhinein eine Abschätzung treffen zu können, welche Einheiten besonders geeignete geothermische Reservoirs darstellen. Für die strukturgeologische Störungs- und Kluftanalyse wird das sogenannte Scanline-Verfahren an verschiedenen Steinbruchwänden angewendet. Dabei werden bis zu 16 unterschiedliche Parameter aller Störungs-, Kluft- und Schichtflächen, die eine ca. 15 m lange, zufällig festgelegte Strecke an der Steinbruchwand schneiden, aufgenommen (Priest & Hudson 1981). Somit wird bestimmt, welche Faziesseinheiten besonders hohe Kluftdurchlässigkeiten etc. bieten. Um die Faziesbereiche unterscheiden zu können, muss eine makro- und mikroskopische Faziesauswertung durchgeführt werden. Diese ordnet gewissen makro- und mikroskopisch sichtbaren Eigenheiten, wie einem gewissen Fossilienbestand etc., bestimmte Ablagerungs- bzw. Entstehungsbereiche im Paläo-Küstenbereich zu. Im Labor vorgenommene Wärmeleitfähigkeits- und Durchlässigkeitsversuche dienen wie die strukturgeologische Geländearbeit dazu, Aussagen über die Bereiche mit dem höchsten Reservoirpotenzial zu liefern.

Zukünftig sollen weitere Laboruntersuchungen wie geochemische Lösungs- und Fällungsexperimente, hydraulische Permeabilitätstests, Versuche anhand der Thermo-Triax-Zelle und CT-Scan-Analysen durchgeführt werden.

Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse der Scanline-Analyse, die an verschiedenen Wänden und Abbruchkanten der Steinbrüche von Lhoist im Hönnetal, den Hohenlimburger Kalkwerken in Hagen und den Kalkwerken H. Oetelshofen in Wuppertal durchgeführt wurde, sind in Abbildung 1 zu sehen. Darin sind jeweils sämtliche Kluftorientierungen aller Steinbrüche abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die Hauptorientierungen in N-S- und NO-SW-Richtung liegen. Abbildung 1 zeigt außerdem, dass ein Großteil der Störungen < 1 m lang ist, während lange Kluft- und Störungsflächen von > 6 m nur vereinzelt und vor allem in N-S-streichenden Einheiten zu finden sind. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die eingeschränkte Sicht auf den einzelnen Sohlen der Steinbrüche den limitierenden Faktor bei der Messung der Kluftlängen darstellte.

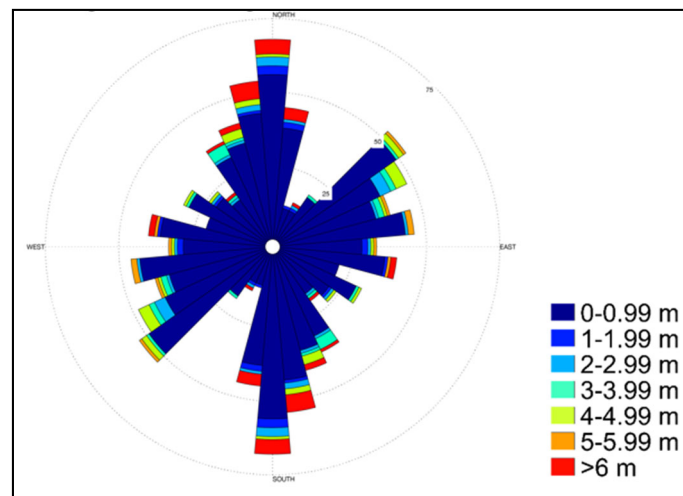


Abbildung 1: Rose-Diagramm mit zugehörigen Kluftlängen aller Einheiten der Steinbrüche Hagen, Wuppertal und Hönnetal.

Generell waren ca. 50 % der Klüfte länger als die Höhe der Sohle. Die exakten Längen konnten in diesen Fällen jedoch nicht gemessen und deswegen nicht in Abbildung 1 dargestellt werden.

In Abbildung 2 sind die drei Hauptfaziesbereiche dargestellt, die makroskopisch voneinander unterscheidbar sind.

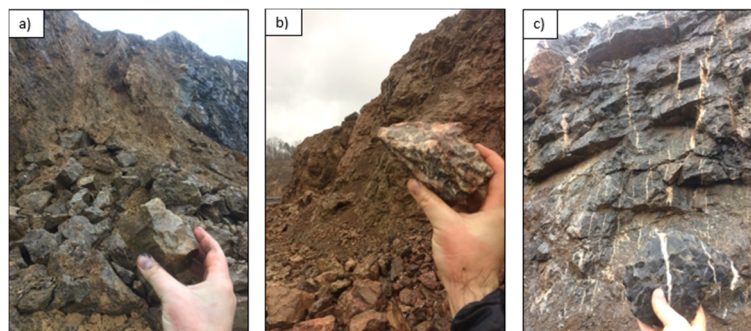


Abbildung 2: Hauptfaziesbereiche der devonischen Karbonate im Steinbruch Hagen-Hohenlimburg:
a) Riff-Dolomit, b) Übergangsbereich, c) Bank-Kalke.

Die gelbgrauen Riff-Dolomite sind grobkörniger als die restlichen Bereiche und weisen eine zuckerartige Textur auf, während die dunkelgrauen bis schwarzen Bank-Kalke sehr feinkörnig und aus einer mikritischen Matrix aufgebaut sind. Im Gegensatz zu den Dolomiten sind in den Kalksteinen teilweise Fossilien zu erkennen. Die Gesteine des Übergangsbereichs weisen eine mikritische Matrix im Verbund mit dolomitisierten Bereichen auf. Fossilien sind hier meist rekristallisiert und nur schwer erkennbar.

Die Dünnschliffanalyse zeigt weitere Unterschiede zwischen den verschiedenen Faziesbereichen, die in Abbildung 3 zu sehen sind. Da die Schliffe halbseitig mit Alizarin-S gefärbt wurden und der Porenraum mit blauem Epoxidharz gefüllt ist, lassen sich sowohl der Porenraum- als auch der Dolomitanteil analysieren. In Abbildung 3 a) ist nur ein geringer Anteil rot gefärbt und deutet somit auf Kalzit hin. Die restlichen Bereiche stellen wie erwartet Dolomit dar. Auch in Abbildung 3 b) ist nur eine feine kalzitische Ader im Dolomit auszumachen. Hierbei ist jedoch der Porenraumanteil, der in blau dargestellt ist, wesentlich größer, was aufgrund der vermuteten Lage an den Flanken der ehemaligen Riffbereiche zu erwarten war. In Abschnitt c) sind alle Bereiche der eingefärbten Hälfte rot. Das bedeutet, dass der Schliff, zumindest in diesem Teil, ausschließlich aus Kalzit und nicht aus Dolomit besteht. Außerdem zeigt Abbildung 3c) eine große Bandbreite an devonischen Fossilien, die in mikritisch-kalkzitischen Plattformablagerungen besser erhalten wird als in poröseren, dolomitisierten, riffnahen Bereichen (Machel & Hunter 1994).

Erste Laborexperimente, die sich mit den petrophysikalischen Eigenschaften der devonischen Karbonate beschäftigen, umfassen vor allem Analysen der effektiven und totalen Porositäten, sowie Ultraschallwellengeschwindigkeits- und Wärmeleitfähigkeitsmessungen. Für die Beurteilung der Reservoireigenschaften sind vor allem die Ergebnisse der effektiven Porositätstests (Abbildung 4) und der Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen (Abbildung 5) relevant. Dabei ist zu erkennen, dass die Riff-Dolomite die größten effektiven Porositäten, gefolgt von den Karbonaten der Übergangsfazies und der Bank-Kalke, aufweisen. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen und dabei vor allem, dass nur marginale Unterschiede bei der Betrachtung der verschiedenen Faziesbereiche bestehen. Die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit der Riff-Dolomite liegt bei 2,634 W/mK, die der Übergangsfazies bei 2,638 W/mK und die der Bank-Kalke bei 2,617 W/mK.

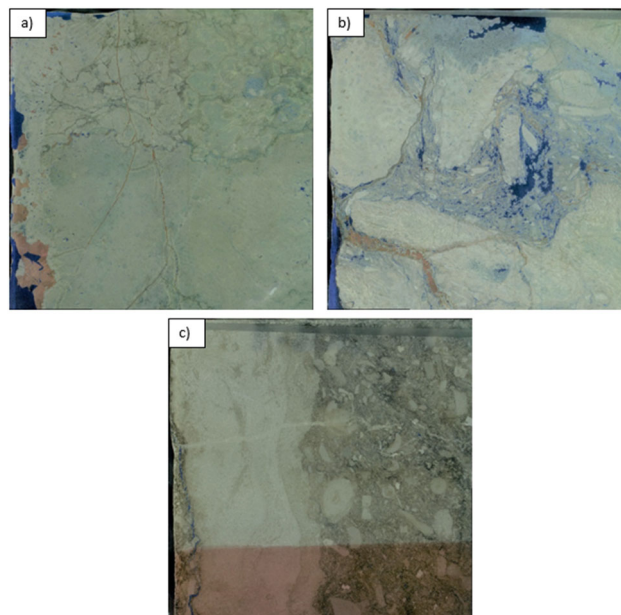


Abbildung 3: Dünnschliffe der Hauptfaziesbereiche der devonischen Karbonate im Steinbruch Hagen-Hohenlimburg:
a) Riff-Dolomit, b) Übergangsbereich, c) Bank-Kalke.

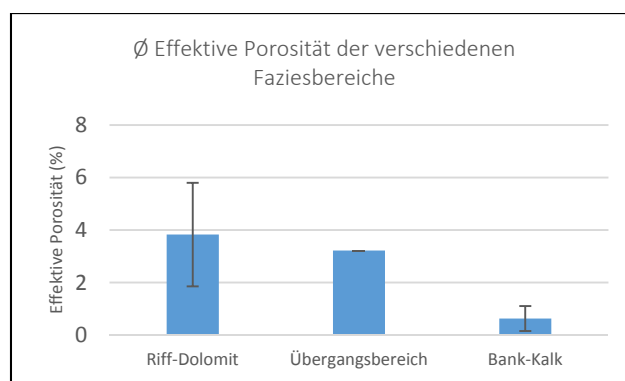


Abbildung 4: Durchschnittliche effektive Porosität der drei Hauptfaziesbereiche.

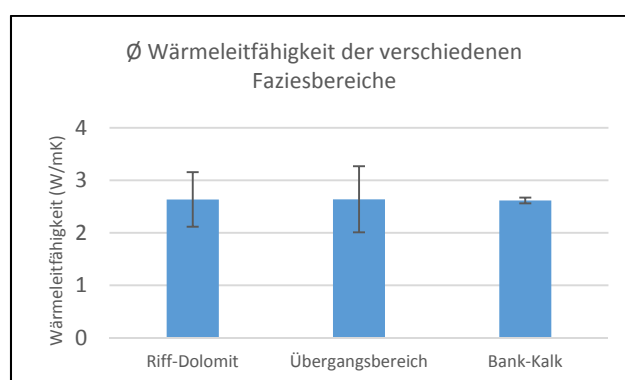


Abbildung 5: Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit der drei Hauptfaziesbereiche.

Schlussfolgerung

Obwohl der Großteil der Laborarbeit noch aussteht, sind bereits erste Tendenzen der Reservoirereigenschaften der unterschiedlichen Faziesbereiche zu erkennen. Zunächst einmal lässt sich festhalten, dass die devonischen Karbonate NRW in drei Fazieseinheiten untergliedert werden können – die Riff-Dolomite der Dorp-Fazies, die Gesteine des Übergangsbereichs und die Bank-Kalke der Schwelm-Fazies. Diese sind makro- und mikroskopisch deutlich voneinander unterscheidbar. Die beiden Faziesbereiche, die sich laut aktueller Beurteilung besonders als Zielhorizont für geothermische Anwendungen eignen, sind, aufgrund der petrophysikalischen Eigenschaften wie der effektiven Porosität und der Wärmeleitfähigkeit, die Riff-Dolomite und der Übergangsbereich.

Da die hydraulischen Eigenschaften eines geothermischen Karbonatreservoirs hauptsächlich von dessen Kluftmerkmalen abhängen, sind auch die Erkenntnisse der Feldarbeit, wie der Scanline-Analyse, von großer Bedeutung für nachgeschaltete Anwendungen (Lucia 2007). Die Haupteigenschaften dabei sind, dass die Hauptklufrichtungen in N-S und NO-SW orientiert sind und ca. 50 % aller Kluft- und Störungsflächen eine größere Ausdehnung als eine Sohlenhöhe aufweisen. Außerdem ist anzumerken, dass die größten Kluftausdehnungen in N-S-Richtung messbar sind.

Da sich das Greener-Projekt noch in einem frühen Stadium befindet, stehen noch viele wesentliche Untersuchungen aus. So sollen beispielsweise geochemische Goldkapsel-Tests durchgeführt werden, die Aufschluss über den Chemismus der Tiefenwässer und die Reaktivität der Lithofaziesbereiche, zum Beispiel gegenüber Säuren, liefern. Mit dieser Erkenntnis können dann geochemisch differenzierbare Durchflusstests durchgeführt werden. Mithilfe der Thermo-Triax-Zelle können hydraulische Durchlässigkeitsanalysen auch unter Reservoirbedingungen stattfinden. Zusätzlich sind Durchflussversuche und Ausfällungs- und Lösungsanalysen im CT-Scanner geplant. All dies wird im Zusammenhang mit den bereits erwähnten Untersuchungsmethoden dazu beitragen, dass die Erkenntnis gewonnen wird, ob die devonischen Karbonate NRW die benötigten Reservoirereigenschaften besitzen und falls ja, welche Faziesbereiche im Speziellen tauglich sind.

Literatur

- Caffier, A.; Schlegel, B. (2018): Geoportal NRW. Hg. v. Geologischer Dienst NRW. IMA GDI.NRW. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.geoportal.nrw/fachkategorien>, zuletzt geprüft am 12.10.2018.
- Homuth, S. (2014): Aufschlussanalogstudie zur Charakterisierung oberjurassischer geothermischer Karbonatreservoirs im Molassebecken. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Material- und Geowissenschaften, zuletzt geprüft am 09.10.2018.
- Lucia, F. J. (2007): Carbonate Reservoir Characterization. An Integrated Approach. 2 // Second Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Machel, H. G.; Hunter, G. (1994): Facies Models for Middle to Late Devonian Shallow-marine Carbonates, with Comparisons to Modern Reefs: a Guide for Facies Analysis. In: *Facies* (30), S. 155–176.
- Priest, S. D.; Hudson, J. A. (1981): Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys. In: *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* (18), S. 183–197.
- Thiel, A. (2018): Tiefenmodell NRW. Geologischer Dienst NRW. Krefeld. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

Anwendung von instationären Bemessungsansätzen in der wasserwirtschaftlichen Praxis

Fabian Netzel¹, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Christoph Mudersbach¹, Prof. Dr.-Ing. Günter Meon²

¹Institut für Wasser und Umwelt, Hochschule Bochum, Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum

²Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Beethovenstraße 51a, 38106 Braunschweig

fabian.netzel@hs-bochum.de

Schlagwörter: Starkregen, Trenduntersuchung, instationäre Extremwertstatistik

Einleitung

Die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis im Bereich der Hydrologie basiert im Wesentlichen auf der Ermittlung hydrologischer Planungskenngrößen (z.B. Regenspenden, Bemessungs- oder Starkregenniederschlägen). Zur Festlegung der Bemessungswerte bedient man sich der Methodik der Extremwertstatistik. Basierend auf beobachteten oder modellierten Daten (z.B. Niederschlagszeitreihen) werden mittels Extremwertverteilungsfunktionen Quantile (z.B. 99%-Quantil) berechnet, die dann als Basis für die Festlegung von Bemessungswerten (z.B. Niederschlagshöhen [mm] oder -spenden [l/(s*ha)] in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer) verwendet werden können. Die klassischen Verfahren der Extremwertstatistik, welche sich auch in den einschlägigen Regelwerken wiederfinden, setzen voraus, dass die Daten stationär sind, also keine zeitlichen Änderungen aufweisen.

Die häufig wiederkehrenden Starkregenereignisse in den letzten Jahren (z.B. 2008 Dortmund, 2014 Münster, 2018 Aachen), aber auch Untersuchungen zu klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen auf das ganzjährige Niederschlagsverhalten (IPCC 2018), zeigen jedoch deutlich, dass hydrologische Zeitreihen unter Umständen kein stationäres Verhalten aufzeigen. Somit bleiben Bemessungswerte - abgeleitet aus Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten - über die Zeit nicht konstant. Es ist weiter auffällig, dass in den einschlägigen Regelwerken zur methodischen Ermittlung von Bemessungsereignissen derzeit keine instationären Ansätze implementiert sind (z.B. DWA-A 531), die eine solche Veränderung berücksichtigen.

Zielsetzung der Untersuchungen ist daher die Entwicklung von nachhaltigen Bemessungsansätzen zum Umgang mit sich ändernden (instationären) Bemessungswerten. Der Untersuchungsbedarf wird insb. durch die notwendigen Reparaturen/Instandsetzungen der Kanalisation und Anpassungen der Infrastruktur an Starkniederschlagsereignisse sowie die städtebauliche Konzeption einer „wassersensiblen Stadtentwicklung“ verstärkt.

Vorgehensweise und Methodik

Die Basis der Untersuchungen bilden Niederschlagszeitreihen von ca. 130 Messstationen in ganz Nordrhein-Westfalen (NRW). Diese wurden durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) bereitgestellt. Es wird die Eignung und praxistaugliche Anwendung verschiedener, instationärer extremwertstatistischer Methoden zur Bestimmung von Bemessungsgrößen untersucht.

Das derzeit in Deutschland gültige und anerkannte Regelwerk zur Ermittlung dieser Bemessungsgrößen - insb. von Starkregenhöhen - ist das Arbeitsblatt 531 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). Bei gleichem Wiederkehrintervall (T_n) [a] hängt die Bemessungsgröße Regenhöhe [mm] von der Regendauer [min] ab, weshalb die Zeitreihen der Niederschlagsstationen für eine eindeutige Definition eines Starkregens bzw. einer Regenhöhe in sog. Dauerstufen unterteilt werden. Weiter werden die Zeitreihen in jährliche (Jahresmaxima) und partielle Serien (n Maximalwerte über einem bestimmten Schwellenwert) unterteilt.

In einem ersten Schritt erfolgen Trenduntersuchungen für alle Dauerstufenbereiche aller Stationsdaten. Hierzu wurde ein Trendtest nach Mann-Kendall mit einem 95%-igen Signifikanzniveau ($\alpha = 5$) und einem zusätzlichen Sen's Slope Test durchgeführt.

Im zweiten Untersuchungsschritt werden die herkömmlichen stationären Methoden des DWA-Arbeitsblattes auf Sensitivitäten und mögliche Weiterentwicklungen untersucht. So setzen beispielsweise alle gängigen Verfahren der stationären Extremwertstatistik stationäre und unabhängige Zeitreihen voraus (*iid*-Kriterium) (Mudersbach 2008). Untersuchungen hierzu und entsprechende Korrekturverfahren (z.B. Trendbereinigung der Daten) bei möglicherweise vorliegenden Trends werden in der aktuellen Fassung (05/2017) des Arbeitsblattes jedoch nicht berücksichtigt. Liegt für eine bestimmte Dauerstufe also ein signifikanter Trend (positiv oder negativ) vor, wurde die Zeitreihe in diesem Untersuchungsschritt bereinigt und die Starkregenberechnung erneut durchgeführt. Abschließend wurden die sich ergebenden Änderungen in den Bemessungsgrößen (hier Regenhöhenlinien) gegenübergestellt.

In weiterführenden Untersuchungen sollen unterschiedliche Verfahren der Extremwertstatistik, wie z.B. die Anwendung verschiedener Verteilungsfunktionen (GEV, GPD) oder verschiedene Parameterschätzverfahren zur Ermittlung der Bemessungsgrößen angewendet und deren Auswirkungen auf die Bemessungsergebnisse, betrachtet werden.

Abschließend wird auf Basis der durchgeführten Untersuchungen und erzielten Ergebnisse ein Bemessungsansatz zum Umgang mit instationären Extremwertstatistikergebnissen entwickelt. Ein erster Ansatz hierzu kann beispielsweise über die Lebensdauereintrittswahrscheinlichkeit erfolgen (Mudersbach & Bender 2017, Rootzen & Katz 2013), bei der nicht nur ein stationäres Bemessungsereignis für die Bauwerksdimensionierung angenommen wird, sondern zusätzlich die Überschreitungswahrscheinlichkeit innerhalb der Lebensdauer des geplanten Bauwerks in die Bemessung mit einfließt.

Ergebnisse

Die hier dargestellten, bislang erzielten Ergebnisse beziehen sich auf die Trenduntersuchungen der Zeitreihen der Niederschlagsstationen des LANUV NRW sowie auf die Sensitivitätsuntersuchungen des Bemessungsregelwerks (DWA-A 531) hinsichtlich trendbehafteter oder trendbereinigter Zeitreihen als Grundlagendaten.

Die durchgeführten Trendanalysen zeigen deutlich das Vorhandensein von zeitlichen Veränderungen in den Niederschlagszeitreihen mit einer sehr inhomogenen Verteilung über ganz NRW. Eine Häufung von positiven Trends ist in den kürzeren Dauerstufen (5 [min] – 3 [h]) zu erkennen (vgl. Abbildung links). Diese trendbehafteten Reihen liegen insb. in der südlichen Hälfte NRWs vor. Bei größeren Dauerstufen (3 [h] – 2 [d]) hingegen weisen nur wenige Stationen ein signifikantes instationäres Verhalten im Aufzeichnungszeitraum auf (vgl. Abbildung rechts). Eine strikte Unterteilung bzw. Häufung in ländlichen und/oder urban geprägten Bereichen kann anhand der Ergebnisse nicht erfolgen.

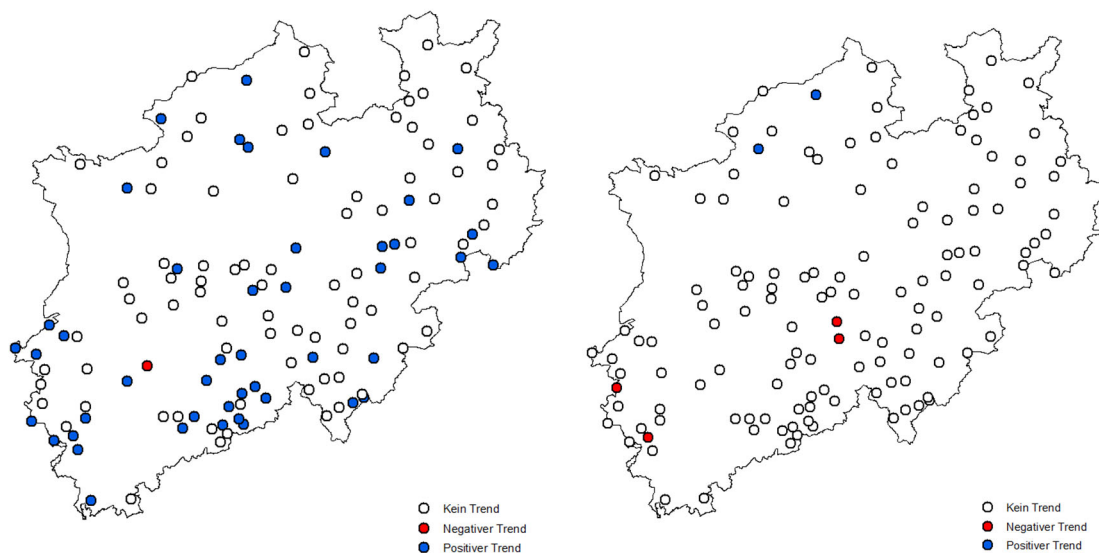


Abbildung 1: Trends (blau & rot) in kurzen (links) und langen (rechts) Dauerstufen

Die durchgeführten Sensitivitätsstudien zeigen deutliche Unterschiede der Bemessungsgrößen resultierend aus den originalen und trendbereinigten Datensätzen. Nachfolgend sind die Regenhöhen exemplarisch für die Wiederkehrintervalle (T_n) 5, 33,33 und 100 Jahre für die Niederschlagsstation Esterbach dargestellt (vgl. Abbildung 2).

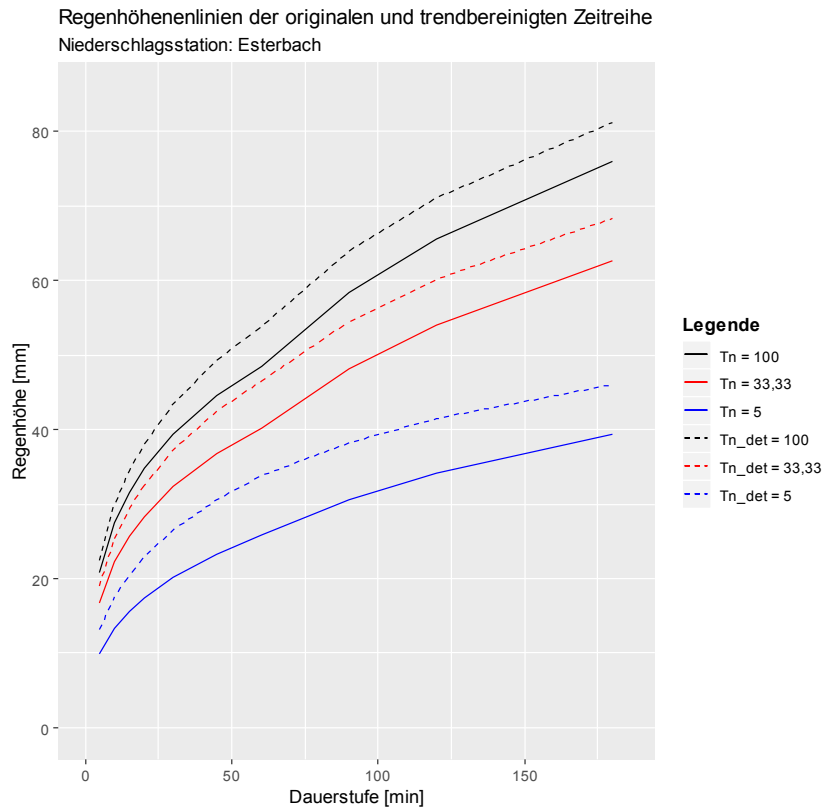


Abbildung 2: Regenhöhenlinien der originalen und trendbereinigten Zeitreihen, Niederschlagsstation: Esterbach

Die Ergebnisse der vorangegangenen Trenduntersuchungen lassen sich bei den Abweichungen der unterschiedlichen Regenhöhen insbesondere für die kleineren Dauerstufen wiedererkennen. Es ergeben sich deutlich höhere prozentuale Abweichungen bei den kürzeren Dauerstufen (vgl. Abbildung 3) und kleineren Wiederkehrintervallen. Die Regenhöhe (Menge des gefallenen Regens je m^2) für kürzere Niederschläge mit einem kleineren Wiederkehrintervall erhöht sich demnach.

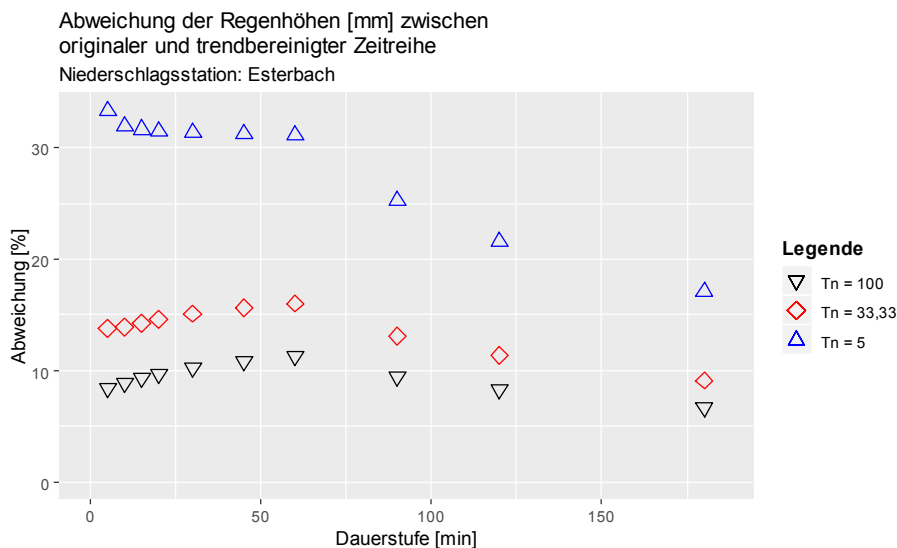


Abbildung 3: Abweichung der Regenhöhenlinien aus originalem und trendbereinigtem Datensatz, Niederschlagsstation: Esterbach

Zusammenfassung

Erste Untersuchungen zeigen für eine Vielzahl der Niederschlagsstationen in NRW sowohl positive als auch negative Trends. Werden diese in die Berechnungen für Regenhöhenlinien durch eine Trendbereinigung einbezogen, so ergeben sich (bei positiven Trends) teils deutlich höhere Bemessungsgrößen für die wasserwirtschaftliche Infrastruktur.

Zeitliche Veränderungen in den Niederschlagszeitreihen müssen demnach berücksichtigt werden. Durch die Trendbereinigung ist bereits ein erster Schritt hin zu instationären Bemessungsansätzen erfolgt, welcher leicht in die gängigen Regelwerke implementiert werden kann

Durch weiterführende Verfahren der instationären Extremwertstatistik soll die Bemessungspraxis und Bauwerksdimensionierung noch zuverlässiger erfolgen können und somit zu einer nachhaltigeren wasserwirtschaftlichen Infrastruktur beitragen.

Ausgewählte Referenzen

DWA (2017): Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Arbeitsblatt A 531 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)

IPCC (2018): Summary for Policymakers, An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *48th Session of the IPCC*, Incheon, Republic of Korea

Mudersbach, C. (2010): Untersuchungen zur Ermittlung von hydrologischen Bemessungsgrößen mit Verfahren der instationären Extremwertstatistik, Dissertation, *Mitteilungen des Forschungsinstituts Wasser und Umwelt der Universität Siegen*, Heft 1

Mudersbach, C.; Bender, J. (2017): Ein Bemessungsansatz für wasserwirtschaftliche Infrastruktur bei instationären Bedingungen. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 61 (2), S. 85–92.

Rootzén, H.; Katz, R. W. (2013): Design Life Level: Quantifying risk in a changing climate. In: *Water Resour. Res.* 49 (9), S. 5964–5972. DOI: 10.1002/wrcr.20425

Fahrtenmanagement zur Reichweitenoptimierung unter Berücksichtigung zeitvarianter Einflüsse in der Simulation von Elektrofahrzeugen

Martin Hellwig, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Wolf Ritschel

Hochschule Bochum, Institut für Elektromobilität, Lennershofstr.140, 44801 Bochum

martin.hellwig@hs-bochum.com

Schlagworte: Fahrtenmanagement, Reichweitenoptimierung, Bellman, Dynamische Programmierung, Infrastructure2Car

Einleitung

Die Elektromobilität stellt einen Stützpfeiler des nachhaltigen Individualverkehrs dar. Die umwelt- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung sind nur durch eine hohe Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen erreichbar. Das größte Hemmnis bei der Kundenakzeptanz und somit der Verbreitung von Elektrofahrzeugen stellt bisher die relativ geringe Reichweite dar. Ca. 78% der Autofahrer bewertet die Reichweite als zu gering (Wirtschaftsuniversität Wien 2017). Die naheliegende Lösung wäre der Einsatz größerer Batterien zur Erzielung höherer Reichweiten, dies steigert allerdings signifikant die Kosten des Fahrzeugs, da zurzeit 30%-40% der gesamten Wertschöpfung des Fahrzeugs auf die Traktionsbatterie entfallen (Nationale Plattform Elektromobilität 2016). Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Reichweite kann die Steigerung des Wirkungsgrades der Antriebskomponenten sein. Da die Komponenten Traktionsbatterie, Wechselrichter und elektrische Maschine bereits Gesamtwirkungsgrade zwischen 82% und 90% im realen Fahrzyklus erreichen, ist das Potential für eine signifikante Reichweitenerhöhung hier stark begrenzt (Grunditz and Thiringer 2016).

Die Fahrweise - genauer die Regelung der Längsbewegung - hat ebenfalls einen hohen Einfluss auf den Energiebedarf. Hier sind Einsparungen von 4% bis 40% möglich (Rumbolz 2013). Die Optimierung der Längsbewegung hat zum Vorteil, dass sie auf die im Antriebsstrang eingesetzte Technologie angepasst werden kann und somit für alle Fahrzeuge einsetzbar ist. Zudem erhöht sich das Einsparpotential mit steigender Autonomie, was in Bezug auf den wachsenden Umfang von Fahrassistenzsystemen und autonomem Fahren ein hohes Zukunftspotential verspricht.

Zielsetzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Implementierung eines Fahrtenmanagements zur energie- und zeitoptimalen Vorgabe der Fahrgeschwindigkeit innerhalb einer Fahrzeugsimulation unter Berücksichtigung zeitvarianter Einflussgrößen, wie Verkehr und Verkehrsinfrastruktur. Der Fahrtenmanager stellt somit einen virtuellen Fahrer dar, der aufgrund der Strecken- und Verkehrsdaten die optimale Geschwindigkeit während der simulierten Fahrt berechnet und den Antriebsstrang entsprechend regelt.

Anhand der Closed-Loop-Fahrzeugsimulation kann so das Verhalten und die Auswirkungen des Fahrtenmanagements analysiert werden. Insbesondere wird mit dem so entstandenen Werkzeug die Frage geklärt, wie zeitvariante Größen und unvorhergesehene Verkehrsereignisse die Effizienz beeinflussen und welchen Einfluss der Planungshorizont hat.

Arbeitsplan/Meilensteine

- Rechenzeitoptimierte Implementierung einer Fahrzeugsimulation zur Berechnung des Energiebedarfs
- Verifikation anhand realer Fahrzeugdaten
- Erzeugung des zeitinvarianten Kontrollraums, Identifikation von statischen Streckeninformationen wie Kreuzungen und Kurven aus Online-Daten
- Algorithmus zur Fahrtoptimierung nach Bellmanschem Optimalitätsprinzip und dynamischer Programmierung
- Umkehr der Berechnungsreihenfolge zur Berücksichtigung zeitvarianter Einflüsse
- Erweiterung des Kontrollraums um die Dimension der Zeit (zeitvarianter Kontrollraum)

- Adaption des Algorithmus zum Einsatz im Modell des virtuellen Fahrers innerhalb einer Closed-Loop-Simulation
- Analysen zur beschränkten Sichtweite und planbaren und unplanbaren zeitvarianter Einflüssen

Methodik und eingesetzte Werkzeuge

Die Fahrzeugsimulation

Das zentrale Werkzeug zur Entwicklung und Erprobung der Algorithmen des Fahrtenmanagements ist die Fahrzeug-simulation. Mathematische Modelle repräsentieren dabei technische Systeme, die in Bezug auf die spezifischen Anforderungen an die Simulation, beispielsweise Rechenzeit und Abbildungsgenauigkeit, angepasst werden können. Durch modularen Aufbau und Parametrierbarkeit ist sichergestellt, dass Modelle für verschiedene Fahrzeuge und Komponenten genutzt werden können. Innerhalb dieser Arbeit wird ein rechenzeitoptimiertes Feed-Forward-Modell eingesetzt, um während der Optimierung den Energiebedarf des Antriebs in spezifischen Fahrsituationen zu bestimmen. Es handelt sich um ein Modell mit nicht geschlossenem Regelkreis, welches eine rein sequenzielle Berechnung der Fahrwiderstände, der Betriebspunkte der Antriebskomponenten und des Energiebedarfs ermöglicht.

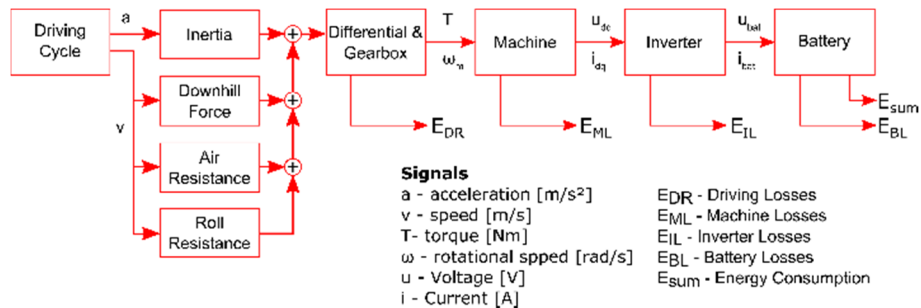


Abbildung 2: Feed-Forward-Modell zur Bestimmung der Fahrleistung und des Energiebedarfs in festgelegten Fahrsituationen

Darüber hinaus wird ein komplexeres Closed-Loop-Modell angewandt, um den Fahrtenmanager innerhalb bestimmter Anwendungsszenarien zu analysieren. Dieses Modell charakterisiert ein geschlossener Regelkreis, bei dem der virtuelle Fahrer, respektive der Fahrtenmanager die Funktion des Reglers übernimmt, das Fahrzeug und die Umgebung die Regelstrecke. Hierdurch ist es möglich, anders als beim Feed-Forward-Modell, Wechselwirkungen zwischen Komponenten darzustellen und effektiv Analysen am Algorithmus des Fahrtenmanagers durchzuführen (Hellwig 2014). Da es hier – insbesondere durch vorhandene und künstliche erzeugte Störgrößen – zu Regelabweichungen kommt, kann durch die vorliegende Art der Modellierung eine gute Annäherung an den realen Einsatz im Straßenverkehr erreicht werden. Das Fahrtenmanagement ist gezwungen, auf äußere Einflüsse kurzfristig zu reagieren, mittel- bis langfristigen Änderungen der Verkehrssituation wird durch zyklische Neuberechnung des Kontrollraums Rechnung getragen.

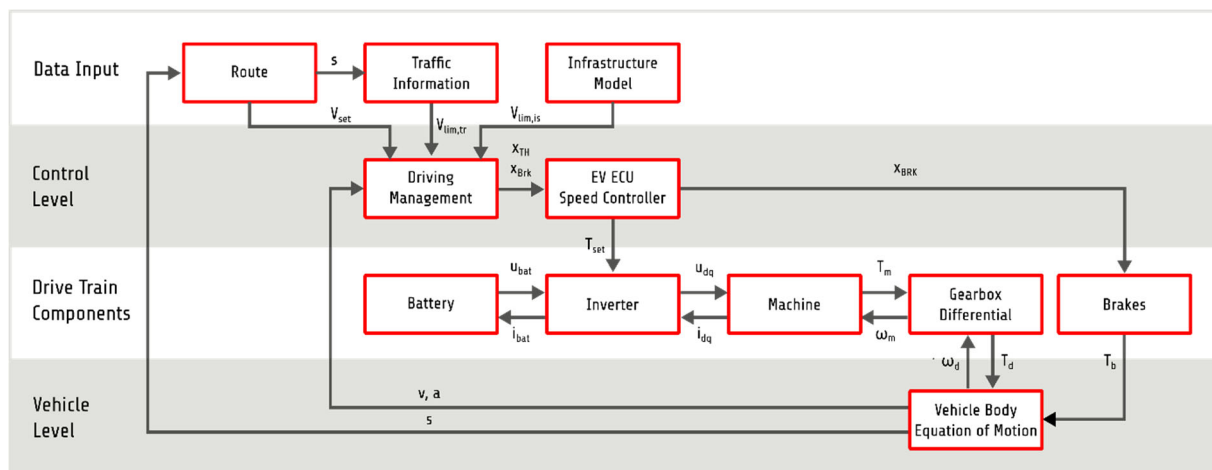


Abbildung 3: Integration des Fahrtenmanagements (Virtual driver) innerhalb der Closed-Loop-Simulation

Der Zustandsraum

Als Zustandsraum wird das zulässige Geschwindigkeitsband der Strecke beschrieben. Die Grenzen des Zustandsraums bestimmen somit die maximale V_{\max} und minimale V_{\min} Geschwindigkeit über der zu fahrenden Strecke s , in dem sich das Fahrzeug bewegen darf. Die optimale Lösung ist somit eine Geschwindigkeits-Trajektorie, die von links nach rechts durch den Zustandsraum führt.

Die Aufstellung des Zustandsraums für eine Fahrt stellt die Basis der Optimierung dar. Anhand der bekannten Start- und Zielposition (Adressen) werden über Online-Daten die optimale Route (Google Maps API) und dazugehörige GPS Stützstellen ermittelt. Geschwindigkeitsbegrenzungen werden über weitere Online-Datenbanken (OSM API) abgefragt und bilden den Verlauf der zulässigen Geschwindigkeit. Durch Definition tolerierbarer Abweichungen von der gesetzlich vorgeschriebenen Maximalgeschwindigkeit, tolerierbare Beschleunigungswerte sowie die Analyse von Kurvenradien und Kreuzungssituationen entsteht der Kontrollraum, wie er in Abbildung 3 dargestellt ist.

Durch Teilung in äquidistante Teilstrecken und Quantisierung der Geschwindigkeit entsteht die Datenbasis, die für die Berechnung der optimalen Route benötigt wird.

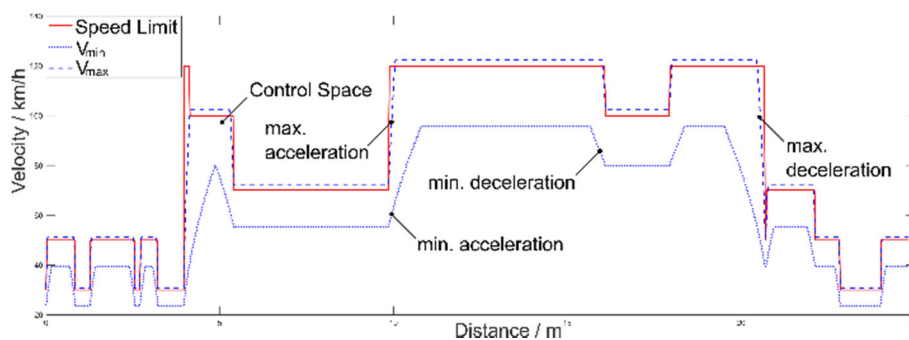


Abbildung 4: Automatisch generierter Kontrollraums einer Fahrt aus Online-Daten für die Findung der optimale Geschwindigkeits-Trajektorie

Optimalitätsprinzip nach Bellman

Ein Optimierungsproblem beschreibt die Suche nach optimalen Parametern für ein komplexes technisches System. Eine Zielfunktion beschreibt dazu die zu minimierende Eigenschaft (Energiebedarf, Fahrzeit) des Systems. Da eine analytische Lösung oft nicht möglich ist, werden numerische Lösungsverfahren eingesetzt. Das Prinzip der optimalen Steuerung erlaubt, zwischen verschiedenen Möglichkeiten für eine Teillösung des vorliegenden Optimierungsproblems (Variation der Geschwindigkeit) das optimale Ergebnis zu ermitteln.

„An optimal policy has the property that whatever the initial state and initial decision are, the remaining decisions must constitute an optimal policy with regard to the state resulting from the first decision” - Bellman (1957)

Allgemein gesprochen besagt das Optimalitätsprinzip nach Bellman dass wenn ein Optimierungsproblem in gleichartige Probleme geteilt werden kann und eine optimale Lösung für einen Teil gefunden werden kann, so muss diese Teil der optimalen Gesamtlösung sein.

Dynamische Programmierung

Durch die freie Wahl der Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt, ergeben sich unendlich viele Möglichkeiten eine Route zu befahren. Ein Vergleich und somit eine Optimierung von allen Lösungen ist somit nicht direkt möglich. Die dynamische Programmierung ist eine Methode zur Lösung durch Teilung des Gesamtproblems (Geschwindigkeits-Trajektorie) in einzelne, gleichartige Teilprobleme. Bezogen auf das vorliegende Problem bedeutet dies, dass die Fahrstrecke in Abschnitte unterteilt und zu jedem Streckenabschnitt eine optimale Geschwindigkeit nach dem

numerischen Verfahren der optimalen Steuerung ermittelt wird. Das Ergebnis eines Streckenabschnitts definiert dabei die Startbedingungen des nächsten Abschnitts.

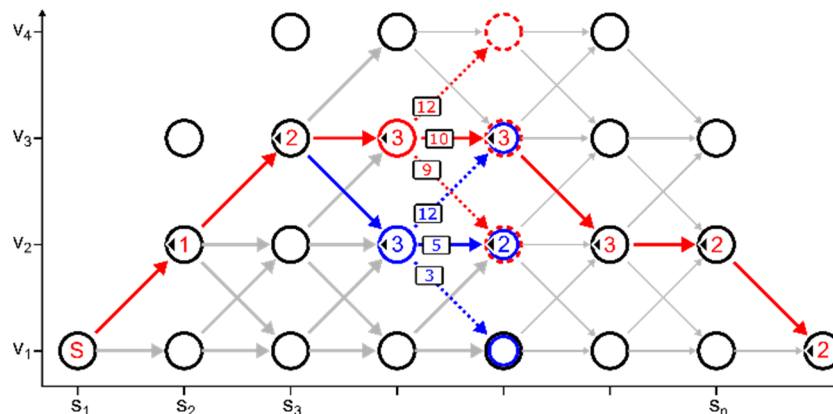


Abbildung 3: Anwendung der dynamischen Programmierung zur Findung der optimalen Trajektorie mit inverser Berechnungsreihenfolge

Klassischerweise werden durch das einmalige Durchschreiten des Zustandsraums vom Ende zum Anfang für alle möglichen Übergänge die Kosten an jedem Punkt im Zustandsraum berechnet. Beim zweiten Durchlauf vom Start zum Ende wird die optimale Trajektorie aus den zuvor zugeordneten Kosten ermittelt.

Um zeitvariable Geschwindigkeitsbeschränkungen durch äußere Einflüsse zu berücksichtigen, wird das Verfahren in dieser Arbeit umgekehrt, um die Zeitpunkte des Erreichens der jeweiligen Punkte während der Kostenberechnung ermitteln zu können. Werden beide Schleifen rückwärts durchlaufen, kann so ein sich zeitlich ändernder Kontrollraum eingebunden werden. Auf diese Weise werden in dieser Arbeit im Voraus bekannte verkehrsbedingte Einflüsse und zukünftige Entwicklungen wie Infrastructure2Car berücksichtigt.

Stand der Arbeiten

Die zur Ermittlung des Energiebedarfs benötigten Modelle liegen in rechenzeitoptimierter Form vor und konnten anhand real gemessener Daten im Fahrzeug verifiziert werden. Ebenso wird der Kontrollraum für die Optimierung anhand von Online-Daten automatisiert aufgestellt und ist direkt in der Optimierung nutzbar, was eine schnelle Variation der Testszenarien ermöglicht und die Grundlage für eine spätere Anwendung darstellt.

Der eigentliche Optimierungsalgorithmus nach Bellman (1957) in dynamischer Programmierung wurde erfolgreich implementiert. Dabei wurde der klassische Ansatz mit dem der inversen Berechnungsreihenfolge verglichen.

Durch eine strukturelle Planung von Berechnungs-Tasks und Speicherung von Zwischenergebnissen konnte die Rechenzeit für einen Optimierungsablauf erheblich gesenkt werden. So wird die rechenzeitintensive Kostenberechnung a priori durchgeführt. Eine Neuberechnung wird automatisch angestoßen, wenn relevante Fahrzeug- oder Optimierungsparameter geändert wurden.

Mit Hilfe des implementierten Algorithmus ist es möglich, den optimalen Geschwindigkeitsverlauf zu ermitteln und zu vergleichen. Da sich eine kurze Fahrzeit und niedriger Energiebedarf grundsätzlich gegenüberstehen, wird eine Priorisierung festgelegt. Ein Ausschnitt der Ergebnisse ist in Abbildung 5 dargestellt.

Durch den Algorithmus werden plausible Geschwindigkeits-trajektorien erzeugt. So zeigt sich beispielsweise dass eine Unterschreitung niedriger Geschwindigkeitsbegrenzungen weniger sinnvoll ist, da der Zeitbedarf dadurch maßgeblich steigt, die Ersparnisse im Energiebedarf hingegen verhältnismäßig niedrig ausfallen. Bei hohen Geschwindigkeiten hingegen zeichnet sich eine optimale konstante Geschwindigkeit unterhalb der Geschwindigkeitsbegrenzung aus, deren Betrag

primär abhängig von der Priorisierung der Kosten ist. Dies ist zu erklären, da die Fahrwiderstände bei hohen Geschwindigkeiten einen deutlich höheren Einfluss auf den Energiebedarf haben.

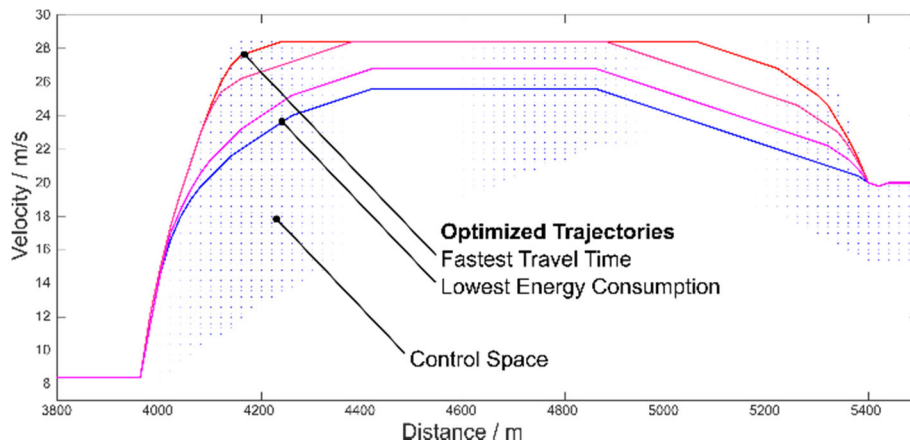


Abbildung 6: Generierte optimale Geschwindigkeits-Trajektorien (Ausschnitt) mit variierender Priorität von Fahrzeug und Energiebedarf

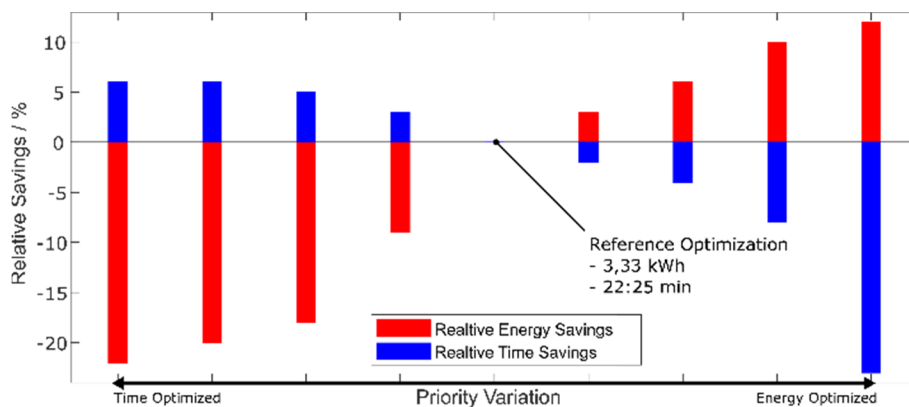


Abbildung 7: Auswirkungen der Variation der Prioritäten Fahrzeug und Energiebedarf für die exemplarische Route aus Abbildung 3

Abbildung 6 verdeutlicht die Auswirkungen der Priorisierung von Fahrzeit und Energiebedarf. Es existiert nicht die eine optimale Fahrweise, da niedriger Energiebedarf und niedrige Fahrzeit stets entgegengesetzte Ziele darstellen. Allerdings ist ersichtlich, dass der Energiebedarf bei starker Priorisierung der Fahrzeit übermäßig ansteigt, ein aggressives Fahren führt also zu hohem Energiebedarf ohne signifikante Zeitersparnis. Auf der anderen Seite nimmt die Fahrzeit überproportional zu, wenn der Energiebedarf zu stark priorisiert wird, was in der Praxis ebenso kein befriedigendes Ergebnis darstellt. Durch den Fahrtenmanager ist es möglich, diese Zusammenhänge zu erkennen und bezogen auf die jeweilige Priorität einen optimalen Kompromiss zu finden.

Die Einbindung vorhersehbarer zeitvarianter Einflussgrößen wird zurzeit noch nicht berücksichtigt. Die Erzeugung und Einbindung eines zeitvarianten Zustandsraums stellt somit die Herausforderung für die weiteren Arbeiten am Fahrtenmanager dar.

Referenzen

Bellman, R.E. (1957): Dynamic Programming, Princeton University Press

Hellwig, M., Andrey Popov, Michael Schugt (2014): Closed-Loop Power-HiL DriveTrain Tests of Electric Vehicles using Track Profiles, European Electric Vehicle Conference, Brüssel

Grunditz, Emma Arfa and Torbjörn Thiringer (2016): Characterizing BEV Powertrain Energy Consumption, Efficiency, and Range During Official and Drive Cycles From Gothenburg, Sweden, IEEE transaction on vehicular technology, vol.65, no.6

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), AG2 – Batterietechnologie (2016): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland

Rumbolz, P. (2013): Untersuchung der Fahrereinflüsse auf den Energieverbrauch und die Potentiale von verbrauchsreduzierenden Verzögerungsassistentenfunktionen beim PKW. Dissertation, Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen der Universität Stuttgart

Wirtschaftsuniversität Wien & Deloitte & Wien Energie (2017): Welche Gründe sprechen aus Ihrer Sicht gegen den Kauf eines Elektroautos? <https://statista.com>, Zugriff am 7. Dezember 2017

Nachhaltige soziale Konsumpraktiken im Quartier am Beispiel von Leihläden

Alexandra Jaik

Technische Universität Dortmund und Hochschule Bochum

Alexandra.Jaik@hs-bochum.de

Schlagworte: soziale Praktiken, Sharing, Nachhaltigkeit

Einleitung

Klimawandel und drohende Ressourcenknappheit fordern jetzige Konsum- und Produktionsweisen heraus. Wird auf der einen Seite versucht, „schädlichen“ Praktiken top-down regulatorisch zu begegnen, werden gleichzeitig bottom-up Strategien entwickelt, um praktische Lösungen zu finden, zu implementieren und zu verbreiten. Gemeint sind hier sogenannte Leihläden oder auch Bibliotheken der Dinge, die ressourcenleichtes Konsumieren ermöglichen und deren Zahl sich in elf europäischen Ländern und Israel insbesondere seit 2012 stark vervielfacht hat und auf inzwischen mehr als 100 angewachsen ist (siehe Abbildung 1).

Definition Leihläden

...bzw. Bibliotheken der Dinge werden häufig von Graswurzelinitiativen gegründet, überwiegend nicht-kommerziell betrieben und repräsentieren institutionalisierte Verleihangebote mit physischem Standort im Quartier im Gegensatz zu Online-Plattformen. In weniger Fällen sind sie Teil einer öffentlichen (kommunalen) Bücherei, eines Goethe-Instituts oder werden von Intermediären wie Freiwilligenagenturen initiiert. Wenn nicht auf Werkzeuge oder Sportgeräte spezialisiert, gehören zu ihrem Sortiment auch Küchenutensilien, Urlaubs- und Campingzubehör sowie Spielzeug. Der Verleih funktioniert ähnlich einer herkömmlichen Bücherei mit Mitgliedsbeiträgen und Leihfristen. Bestände können über Online-Kataloge eingesehen werden. Letztendlich richtet sich das konkrete Angebot nach den Bedarfen der lokalen Nutzenden. Dinge des täglichen Gebrauchs oder solche, die sich aus hygienischen Gründen nicht anbieten, wobei hier die Grenzen individuell verlaufen, eignen sich hingegen nicht.

Material und Methoden

Vor dem Hintergrund des Leitbilds einer Nachhaltigen Entwicklung widmet sich die Arbeit den Funktionsweisen und Gründern/Betreibenden von Leihläden samt ihren Motivationen sowie den Entstehungsbedingungen und -prozessen im Quartier. Darüber hinaus stehen ihre Erarbeitung von Transformationswissen, seine Anwendung und die Verbreitung von Dingbibliotheken im Fokus. Als Datenmaterial dienen leitfadengestützte Interviews mit 18 Initiativen, die mehrheitlich persönlich aufgesucht wurden sowie teilnehmende Beobachtungen, drei Leitfäden zur Gründung und weitere Dokumente, die qualitativ und computergestützt ausgewertet wurden.

Erste Ergebnisse

Die Befragten sind vor allem ökologisch und sozial motiviert, diese Infrastrukturen bereitzustellen, wenngleich die Gewichtung ihrer Werte unterschiedlich ausfällt und sich in ihrer Umsetzung bemerkbar macht.



Abbildung 1: Leihläden und Bibliotheken der Dinge in Europa (Stand: Herbst 2018) (eigene Darstellung, erstellt mit Stepmap)



Abbildung 2: Übersicht diffusions- und erfolgsbeeinflussender Faktoren (eigene Darstellung)

Referenzen

Jaik, A. (2018): Teile(n) in Leihläden. Eine kleine Genealogie der Bibliothek der Dinge. *Soziologie heute* (58), S. 31-34.

Jaik, A. (2018): Nutzen statt Besitzen lokal gestalten, in: Franz, H.-W./Kaletka, C. (Hg). *Soziale Innovationen lokal gestalten*. Band 1 der Reihe Sozialwissenschaften und Berufspraxis, hrsg. vom BDS; Wiesbaden: Springer VS, S. 119-143.

Anwendung von Data-Mining Methoden in Kombination mit in-operation Algorithmen zur Reduzierung des Ressourcenaufwands bei der Vermessung und Charakterisierung von Lithium-Ionen Akkumulatoren

Scholz Tobias, Prof. Dr.-Ing. Pautzke Friedbert

Institut für Elektromobilität, Hochschule Bochum, Bochum Germany

scholz.tobias@hs-bochum.de, friedbert.pautzke@hs-bochum.de

Schlagworte: Thévenin Theorem, Batteriemodellierung, “in-operation” Algorithmen

Einleitung

Li-Ionen Batteriezellen zeichnen sich durch ein stark nichtlineares Verhalten aus. Dieses wird von Einflussgrößen wie Temperatur, Ladezustand (SOC), vorangegangener Belastung, elektrischer Last und Alterung (kalendarisch und zyklisch) beeinflusst (Kurzweil & Dietlmeier 2015). Der Versuch Batterien durch komplexe mathematische Zusammenhänge in der Modellbildung zu beschreiben, führt zu einem hohen Aufwand bei Charakterisierung und Vermessung. Durch klimatische Einflüsse aber auch Fahr- und Ladeverhalten des Anwenders weist jede Lithium-Ionen-Batterie eine eigene Historie auf. Dadurch wird in Form eines Batterie-Management Systems eine individuelle Überwachung und Regelung erforderlich.

Ziel der Arbeit

Im Zuge des Forschungsprojekts wird ein simulationsgestützter in-operation Algorithmus entwickelt und implementiert, der auf Basis von Standardmessverfahren und Data-Mining Methoden eine weiterführende Parametrierung von Batteriemodellen im laufenden Betrieb durchführt. Daraus resultiert als Forschungsziel eine Minimierung des Messaufwands am Prüfstand bei zukünftiger Charakterisierung und Modellierung von Batteriesystemen. Die mitlaufende Analyse innerhalb der Anwendung ermöglicht hierbei eine verbesserte Zustandsbeschreibung der Batterie bei Anwendung innerhalb eines Batterie-Management Systems (BMS).

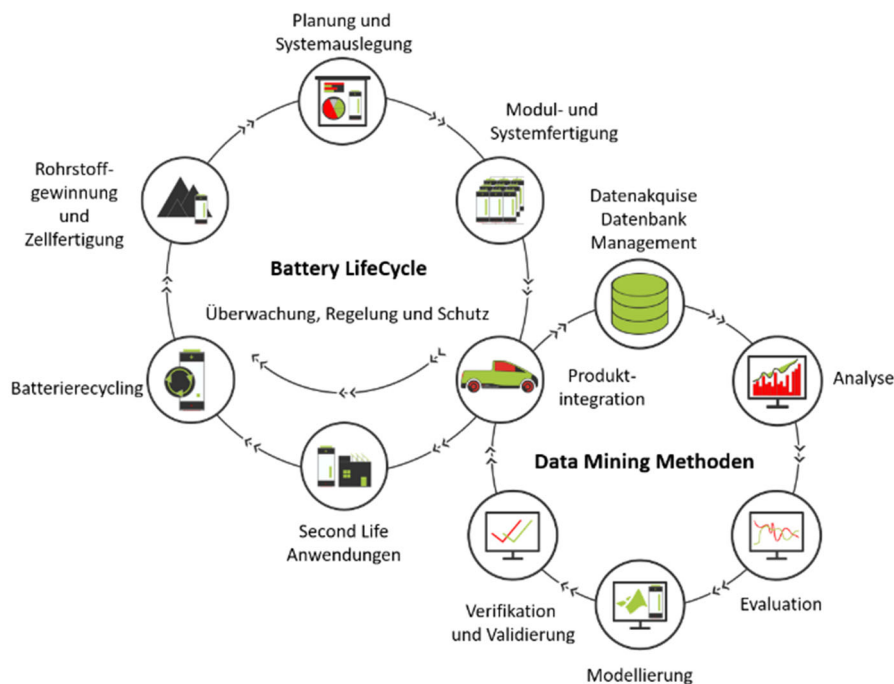


Abbildung 1: Verzahnung von Data-Mining Methoden mit dem BatteryLifeCycle (DRÄXLEMEIER 2018, Müller 2013)

Arbeitspakete

- Auswahl geeigneter Messverfahren, Datenakquise und Analyse unter Berücksichtigung von Standardmessverfahren und Verfügbarkeit
- Aufbau eines Versuchsträgers für die Fahrdaten-aufnahme und spätere Verifikation des Systems
- Entwicklung eines geeigneten Batteriemodells unter Betrachtung mathematisch/physikalisch und empirischer Methoden
- Implementierung von Annäherungsverfahren und Parametrierungsmethoden für das entstandene Modell
- Verifikation anhand stationärer Messverfahren und realer Fahrzeugdaten
- Adaption von Modell und Annäherungsverfahren auf die Anwendung im Versuchsträger
- Erweiterung bestehender Verfahren für den Optimierungsfall mittels SIL- u. HIL-Verfahren
- Definition einer Einflussgrößenerkennung und Festlegung von Entscheidungsparameter
- Analysen zur benötigten Datenbasis und Interpretation von zwischen Modellqualität und Messaufwand

Material und Methoden

Die Batteriesimulation

Zur Aufstellung von Reichweitenprognosen oder Prognosen über das Verhalten von Batteriezellen und Modulen als Reaktion auf Einflussgrößen kommen in Forschung und Entwicklung technische Simulationsmodelle zum Einsatz (Auer 2015). Diese bieten die Möglichkeit, Komponenten oder Gesamtsysteme simulativ zu konstruieren, zu dimensionieren und zu testen und sind damit ein elementares Werkzeug im gesamten Entwicklungsprozess. Durch Anwendung von Ersatzschaltbildmodellen, die auf dem Thévenin Theorem (Johnson 2003) basieren, ergeben sich gute Annäherungen bei der Simulation von Batteriesystemen. Sie setzen sich durch eine Leerlaufspannungsquelle U_{OCV} , einem Innenwiderstand R_i und in Reihe geschalteten RC-Gliedern zusammen. Die Modellordnung wird hier durch die Anzahl der in Serie geschalteten RC-Gliedern festgelegt (Abbildung 2). In der Literatur lassen sich weitere Schaltungstopologien entsprechend gewünschter Prozessabbildung finden (Nikdel 2014, Nikolian 2014).

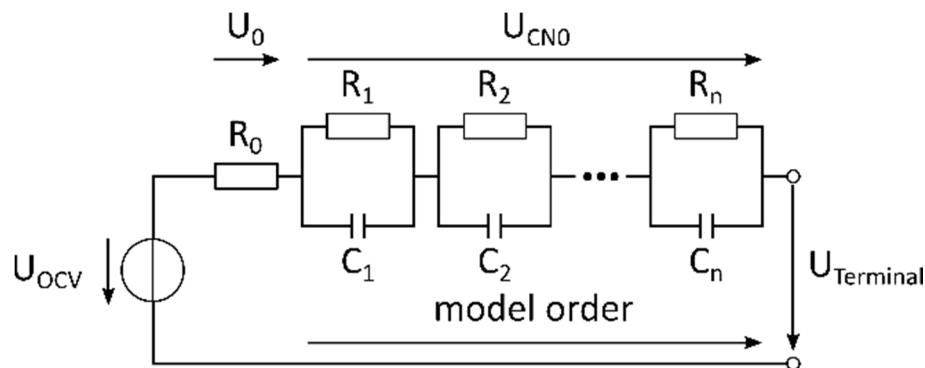


Abbildung 2: Thévenin Model verschiedener Modellordnung (Nikdel 2014)

Messverfahren und Parametrierung

Die zur Parametrierung notwendige Messdatenbasis wird durch den Einsatz der Messverfahren Konstantstrom- und Relaxationsmessung aufgenommen, welche neben der Impedanzspektroskopie zu den vorherrschenden Verfahren in Forschung und Entwicklung gehören (Schmidt 2013). Diese eignen sich aufgrund ihrer Einfachheit und Verfügbarkeit an einfachem Messequipment als Basis zur Vermessung. Die Konstantstrommessung kann eingesetzt werden, um den Innenwiderstand R_i und die Leerlaufspannung U_{OCV} über dem Ladezustand zu erhalten (Cittanti 2017). Bei der Relaxationsmessung handelt es sich um ein stationäres Messverfahren, bei dem Batteriezellen schrittweise ge- oder entladen werden (Bard 2001). Durch Aufschalten eines Strompulses wird der Zelle eine definierte Ladung zugeführt/entnommen und anschließend die Erholung der Zelle abgewartet. Dies ermöglicht eine Bestimmung der Abhängigkeit des Gleichgewichtszustandes zum Ladezustand. Auf Basis dieser Parameter kann mittels iterativer Annäherung, durch vorheriges Aufspannen eines Lösungsbereiches, Widerstände und Kapazitäten für Thévenin-Modelle berechnet werden.

Durch Aufnahme dynamischer Lastzyklen in Form von Fahrdaten mittels einer Loggingeinheit können die multivariaten Zusammenhänge der Li-Ionen Batterie aufgenommen werden. Die Unvorhersehbarkeit von Einflussgrößen und Zuweisung auf einzelne Modellparameter in der Realfahrt wird hier durch die Analyse wiederkehrender Ereignisse umgesetzt. Dabei entsteht eine Entscheidungslogik, die auf Basis der wachsenden Datenbasis während der Fahrt Optimierungen am Simulationsmodell vornimmt. Eine anschließend methodische Reduzierung der Datenbasis, die zur vorherigen Modellparametrierung verwendet wird, ermöglicht eine Aussage über den Zusammenhang zwischen Modellqualität und Messaufwand. Aus dieser resultiert eine systematische Reduzierung des Ressourcenaufwands in der Laborumgebung.

Die Implementierung des entstandenen Algorithmus innerhalb eines Batterie-Management-Systems erlaubt eine Anpassung der Überwachung und Regelung entsprechend der individuellen Belastungshistorie der Batterie.

Stand der Arbeit

Ein Parametrierungsverfahren, welches auf Basis von Konstantstrom- und Relaxationsmessung kennfeldbasierte Batteriemodelle unter Berücksichtigung rein elektrischer Einflussgrößen (SOC, Strom, Spannung) parametriert, wurde bereits implementiert. Durch das auf die Batterie zugeschnittene iterative Annäherungsverfahren wurde eine relative Abweichung zur Realität von bis zu unter 1% erreicht.

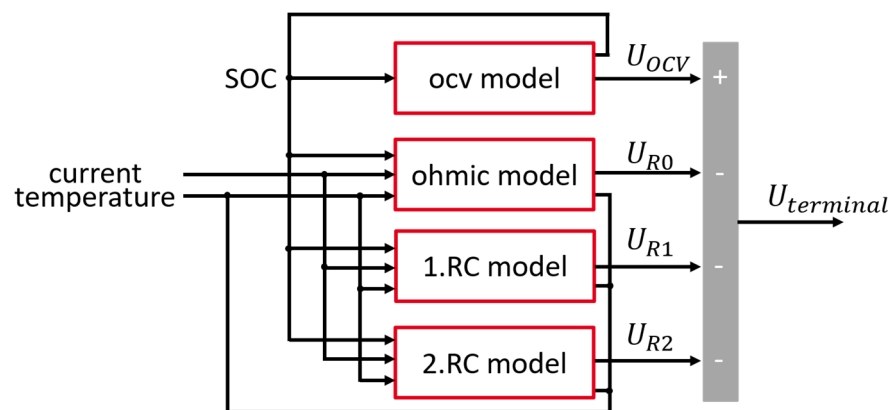


Abbildung 3: Ersatzschaltbildmodell einer Batterie in Abhängigkeit von Temperatur, Strom und Ladezustand (SOC) (Scholz 2018)

Das entstandene Verfahren sowie zugehörigem Thévenin basiertem Batteriemodell (Abbildung 3) konnten mittels vorhandener Datenbasis verifiziert werden.

In den nächsten Schritten ist eine Erweiterung auf weitere Einflussgrößen des MIMO-Systems Batterie, sowie weitere Laborvermessungen geplant. Weitergehend wird zur Aufnahme von Realdaten ein prototypischer Versuchsträger aufgebaut. Durch die Übertragung von Annäherung und Parametrierung von Labormessdaten auf die Realfahrt soll eine zielführende Methode der Parametrierung von Batterien innerhalb der Anwendung eines BMS eruiert werden.

Referenzen

- Auer M. (2015): Ein Beitrag zur Erhöhung der Reichweite eines batterieelektrischen Fahrzeugs durch prädiktives Thermomanagement, Springer Vieweg
- Bard, Allen J. & Faulkner, Larry R. (2001): Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, Wiley
- Cittanti D., Ferraris A., Airale A.G., Fiorot S., Scavuzzo S., Carello M. (2017): Modeling Li-ion batteries for automotive application: A trade-off between accuracy and complexity, Politecnico di Torino Porto Institutional Repository, 15-17. June 2017
- DRÄXLMAIER Group (2018): Der Lebenszyklus einer Batterie, <https://www.draexlmaier.com/sachsenheim/batterieentwicklung/der-lebenszyklus-einer-batterie/> [Online, Stand: 12.06.18]

Johnson, D. H. (2003). Origins of the equivalent circuit concept: the voltage-source equivalent. Proceedings of the IEEE, 91(4), 636–640

Kurzweil P., Dietlmeier O.K. (2015): Elektrochemische Energiespeicher, Springer Vieweg

Müller, Roland M., Hans-Joachim Lenz (2013): Business Intelligence: Data Mining, Springer Vieweg

Nikdel M., S.M. Mousavi G. (2014): Various battery models for various simulation studies and applications in renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.32, issue C,477-485

Nikolian A.,Fleurbaey K., Van Mierlo J., Van de Bossche P.,Omar N.,Timmermans J.-M., de Hoog J. (2014): Classification of Electric modeling and Characterization methods of Lithium-ion Batteries for Vehicle Applications, EEVC Dec. 2014

Schmidt, J.P. (2013): Verfahren zur Charakterisierung und Modellierung von Lithium-Ionen Zellen. KIT Scientific Publishing

Scholz, T. (2018): Modell einer Lithium-Ionen-Batterie mit automatisierter Parameteroptimierung, Masterarbeit an der Hochschule Bochum

In Kooperation mit:



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik,
Lehrstuhl für Elektromobilität und Energiespeichersysteme, Prof. Dr.-Ing. Benedikt Schmülling

System-orientierte Raumsimulationen für eine nachhaltige Stadtplanung

Christian Mueller

Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum

christian1.mueller@hs-bochum.de

Schlagwörter: Raumsimulation; System Dynamics; Agent-Based Modelle; Hybride Modelle; Stadtplanung; Raumattraktivität; Gamification

Einleitung

Im 21. Jahrhundert sehen sich Entscheidungsträger im urbanen Kontext gleichzeitig mit einer Vielfalt vernetzter sozialer und ökologischer Herausforderungen konfrontiert. Diese Herausforderungen umspannen u.A. Konsequenzen des demographischen Wandels (Champion 2001; Danielzyk et al. 2010), eine bedarfsangepasste lokale Daseinsvorsorge (Libbe et al. 2010), fortschreitende Versiegelung und die daraus resultierenden Effekte für städtische Hitzeinseln und Starkregenereignisse (Arnfield 2003; Oke 1973; Tyrna und Hochschild 2010). Werkzeuge zur räumlichen Entscheidungsunterstützung können Stadtplaner und Entscheidungsträger mit einer fundierten Informationsbasis unterstützen, wobei Computersysteme in der Lage sind die vernetzten Herausforderungen des komplexen Systems der Stadt zu berücksichtigen. In den letzten 70 Jahren wurden mehrere Raumsimulationen in den Forschungsfeldern der „System Dynamics“ und „Agent-Based Modeling“ entwickelt.

Diese Modellierungsplattformen benötigen allerdings in der Regel große Datenmengen, intensive Datenaufbereitung, sowie Programmier-, Modellier-, GIS- oder andere technische Fertigkeiten (Nava Guerrero et al. 2016). Viele kleinere Kommunen (< 25,000 Einwohner) teilen jedoch ein Defizit an finanziellen und personellen Ressourcen. Folglich kommen Raumsimulationen im Praxisalltag kleinerer Kommunen nicht zum Einsatz. Erkenntnisse für sinnvolle, forschungsfundierte Planungsstrategien, die systemare Rückkopplungseffekte berücksichtigen, bleiben dadurch meist ungenutzt (Janssen & Ostrom 2006; Pullin und Knight 2003; Pullin et al. 2009; Russo et al. 2018).

Ein Ansatz, um diese Einschränkungen zu überwinden, ist der „Gamification“ oder „Serious Game“-Ansatz (Ahlqvist et al. 2018). Er schließt an Erkenntnisse aus der Psychologie an, die besagen, dass ein hoher Lernerfolg beim Verständnis komplexer Sachverhalte vor allem von persönlichen Erfahrungen mit und Neugierde für diesen Sachverhalten abhängt (Deterding et al. 2011). Da Spiele diese beiden Aspekte fördern, werden im Rahmen des „Gamification“-Ansatzes komplexe und ernsthafte Themen in eine leicht zugängliche und anregende Umgebung transponiert (Ingensand et al. 2015; Deterding et al. 2011; Prensky 2003).

Ein weiterer Nachteil vieler Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung ist eine eher technische Sichtweise, wohingegen das übergeordnete Ziel von Raumplanern stets das Wohlergehen der Bürger ist (Nam & Pardo 2011, 2011; Neirotti et al. 2014). Allerdings ist das selbst wahrgenommene Wohlempfinden innerhalb des gegebenen Raumes sehr subjektiv und individuell verschieden. Dies wirft die Frage auf, wie die Raumattraktivität als Zielgröße städtischer Raumsimulationen quantifiziert werden kann.

Diese Arbeit integriert raumbezogene gemischte Methoden zur Messung der Raumattraktivität mit verschiedenen raumbezogenen Datenquellen und kombiniert die „Gamification“, „System Dynamics“ und „Agent-Based Modeling“ Ansätze in einer neuartigen, leicht zugänglichen räumlichen Simulationsplattform für städtische Systeme (SimUSys).

Methoden und Daten

Es wurde eine räumliche Simulationsplattform entwickelt, welche Spielelemente für einen leichten Zugang zur systemaren Evaluierung unterschiedlicher Planungsstrategien ermöglicht (Abb. 1).

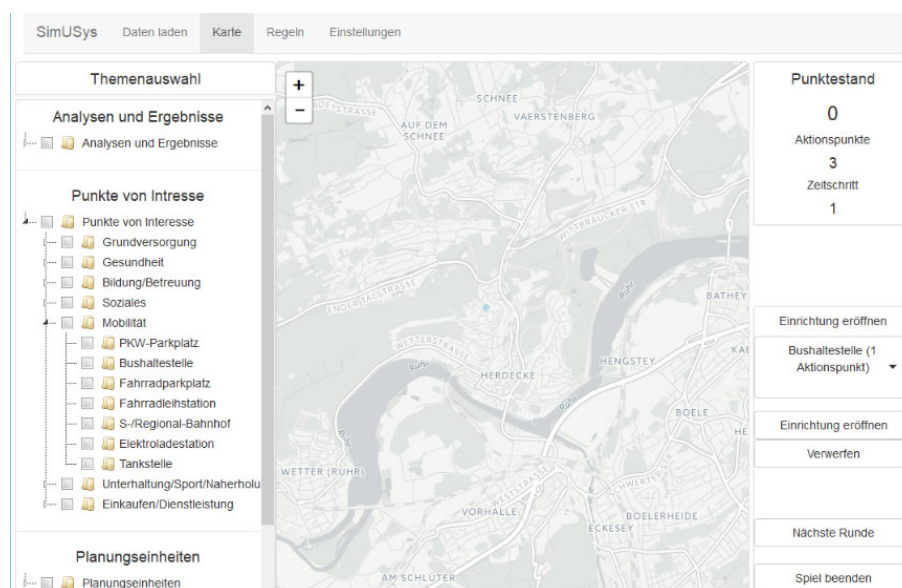


Abbildung 1: Web-Anwendung der Simulationsplattform SimUSys.

Die Zielgröße für Simulationen mit SimUSys ist das selbst wahrgenommene Wohlempfinden der Bürger im gegebenen Raum. Um diese Raumattraktivität zu messen, wurden eine Briefumfrage und eine Umfrage mit Hilfe einer Web-Mapping-Anwendung durchgeführt. Zusätzlich wurde in einem Pilot-Projekt das sogenannte EmoMapping eingesetzt, welches mit Hilfe von Hautsensoren das Stressempfinden von Versuchspersonen im städtischen Raum ermittelt. Außerdem kamen Methoden zum maschinellen Lernen zum Einsatz, um Twitter-Daten nach emotionalen Empfindungen zu kategorisieren.

Um eine breite Datenbasis für die städtische Simulationen bereitzustellen, wurde ein Werkzeug entwickelt, welches eine automatisierte Datenintegration aus einer Vielzahl von Datenquellen über verschiedene geographische Skalen hinweg ermöglicht (Mueller et al. 2016). Die so integrierten Datensätze wurden auf ein einheitliches Analysegrid mit einer Zellgröße von 100 m x 100 m aggregiert. Zusätzlich wurde für jeden Zellmittelpunkt dieses Gitters die Erreichbarkeit für Einrichtungen der lokalen Daseinsvorsorge berechnet.

Räumlich implizite und explizite Regeln, welche mit dem „System Dynamics“ und dem „Agent-Based Modeling“ Ansatz korrespondieren, wurden in einer Simulationsplattform kombiniert. Die Benutzeroberfläche dieser „gamifizierten“ Web-Anwendung kann ohne lokale Installation über einen Webbrowser gestartet werden (Abb. 1).

Räumlich explizite Regeln können entweder manuell mittels Schieberegler definiert oder durch Regressionsanalysen aus den Daten selbst generiert werden. Im letzteren Fall wird die räumliche Autokorrelation durch den „Moran's I“ Wert berechnet. Anschließend wird eine geographisch gewichtete multi-variate räumlich autoregressive Regression durchgeführt (SAR). Anhand der Regressionskoeffizienten wird dann die Gewichtung für die Simulationsregeln vorgenommen.

Ergebnisse

Das Werkzeug zur automatisierten Datenintegration wurde in einem Anwendungsfall getestet, bei dem 125 Geobjekte automatisiert aus unterschiedlichsten Datenquellen integriert werden konnten. Diese Geobjekte, einschließlich ihrer Attribute, wurden automatisch aufbereitet und standen dann für eine direkte Verwendung in SimUSys zur Verfügung. Mit Hilfe des beschriebenen Regelwerkes für die Gitter-basierten Agenten wurde ein ernsthaftes Spiel gespielt, um den besten aus drei möglichen Standorten für einen neuen Veranstaltungsort zu identifizieren. Abb. 2 zeigt die simulierten Ergebnisse aller drei Standorte und deren Einfluss auf fünf berücksichtigte vernetzte Systemparameter. Der am besten geeignete Standort (Nummer 3) führte zu einer simulierten Reduktion der Verkehrsintensität und Lärmbelastung bei gleichzeitiger Steigerung der Raumattraktivität.

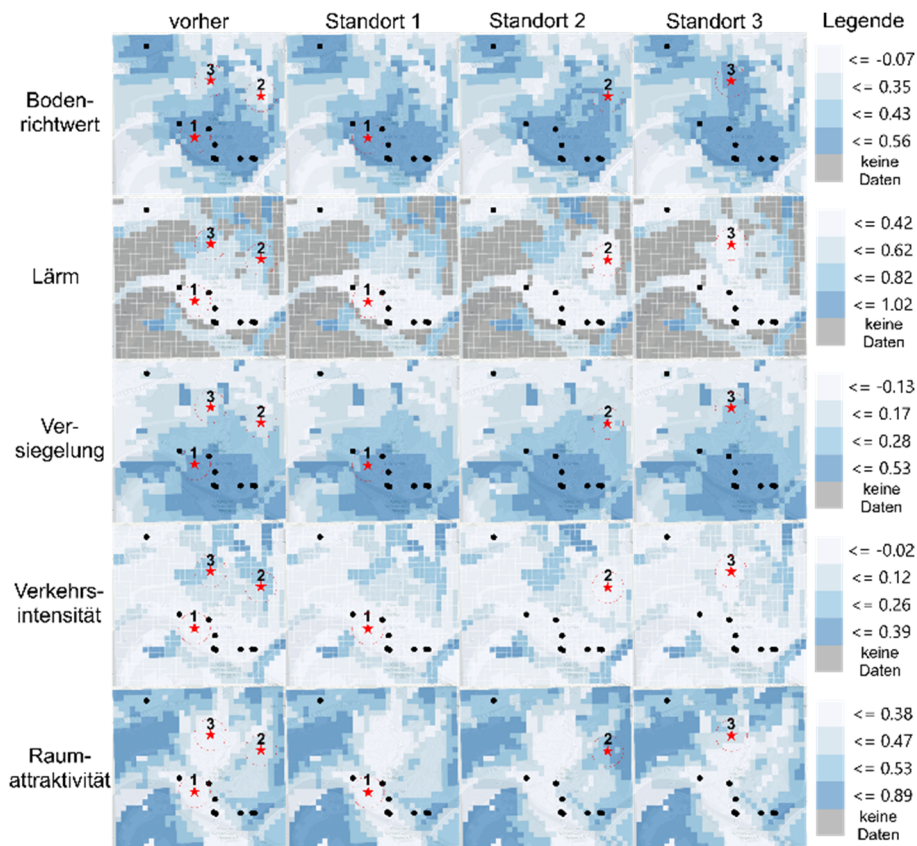


Abbildung 2: Übersicht über drei mögliche Standorte für einen neuen Veranstaltungsort und die resultierenden untersuchten systemaren Effekte. Bereits existierende Veranstaltungsorte sind als kleine schwarze Punkte dargestellt. Die untersuchten möglichen neuen Standorte sind mit kleinen roten Sternen gekennzeichnet. Die Legendenwerte beziehen sich auf den jeweiligen berücksichtigten systemaren Parameter, welcher am Anfang jeder Zeile benannt wird.

Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen des Anwendungsbeispiels konnte gezeigt werden, dass sich SimUSys für den praktischen Planungsalltag in kleineren Kommunen eignet. Ein Regelwerk für die Simulation wurde automatisch aus einer automatisiert integrierten Datengrundlage generiert, wobei sich die benötigte Nutzereingabe auf ein Minimalmaß beschränkte. Mit Hilfe dieser Simulation konnten systemare Wechselwirkungen im städtischen System erfahrbar gemacht werden.

Vorgesehene Verbesserungen an SimUSys beinhalten die Möglichkeit eine Schließung von Einrichtungen zu simulieren und Änderungen am Straßennetz vorzunehmen, welches die Grundlage der Echtzeit-Erreichbarkeitsanalysen bildet. Außerdem soll es möglich gemacht werden, Polygone mit bevorzugter Flächennutzung zu generieren, was die Simulation von alternativen Flächennutzungsplänen ermöglichen würde. Dies würde den planerischen Prozess realistischer abbilden. Weitere Verbesserungen umfassen zeitlich dynamische Bevölkerungs- und Migrationsmodelle, welche den Änderungen durch den demographischen Wandel gerecht werden sollen.

Schließlich stellt die vorgestellte Simulationsplattform kein exaktes Abbild der realen Welt dar, sondern vielmehr ein Werkzeug, mit dessen Hilfe das systemare komplexe Verhalten der Stadt auf leicht zugängliche Weise erfahrbar gemacht werden kann. Damit bildet SimUSys eine fundierte Grundlage für gut informierte Diskussionen über den Raum und dessen Nutzung.

Das vorgestellte leicht zugängliche Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung beinhaltet Aspekte der „System Dynamics“ und „Agent-Based Modeling“, sowie des „Gamification“-Ansatzes. Es kann genutzt werden, um automatisiert Daten aus einer Vielzahl von Datenquellen mit Daten zur Raumattraktivität zu integrieren und ist dabei für den einfachen Gebrauch in kleineren Kommunen geeignet. Dadurch trägt es zu einer zielgerichteten, partizipativen, gut informierten und nachhaltigen Raumplanung bei.

Quellen

- Ahlqvist, Ola; Khodke, Nayan; Ramnath, Rajiv (2018): GeoGame analytics – A cyber-enabled petri dish for geographic modeling and simulation. In: *Computers, environment and urban systems* 67 (Supplement C), S. 1–8. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.013.
- Arnfield, A. John (2003): Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. In: *International journal of climatology* 23 (1), S. 1–26.
- Champion, Anthony G. (2001): A changing demographic regime and evolving poly centric urban regions: Consequences for the size, composition and distribution of city populations. In: *Urban Studies* 38 (4), S. 657–677.
- Danielzyk, Rainer; Meyer, Christian; Grüber-Töpfer, Wolfram (Hg.) (2010): ILS-Forschung 01/2010. Demographischer Wandel in Nordrhein-Westfalen. 2. Auflage (1. Auflage 2007). Dortmund: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW). Online verfügbar unter http://www.ils-forschung.de/files_publicationen/pdfs/DEMOGRAFISCHER%20WANDEL_NRW.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2015.
- Deterding, S.; Sicart, M.; Nacke, L.; O’Hara, K.; Dixon, D. (2011): Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. In: CHI’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. Vancouver, 7-12.05.2011: ACM, S. 1–4. Online verfügbar unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.186.3039&rep=rep1&type=pdf>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- Ingensand, Jens; Composto, Sarah; Nappez, Marion; Cheseaux, Route de; Joost, Stéphane; Widmer, Ivo et al. (2015): Motivating citizens to take action for biodiversity conservation using geospatial systems. In: *AGILE*: Springer.
- Janssen, Marco; Ostrom, Elinor (2006): Empirically based, agent-based models. In: *Ecology and Society* 11 (2).
- Libbe, Jens; Köhler, Hadia; Beckmann, Klaus J. (2010): Infrastruktur und Stadtentwicklung. Technische und soziale Infrastrukturen - Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung : [Forschungsprojekt des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) im Auftrag der Wüstenrot-Stiftung]. Berlin: Dt. Inst. für Urbanistik (Edition Difu - Stadt, Forschung, Praxis, 10).
- Mueller, C.; Klein, U.; Hof, A. (2016): Automatisierte Integration heterogener Geodaten für ganzheitliche Raumplanung. In: *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 2-2016, S. 498–507. DOI: 10.14627/537622066.
- Nam, Taewoo; Pardo, A. Theresa (Hg.) (2011): Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, 12.06.2011 - 15.06.2011. Maryland, USA: ACM. Online verfügbar unter https://www.ctg.albany.edu/publications/journals/dgo_2011_smartcity/dgo_2011_smartcity.pdf, zuletzt geprüft am 10.03.2016.
- Nava Guerrero, G.d.C.; Schwarz, P.; Slinger, J. (2016): A recent overview of the integration of System Dynamics and Agent-based Modelling and Simulation. In: 34th International Conference of the System Dynamics Society. 34th International Conference of the System Dynamics Society. Delft, Netherlands, 17.-21.07.2016. System Dynamics Society.
- Neirotti, Paolo; Marco, Alberto de; Cagliano, Anna Corinna; Mangano, Giulio; Scorrano, Francesco (2014): Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. In: *Cities* 38, S. 25–36. Online verfügbar unter http://porto.polito.it/2522888/1/SmartCity_Trends_paper.pdf, zuletzt geprüft am 09.03.2016.
- Oke, Tim R. (1973): City size and the urban heat island. In: *Atmospheric Environment* (1967) 7 (8), S. 769–779.
- Prensky, Marc (2003): Digital game-based learning. In: *Computers in Entertainment (CIE)* 1 (1), S. 21.
- Pullin, A. S.; Knight, T. M. (2003): Support for decision making in conservation practice: an evidence-based approach. In: *Journal for Nature Conservation* 11 (2), S. 83–90.
- Pullin, A. S.; Knight, T. M.; Watkinson, A. R. (2009): Linking reductionist science and holistic policy using systematic reviews: unpacking environmental policy questions to construct an evidence-based framework. In: *Journal of Applied Ecology* 46 (5), S. 970–975.
- Russo, Patrizia; Lanzilotti, Rosa; Costabile, Maria F.; Pettit, Christopher J. (2018): Towards satisfying practitioners in using Planning Support Systems. In: *Computers, environment and urban systems* 67 (Supplement C), S. 9–20. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.009.
- Tyrna, B. G.; Hochschild, V. (2010): Modellierung von lokalen Überschwemmungen nach Starkniederschlägen. In: *Angewandte Geoinformatik* 2010, S. 325–334.

Entwicklung einer hocheffizienten Zweiphasenkühlung für Photovoltaik-Anlagen

Daniel Altegoer¹, Jeanette Hussong², Ralph Lindken¹

¹Institut für Thermo- und Fluidodynamik, Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum

²AG Lasermesstechnik der Mehrphasenströmung, Lehrstuhl für Hydraulische Strömungsmaschinen, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

daniel.altegoer@hs-bochum.de

Schlagnorte: Photovoltaik, Verdunstungskühlung, Visualisierung, Schattenbildverfahren, Particle Image Velocimetry

Einleitung

Die Stromerzeugung Deutschlands wird weitestgehend durch fossile Brennstoffe sowie Kern- und erneuerbare Energien realisiert. Im Bereich der erneuerbaren Energien kann die Photovoltaik einen Schlüsselbeitrag zum zukünftigen sicheren und sauberen Energiemix leisten. Heutige Solarzellen produzieren aus etwa 20% der eingehenden Sonnenstrahlung Elektrizität (Schiro et al. 2017). Der Rest wird in Wärme umgewandelt. Dieser Wärmeeintrag sorgt für eine Temperatursteigerung innerhalb der Zellen auf etwa 30 – 40 °C oberhalb der Umgebungstemperatur, wodurch ein absoluter Wirkungsgradverlust von 3 – 4% entsteht (Rosa-Clot et al. 2010). Aus diesem Grund gibt es zahlreiche Ansätze, Solarzellen aktiv zu kühlen und die Effizienz zu steigern oder die entstehende Wärme für weitere Prozesse zu nutzen. Bei heutigen PV-Kraftwerken wird jedoch nur für eine gute Hinterlüftung gesorgt und somit freie Konvektion genutzt.

Das Prinzip der Verdunstungskühlung ist durch die Anwendung in Kühltürmen hinreichend bekannt. Das warme Prozesswasser wird in freier Umgebung über Düsen versprüht und kühlt über Verdunstung ab.

Das Ziel des hier vorgestellten Projektes besteht darin, das Prinzip dieser Verdunstungskühlung auf kleinere Skalen zu übertragen und eine effiziente Kühlmethode zu entwickeln, die in einem rückseitig an die Solarzellen angebrachten Kühlkanal die vorhandene Kühlung durch freie Konvektion mittels Einsprühen und Verdunsten von Wasser optimiert.

Material und Methoden

Zu diesem Zweck wird in einem ersten Schritt die optimale Düsengeometrie zur Bildung eines gleichmäßigen Sprays über einen Kanal mit großem Breiten-zu-Höhen-Verhältnis ermittelt. Die verschiedenen Düsengeometrien werden hierbei mit laser-optischen Messmethoden bezüglich ihrer Spraybildung am Düsenausgang sowie der Tropfenentwicklung im weiteren Verlauf untersucht, miteinander verglichen und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für das geplante Kühlsystem bewertet. Auf Basis dieser Ergebnisse können numerische Strömungssimulationen (CFD) verifiziert werden und ermöglichen so die Optimierung der Kühlmethode in Bezug auf den Wasserverbrauch gegenüber der erzielten Effizienzsteigerung.

Die Visualisierung der Sprays erfolgt über das Schattenbildverfahren. Bei diesem Verfahren wird das Spray durch sehr kurze Lichtpulse optisch eingefroren und die Bewegungsunschärfe eliminiert. Dies ermöglicht Aussagen über die Tropfen- und Tropfengrößenverteilung.

Hierzu steht ein Prüfstand mit PIV-Technik zur Verfügung (Abbildung 1). Dieser besteht aus einer 16 bit sCMOS Kamera mit einem Zeiss Makro-Objektiv und einem Nd:YAG Doppelpuls laser mit vorangeschaltetem optischen Diffusor. Die maximale Leistung des Lasers beträgt 200 mJ pro Puls bei einer Frequenz von 15 Hz, einer Pulslänge von 5 ns und einer Wellenlänge von 532 nm. Der optische Diffusor sorgt in diesem Zusammenhang für eine großflächige Hintergrundbeleuchtung des Sprays. Erste Ergebnisse der Düsenuntersuchungen sind bereits erfolgreich verlaufen (Altegoer et al. 2018).

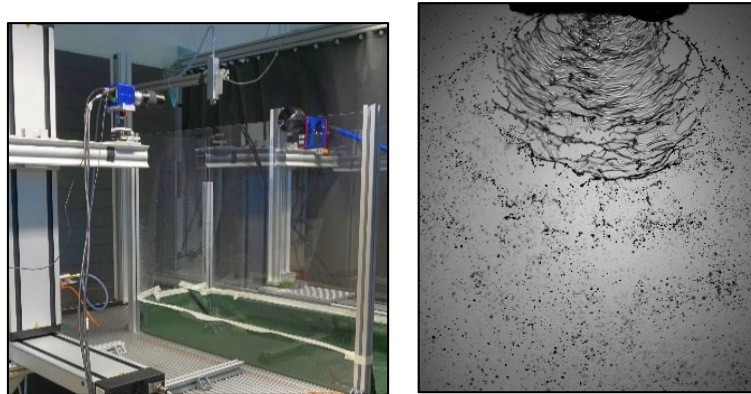


Abbildung 1: Versuchsaufbau für die Schattenbildaufnahmen mit Kamera (A), Düse (B) und optischem Diffusor (C) (links) und Schattenbildaufnahme einer Flachstrahldüse (rechts)

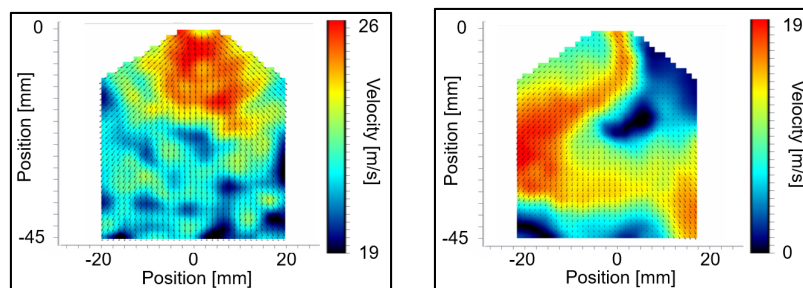


Abbildung 2: Beispielhafte Geschwindigkeitsverteilung einer Flachstrahldüse (links) und eines fluidischen Oszillators (rechts).

Auch das laseroptische Messverfahren Particle Image Velocimetry (PIV) wird zur Analyse der Spraybildung eingesetzt. Dabei werden zwei Aufnahmen im Abstand weniger Mikrosekunden gemacht und über die bekannte Zeitspanne die Geschwindigkeit des Sprays ermittelt.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die hier vorgestellten Methoden werden die Spraybildung und Sprayverdunstung verschiedener Düsen visualisiert und analysiert. Nach den bereits durchgeführten Messreihen folgen noch weitere Düsengeometrien (z.B. Hohlkegeldüse). Als Ergebnis dieser Untersuchungen wird eine Düse für das geplante Kühlsystem ausgewählt. Zudem können die Ergebnisse als Verifikation für die CFD-Simulationen genutzt werden.

Im weiteren Verlauf des Projektes wird der Fokus auf dem Bau eines Prüfstands zum geplanten Kühlsystem liegen. An diesem soll das System hinsichtlich des Wasserverbrauchs in Bezug auf die zu erwartende Effizienzsteigerung optimiert werden, sodass das System wirtschaftlich eingesetzt werden kann und somit einen realen Beitrag zur Stromerzeugung über erneuerbare Energien liefert. Gleichzeitig erfolgt über das Studienprojekt Green Canopy die Planung einer Umsetzung in Jordanien, um dort nachhaltige Energieversorgung mit Komfort für die Bevölkerung zu verbinden.

Dankesworte

Dieser Beitrag wird durch das "FH Struktur" Förderprogramm für Fachhochschulen des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert (AZ: 322-8.03.04.02 – FH-Struktur 2017/08)

Referenzen

- Altegoer, D., Hussong, J., Lindken, R. (2018): Gegenüberstellung der Spraybildung und -verdunstung mit einer Flachstrahldüse und einem fluidischen Oszillator mittels laser-optischen Verfahren, Experimentelle Strömungsmechanik 26. Fachtagung, Beitrag Nr. 22, GALA e.V., Rostock
- Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G.M., Scandura, P.F., (2010): Submerged photovoltaic solar panel: SP2, Renewable Energy, 35, pp. 1862-1865
- Schiro, F., Benato, A., Stoppato, A., Destro, N.(2017): Improving photovoltaics efficiency by water cooling: Modelling and experimental approach, Energy, 137, pp. 798-810

Analyse des Hochdruck Jetting Bohrprozesses für geothermische Tiefbohrungen

Sarah Jasper¹, Jeanette Hussong², Ralph Lindken¹

¹Institut für Thermo- und Fluidodynamik, Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum

²AG Lasermesstechnik der Mehrphasenströmungen, Lehrstuhl für Hydraulische Strömungsmaschinen, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

sarah.jasper@hs-bochum.de

Schlagnote: Visualisierung, Particle Image Velocimetry, Schattenbildaufnahmen, Geothermie

Einleitung

Durch die Nutzung von Geothermie zur Wärme- und Stromerzeugung kann diese zur nachhaltigen und klimafreundlichen Energieversorgung beitragen. Geothermie ist gegenüber anderen regenerativen Energieträgern direkt grundlastfähig und an vielen Orten verfügbar. Momentan stellen die hohen Kosten für Tiefbohrungen, wie sie für die Errichtung von Geothermiekraftwerken oft notwendig sind, noch ein Hindernis in der umfassenderen Nutzung dar (Brauer et al. 2014). Die notwendigen Temperaturgradienten zur großflächigen Bereitstellung von Wärme und auch zur Stromerzeugung sind z.B. in Deutschland in Tiefen von etwa 3000 Metern vorhanden, in denen überwiegend harte Gesteine mit geringer Durchlässigkeit vorliegen (Chamorro et al. 2013).

Eine Förderung der Verbreitung und Nutzung von Geothermie geht also mit der Optimierung und Weiterentwicklung der Tiefbohrtechnik einher. Ein Ansatz dazu ist die Übertragung der Hochdruckwasserstrahltechnik auf die Tiefbohrtechnik. Dazu muss aus einem bisher schon bestehenden druckwassergestützten Bohrverfahren für weiche Gesteinsformationen eine Tiefbohrtechnik entwickelt werden, um diese auch in hartem und kristallinem Gestein anwenden zu können (Cinelli & Kamel 2013).

Das Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojekts ist es daher ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkung zwischen Hochdruckwasserstrahl und Gestein zu erlangen, um den Prozess des Wasserstrahlbohrens zu optimieren.

Material und Methoden

Der Fokus der Untersuchungen liegt auf der strömungsmechanischen Betrachtung des Bohrprozesses. Aus Sicht der Strömungsmechanik sind hierzu zunächst die Einflüsse der begrenzten Geometrie, des Umgebungsmediums und der Betriebsparameter auf die Ausbildung der Strömung zu untersuchen. Außerdem ist der Abtrag und Transport der Gesteinspartikel in der Strömung für die Anwendung in der Bohrtechnik von Interesse.

Der druckwassergestützte Bohrprozess sowie die Wechselwirkung zwischen Gestein und Fluid werden mittels laseroptischer Messmethoden untersucht. Dazu wird der Prozess zum einen mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsvisualisierung durch einen sehr kurzen Belichtungspuls optisch eingefroren und die entstehenden Ergebnisse zur qualitativen und quantitativen Beschreibung des Prozesses verwendet. Das ist durch Anwendung des Schattenbildverfahrens möglich. Zum anderen wird die Strömung im Nahbereich des Bohrprozesses mittels Particle Image Velocimetry (PIV) untersucht, um Geschwindigkeitsverteilungen und -fluktuationen auszuwerten.

Die beiden Versuchsaufbauten für Schattenbildaufnahmen sowie PIV-Aufnahmen zeigt Abbildung 1. Für beide Messverfahren wird eine 16 bit sCMOS Kamera mit einem Zeiss Makro-Objektiv sowie ein Nd:YAG Doppelpuls laser verwendet. Der Laser hat eine maximale Frequenz von 15 Hz bei einer Wellenlänge von 532 nm, einer Pulslänge von 5 ns sowie einer maximalen Ausgangsenergie von 200 mJ pro Puls. Für die Schattenbildaufnahmen wird zusätzlich ein optischer Diffusor zur optimalen Ausleuchtung des Messvolumens verwendet (Abbildung 2). Neben der Visualisierung des Partikelabtrags können z.B. auch die Struktur des Wasserstrahls in Luft

untersucht werden sowie Rückschlüsse auf die Geschwindigkeiten des Wasserstrahls in Luft geschlossen werden (Jasper et al. 2017).

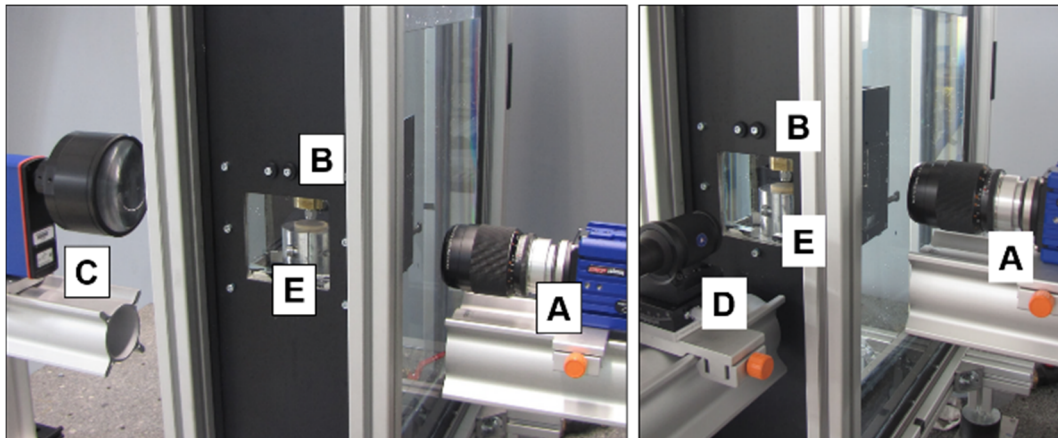


Abbildung 1: Versuchsaufbau für die Schattenbildaufnahmen (links) und PIV-Aufnahmen (rechts) mit Kamera (A), Düse (B), optischem Diffusor (C), Lichtschnittoptik (D) und Probenhalterung (E) im Wassertank.

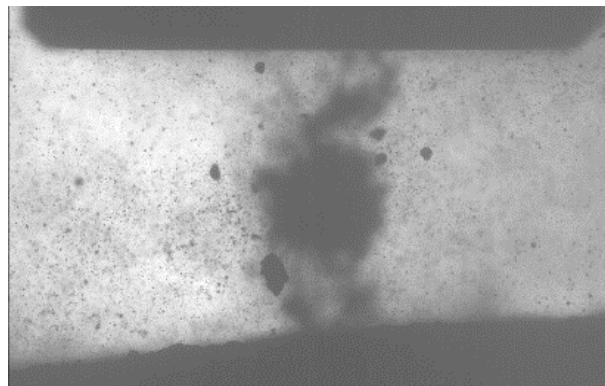


Abbildung 2: Schattenbildaufnahme des Gesteinsabtrags während des Bohrprozesses: am oberen Rand befindet sich die Hochdruckdüse, der Wasserstrahl mit Luftpneum in der Mitte des Bildes sowie am unteren Bildrand die Probenoberfläche. Durch kurze Belichtungszeiten mit dem optischen Diffusor von 20 ns können die gelösten Gesteinspartikel mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Hz ohne Bewegungsunschärfe dargestellt werden.

Mittels PIV wird die Strömung im Nahbereich des Prozesses in Wasser untersucht. Dazu werden dem Wasserstrahl so genannte Tracerpartikel zugegeben, die das Auswerten einer zweidimensionalen Geschwindigkeitsverteilung ermöglichen. Diese Tracerpartikel besitzen eine Größenordnung von 20-30 μm . Nach Zugabe der Tracerpartikel werden mit kurzem Zeitabstand von wenigen Mikrosekunden zwei Bilder hintereinander aufgenommen. Die Verschiebung der Tracerpartikel und die bekannte Zeit, die zwischen den Aufnahmen liegt, geben Informationen über die zugehörige Geschwindigkeit (Abbildung 3).

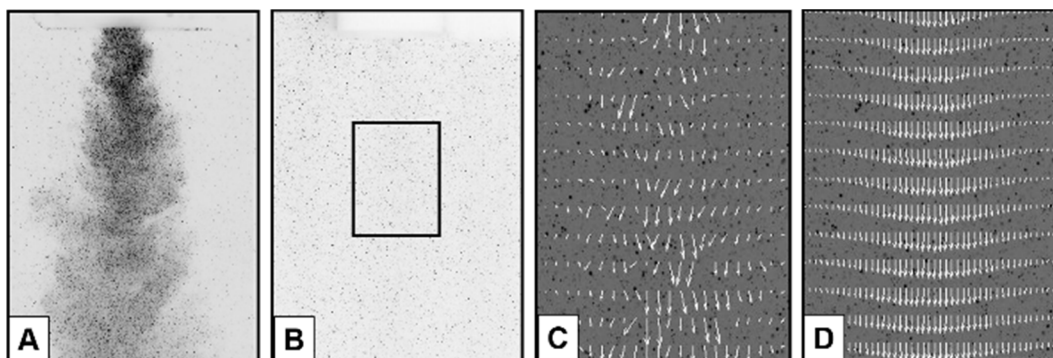


Abbildung 3: Abbildung des Hochdruckwasserstrahls in Wasser. Der Wasserstrahl kann mit Farbstoff eingefärbt werden, um die Struktur zu analysieren (A). Durch Zugabe von Tracerpartikeln (B) können PIV Untersuchungen durchgeführt werden. Eine beispielhafte Auswertung ist als Feld mit Momentangeschwindigkeiten (C) und als Feld mit gemittelten Geschwindigkeitsvektoren (D) dargestellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der vorgestellten laseroptischen Messtechniken wird die resultierende Strömung im Nahbereich des Bohrprozesses sowie die Wechselwirkung zwischen Gestein und Fluid visualisiert und analysiert. Dazu werden experimentelle Daten mit breiter Parametervariation zusammengetragen, die zu einem vertieften Verständnis des Bohrprozesses beitragen.

Der Fokus der nächsten Untersuchungen liegt darin, den Effekt von angenäherten Tiefbohrbedingungen auf die Ausbildung des Hochdruckwasserstrahls zu untersuchen. Dazu wurde ein Prüfstand in Betrieb genommen, in dem ein Umgebungsdruck von bis zu 500 bar sowie eine Umgebungstemperatur von bis zu 60°C eingestellt werden kann.

Referenzen

- Brauer, M., Freeden, W., Jacobi, H., Neu, T. (2014): Handbuch Tiefe Geothermie. Prospektion, Exploration, Realisierung, Nutzung. Springer, Berlin Heidelberg
- Chamorro, C.R., García-Cuesta, J.L., Mondéjar, M.E., Pérez-Madrado, A. (2013): Enhanced geothermal Systems in Europe: An estimation and comparison of the technical and sustainable potentials, Energy, Vol. 65, No. 1, pp. 250-263
- Cinelli, S.D., Kamel, A.H. (2013): Novel Technique to Drill Horizontal Laterals Revitalizes Aging Field, SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam
- Jasper, S., Hussong, J., Lindken, R. (2017): Visualisation and quantitative analysis of the near nozzle formation and structure of a high pressure water jet in air and in water. Proceedings of ILASS2017 28th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Valencia, Spanien

Danksagung

Dieser Beitrag wird zum einen durch das „FH Struktur“ Förderprogramm für Fachhochschulen des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (AZ: 322-8.03.04.02 – FH-Struktur 2016/04), zum anderen durch das EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (Horizon 2020) im Projekt SURE (grant agreement No 654662) gefördert.

Genderspezifische Wertorientierungen im Nachhaltigen Kleidungskonsum

Elena Niehuis¹, Susanne Stark¹, Sigrid Bekmeier-Feuerhahn²

¹Hochschule Bochum, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum

²Leuphana Universität Lüneburg, Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg

elena.niehuis@hs-bochum.de

Schlagworte: Genderforschung, Nachhaltiger Kleidungskonsum

Einleitung

In der Agenda 21 der Vereinten Nationen wurden Produktion und Konsum der Industriestaaten als Hauptquellen für die weltweiten Umweltprobleme identifiziert. Daraus ergibt sich ein großes Potenzial, durch Einsparungen der privaten Konsumierenden einen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten (Balderjahn 2013). Der Konsumbereich Kleidung repräsentiert eindrucksvoll den Konflikt zwischen einer exzessiven Konsumgesellschaft und den ökologisch, sozial und ökonomisch notwendigen Bemühungen um eine nachhaltige Entwicklung. Die Modeindustrie gilt inzwischen als zweitstärkster Umweltverschmutzer nach der Ölindustrie (vgl. Szokan 2016; Greenpeace 2015) und steht seit Jahrzehnten in der Kritik wegen desaströser Arbeitsbedingungen (vgl. Stotz/Kane 2015).

Ein nachhaltiger Konsum erfordert laut dem Rat für Nachhaltige Entwicklung „den Kauf der dafür ‚richtigen‘ Produkte, einen ‚anderen‘ Konsum und den bewussten Nicht-Konsum“ von den Verbraucherinnen und Verbrauchern (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2010). So sollte sich analog ein nachhaltiges Kleidungskonsumverhalten zusammensetzen aus dem Bezug neuer Kleidung aus verantwortungsvoller Produktion, einer möglichst langen Nutzungsdauer der Kleidung – eventuell verlängert durch die Reparatur von Kleidungsstücken oder den Tausch ungenutzter Kleidungsstücke – und die Einschränkung der Bedürfnisse nach neuer Kleidung.

Doch nachhaltiger Konsum muss von der breiten Masse der Bevölkerung adaptiert werden, um eine Wirkung in Richtung Nachhaltiger Entwicklung zu entfalten. Diese breite Masse zu erreichen und zu einem nachhaltigen Lebens- und Konsumstil zu bewegen, ist eine große Herausforderung. Unbestritten ist, dass eine undifferenzierte Ansprache aller Konsumierenden mit derselben Botschaft und derselben Kommunikationsstrategie wenig vielversprechend ist – die Bedürfnisse, Werte, Normen und Lebensumstände der verschiedenen Zielgruppen sind hierfür viel zu unterschiedlich (vgl. Rennhak 2014, Steinle 2014, Gutjahr 2013).

Es bestehen deutliche Unterschiede im Kleidungskonsum von Männern und Frauen (GfK 2015). Entsprechend besitzen Frauen durchschnittlich 118 Kleidungsstücke, Männer dagegen nur 73 (Greenpeace 2015). Auch was den Kauf von gebrauchter Kleidung angeht – ein für die Nachhaltigkeit relevantes Konzept – unterscheiden sich Männer und Frauen. „Rund zwei Drittel der befragten Männer hat [...] noch nie Secondhand-Kleidung gekauft; demgegenüber hat wenigstens ein Viertel der Frauen in den letzten sechs Monaten Kleidung in gebrauchtem Zustand erworben.“ (Greenpeace 2015: 6).

Die Notwendigkeit, Gender-Effekte im Konsum genauer zu untersuchen, wird von vielen Autoren betont. “[W]omen are more likely than men to express concern about consumption’s broader impacts and to act upon those concerns. The mechanisms underlying the gender effect have not been well elucidated.” (Luchs & Mooradian 2011). Kleidung ist ein stark kulturell und durch gesellschaftliche Normen geprägtes Konsumfeld, das auch als institutionalisierter Code für das eigene Geschlecht verwendet wird (Bachmann 2008). So fungiert „Kleidung [...] als Ort diskursiver Verhandlung sozialer und geschlechtlicher Bedeutungen.“ (Bachmann 2008). So geht es bei diesem Projekt darum, innerhalb der individuell gestalteten Lebensbereiche und -stile Potenziale für eine geschlechtsspezifische Ansprache und Entwicklung des Konsums aufzudecken. Ziel von

Nachhaltigkeitsforschung mit Genderperspektive soll sein, Frauen und Männern gleichgestellt zu einem nachhaltigen Konsum zu befähigen, sie dabei jedoch nicht aufgrund ihres biologischen Geschlechts innerhalb eines Verantwortungsbereiches zu stigmatisieren. Dabei gilt es stets zu berücksichtigen, dass Gender niemals das definierende, das alleinige Verhalten verursachende Charakteristikum eines Individuums und ebenso wenig einer/eines Konsumierenden ist. Gender bestimmt „die Ordnung des sozialen Lebens, prägt die Muster der sozialen Rollen und gibt den Individuen Identitäten und Werte vor.“ (Lorber 1999). Die individuelle Dimension von Gender umfasst Geschlechterdifferenzen in Einstellungen, Werten und Orientierungen, (Offenberger et al. 2011).

Aus einer Studie im Auftrag des Rates für Nachhaltigkeit der Bundesregierung geht hervor, dass „[das] Bewusstsein für einen Nachhaltigen Konsum [...] relativ wenig durch soziodemografische Merkmale, dafür mehr durch Werte erklärt“ werden kann (Balderjahn et al. 2015). Werte sind ein in der Konsumforschung sehr wichtiger Parameter, da sie durch ihre Konstanz und ihre individuelle Prägung Schlüsse auf die Einstellungen und das Kaufverhalten zulassen (Trommsdorff 2011). Die Anzahl der Werte, die einen Menschen prägen, ist außerdem sehr überschaubar, weshalb Werte ein wirksames Instrument sind, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede sozialer Gruppen zu untersuchen (de Groot & Steg 2008).

Methodik

Das Forschungsdesign des Promotionsvorhabens orientiert sich an der Mixed Methodology, welche für die Kombination qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden steht. Das Ziel ist es, eine zeitgemäße Verknüpfung qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden in dieser Dissertation anzuwenden.

Zur Gewinnung von Erkenntnissen zu den Werten im nachhaltigen Kleidungskonsum wurden Fokusgruppen mit Männern und Frauen unterschiedlicher Altersgruppen durchgeführt. Die Aussagen wurden mit einer innovativen Methode, der Qualitative Comparative Analysis, ausgewertet. Die QCA vereint Merkmale qualitativer und quantitativer Auswertungsmethoden und bietet somit eine Möglichkeit, einerseits tief in die Daten zu gehen und andererseits vergleichende und verallgemeinernde Aussagen zur Wirkung von Bedingungen auf einen zu untersuchenden Outcome zu tätigen (Ragin 2008; Basurto & Speer 2012).

Darüber hinaus wurde mittels einer quantitativen Online-Umfrage das Bem Sex Role Inventory, einer der bekanntesten und meist-verwendeten Tests zur Messung von Gender aus dem Jahr 1974 aktualisiert (Bem 1974). Damit wurde ein wirkungsvolles Messinstrument für die Genderforschung erarbeitet.

Vorläufige Ergebnisse

Die Auswertung der Fokusgruppen ergibt erste Hinweise darauf, dass nachhaltige Konsumentinnen durch andere Werte motiviert sind als Konsumenten. Beispielsweise sind Frauen eher durch altruistische Werte motiviert, sich nachhaltig zu verhalten, Männer eher durch egoistische oder ökologische.

Zudem zeigt sich, dass ökologische Motive weitaus weniger ausschlaggebend für nachhaltigen Kleidungskonsum sind, als altruistische.

Weiterhin konnten Anhaltspunkte für die Erweiterung bestehender Modelle zu nachhaltigkeitsrelevanten Werten gewonnen werden. Dieser Beitrag zum theoretischen Diskurs über Nachhaltigkeitsmotivatoren wird derzeit überprüft und vertieft.

Fazit

Werte bilden sich bereits sehr früh im Leben und sind nach der Pubertät kaum veränderlich. Das heißt, dass es für Anbieter nachhaltiger Produkte oder Organisationen, deren Ziel die Förderung nachhaltigen Konsums ist, von großer Relevanz ist, auf die vorhandenen Werte der Konsumierenden einzugehen und diese zu berücksichtigen. Denn Veränderungen der Werte Erwachsener zu erwirken, ist nur sehr schwer möglich.

Die Ergebnisse des Promotionsvorhabens bieten Hilfestellungen für die richtige Ansprache von Konsumierenden für nachhaltigen Kleidungskonsum. Gemeinnützige Organisationen, die Konsumierenden Informationen und Anregungen zu nachhaltigem Kleiderkonsum vermitteln, können von den Ergebnissen profitieren; ebenso lassen sich die Ergebnisse von Anbietern von nachhaltiger Kleidung für eine gezielte Ansprache der Konsumierenden nutzen. Somit liefert das Promotionsvorhaben nützliche Anknüpfungspunkte für verschiedene Akteure.

Die Verknüpfung der Werteforschung mit Ansätzen der Gender Studies bietet zudem eine sehr umfassende und relevante Perspektive auf unterschiedliche Konsumentengruppen, insbesondere im Kontext des Kleidungskonsums.

Literaturangaben

- Bachmann, Cordula (2008): *Kleidung und Geschlecht. Ethnographische Erkundungen einer Alltagspraxis*. Transcript Verlag, Bielefeld.
- Balderjahn, I./Peyer, M./Klemm, A./Ziesemer, F./Kirchgeorg, M./Buerke, A./Wiedmann, K.-P./Karampourioti, E./Seegebarth, B. and Sohn, S. (2015): *Nachhaltiges Konsumbewusstsein: Validierung eines neuen Messansatzes an-hand einer repräsentativen Online-Befragung*. Nürnberg: GfK.
- Balderjahn, I. (2013): *Nachhaltiges Management und Konsumentenverhalten*. Konstanz: UVK.
- Basurto, X. und Speer, J. (2012): Structuring the calibration of qualitative data as sets for qualitative comparative analysis (QCA). *Field Methods*. V. 24, 155-174.
- Bem, S. L. (1974): The Measurement of Psychological Androgyny. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, V. 42, p. 155-162.
- De Groot, J. und Steg, L. (2008): Value Orientations to Explain Beliefs Related to Environmental Significant Behavior. How to Measure Egoistic, Altruistic, and Biospheric Value Orientations. *Environment and Behavior*. V. 40, p. 330-354.
- Gesellschaft für Konsumforschung (GfK)(2015): *Frauen und Männer trennen Welten, wenn's ums Shoppen geht*. Online unter: https://www.outfittery.de/approved/1_website/press/press-releases/de/151130_gfk-studie_einkaufsverhalten_frauen-und-manner-trennen-welten.pdf, zuletzt aufgerufen am 13.10.2018.
- Greenpeace (2015): *Wegwerfware Kleidung. Repräsentative Greenpeace-Umfrage zu Kaufverhalten, Tragedauer und der Entsorgung von Mode*. Online unter https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20151123_greenpeace_modekonsum_flyer.pdf, zuletzt aufgerufen am 19.10.2018.
- Lorber, J. (1999): *Gender-Paradoxien*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Luchs, M. and Mooradian, T. (2012): Sex, Personality, and Sustainable Consumer Behavior. *Journal of Consumer Policy*. V. 35, p. 127-144.
- Offenberger, U./Jaeger-Erben, M./Nentwich, J. C./Schäfer, M. und Weller, I. (2011): *Gendersensible Forschung zu nachhaltigem Konsum*. *Soziale Technik*, V. 4, p. 15-17.
- Ragin, C. C. (2008): *Redesigning Social Inquiry. Fuzzy Sets and Beyond*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Rennhak, C. (2014): Konsistent, hybrid, multioptional oder paradox? Einsichten über den Konsumenten von heute. In: Halfmann, M. (Hrsg.): *Zielgruppen im Konsumentenmarketing*. Wiesbaden: Springer Gabler. p. 177-186.
- Steinle, A. (2014): Die Zeitmärkte von morgen – Wie der Wandel der Familien zu einem neuen Ansatz im Konsumentenmarketing führt. In: Halfmann, M. (Hrsg.): *Zielgruppen im Konsumentenmarketing*. Wiesbaden: Springer Gabler, p. 151-162.
- Stotz, L. und Kane, G. (2015): *Global Garment Industry Factsheet*. Online unter <https://cleanclothes.org/resources/publications/factsheets/general-factsheet-garment-industry-february-2015.pdf/view>, zuletzt aufgerufen am 20.10.2018.
- Szokan, N. (2016): *The fashion industry tries to take responsibility for its pollution*. Online unter www.washingtonpost.com/national/health-science/the-fashion-industry-tries-to-take-responsibility-for-its-pollution/2016/06/30/11706fa6-3e15-11e6-80bc-d06711fd2125_story.html, zuletzt aufgerufen am 20.10.2018.
- Trommsdorff, V. und Teichert, T. (2011): *Konsumentenverhalten*. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.

Entwicklung einer Methodik zur Komplexitätsbewertung von variantenreichen Produkten am Beispiel der Automobilindustrie

Konrad Pawlikowski

Hochschule Bochum, Lennershofstraße 140, 44801 Bochum

konrad.pawlikowski@hs-bochum.de

Schlagworte: Komplexität, Automobillogistik

Einleitung

Die Automobilindustrie steht vor dem größten Wandel ihrer Geschichte. Neben dem Ziel des autonomen Fahrens gewinnt das Thema Elektromobilität zunehmend an Bedeutung und wird das Fahrzeug und seine Produktions- sowie Logistikstrukturen maßgeblich verändern. Hinzukommt, dass die technologischen Trends der Elektromobilität, der Car-to-X Kommunikation als Vernetzung des Fahrzeuges mit seiner Umwelt sowie die fortschreitende Integration von intelligenten Assistenzsystemen mit ihren Embedded Systems zu einer extremen Erhöhung der Komplexität der Teile und Varianten im Automobilbau geführt haben (Kampker et al. 2016; Krumm et al. 2014). Dies wird durch neue Problemstellungen, z. B. den Fortschritt im Bereich des autonomen Fahrens, beeinflusst und führt zu einer Erhöhung der Anzahl der Elektronikkomponenten im Fahrzeug (eVchain.NRW 2014). Diese Komponenten werden insbesondere für die Elektromobilität über Embedded Systems in das Fahrzeug integriert und müssen in ihrer Gesamtheit das Fahrerlebnis der Zukunft ermöglichen. Folglich führen diese Entwicklungen – ergänzend zu den bereits vorhandenen Modellen – zu einer höheren Variantenvielfalt. Zudem werden regelmäßig neue technische Innovationen vorgestellt, u. a. ermöglicht das HoloActive Touch von BMW eine Steuerung von einer „schwebenden“ Anzeige mit Fingergesten (Carl Hanser Verlag 2017).

Um diese neuartige Komplexität in den verschiedenen Phasen und Prozessen von der Produktentwicklung bis zum After-Sales zu beherrschen, müssen die im Fahrzeug verbauten Komponenten und deren Abhängigkeiten effizient dokumentiert und bei laufenden Veränderungen stets aktuell gehalten werden. Während einfache Produkte mittels statischer Stücklisten (z. B. Baukasten, Mengestücklisten, usw.) verwaltet werden, können höchst variantenreiche Produkte, wie Fahrzeuge, nur mittels sogenannter Komplex-Stücklisten abgebildet werden. Neben den Modellen und wählbaren Optionen beinhalten diese (boolesche) Regeln, welche Einschränkungen innerhalb der Baubarkeit verschiedener Kombinationen beschreiben (Maune 2002; Berr and Herlyn 1992; Ohl 2000). Dazu zählen Zwänge, z. B. LED Frontlichter nur in Kombination mit LED Rückleuchten, sowie Ausschlüsse bzw. Verbote, teilweise naheliegende, z. B. kein Schiebedach für Cabrios, aber auch mögliche Ausschlüsse für das Multifunktionslenkrad bei Wahl eines bestimmten Interieurdesigns.

Allgemein bildet dabei eine Produktrepräsentation, zu der die Komplex-Stückliste zählt, die Abhängigkeiten zwischen Teilen, Komponenten und Fahrzeugmerkmalen ab (Fruhner et al. 2017). Die Produktstruktur, welche essenzieller Bestandteil der Produktrepräsentation ist, stellt nach Deng et. al (2012) die Zerlegung des Produktwissens in ihre elementaren Komponenten dar. Dabei ist die Produktrepräsentation laufender Modelle, welche u. a. für die Logistik im Automobilbereich genutzt wird, permanenten Änderungen ausgesetzt. Diese Änderungen werden allgemein durch die kurzen Produktlebenszyklen der Fahrzeuge verursacht. Dabei finden die kontinuierlichen Entwicklungszyklen sowohl auf Hardware- als auch auf Softwareseite statt. Umso mehr wird dies durch die Innovationszyklen in der Elektroindustrie (z. B. von Embedded Systems) beschleunigt, da diese im Vergleich zu den Produktlebenszyklen deutlich kürzer sind (Grimm 2003; Kampker et al. 2017). Durch Innovationen sowie den steigenden Anteil der elektronischen Komponenten stellt die Software bzw. dessen Versionsstände eine wichtige neue Abhängigkeit dar, dessen Kompatibilität zu den Komponenten ebenfalls sichergestellt werden muss.

Hierbei ist es offensichtlich, dass sich die Komplexität durch die zukünftige Gestaltung des Fahrzeuges und durch die bereits heutigen Verschiebungen bzw. Neuerungen in den Abhängigkeiten radikal verändert. Die Berücksichtigung der reinen Teile- und Variantenanzahl ist nicht mehr hinreichend, um die Komplexität des Fahrzeuges zu bewerten.

Das Ziel der Forschungsarbeit stellt somit die Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Komplexitätsveränderung für variantenreiche Produkte am Beispiel der Automobilindustrie dar. Dabei sollen die aktuellen Einflüsse der technologischen Trends auf die Produktrepräsentation untersucht werden. Vor allem gilt es die Charakteristika sowie Abhängigkeiten elektronischer Komponenten zu erkennen, um in diesem Zusammenhang die neue Komplexität des Fahrzeuges bewerten zu können. Darauf basierend sollen Auswirkungen auf logistische Prozesse, insbesondere die Beschaffungslogistik, bestimmt werden.

Methodisches Vorgehen

Aufbauend auf aktuellen Produktrepräsentationen und Logistikprozessen, welche durch Forschung und Praxis bereitgestellt werden, sowie auf neu entwickelten intelligenten Fahrzeugkomponenten wird die Produktrepräsentation aktueller und zukünftiger Automobile untersucht. Hierfür werden zunächst modulare, technische Fahrzeugkomponenten aus bestehenden Projekten sowie aktuelle technologische Entwicklungen erfasst. Diese Recherche wird durch Expertenbefragungen (deutsche Automobilhersteller (engl. Original Equipment Manufacturer – OEM), Tier 1- Zulieferer und wissenschaftliche Einrichtungen) anhand eines Fragebogens zu den Trends der Elektromobilität sowie Embedded Systems im Bereich der Automobilindustrie unterstützt.

Die Charakteristika (Fahrzeugkomponenten, Teile usw.) werden daraufhin auf verschiedene Abhängigkeiten untersucht, um festzustellen, inwieweit sich die Produktrepräsentation verändert. Hierzu zählen logistische Abhängigkeiten, z. B. Optionskontingente in bestimmten Ausstattungsvarianten. Als Ergebnis dieser Phase soll eine Übersicht der identifizierten Charakteristika sowie Abhängigkeiten resultieren. Unter Berücksichtigung dieser Analyse wird ein Konzept zur Komplexitätsbewertung erstellt. Vorherige Veröffentlichungen, vor allem die Arbeiten von Lechner (2011), Schaffer (2010) und Schuh (2014) sollen als Basis für den Konzeptentwurf dienen. Ergänzend werden Einflussbereiche der Komplexitätstreiber identifiziert. Anhand des Konzeptes werden neue Kennzahlen für die Komplexitätsbewertung abgeleitet.

Nachfolgend wird anhand von Anwendungsfällen die Komplexität eines konventionellen Fahrzeuges (mit einem Verbrennungsmotor) mit dem zukünftigen Fahrzeug verglichen. Als zukünftiges Fahrzeug wird allgemein das digitalisierte Fahrzeug (ohne Berücksichtigung der Antriebsart) sowie das BEV betrachtet. Hierbei wird eine quantitative Bewertung mit Hilfe eines hierfür vorgesehenen Tools durchgeführt. Dieses Tool wird im Rahmen der Forschungsarbeit umgesetzt und soll für spätere Fragestellungen eine adaptierbare Basis bilden. Die Umsetzung erfolgt basierend auf den entwickelten Kennzahlen sowie auf Basis von Vorarbeiten, welche u. a. in dem sogenannten OTD-DCM (engl. Order-To-Delivery-Demand and Capacity Management) verwendet werden. Das OTD-DCM gehört zur Simulationstoolsuite OTD-NET (engl. Order-To-Delivery-NETwork Simulator) (siehe z. B. Wagenitz 2007) und unterstützt z. B. bei der Identifikation von möglichen Engpässen. Im Allgemeinen wird dabei der Ressourcenbedarf, welcher sich aus zukünftigen oder bereits realisierten Marktanforderungen ergibt, mit Kapazitäten und Einschränkungen der Wertschöpfungskette abgeglichen. Durch Bewertung der jeweiligen Komplexitäten sowie dem Komplexitätsvergleich zwischen dem konventionellen und dem zukünftigen Fahrzeug werden die signifikanten Unterschiede bzw. Veränderungen hervorgehoben.

Abschließend wird mit Hilfe von logistischen Potenzialbewertungen der Einfluss auf die Logistik- und Produktionsstrukturen analysiert. Das Ziel hierbei ist die Potenziale anhand von Kennzahlen für weitere Handlungsbedarfe aufzuzeigen. Hierzu werden Ansätze wie die spezielle Betrachtung der Auswirkungen und Einflussgrößen von Produktstrukturen auf die Logistik durch Bewertung vielfaltsinduzierter Logistikkomplexität herangezogen.

Ergebnisse

Methodologisch wurde eine inhaltliche Analyse durchgeführt, um einen aussagekräftigen Überblick über die Veränderungen des Automobils durch die technologischen Trends zu geben. Die entsprechenden Erkenntnisse werden gestützt durch die Resultate von Interviews, die im Bereich der Automobilindustrie durchgeführt wurden. Interviewpartner waren Projektmanager, Systemarchitekten, Logistikmanager und Wissenschaftler.

Neben den großen Trends der Elektromobilität sowie des autonomen Fahrens werden Vernetzung, Leichtbau und Digitalisierung die Zukunft der Automobilindustrie erheblich beeinflussen (Nikowitz 2016). So eröffnen sie z. B. neue Möglichkeiten für die Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen und Cockpits. Darüber hinaus sollen bis 2030 viele neue Konzeptfahrzeuge entwickelt werden (Reichenbach 2017). Im Zusammenhang mit der Verbesserung, Erweiterung bzw. dem Ersatz des Verbrennungsmotors gibt es einige Konzepte innerhalb der Elektromobilität, die hier in Kürze erwähnt werden sollen. So ist beispielsweise im Range Extender Fahrzeug (engl. Range Extended Electric Vehicle – REEV), im batteriebetriebenen Elektromobil (engl. Battery Electric Vehicle – BEV) bzw. im Brennstoffzellenfahrzeug (engl. Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV) der Elektromotor die einzige Antriebsquelle (Herrmann and Rothfuss 2015). Ebenso gehören zu den Antriebskonzepten Hybridfahrzeuge (parallel, HEVs) sowie Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEVs). (Bauer et al. 2015)

Dabei führen sowohl neue Komponenten und Module (z. B. das Batteriesystem), als auch eliminierte Module (z. B. die Abgasanlage) zu Veränderungen in der Produktstruktur des Fahrzeuges. Einen Überblick über die analysierten Systeme innerhalb eines BEVs stellt Tabelle 1 dar. Die verwendete Bewertung umfasst: N(eu), V(erändert) und E(liminiert).

Tabelle 1: Veränderung der Charakteristika durch das E-Mobil (Referenz: i. A. a. (Pawlikowski et al. 2018))

	SYSTEM	KOMPONENTE(N)	N	V	E
ANTRIEB	Verbrennungsmotor				X
	Traktionselektromotor		X		
	Leistungselektronik		X		
	Kraftstoffversorgung + Abgasanlage				X
	Kupplung + „Getriebe“ (Differential)				X
	Soundmodul		X		
	Nebenaggregate	Ölpumpe, Turbolader, Lichtmaschine, Filter			X
BORDNETZ	Hochspannung	Verkabelung, DC-Wandler	X		
	Traktionsbatterie	Zellen, Batterie-management, Gehäuse, Ladegerät	X		
	Ladesystem		X		
ELEKTRIK/ ELEKTRONIK	Motormanagement		X		
FAHRWERK	Lenkung			X	
	Bremse			X	
	Radaufhängung			X	
THERMO- MANAGEMENT	Klimaanlage	PTC Heiz- und Kühlsysteme	X		
	Klima-Kompressor			X	
	Thermomanagement für Batterie			X	

Die Digitalisierung des Fahrzeuges führt vor allem zu neuen und veränderten Abhängigkeiten zwischen Komponenten, z. B. der Kompatibilität von Hard- und Software. Insbesondere Informationen über die verschiedenen Komponentenversionen sind für die Logistik relevant. Neben der Version von Hardware- oder Softwarekomponenten ist die Version des (zertifizierten) Standards wichtig, um die Funktionalität aller an einem System beteiligten Komponenten sicherzustellen.

Hierbei ist die Logistik von größter Bedeutung, damit das richtige Bauteil in der richtigen Version zur richtigen Zeit am richtigen Ort vorhanden ist (Fruhner et al. 2018).

Anhand der Analyse lassen sich logistische Einflussbereiche identifizieren. So kann abgeleitet werden, welche Trends und Veränderungen in Hinblick auf die Automotive Supply Chain zu erwarten sind. Nicht nur das Fahrzeug als Produkt wird neu definiert, sondern auch der gesamte Wertschöpfungsprozess muss neu gestaltet werden (Kampker et al. 2013).

Die Auswirkungen des veränderten Automobils auf die Supply Chain werden heutzutage nicht hinreichend abgebildet. Folglich sind zunächst relevante Einflussfaktoren wie z. B. die Modellvielfalt oder die Komplexität der Teile zu identifizieren. Beispielsweise umfasst der Antriebsstrang eines konventionellen Fahrzeuges etwa 2000 bewegliche Teile. Im Vergleich besteht der elektrische Antriebsstrang eines BEV nur noch aus etwa 50 Teilen (Hansen and Porteck 2017). Solche Einflussfaktoren sind besonders wichtig für die Logistik, die als Querschnittsfunktion zwischen Technologieentwicklung, Beschaffung, Produktion, Vertrieb und After-Sales fungiert (Fruhner et al. 2017).

Neben dem Einfluss des zukünftigen Fahrzeuges auf die Supply Chain sowie der Produktkomplexität stellt die Komplexität der Innovationszyklen einen weiteren relevanten Einflussbereich dar. Während alle drei bis acht Jahre neue Versionen einer Fahrzeugbaureihe auf den Markt kommen, betragen die Innovationszyklen der Unterhaltungselektronik (z. B. von Smartphones) nur etwa ein Jahr. Der Anreiz für OEMs, elektronische Komponenten oder Teile zu verbessern (inklusive neuer Partner wie Apple oder Google) nimmt zu. Als Resultat kann eine kontinuierliche Veränderung der Fahrzeugmodelle innerhalb ihres Lebenszyklus beobachtet werden. Das Management der verschiedenen Innovationszyklen ist bereits eine große Herausforderung für die Logistik, die mit der Digitalisierung weiter an Bedeutung gewinnen wird. (Fruhner et al. 2018)

Ein schematischer Ansatz, welcher die drei logistischen Einflussbereiche berücksichtigt, ist mit beispielhaften Komplexitätskennzahlen in der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 1) veranschaulicht.

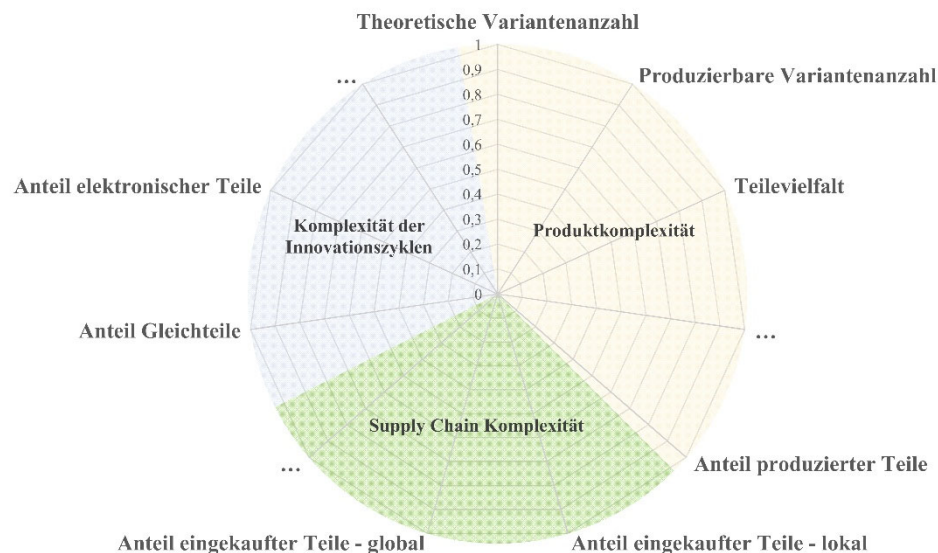


Abbildung 1: Schema Komplexitätsanalyse

Zusammenfassung

Das Fahrzeug steht vor dem größten Wandel der Geschichte. Durch die technologischen Trends der Elektromobilität sowie des autonomen Fahrens verändert sich das Fahrzeug radikal. Charakteristika entfallen (u. a. Verbrennungsmotor, Abgasanlage), neue kommen hinzu (z. B. Leistungselektronik) und andere verändern sich (z. B. Bremsen). Durch die Digitalisierung des Fahrzeuges entstehen

neue Abhängigkeiten (z. B. Kompatibilität von Softwarekomponenten). Hierbei muss das Fahrzeug ganzheitlich verstanden werden, damit die Automobillogistik die Komplexität des zukünftigen Fahrzeuges bewältigen kann.

Folglich stellt das Ziel der Forschungsarbeit die Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Komplexitätsveränderung für variantenreiche Produkte am Beispiel der Automobilindustrie dar. Anhand von konkreten Anwendungsfällen (konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen) soll die Komplexität zukünftiger Fahrzeuge bewertet und Komplexitätstreiber identifiziert werden. Abschließend soll der Einfluss dieser Veränderungen auf logistische Prozesse, konkret auf die Beschaffungs- und Produktionslogistik untersucht werden.

Referenzen

- Bauer, W., Rothfuss, F., Dungs, J., Herrmann, F., Cacilo, A., Schmidt, S., Brand, M., Klausmann, F. und Borrmann, D. (2015): Strukturstudie BWe mobil 2015: Elektromobilität in Baden-Württemberg, e-mobil BW GmbH; Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg.
- Berr, U. und Herlyn, W.: Stücklistenwesen - ein abgehacktes Thema? (1992): Zur Variantenabbildung in der Automobilindustrie, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF). Jg.87 Nr. 3. S.175-179
- Carl Hanser Verlag (2017): CES: BMW zeugt HoloActive Touch, HANSER automotive. Jg.16 3-4, S.8
- Deng, X., Huet, G., Tan, S. und Fortin, C. (2012): Product decomposition using design structure matrix for intellectual property protection in supply chain outsourcing Computers in Industry. Jg.63 Nr.6, S.632-641
- eVchain.NRW (2014): Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW.
- Fruhner, D., Klingebiel, K., Pawlikowski, K. und Toth, M. (2018): Impacts of the digitalised car on logistics, in Proceedings of the 25th international Annual EurOMA Conference, Budapest, Ungarn.
- Fruhner, D., Pawlikowski, K., Klingebiel, K. und Toth, M. (2017): Efficient Product Representations for Automotive Logistics, in Affenzeller, M., Bruzzone, A.G., Jiménez, E., Longo, F. und Piera, M.A. (Eds.), Proceedings of the 29th European Modeling and Simulation Symposium (EMSS), Barcelona, Spanien. S.100-109
- Grimm, K. (2003): Software technology in an automotive company - major challenges, in 25th International Conference on Software Engineering, Portland, OR, USA. S.498-503
- Hansen, S. und Porteck, S. (2017): Autorevolution: Die Zukunft des Autos, c't magazin für computer technik. Nr.20, S.100-105
- Herrmann, F. und Rothfuss, F. (2015): Introduction to hybrid electric vehicles, battery electric vehicles, and off-road electric vehicles, in Scrosati, B., Garche, J. und Tillmetz, W. (Eds.), Advances in battery technologies for electric vehicles, Woodhead Publishing, Cambridge, UK. S.3-16
- Kampker, A., Deutskens, C., Heimes, H., Ordnung, M. und Haunreiter, A. (2016): Using e-mobility as an enabler for a fast and lean product development to optimize the return of engineering with the example of lithium-ion battery, Procedia CIRP. Jg.50. S.166-172
- Kampker, A., Gerdes, J. und Schuh, G. (2017): Think Big, Start Small: Streetscooter die e-mobile Erfolgsstory: Innovationsprozesse radikal effizienter, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kampker, A., Vallée, D. und Schnettler, A. (Eds.)(2013): Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie, Springer Vieweg.
- Krumm, S., Schopf, K.D. und Rennekamp, M. (2014): Komplexitätsmanagement in der Automobilindustrie – optimaler Fit von Vielfalt am Markt, Produktstruktur, Wertstrom und Ressourcen, in Ebel, B. und Hofer, M.B. (Eds.), Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft, Springer Gabler, Berlin. S.189-205
- Lechner, A. (2011): Modellbasierter Ansatz zur Bewertung vielfaltsinduzierter Logistikkomplexität in der variantenreichen Serienfertigung der Automobilindustrie, Dissertation, TU Dortmund, Dortmund.
- Maune, G. (2002): Möglichkeiten des Komplexitätsmanagements für Automobilhersteller auf Basis IT-gestützter durchgängiger Systeme, Thesis (PhD), Paderborn Universität, Paderborn.
- Nikowitz, M. (Ed.)(2016): Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration, Springer.
- Ohl, S. (2000): Prognose und Planung variantenreicher Produkte am Beispiel der Automobilindustrie, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Pawlikowski, K., Toth, M., Fruhner, D. und Klingebiel, K. (2018): How electrified car concepts effect automotive logistics, in Proceedings of the 25th international Annual EurOMA Conference, Budapest, Ungarn

Reichenbach, M. (2017): Future car designs must also take emotions into account, ATZelektronik worldwide. Nr.3, S.22-24

Schaffer, J. (2010): Entwicklung und Optimierung eines treiberbasierten Modells zur Bewertung varianteninduzierter Komplexitätskosten in industriellen Produktionsprozessen, Dissertation, Leuphana University of Lüneburg, Lüneburg

Schuh, G. (2014): Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools, Carl Hanser Fachbuchverlag.

Wagenitz, A. (2007): Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie, Dissertation, TU Dortmund, Dortmund.

Geschlechterbilder und Rollenerwartungen als Barrieren für nachhaltigen Kleidungskonsum: Eine Analyse aus Sicht des Nachhaltigkeitsmarketing

Stephan Wallaschkowski¹, Susanne Stark¹, Sigrid Bekmeier-Feuerhahn²

¹Hochschule Bochum, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum

²Leuphana Universität Lüneburg, Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg

stephan.wallaschkowski@hs-bochum.de

Schlagnworte: Nachhaltiger Konsum, Nachhaltigkeitsmarketing, Gender

Einleitung

Textile Wertschöpfungsketten sind mit zahlreichen ökologischen und sozialen Problemen behaftet (Gordon & Hill 2015, Fletcher 2014), der Übergang zu nachhaltigen Konsummustern im Bereich Kleidung daher dringend erforderlich. Nachhaltig konsumieren heißt, seine Bedürfnisse in einer Weise zu befriedigen, die auf alle aktuell und zukünftig lebenden Menschen übertragbar wäre, ohne unsere natürlichen Lebensgrundlagen zu gefährden oder gegen das Prinzip eines fairen Interessenausgleichs aller Beteiligten zu verstoßen (Jackson 2014, Prothero et al. 2011, Peattie & Collins 2009). Dazu bedarf es der Nutzung von Produkten, die möglichst umweltfreundlich und sozialverträglich hergestellt wurden, der Wahl ressourcenschonender und ethisch vertretbarer Formen der Bedürfnisbefriedigung sowie der Adaption eines suffizienten Lebensstils (Lorek & Spangenberg 2014, Schrader & Thøgersen 2011). Nachhaltiger Kleidungskonsum verlangt somit den Bezug von qualitativ hochwertigen und lang haltbaren Textilien aus ökologisch angebauten natürlichen Fasern, die von Produzenten mit hohen Umwelt- und Sozialstandards gefertigt wurden. Diese sollten sorgfältig behandelt, wie empfohlen gepflegt, nur wenn wirklich erforderlich gewaschen und bei Schäden wenn möglich repariert werden, um eine hohe Nutzungsdauer zu erreichen. Aus Suffizienz-Sicht sollten Konsument*innen darüber hinaus nur das kaufen, was sie tatsächlich benötigen; Kleidungsstücke, die nur selten gebraucht werden, können ggf. geliehen oder mit anderen geteilt werden. Zuletzt sollte verschlissene Kleidung sachgerecht recycelt und Stücke, die noch in Ordnung sind, aber nicht mehr gebraucht werden, einer sinnvollen Weiterverwendung zugeführt werden (z.B. Spenden, Tauschen, Verschenken, Weiterverkaufen o.ä.). Bei den heutigen kurzlebigen Modezyklen und dem hohen Marktanteil billiger ‚Fast Fashion‘ von niedriger Qualität ist dies jedoch bei weitem nicht die übliche Form des Kleidungskonsums in den westlichen Industrieländern.

Aus der Marketingforschung weiß man, dass Maßnahmen zur Änderung von Konsumverhalten segmentspezifisch sein sollten, um optimal zu wirken. Ein zentrales Segmentierungskriterium ist dabei das Geschlecht, da sich Männer und Frauen in ihren Konsummustern deutlich unterscheiden (Meyers-Levy & Loken 2015, Costa 1994). Im Bereich Kleidung sind die Unterschiede sogar besonders ausgeprägt (Solomon & Rabolt 2008, Coley & Burgess 2003, Cox & Dittmar 1995), sodass ein gendersensibles Vorgehen hier unerlässlich ist. Die Kategorie Geschlecht wird in der aktuellen Forschung zum nachhaltigen Konsum ebenso wie in der derzeitigen Praxis des Nachhaltigkeitsmarketing allerdings noch weitgehend vernachlässigt.

Die Gender Studies haben gezeigt, dass evolutionär-biologische Argumente zur Erklärung geschlechtstypischer Verhaltensweisen nicht reichen (Eagly & Wood 2013, Alsop et al. 2002). Sie sind auch Folge kultureller Vorstellungen über typisch ‚männliche‘ und ‚weibliche‘ Eigenschaften (Oakley 2015, Lippa 2005). Diese werden während der Sozialisation verinnerlicht und in das eigene Selbstkonzept als Mann bzw. Frau integriert (Cross & Madson 1997). Gleichzeitig dienen sie den Menschen als Maßstab, um das Verhalten anderer als angemessen oder unangemessen für deren Geschlecht zu beurteilen (Prentice & Carranza 2002, Heilman 2001, Burgess & Borgida 1999). Abweichungen werden häufig sozial sanktioniert. Geschlechterbilder und hieraus folgende Rollenerwartungen sind deshalb wichtige handlungsregulierende personale und soziale Normen (Rudman & Glick 2008, Lorber & Farrel 1991). Sie können zu starken Barrieren gegen nachhaltigen

Konsum führen, wenn dieser Handlungsmuster erfordert, die als unpassend für die eigene Geschlechtsrolle angesehen werden.

Gendersensible Forschung zu nachhaltigem Konsum sollte daher untersuchen, welche gängigen Vorstellungen von ‚Männlichkeit‘ und ‚Weiblichkeit‘ die Adaption nachhaltiger Konsummuster im betrachteten Konsumfeld jeweils erschweren. In gleicher Weise sollte gendersensibles Nachhaltigkeitsmarketing darauf abzielen, Männer und Frauen trotz gegenläufiger Rollenerwartungen dabei zu unterstützen, nachhaltiger zu konsumieren, sowie hemmende Geschlechterbilder zu entkräften und langfristig zu verändern.

Unser Projekt hat folglich zum Ziel, (a) verbreitete Sichtweisen über typisch ‚männliche‘ und ‚weibliche‘ Herangehensweisen an Kauf, Nutzung und Entsorgung von Kleidung zu ermitteln und (b) darzulegen, inwiefern sich daraus genderspezifische Barrieren für nachhaltigen Kleidungskonsum ergeben, um (c) aussichtsreiche Ansätze gendersensiblen Nachhaltigkeitsmarketings im Bereich Kleidung zu entwickeln und deren Wirksamkeit zu validieren.

Methodik

Da es bisher kaum Forschung zu nachhaltigem Kleidungskonsum aus Genderperspektive gibt bzw. Geschlecht dabei i.d.R. nur als Kontrollvariable eine Rolle spielt, haben wir uns für ein Mixed Methods Design (Creswell & Plano Clark 2018) entschieden. In einem ersten quantitativen Analyseschritt werden Unterschiede im Verhalten von Männern und Frauen im Kontext nachhaltigen Kleidungskonsums anhand eines repräsentativen Samples erfasst. Anschließend werden die Gründe für diese Differenzen qualitativ exploriert, wobei insbesondere dem Einfluss kultureller Konzepte von ‚Männlichkeit‘ und ‚Weiblichkeit‘ nachgegangen wird. Als Methode zur Datensammlung kommen dabei Fokusgruppen zum Einsatz, da bei Gruppendiskussionen unter Fremden die Referenz auf gesellschaftliche Normvorstellungen besonders ausgeprägt ist (Bloor et al. 2001, Fern 2001). Die Auswertung erfolgt zunächst inhaltsanalytisch (Krueger & Casey 2015), um die wesentlichen Themen auf semantischer Sinnenebene zusammenzufassen. Danach wird anhand einer ‚Thematic Analysis‘ (Braun & Clark 2006) zur latenten Sinnenebene übergegangen, um die zentralen verbindenden Dimensionen in den geäußerten Sichtweisen zu ‚männlichen‘ und ‚weiblichen‘ Handlungen bei Kauf, Nutzung und Entsorgung von Kleidung zu identifizieren und die tieferliegende Bedeutung des Geschlechts für Resistenzen gegen die Übernahme von Ansätzen nachhaltigen Kleidungskonsum zu ergründen. Auf dieser Basis können dann Maßnahmen zur Förderung nachhaltigen Konsums trotz anders lautender Geschlechterbilder und Rollenerwartungen mit Hilfe etablierter Techniken des Marketing designend werden, deren Wirkung im letzten Schritt in Labor- und Feldversuchen quantitativ-experimentell evaluiert wird.

Bisherige Ergebnisse

Unsere bisherigen Ergebnisse zeigen, dass es bei Kleidung in der Tat große Geschlechtsdifferenzen in der Umsetzung nachhaltigen Konsums gibt und dass geteilte Vorstellungen von ‚Männlichkeit‘ und ‚Weiblichkeit‘ dabei eine zentrale Rolle spielen. Dies betrifft insbesondere Aspekte der Suffizienz, da Frauen im dominanten gesellschaftlichen Diskurs verglichen mit Männern als deutlich aussehenfokussierter und modeaffiner konstruiert werden, sodass ein hoher Kleidungskonsum als ‚korrekter‘ Geschlechtsausdruck im Sinne eines adäquaten ‚Doing Gender‘ (West & Zimmermann 1987) von ihnen erwartet wird. Hiermit lässt sich erklären, warum der Umsatz mit Damenbekleidung regelmäßig ungefähr doppelt so hoch ist, wie der Umsatz mit Herrenbekleidung (BTE 2017). Entsprechend fällt es Frauen außerdem erheblich schwerer, ihren Kleidungskonsum zu reduzieren, da dies ihre ‚Weiblichkeit‘ in Selbst- und Fremdwahrnehmung infrage stellt.

Erste Schlussfolgerungen

Kulturell vermittelte Geschlechterbilder scheinen tatsächlich zu signifikanten Barrieren für nachhaltigen Konsum zu führen, wenn dies als unpassend zur eigenen Geschlechtsrolle wahrgenommen wird. Im Bedarfswelt Kleidung betrifft dies insbesondere Ansätze suffizienten Konsums, da dieser den gängigen Vorstellungen von typisch ‚weiblichen‘ Herangehensweisen an

Kauf, Nutzung und Entsorgung widerspricht. Gendersensibilität bei der Förderung nachhaltigen Kleidungskonsums ist daher dringend erforderlich. Nachhaltigkeitsmarketing sollte hier darauf abzielen, die soziale Konstruktion von ‚Weiblichkeit‘ als aussehensfokussiert und modeaffin langfristig zu erodieren und ihrem Einfluss bis dahin möglichst effektiv entgegenzuwirken.

Spannend aus feministischer Sicht ist vor allem der Befund, dass die Schwächung tradierter Vorstellungen von Geschlechtlichkeit nicht nur der Gleichstellung von Männern und Frauen dient (Connell & Pearse 2014, Archer & Lloyd 2002), sondern auch einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten kann. Feminismus und Nachhaltigkeit gehen also Hand in Hand.

Literatur

- Alsop, R.; Fitzsimons, A.; Lennon, K. (2002): *Theorizing Gender*. Cambridge: Polity Press.
- Archer, J.; Lloyd, B. (2002): *Sex and Gender*, 2. Auflage. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bloor, M.; Frankland, J.; Thomas, M.; Robson, K. (2001): *Focus Groups in Social Research*. London: Sage.
- Braun, V.; Clarke, V. (2006): Using Thematic Analysis in Psychology. In: *Qualitative Research in Psychology*, Nr. 3 (2), S. 77-101.
- Bundesverband des Deutschen Textileinzelhandels [BTE] (2017): Revenues from Textiles and Clothing from Germany from 2007 to 2014. Online verfügbar: <https://www.statista.com/statistics/494952/textiles-and-clothing-revenue-by-product-segment-germany>.
- Burgess, D.; Borgida, E. (1999): Who Women Are, Who Women Should Be. Descriptive and Prescriptive Gender Stereotyping in Sex Discrimination. In: *Psychology, Public Policy, and Law*, Nr. 5 (3), S. 665-692.
- Coley, A.; Burgess, B. (2003): Gender Differences in Cognitive and Affective Impulse Buying. In: *Journal of Fashion Marketing and Management*, Nr. 7 (3), S. 282-295.
- Connell, R. W.; Pearse, R. (2014): *Gender*. In *World Perspective*, 3. Auflage. Malden: Blackwell.
- Costa, J. A. (1994): *Gender Issues and Consumer Behavior*. London: Sage.
- Cox, J.; Dittmar, H. (1995): The Function of Clothes and Clothing (Dis)satisfaction. A Gender Analysis among British Students. In: *Journal of Consumer Policy*, Nr. 18 (2-3), S. 237-265.
- Creswell, J. W.; Plano Clark, V. L. (2018): *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. London: Sage.
- Cross, S. E.; Madson, L. (1997): Models of the Self. Self-construals and Gender. In: *Psychological Bulletin*, Nr. 122 (1), S. 5-37.
- Eagly, A. H.; Wood, W. (2013): The Psychology of Gender. 25 Years of Challenges in Understanding the Psychology of Gender. In: *Perspectives on Psychological Science*, Nr. 8 (3), S. 340-357.
- Fern, E. F. (2001): *Advanced Focus Group Research*. London: Sage.
- Fletcher, K. (2014): *Sustainable Fashion and Textiles. Design Journeys*, 2. Auflage. London: Earthscan.
- Gordon, J. F.; Hill, C. (2015): *Sustainable Fashion. Past, Present and Future*. London: Bloomsbury.
- Heilman, M. E. (2001): Description and Prescription. How Gender Stereotypes Prevent Women's Ascent Up to the Organizational Ladder. In: *Journal of Social Issues*, Nr. 57 (4), S. 657-674.
- Jackson, T. (2014): Sustainable Consumption. In: Atkinson, G.; Dietz, S.; Neumayer, E.; Agarwala M. (Hrsg.): *Handbook of Sustainable Development*, 2. Auflage. Cheltenham: Edward Elgar, S. 254-268.
- Krueger, R. A.; Casey, M. A. (2015): *Focus Groups. A Practical Guide for Applied Research*, 5. Auflage. London: Sage.
- Lippa, R. A. (2005): *Gender. Nature, and Nurture*, 2. Auflage. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Lorber, J.; Farrell, S. A. (1991): *The Social Construction of Gender*. Newbury Park: Sage.
- Lorek, S.; Spangenberg, J. H. (2014): Sustainable Consumption within a Sustainable Economy. Beyond Green Growth and Green Economies. In: *Journal of Cleaner Production*, Nr. 63, S. 33-44.
- Meyers-Levy, J.; Loken, B. (2015): Revisiting Gender Differences. What We Know and What Lies Ahead. In: *Journal of Consumer Psychology*, Nr. 25 (1), S. 129-149.
- Oakley, A. (2015): *Sex, Gender and Society*. New York: Routledge.
- Peattie, K.; Collins, A. (2009): Perspectives on Sustainable Consumption. In: *International Journal of Consumer Studies*, Nr. 33 (2), S. 107-112.

- Prentice, D. A.; Carranza, E. (2002): What Women and Men Should Be, Shouldn't Be, are Allowed to Be and Don't Have to Be. The Contents of Prescriptive Gender Stereotypes. In: *Psychology of Women Quarterly*, Nr. 26 (4), S. 269-281.
- Prothero, A.; Dobscha, S.; Freund, J.; Kilbourne, W. E.; Luchs, M. G.; Ozanne, L. K.; Thøgersen, J. (2011): Sustainable Consumption. Opportunities for Consumer Research and Public Policy. In: *Journal of Public Policy & Marketing*, Nr. 30 (1), S. 31-38.
- Rudman, L. A.; Glick, P. (2008): *The Social Psychology of Gender. How Power and Intimacy Shape Gender Relations*. New York: Guilford.
- Schrader, U.; Thøgersen, J. (2011): Putting Sustainable Consumption into Practice. In: *Journal of Consumer Policy*, Nr. 34 (1), S. 3-8.
- Solomon, M. R.; Rabolt, N. (2008): *Consumer Behavior in Fashion*, 2. Auflage. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- West, C.; Zimmerman D. H. (1987): Doing Gender. In: *Gender and Society*, Nr. 1 (2), S. 125-151.

Symposium der Promovierenden an der Hochschule Bochum am 30.10.2018

Programm

09.00 - 09.30 h	Welcome Coffee & Poster
09.30 - 09.45 h	Eröffnung Präsident Hochschule Bochum
09.45 - 10.30 h	Karrierewege und Erfahrungen 1: Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) und Dr.-Ing. Anna Grevé
10.30 - 11.00 h	Karrierewege und Erfahrungen 2: Prof. Dr.-Ing. David Schepers, Hochschule Ruhr West
11.00 - 11.15 h	Kaffeepause
11.15 - 12.00 h	„3-slides-3minutes“ – Kurzvorträge (3 Minuten je Promovierendem)
12.00 - 13.00 h	Poster-Session 1 - Mittagspause und Möglichkeit des Mensabesuchs
13.00 - 13.30 h	Projektvorstellung: Denis Busch (FB Bauingenieurwesen)
13.30 - 14.00 h	Projektvorstellung: Carolin Mas Mas (ISD)
14.00 - 14.30 h	Poster-Session 2 und Kaffeepause
14.30 - 15.00 h	Projektvorstellung: Martin Hellwig (FB Elektrotechnik und Informatik)
15.00 - 15.30 h	Projektvorstellung: Konrad Pawlikowski (FB Wirtschaft)
15.30 - 16.00 h	Schlusswort Vizepräsident Forschung Hochschule Bochum
16.00 - Ende	Postersession 3 - Get-Together und offenes Ende

Alle Interessierten sind herzlich willkommen!

Eine Anmeldung ist nicht erforderlich.

Ort: Foyer und Auditorium des Geothermiezentrum der Hochschule Bochum
(Gebäude G1)

Anfahrt: www.hochschule-bochum.de/die-bo/informationen/anfahrten-gebaeude/

Info: Dr. Daniel Stietenroth, MBA – daniel.stietenroth@hs-bochum.de – 0234 32 10890

