



Schriftenreihe 2015

Heft 23

Berichte zur Vorlaufforschung
Prof. Dr. Michael Braun (Hrsg.)

Herausgeber: Der Präsident der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Anschrift: Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg

Redaktion: Hochschulkommunikation

Tel. 0911/5880-4101

presse@th-nuernberg.de

Berichte zur Vorlaufforschung



Die Vorlaufforschung an der Technischen Hochschule ist ein Erfolg. Eine sehr positive Resonanz in der wissenschaftlichen Community unseres Hauses erfuhr auch die zweite Runde der Vorlaufforschung. Seit 2013 investiert die TH Nürnberg mit rund 300.000 EUR aus den TH-Mitteln des Freistaats Bayern in die Förderung neuer Forschungsansätze.

Das Ziel ist es, eine Finanzierung für die Phase zwischen einer Forschungsidee und einer antragsreifen Forschungskonzeption zu ermöglichen. Dadurch entsteht ein forschungspolitisches Gestaltungsmittel, dass das starke Innovations- und Forschungspotenzial der TH Nürnberg weiter entwickelt.

28 neue Projektanträge mit einem Gesamtantragsvolumen von 825.000 Euro gingen zur Begutachtung ein, die im Vorjahr geförderten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler waren nicht antragsberechtigt. Sowohl die eingereichten als auch die geförderten Projektanträge waren ausgewogen über die Fachrichtungen der TH Nürnberg verteilt.

Das spiegelt sich in der interdisziplinären Zusammensetzung der Gutachterinnen und Gutachter, bestehend aus Mitgliedern des Sachverständigenausschusses für Wissens- und Technologietransfer sowie weiteren Professorinnen und Professoren aus allen Fach- und Forschungseinrichtungen der TH Nürnberg. Sie beteiligten sich mit hohem Engagement und ihrer Expertise. Ich möchte allen Gutachterinnen und Gutachtern meinen besonderen Dank aussprechen.

Sie finden in dieser Schriftenreihe interessante Forschungsthemen, die im gesellschaftspolitischen, rechtlichen, wirtschaftlichen und technologischen Umfeld verortet sind. Ob beispielsweise der Aufbau einer Pilotanlage für Mikrobauteile in der Wirbelschicht, der Machbarkeitsnachweis einer Übertragung der Spinnengelenksfunktion auf Roboterachsen oder eine adaptierbare Mantelvertragskonzeption zur Finanzierung von Mittelstandinnovationen unter Einbeziehung Dritter: Alle Projekte ebnen den Weg für eine Stärkung des Partnernetzwerks und – in einzelnen Fällen schon sehr konkret absehbar – für eine sich anschließende Drittmittelinwerbung von aktuell mehr als einer Million Euro. Ebenso werden Schutzrechtsanmeldungen angestrebt wie auf dem Gebiet von reflektierenden Voronoi-Strukturen, so dass von dieser Berichtsveröffentlichung vorerst abgesehen wird.

Zusammen mit den Erfahrungen aus der ersten Förderrunde sehen wir uns bestätigt, dass die Vorlaufforschung ein wichtiger Baustein in der innovativen, angewandten Forschung ist. Mit unserer TH-Vision öffnen wir den Weg zur Realisierung innovativer Ideen.



Prof. Dr. Ralph Blum
Vizepräsident

Nachhaltige Metropolregion Nürnberg – Analyse zum Stand von Nachhaltigkeitsnetzwerken in der Metropolregion Nürnberg

Prof. Dr. Frank Ebinger
Fakultät Betriebswirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg

Daniel Link, M.A.
Fakultät Betriebswirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen wird für den Such- und Lernprozess hin zu einer nachhaltigen Entwicklung eine hohe Bedeutung beigemessen. Metropolregionen gelten als Motor der gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Entwicklung und sollen die Leistungs- und Konkurrenzfähigkeit Deutschlands erhalten. Die Wechselwirkungen und Potenziale, die sich aus diesen beiden Perspektiven ergeben, sind bislang nicht erforscht. Ziel des Projektes ist es daher, eine erste empirische Analyse der Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg durchzuführen sowie strategische Multiplikatoren und Synergiepotenziale zu identifizieren.

1. Projektdaten

Fördersumme	29.000 Euro
Laufzeit	Mai bis November 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Betriebswirtschaft
Projektleitung	Prof. Dr. Frank Ebinger
Kontaktdaten	E-Mail: frank.ebinger@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Nachhaltige Entwicklung sowie ein daran orientiertes Wirtschaften findet sich heute als politische Forderung in vielen wirtschaftspolitischen und zivilgesellschaftlichen Zusammenhängen in internationalen, europäischen und deutschen Entwicklungsdiskussionen wieder. In der konkreten Ausgestaltung der politischen Leitlinien spielen häufig nichthierarchisch-organisierte Nachhaltigkeitsnetzwerke eine wichtige Rolle, in denen individuelle Akteure, Unternehmen, Verbände oder auch öffentliche Institutionen zusammenarbeiten. Netzwerke dienen zum Informations- und Erfahrungsaustausch, zum direkten und verbesserten Zugang zu Informationen und zur abgestimmten Umsetzung individueller oder gemeinschaftlicher Aktivitäten. Von solchen Nachhaltigkeitsnetzwerken gehen vielfach wichtige Impulse für die regionale Entwicklung aus. Ebenfalls bieten sie häufig den Rahmen für unternehmens- oder einzelakteursorientierte Lösungsansätze.

Auch für die Europäische Metropolregion Nürnberg mit ihren 23 Landkreisen und elf kreisfreien Städten spielt die Orientierung am Leitbild für Nachhaltige Entwicklung und die Mobilisierung von Netzwerken bei der Umsetzung des Leitbilds eine wichtige Rolle. Seit 2005 arbeiten die Landkreise und kreisfreien Städte im Projekt „Metropolregion Nürnberg“ im Rahmen eines freiwilligen Zusammenschlusses partnerschaftlich zusammen und verbinden regionale Akteure sowie Organisationen über administrative Grenzen hinweg. Hierbei steht die Region vor der Herausforderung, jahrhundertealte Traditionen, naturräumliche und kulturelle Besonderheiten mit wegweisenden Technologien und einer zukunftsfähigen Wirtschaftsweise in der Art zu verbinden, dass die regionale Entwicklung besonders die Stärken der Region betont und die soziale Kohäsion vorantreibt.

Die hierbei verfolgte organisatorische Polyzentralität in der Steuerung dieses Entwicklungsprozesses, setzt auf Kooperation in Netzwerken und ist aufgrund der Vielfältigkeit und Unterschiedlichkeit der Entwicklungsbedürfnisse und -ebenen gewünscht. Hierdurch entsteht jedoch ebenso die Herausforderung, den Überblick über alle Aktivitäten, Initiativen und Ansätze zu behalten. Dies ist auch im Bereich der verschiedenartigen Aktivitäten und Initiativen unterschiedlicher Nachhaltigkeitsnetzwerke in der Metropolregion der Fall. Hier besteht aktuell der Bedarf einer strukturierten Übersicht bestehender Initiativen und Netzwerke, die für die Diskussion um eine kohärente Nachhaltigkeitsstrategie für die Metropolregion eine wichtige Grundlage darstellt.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Projekts war es, eine empirische Untersuchung von Nachhaltigkeitsinitiativen und -netzwerken in der Metropolregion Nürnberg durchzuführen, um eine neuartige Informationsbasis über Akteure, Netzwerkstrukturen und Tätigkeitsfelder zu schaffen. Die Analyse zielt darauf, einen inhaltlichen Überblick zu Initiativen zu geben, Gemeinsamkeiten und Synergiepotenziale zu identifizieren und potenzielle Leuchtturmprojekte sowie Einzelakteure zu identifizieren, die strategisch wichtig für die weitere Entwicklung in der Metropolregion sein können. Dies stellt eine wichtige Grundlage für eine Diskussion zu einer weitergehenden Kompetenzentwicklungsinitiative im Bereich nachhaltiger Entwicklung, die die Identität der Europäischen Metropolregion Nürnberg durch ein aktives Zusammenbringen der verschiedenartigen Netzwerkansätze und Akteure in der Region weiterentwickeln hilft. Das Projekt wurde in den in Abbildung 1 dargestellten vier Arbeitspaketen durchgeführt.

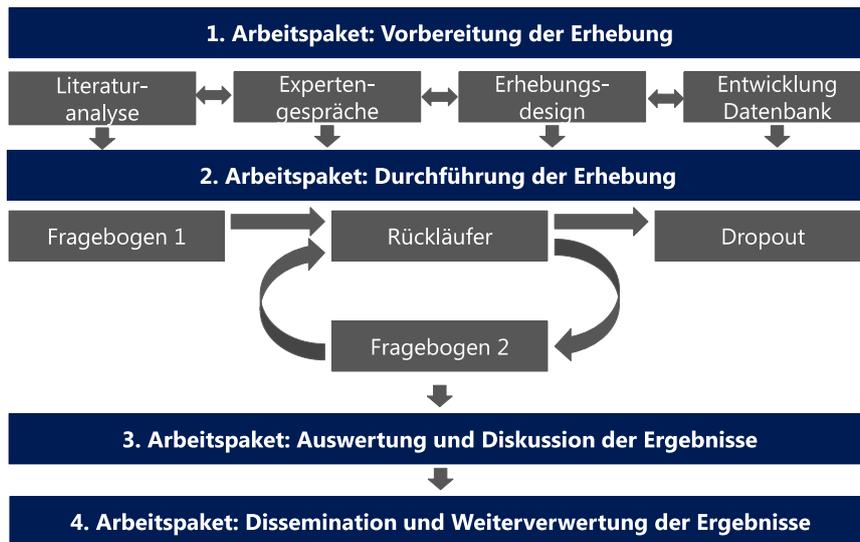


Abb. 1: Arbeitspakete

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Die Darstellung der Herangehensweise und der Forschungsergebnisse erfolgt entlang der zuvor genannten Arbeitspakete.

Arbeitspaket 1

Im Zentrum des Arbeitspakets 1 steht die Entwicklung eines Erhebungsdesigns, das die bisherigen Forschungsergebnisse zu Nachhaltigkeitsnetzwerken berücksichtigt und sich an den aktuellen Bedürfnissen und Themen in der Netzwerkarbeit orientiert. Hierfür wurde eine Literaturanalyse sowie Treffen mit Netzwerkexperten durchgeführt. Die bisherige Literatur weist eine starke Fokussierung auf Unternehmensnetzwerke oder auf Lernprozesse in Netzwerken auf. Die Rolle, die Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung von Metropolregionen spielen, wurde bislang nicht explizit untersucht. Auch gibt es derzeit keine etablierte Methode zur systematischen Identifizierung von Netzwerken. Bei der Analyse der Literatur zur Methodik der sozialen Netzwerkanalyse wurde sehr schnell ersichtlich, dass bereits vor der Datenerhebung eine tiefere Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Datenstrukturen zielführend erscheint, um bei der Rückfassung der Daten eine Mehrfachdatenhaltung sowie aufwendige Datenaufbereitungen für Analysesoftware zu vermeiden. Dementsprechend wurde ein Datenmodell entwickelt und in einer Access-Datenbank umgesetzt. Diese Datenbank und Datenstruktur steht nun auch für zukünftige Projekte zur Verfügung und erlaubt die Datenverwaltung von Netzwerkbeziehungen, sowohl auf der Netzwerk- als auch auf der Akteursebene. Ebenfalls implementiert, aber im Rahmen des Vorlauforschungsprojekts noch nicht angewendet, ist die Speicherung und Verwaltung von dynamischen Veränderungen in den Netzwerken über die Zeit. So könnten in einer langfristig angelegten Netzwerkforschung bspw. auch Veränderungen auf Mitgliederebene oder Funktionsebene mit erfasst werden und für dynamische Analysen zur Verfügung gestellt werden. Die Idee eine internetgestützte Erhebung durchzuführen, wurde aufgrund der zugrundeliegenden Datenstruktur und dem Problem des Datenschutzes bei der Verwendung von externen Umfrageplattformen als problematisch erachtet. Daher wurde der Fragebogen als Word-Formular gestaltet. Ein personalisierter Versand des Fragebogens per E-Mail, Erinnerungsfunktionen sowie die automatisierte Erfassung und Codierung der Rückläufer wurde per VBA in der Access-Datenbank realisiert. Ebenso wurde ein workflowbasierter Auswertungs- und Rechercheprozess für die Identifikation von Netzwerken implementiert.

Nachdem das Ergebnis der Literaturanalyse nur wenig inhaltliche Orientierung geben konnte, wurde der Fragebogen an die Netzwerke in weiten Teilen weitestgehend offen gestaltet, um möglichst vielfältige Merkmale erfassen zu können. Dieser wurde in mehreren Diskussionsrunden und Feedbackschleifen intern sowie extern mit Experten abgestimmt und einem Pretest mit zehn Netzwerken unterzogen. So entstand ein Fragebogen, der eine erste Verortung von Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg in Bezug auf Themen, Zweck, Zielsetzung, Projekten, Akteursgruppen, Aktionsräume,

Organisationsstrukturen und Finanzierung ermöglichen soll sowie erste Hinweise auf den Vernetzungsgrad der Netzwerke untereinander liefert. Ferner liefern die Ergebnisse auch eine Grundlage für die Ableitung einer ersten Typologie zu Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen in der Metropolregion.

Eine besondere Herausforderung stellte die Identifizierung von Netzwerken dar. In der sozialen Netzwerkforschung wird für die Erhebung von Netzwerken in der Regel ein Namensgenerator (*Wolf 2010*) eingesetzt. Diese interviewgestützte und standardisierte Methode wurde für die Identifizierung von Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen adaptiert und in eine fragebogengestützte Variante als „Netzwerkgenerator“ überführt. Die Anwendung in einem Fragebogen ist notwendig, da mit den begrenzten Ressourcen des Vorlaufforschungsprojektes keine 200 bis 300 Interviews geführt werden können. Die Methode erwies sich als hervorragend geeignet, um in kurzer Zeit eine Vielzahl von Netzwerken zu identifizieren. Die Analyse dieser Netzwerkbeziehungen mit netzwerktheoretischen Modellen kann aber nur einen ersten Ausblick in die Beziehungen zwischen den Netzwerken geben, da über die fragebogengestützte Form nicht sichergestellt werden kann, dass die Fragen von den Teilnehmern richtig verstanden und vollständig beantwortet wurden. Für den Einstieg in die Erhebung mussten jedoch vorab bereits einige Netzwerke identifiziert werden. Hierfür wurde ein erster Fragebogen mit der einzigen Frage: „Welche Nachhaltigkeitsinitiativen oder -netzwerke sind in Ihrem Landkreis, Stadt bzw. Gemeinde aktiv oder sind Ihnen in der Metropolregion bekannt?“ über den Verteiler der Geschäftsstelle der Metropolregion Nürnberg, den Verteiler des CSR Netzwerks der Stadt Nürnberg sowie über einen eigenen internen Verteiler versendet.

Arbeitspaket 2: Durchführung der empirischen Erhebung:

Für die Durchführung der empirischen Erhebung und den Versand des ersten Fragebogens bot dankenswerterweise die Geschäftsstelle der Metropolregion Nürnberg ihre Unterstützung an. So konnte der 1. Fragebogen über den Verteiler der Geschäftsstelle an alle 594 Gemeinden und Städte sowie die elf kreisfreien Städte in der Metropolregion Nürnberg verteilt werden. Der erste Fragebogen wurde am 25. Juni 2015 versendet. Insgesamt gingen in dieser ersten Runde 59 Antworten mit 158 Netzwerknennungen ein. Nach Bereinigung der Doppelnennungen verblieben 128 Netzwerke und Initiativen. Diese wurden als Netzwerke in der Datenbank angelegt und fehlende Ansprechpartner und Kontaktdaten recherchiert. Am 23. Juli 2015 startete die tiefenanalytische Erhebung unter den Netzwerken mit dem zweiten Fragebogen. Die Rückläufer wurden bei Erhalt sofort erfasst und die genannten Netzwerkkooperationen und weitere Netzwerknennungen ausgewertet. Anhand vorab definierter Kriterien wurde entschieden, welche der genannten Netzwerke ebenfalls einen Fragebogen zugesendet bekommt. Wesentliche Ausschlusskriterien waren die Nennung von Behörden, Unternehmen, Parteien, kirchlichen Einrichtungen und Nennungen, die in der Anschlussrecherche nicht eindeutig identifiziert werden konnten. Für die einbezogenen Nennungen wurden wiederum Ansprechpartner recherchiert und ein Fragebogen zugesendet. Diese Schleife wurde über zehn Wochen hinweg durchlaufen. Netzwerke die nicht antworteten erhielten in regelmäßigen Abständen bis zu zwei Erinnerungsmails. In diesem Zeitraum konnten 279 Fragebögen an Netzwerke und -initiativen versendet werden. Der Fragebogen ging dabei auch an Netzwerke, die aus der Metropolregion heraus genannt wurden, aber ihren Sitz nicht in der Metropolregion Nürnberg haben, um auch die Verbindungen in die Metropolregion Nürnberg hinein und aus ihr heraus mit zu erfassen. Insgesamt antworteten 50,9 % der Netzwerke und von 44,8 % kam ein ausgefüllter und verwertbarer Fragebogen zurück. Insgesamt wurden 1.003 einzelne Nennungen gezählt. Nach Eliminierung von Duplikaten verblieben 649 eindeutige Nennungen, wovon 332 als Netzwerke klassifiziert werden konnten. Die restlichen Nennungen wurden aufgrund oben genannter Ausschlusskriterien aus der Erhebung ausgeschlossen. Jedoch konnten nicht alle 332 Netzwerke mit einem Fragebogen versehen werden, da die ermittelten E-Mail-Adressen nicht mehr existierten oder keine Kontaktdaten ermittelt werden konnten (einige Netzwerke bieten nur die Möglichkeit der Kontaktaufnahme über ein Formular an. Leider liefen die meisten Anfragen über die Kontaktformulare ins Leere). Schließlich erhielten wir einige „neue“ Nennungen an Netzwerken zum Ende des Erhebungszeitraums, die keinen Fragebogen mehr erhielten. In der Metropolregion Nürnberg konnten 221 Nachhaltigkeitsinitiativen und -netzwerke identifiziert werden. 98 Netzwerke (44,3%) sendeten einen ausgefüllten Fragebogen zurück.

Arbeitspaket 3: Auswertung der empirischen Erhebung

Räumliche Verteilung der Netzwerke in der Metropolregion Nürnberg

Insgesamt wurden in der Metropolregion Nürnberg 221 Netzwerke identifiziert. Die räumliche Verteilung der Netzwerke nach Gebietskörperschaften in der Metropolregion Nürnberg ist in Abbildung 2 dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass fast ein Viertel aller Nachhaltigkeitsnetzwerke ihren Sitz in Nürnberg und fast 60% der Netzwerke (123) ihren Sitz in den kreisfreien Städten der Metropolregion Nürnberg haben. Zieht man die Bevölkerungsverteilung (*Statistisches Bundesamt 2014*) in den elf kreisfreien Städten und 23 Landkreisen mit in

Betracht, so lebten fast ein Drittel der Menschen in den kreisfreien Städten (1,1 Mio. Menschen) und etwa 2/3 der Menschen in den Landkreisen (2,4 Mio. Menschen). Daraus ergibt sich eine Netzwerkdichte in den kreisfreien Städten von etwa 9.100 Einwohner/innen pro Netzwerk, während die Landkreise eine durchschnittliche Netzwerkdichte von etwa 24.000 Einwohner/innen pro Netzwerk aufweisen. Aber auch unter den kreisfreien Städten gibt es größere Unterschiede. So hat Nürnberg zwar absolut die meisten Netzwerke, jedoch kommen in Nürnberg auf ein Netzwerk ca. 9.200 Einwohner/innen, während die höchste Netzwerkdichte in Ansbach mit 3.600 Einwohnern pro Netzwerk vorherrscht, gefolgt von Bamberg mit 3.900 und 4.200 in Bayreuth.



Abb. 2: Identifizierte Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg nach kreisfreien Städten und Landkreisen

Thematische Ausrichtung der Nachhaltigkeitsnetzwerke in der Metropolregion Nürnberg und deren Verteilung im Raum

Von den 221 identifizierten Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen haben 98 an der empirischen Erhebung teilgenommen. Hierbei wird eine stärkere Fokussierung auf ökologische Themen in der Metropolregion Nürnberg sichtbar (vgl. Abbildung 3). Die beiden häufigsten Nennungen sind Umweltschutz (49%) und Klimaschutz (48%) sowie das Thema Energie (36,7% an fünfter Stelle). Die Nennung weiterer Themen (41,8% an 4. Stelle) zerfallen in einzelne sehr spezifische Themengebiete, die mehrheitlich dem ökologischen Themengebiet zugeordnet werden können. Bei den Entwicklungsthemen engagieren sich mehr Netzwerke im Bereich einer Regionalen Entwicklung (42,9% als in der Stadtplanung und -entwicklung). Dies könnte auch auf die Einwohnerverteilung in Städten und Landkreisen in der Metropolregion Nürnberg zurückzuführen sein. Deutlich weniger Netzwerke beschäftigen sich mit dem Themengebiet nachhaltiger Konsum. Hierunter wurden im Rahmen dieser Erhebung die Themengebiete Konsum und Verbraucherschutz (25,5% Fair Trade (19,4% und Bio und Demeter Landbau (18,4% subsumiert). Die wenigsten Netzwerke sind zu sozialen Fragestellungen aktiv. Die Themen Gleichstellung (5,1%, Förderung sozial Schwacher (9,2% und Integration (10,2% sind die am wenigstens genannten, wobei das soziale Engagement (33,7% wieder im Mittelfeld der Nennungen liegt. Mit Blick auf die Anzahl der Themennennungen ist die Mehrzahl der Netzwerke sehr fokussiert auf wenige Themengebiete. 58,2% der Teilnehmer nannten bis zu drei Themengebiete, in denen sie aktiv sind, und 77,6% der Netzwerke engagieren sich in bis zu 4 Themengebieten. Lediglich 3,1% der Netzwerke gaben an, in zwölf oder 13 von 13 Themengebieten aktiv zu sein.

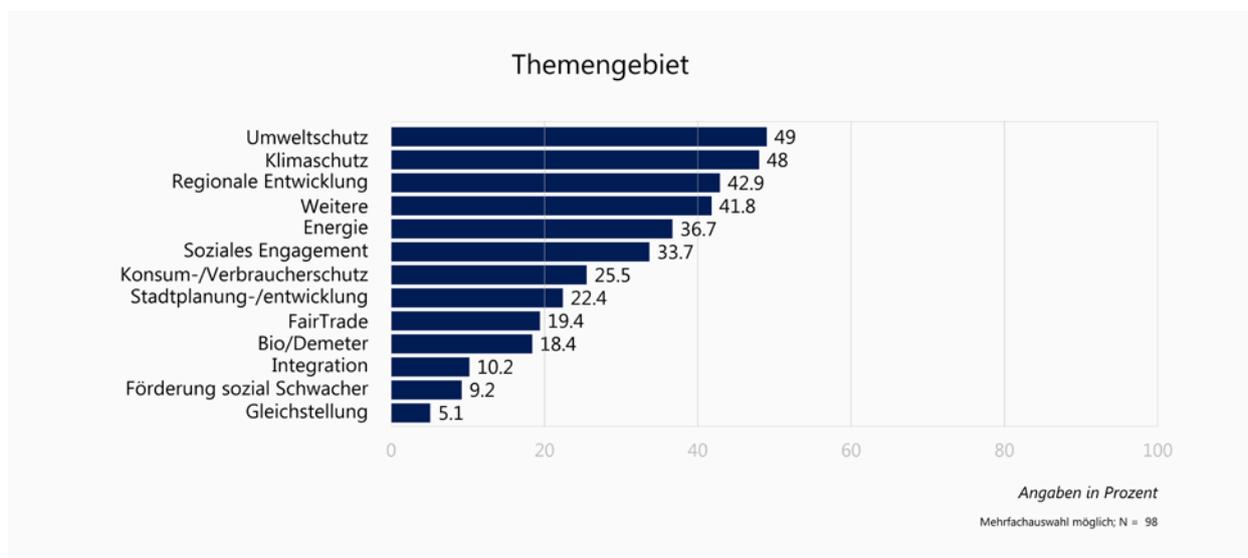


Abb. 3: Anzahl Nennungen je Themengebiet in Prozent

Für eine bessere Darstellung und Analyse der thematischen Verteilung an Netzwerken sowie zur Eliminierung des Effekts der Mehrfachnennungen wurden die Netzwerke in fünf Themencluster eingeordnet. Netzwerke, die überwiegend ökologische Fragestellungen bearbeiten, wurden dem Cluster Ökologie zugeordnet. In gleicher Weise erfolgte die Zuordnung zu den Clustern Konsum, Entwicklung und Sozial. Dem Cluster Nachhaltigkeit wurden Netzwerke zugeordnet, deren Zuordnung in mindesten zwei der vorgenannten Cluster notwendig wäre. Unterstützend wurden für diese Klassifizierung auch die offenen Fragen zu der Besonderheit und dem Ziel des Netzwerks mit herangezogen. Hierbei ergibt sich folgendes Bild: In der Metropolregion Nürnberg nehmen Netzwerke mit ökologischer Orientierung mit 38,8% den größten Anteil ein. Je 18,4% der Netzwerke sind fokussiert auf die Themenfelder Konsum und Soziales, gefolgt von den Entwicklungsnetzwerken mit 16,3%. Themenfelder-übergreifende Nachhaltigkeitsnetzwerke haben nur einen Anteil von 8,2%. Auch dies unterstreicht nochmals die oben ausgeführte Fokussierung der Netzwerke auf wenige Themengebiete. In Abbildung 4 ist diese thematische Klassifizierung nach Gebietskörperschaften aufgeschlüsselt dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass in den Städten Nürnberg und Bamberg bereits die gesamte Vielfalt an Netzwerken entstanden ist. Ebenfalls eine hohe thematische Diversifikation ist in der Stadt Ansbach und dem Landkreis Nürnberger Land vorhanden. Die thematische Verteilung in den übrigen Gebietskörperschaften wäre in einem gesonderten Projekt nochmals zu untersuchen, inwieweit es hier Zusammenhänge in Bezug auf besondere Herausforderungen in der jeweiligen Region gibt, beispielsweise Demographischer Wandel und Abwanderung aus ländlichen Gebieten.

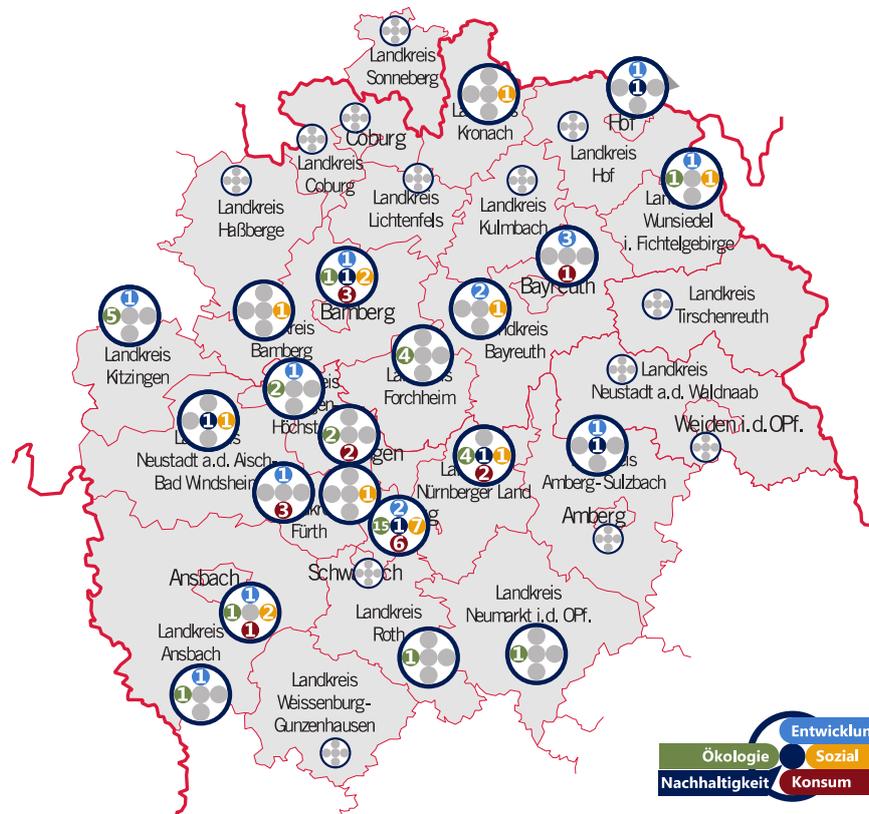


Abb. 4: Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg nach Themenclustern (N=98)

Entwicklung der Anzahl der Netzwerke und der Mitgliederzahlen nach Themenclustern seit 1970

Bei der Analyse der Gründungsjahre wird deutlich, dass sich die Anzahl an Netzwerkgründungen zwischen 1970 und 2000 sehr stetig und moderat verhielt und pro Jahr im Durchschnitt 0,71 Netzwerke gegründet wurden. Im Zeitraum zwischen 2001 und 2015 ist die Gründungsrate deutlich auf 4,8 Netzwerke pro Jahr angestiegen. Die jährliche Wachstumsrate von 1970 bis 2015 liegt bei 7,8% und für die letzten 15 Jahre ergeben sich 9,5%. Betrachtet man die Anzahl der Netzwerke über die Zeit (siehe Abbildung 5, so ist der charakteristische Verlauf einer logistischen Wachstumsfunktion vom Beginn bis in die Beschleunigungsphase hinein zu erkennen. Eine Tendenz hin zur Sättigung ist bisher nicht erkennbar, sodass zu erwarten ist, dass die Anzahl der Netzwerke in den kommenden Jahren exponentiell weiter wachsen könnte. Das Diagramm umfasst den Zeitraum ab 1970. Davor wurden drei Netzwerke gegründet, wobei zwei über 100 Jahre bestehen und über den Wandel der Zeit sich heute als Nachhaltigkeitsnetzwerke sehen. Die Entwicklung der relativen Anteile der Netzwerke nach Themenfeldern von 1970 bis 2015 unterlag bis 2010 noch starken Schwankungen. Ab 2010 kommt es zu einer Stabilisierung in etwa auf der heutigen Verteilung. Soll langfristig ein thematisch ausgeglichenes Verhältnis angestrebt werden – mit anderen Worten: wird ein Anteil von 20% pro Themenfeld angestrebt – so muss die Gründungsrate in den nächsten Jahren in den Themenfeldern Konsum, Entwicklung und Soziales ansteigen und im Bereich Nachhaltigkeit deutlich erhöht werden.

Ein sehr ähnliches Bild ergibt die Entwicklung der Mitgliederzahlen (vgl. Abbildung 6, unter der Annahme, dass die Netzwerke seit ihrer Gründung linear zu der heutigen Mitgliederzahl gewachsen sind. Auch hier ist der charakteristische Verlauf einer Exponentialfunktion zu erkennen und auch hier ist zu erwarten, dass die Zahl der Engagierten in den nächsten Jahren noch deutlich ansteigen wird. Nachdem es ein unendliches exponentielles Wachstum in diesem Bereich nicht geben kann, bleibt abzuwarten, wie lange dieses schnelle Wachstum andauert und auf welchem Niveau schließlich eine Wachstumsgrenze erreicht wird.

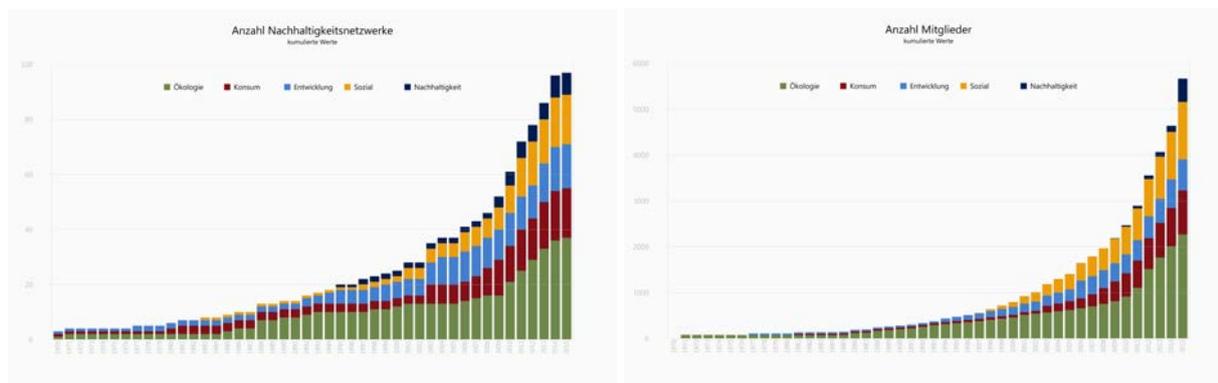


Abb. 5,6: Anzahl Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen sowie Anzahl Mitglieder in der Metropolregion Nürnberg von 1970 bis 2015

Klassifizierung der Netzwerke entlang der Bedeutung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension

Im Rahmen des Fragebogenversands wurde bewusst auf eine definitorische Vorgabe zu Nachhaltigkeitsnetzwerken verzichtet, um zu vermeiden, dass die Nennung von Netzwerken, die nicht in mehreren Themenfeldern tätig sind, unterlassen wird sowie das Netzwerke nicht teilnehmen, die sich nicht innerhalb der Grenzen einer vorgegebenen Definition sehen. Ferner führt eine Definition von Nachhaltigkeitsnetzwerken entlang thematischer Schnittmengen zwischen ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimension dazu, dass die vielfältigen Abstufungen, die darin möglich sind, unscharf wiedergegeben werden. Eine Unterteilung in ökonomisch-ökologisch, ökonomisch-sozial, sozial-ökologisch und nachhaltig führt ferner dazu, dass reine ökologische, soziale oder ökonomische Netzwerke nicht als Nachhaltigkeitsnetzwerke gelten dürften, obwohl sie thematisch spezialisiert einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung leisten. Daher wurde das Konzept des Nachhaltigkeitsdreiecks nach Kleine adaptiert (Kleine 2009). Darin sind, als Dreieck dargestellt, 10 Abstufungen zwischen Ökonomie, Ökologie und Sozialem möglich und mit der (geometrischen Logik des Gibbschen Dreiecks verknüpft, welches in der Chemie für die grafische Darstellung von ternären Gemischen Anwendung findet. Dieses Konzept, entwickelt für Unternehmen zur Einordnung operativer und strategischer Maßnahmen, wurde im Projekt auf die Anwendung für Nachhaltigkeitsnetzwerke modifiziert. Hierbei konnten sich die Teilnehmer nicht selbst im Nachhaltigkeitsdreieck einordnen, sondern sollten darüber eine Einschätzung abgeben, welche Bedeutung auf einer Skala von 1 bis 10 die Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales in ihrer Netzwerkarbeit haben. Die Einordnung in das Nachhaltigkeitsdreieck wurde in der Auswertungsphase aus den relativen Anteilen der Nennungen berechnet. Die Verteilung der Netzwerke im Nachhaltigkeitsdreieck ist in Abbildung 7 dargestellt. Auch wenn diese Klassifizierung im Dreieck nicht deckungsgleich mit der Klassifizierung in Themenfeldern ist, so ergibt sich hier ein deutlich höherer Anteil von 32,3% an Nachhaltigkeitsnetzwerken, während die Nachhaltigkeitsnetzwerke entlang einer thematischen Klassifizierung nur einen Anteil von 8,2% haben. Dies unterstreicht, dass eine rein thematische Definition nicht mit der Selbstwahrnehmung vereinbar ist. Eine Definition für Nachhaltigkeitsnetzwerke sollte sich daher mehr an der Frage orientieren, welchen Beitrag ein Netzwerk für eine nachhaltige Entwicklung leistet und wie dieser Beitrag von den Netzwerkmitgliedern wahrgenommen wird.

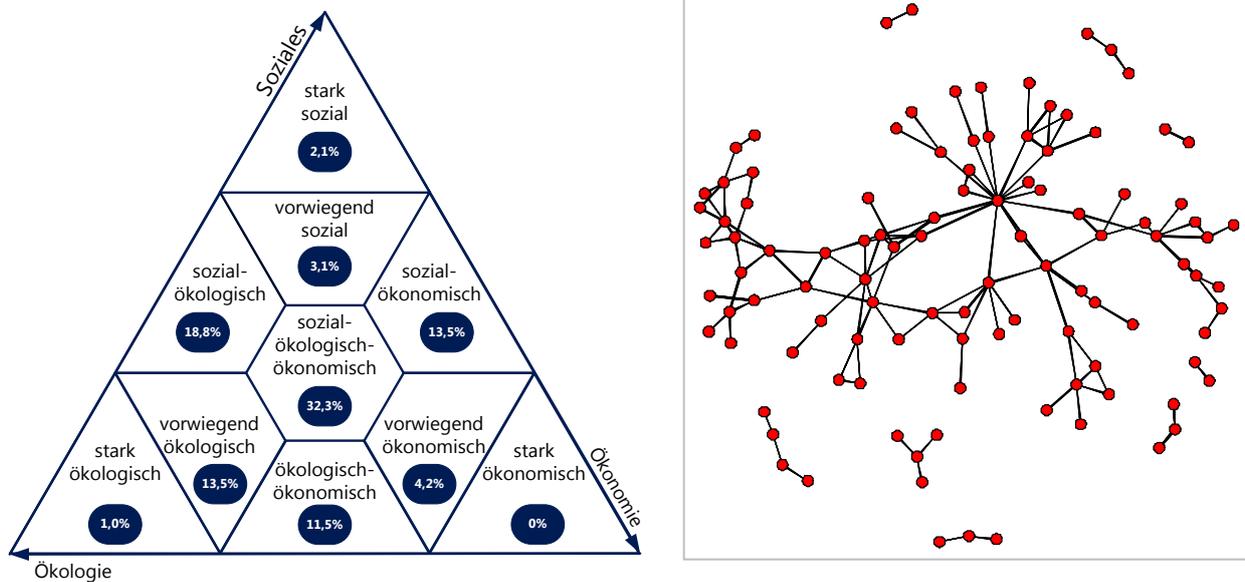


Abb. 7,8: Klassifizierung der Nachhaltigkeitsnetzwerke im Nachhaltigkeitsdreieck nach Kleine (links). Kooperationen zwischen Nachhaltigkeitsnetzwerken und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg (rechts).

Identifikation strategisch bedeutsamer Nachhaltigkeitsnetzwerke in der Metropolregion Nürnberg

Die Auswerte- und Interpretationsarbeiten mit netzwerktheoretischen Methoden sind zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht vollständig abgeschlossen. Jedoch zeigt sich mit Blick auf einen ersten Netzwerkgraphen (siehe Abbildung 7, in dem die Kooperationsbeziehungen zwischen den Netzwerken dargestellt sind, dass einige strategisch bedeutsame Nachhaltigkeitsnetzwerke mit Multiplikatorfunktion identifiziert werden können.

Des Weiteren sehen die Nachhaltigkeitsnetzwerke als Hauptzweck ihrer Netzwerkarbeit den Informations- und Erfahrungsaustausch, Aufklärung und Bildung sowie die Durchführung von Projekten. Dies tun sie aber nicht nur innerhalb der Netzwerke, sondern vernetzen sich für diese Aufgaben auch untereinander. Wie bereits oben erwähnt, kann dies nur ein erster Überblick über die Vernetzung von Netzwerken sein, da diese Informationen über einen Fragebogen und nicht über Interviews erhoben wurden, sodass diese Darstellung noch Lücken aufweist und zu erwarten ist, dass die Vernetzung in der Realität noch einen viel höheren Ausprägungsgrad aufweist, als hier erhoben. Hier bietet sich zukünftig ein neues weites Forschungsfeld in Bezug auf Vernetzung von Netzwerken und den Austausch von Informationen zwischen Netzwerken und die Diffusion des Leitbilds einer nachhaltigen Entwicklung in der Metropolregion Nürnberg sowohl auf der gesellschaftlichen als auf der politischen und unternehmerischen Ebene.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Im Rahmen des Vorlauftorschungsprojekts konnte eine erste Verortung der Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen in der Metropolregion Nürnberg vorgenommen werden und wertvolle Erkenntnisse für den Einstieg in ein bislang wenig erforschtes Themengebiet erlangt werden. Weitere Forschungsfragen konnten ebenfalls identifiziert werden.

Die Ergebnisse werden 2016 im Journal „Ökologisches Wirtschaften“ veröffentlicht. Ferner arbeiten die Studierenden im BW-Masterkurs „Sustainable Development“ mit den Daten und entwickeln einen broschürenorientierten Ansatz für die Breitenkommunikation der Ergebnisse an die Nachhaltigkeitsnetzwerke und -initiativen, Politiker, Unternehmen und die interessierte Öffentlichkeit in der Metropolregion. Die Veröffentlichung ist für Ende Januar 2016 geplant.

Im Dezember 2015 werden die Ergebnisse in einem Workshop mit den identifizierten strategisch bedeutsamen Netzwerken, der Geschäftsstelle der Metropolregion Nürnberg, Vertretern aus der Politik und Unternehmen sowie der IHK für Mittelfranken vorgestellt und über die weitere Ausrichtung der zukünftigen Forschungsprojekte diskutiert.

Ferner ist ein Kooperationsprojekt mit der FH Würzburg, der Stadt Nürnberg und der IHK für Mittelfranken in Vorbereitung. Ziel hierbei wird es sein, die Kooperationsbereitschaft von Unternehmen sowie deren Informationsbedürfnisse mit den Kooperationspotentialen der Netzwerke abzugleichen.

Danksagung

Herzlichen Dank an die Geschäftsstelle der Metropolregion Nürnberg für die Unterstützung bei der empirischen Erhebung sowie für die Erlaubnis, die Karte der Metropolregion Nutzen zu dürfen. Des Weiteren gilt unser Dank der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm für die Förderung des Projektes und die daraus erwachsene Möglichkeit in einem neuen Forschungsfeld einen wichtigen Grundstein legen zu dürfen. Zu guter Letzt möchten wir uns bei allen Teilnehmern der empirischen Erhebung für das Ausfüllen der Fragebögen sowie für die zahlreichen Zuschriften und Anrufe mit wertvollen Hinweisen und Informationen bedanken.

6. Literaturverzeichnis

Kleine, Alexandro (2009): Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie – Ökologie, Ökonomie und Soziales Integrieren, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2014): Daten aus dem Gemeindeverzeichnis Kreisfreie Städte und Landkreise nach Fläche und Bevölkerung auf Grundlage des ZENSUS 2011 und Bevölkerungsdichte. Online Verfügbar: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/04Kreise.html> (Zugriff: 19.10.2015).

Wolf, Christof (2010): Egozentrierte Netzwerke: Datenerhebung und Datenanalyse. In: Stegbauer, Christian und Häußling, Roger (Hrsg): Handbuch Netzwerkforschung, Wiesbaden, S. 471-483.

SIMA – Sicherheit und Mobilität im Alter durch rechtssichere und wirtschaftliche Nutzung von Informationstechnologien

Prof. Dr. Martin Heckelmann, LL.M. (Cornell)
Fakultät Betriebswirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg

Christine Schödel, B.Tech. (Bellville/Kapstadt)
Dipl.-Wirtschaftsjuristin (FH)
Fakultät Betriebswirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Gegenstand der Vorlauftforschung ist die Untersuchung des rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmens innerhalb dessen die zur Verfügung stehenden Informations- und Kommunikationstechnologien zur Erfüllung der Sicherheits- und Mobilitätsbedürfnisse älterer Menschen eingesetzt werden können. Lebensqualität im Alter hängt maßgeblich davon ab, wie sicher sich ältere Menschen fühlen. Um gerade älteren Menschen ein langes selbstbestimmtes Leben in ihrer eigenen Wohnung und auch außerhalb zu ermöglichen, werden seit vielen Jahren Hausnotrufsysteme eingesetzt. Die Nachteile der gängigen Systeme liegen in einer vergleichsweise geringen Tragequote des mobilen Signalgebers, der Bindung an die Wohnung und einer hohen Quote von Fehlalarmen, die unverhältnismäßig hohe Personalkosten verursachen. Zur Behebung dieser Nachteile wird aktuell an verschiedenen technischen, teils hoch investiven Lösungen gearbeitet. Um aber auch eine kostenwirtschaftliche Alternative zu den gängigen Systemen bieten zu können, ist eine kritische Auseinandersetzung mit betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten erforderlich. Neben dem Markt und den Kundenbeziehungen ist von Bedeutung, welche steuerlichen Vergünstigungen bestehen und wie Assistenzsysteme beschaffen sein müssen, um durch die Sozialversicherungsträger refinanziert werden zu können.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Betriebswirtschaft
Projektleitung	Prof. Dr. Martin Heckelmann
Kontaktdaten	E-Mail: martin.heckelmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Lebensqualität im Alter hängt maßgeblich davon ab, wie sicher sich ältere Menschen fühlen. Angesichts der demografischen Entwicklung nimmt die Zahl der Menschen zu, deren Sicherheitsgefühl bedient werden muss. Gleichzeitig stehen wegen des gerade in der Pflege bestehenden Fachkräftemangels wie auch wegen der von den Trägern der Sozialversicherung beklagten begrenzten finanziellen Mittel weniger Personalressourcen zur Verfügung. Der Druck, Lösungen zu finden, steigt zusätzlich durch den zu erwartenden längeren Verbleib älterer Menschen in ihrer eigenen Wohnung. Zwar ist dies seit jeher der erklärte Wunsch der Betroffenen, da die eigenen vier Wände und die gewohnte Umgebung des bezogenen Dorfes oder Stadtteils Ausdruck eines selbstbestimmten Lebens bedeuten. Neu sind jedoch die erheblichen finanziellen Anreize, die der Gesetzgeber mit den Pflegestärkungsgesetzen schafft und die die Menschen in weit höherem Maße als bisher davon abhalten werden, vorzeitig in eine Pflegeeinrichtung umzuziehen.

Um den Menschen ein langes, selbstbestimmtes Leben in ihrer eigenen Wohnung zu ermöglichen, müssen folglich geeignete Innovationen gefunden werden. Technisch gesehen sind moderne Informations- und Kommunikationstechnologien ohne weiteres in der Lage, mittels Überwachungs- und Alarmfunktionen etwa die Folgerisiken von Stürzen zu senken und den Betroffenen damit mehr Selbstvertrauen und Freiheit zu schenken. Weitgehend unerforscht sind jedoch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie die Frage, wie der Einsatz dieser Technologien in das Leistungssystem der Kranken- und Pflegekassen involviert werden kann.

In den 1980er Jahren wurde das System des Hausnotrufs entwickelt und kommt seither in wesentlich unveränderter Form zum Einsatz. Kernstück ist ein stationäres Gerät, das dem Festnetztelefon vorgeschaltet wird und die Verbindung zu einer Hausnotrufzentrale herstellt. Ausgelöst wird die Rufherstellung durch Druck auf einen Taster am Gerät oder auf einen Knopf an einem batteriebetriebenen mobilen Signalgeber, der um den Hals oder am Arm getragen wird.

Allerdings setzt dies voraus, dass der Träger oder die Trägerin auch physisch in der Lage ist, rechtzeitig ein Notrufsignal senden zu können. Nach einem Sturz beispielsweise ist dies jedoch meist nicht mehr möglich, da Verletzungen wie z. B. schwere Prellungen oder Knochenbrüche gerade bei älteren Menschen verstärkt auftreten und es ihnen in einem solchen Falle teilweise nicht mehr möglich ist, den Notruftaster zu betätigen.

Überdies sorgt die erfahrungsgemäß geringe Tragequote von etwa 40% dafür, dass selbst dieses rudimentäre Hilfssystem nicht durchgängig zur Verfügung steht. Ein weiterer großer Nachteil besteht darin, dass auch die um den Hals oder am Arm getragenen Sender den Kontakt zur Basisstation über eine Distanz von nur wenigen Metern aufbauen können. Der Betroffene ist somit nur in seiner Wohnung sicher, während er etwa in der Zeit seiner Einkäufe oder Besuche bei Freunden auf den Schutz des Hausnotrufs verzichten muss.



Abb. 1: Technische Grundausstattung eines Hausnotrufsystems: Feste Station



Abb. 2: Technische Grundausstattung eines Hausnotrufsystems:
Mobiler Druckknopf als Armband



Abb. 3: Technische Grundausstattung eines Hausnotrufsystems:
Mobiler Druckknopf als Halsband

Aktuell wird an verschiedenen Lösungen gearbeitet, diesen technologischen Rückstand zu beseitigen. Zum einen werden dazu immobiliengebundene Assistenzsysteme erforscht. Herausragende Referenzprojekte sind etwa „SOPHIA“ und „ADELE“, die am *ieg* der TH Nürnberg unter Federführung von Prof. Dr. Wolfram Stephan entwickelt wurden. Zum anderen ist künftig mit ortsungebundenen Assistenzsystemen zu rechnen, die auf Basis von Mobilfunksystemen sowie Standard-Hardware und -Software eine weitaus bessere Funktionalität bei niedrigeren Investitions- und Betriebskosten gewährleistet und auf Grund ihrer Ortsungebundenheit auch außerhalb der eigenen Wohnung für Sicherheit sorgen, etwa beim Einkauf oder bei einem Spaziergang.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Die Vorlaufforschung zielt darauf ab, den rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmen zu untersuchen, innerhalb dessen die zur Verfügung stehenden Informations- und Kommunikationstechnologien zur Erfüllung der Sicherheits- und Mobilitätsbedürfnisse älterer Menschen eingesetzt werden können. Dazu gehören folgende Fragestellungen:

- Was sind die Voraussetzungen für eine Refinanzierung von Hausnotrufsystemen durch die Pflegekassen? Wie lassen sich moderne Assistenzsysteme in diesen rechtlichen Rahmen integrieren? Können reine Software-Lösungen als Pflegehilfsmittel im Hilfsmittelverzeichnis des GKV-Spitzenverbands gelistet werden? Kann die Refinanzierung hilfsweise durch die Krankenkassen erfolgen? Wie sind die sozialen Sicherungssysteme weiterzuentwickeln, um dem steigenden Bedarf an Betreuung durch Einsatz von Technik gerecht zu werden?
- Wie sind Hausnotrufsysteme steuerrechtlich einzuordnen? Welche Unterschiede bestehen in der steuerlichen Behandlung einerseits der privaten und andererseits der gemeinnützigen Betreiber? Wie ist einer etwaigen Ungleichbehandlung rechtlich und betriebswirtschaftlich entgegenzuwirken?
- Welche datenschutzrechtlichen Bedingungen gelten für die Alarm- und Überwachungsfunktionen? Wie beurteilt sich der Einsatz von Assistenzsystemen bei unter Betreuung stehenden Personen? Unter welchen Voraussetzungen ist der Datenaustausch zwischen den verschiedenen privaten und öffentlichen Stellen möglich, beispielsweise um nach Eingang einer Meldung in der Hausnotrufzentrale die Feuerwehr zu alarmieren?
- Welche Bedarfe und Technologien bieten die größten Potenziale, um Sicherheit und Mobilität im Alter zu gewährleisten?

Mittelfristig soll insbesondere der Einsatz ortsungebundener Assistenzsysteme erforscht und unter Einsatz von Drittmitteln und in Kooperation mit Industriepartnern Technologien und Produkte bis zur Marktreife entwickelt werden.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Die rechtlichen Ergebnisse wurden durch Untersuchung insbesondere der sozial- und steuerrechtlichen Rechtsprechung und des Schrifttums ermittelt. Die ökonomischen Daten wurden einerseits durch eigene Erhebungen und Interviews generiert. Andererseits wurden die für die hiesigen Fragestellungen relevanten Ergebnisse vorhandener Studien zusammengetragen und durch Verknüpfung von Teilergebnissen neue Aussagen gewonnen. Da das Projekt noch nicht abgeschlossen ist, liegen noch nicht zu allen Fragestellungen belastbare Ergebnisse vor. Nachstehend seien einige vorläufige Ergebnisse wiedergegeben.

Die sozialen Sicherungssysteme sind zurzeit noch nicht auf den Einsatz von Assistenzsystemen vorbereitet. Der Hausnotruf gehört bislang zu den wenigen AAL-Maßnahmen, die Gegenstand der Leistungen der Pflegekassen sind. Zwar befürwortet das Bundesgesundheitsministerium in einer jüngst veröffentlichten Studie die Weiterentwicklung von Assistenzsystemen und fordert die Aufnahme entsprechender neuer Kategorien in das Hilfsmittelverzeichnis. Jedoch hat dies bislang zu keiner Neuinterpretation der Kriterien geführt, die das Sozialgesetzbuch XI und das Sozialgesetzbuch XII an die Finanzierung durch die Pflegekassen und durch die Sozialhilfe stellen.

Zielführend wäre die Einordnung moderner Assistenzsysteme als Pflegehilfsmittel schon auf Basis der heutigen Gesetze und der aktuellen Rechtsprechung. Allerdings sind Assistenzsysteme mit der bisherigen Nomenklatur der Sozialversicherungssysteme nur schwer erfassbar. Die Krankenkasse ist zuständig für die Finanzierung von Hilfsmitteln, also Krankenbehandlungen und Maßnahmen zum Behinderungsausgleich im Sinne medizinischer Rehabilitation. Die Pflegekasse hat demgegenüber für die Erleichterung der Pflege, die Linderung von Beschwerden und die Ermöglichung einer selbständigen Lebensführung zu sorgen. Für Luxus- und Komfort-Maßnahmen schließlich, muss der Versicherte selbst aufkommen.

Solange das Notrufsystem Hardware-basiert ist, kommt ihm ein Zweck zur „Ermöglichung einer selbständigen Lebensführung“ zu, so dass eine Finanzierung durch die Pflegekassen unter bestimmten Umständen – etwa der CE-Kennzeichnung, der Einrichtung einer Notrufzentrale und der Protokollierung der Verbindungsdaten – gesichert ist. Problematisch sind hingegen reine Software-Lösungen, denen die traditionell im Pflegehilfsmittelrecht geforderte Verkörperung des Hilfsmittels fehlt. Richtigerweise müssen Software-Lösungen als Pflegehilfsmittel

Anerkennung finden. Zwar verlangt die Rechtsprechung bisher, dass es sich bei Pflegehilfsmitteln um Sachen handeln muss. Damit verfolgt sie jedoch nur den Zweck, Hilfsmittel als ersatzfähige *Produkte* von den Heilmitteln als ersatzfähige *Dienstleistungen* abzugrenzen. Dieses Bedürfnis fehlt, wenn sich die auf einem Speichermedium oder per Download bereitgestellte Software aus Sicht des Anwenders wie ein Produkt und nicht wie eine Dienstleistung darstellt und daher keinerlei Überschneidungen mit dem Heilmittelrecht zu befürchten sind.

Überdies sind schon heute viele Hilfsmittel anerkannt, die zwar auf einer Kombination von Soft- und Hardware beruhen, bei denen das eigentliche Know-How freilich in den implementierten Algorithmen steckt. Beispiele sind Farberkennungsgeräte für Blinde, Fernsehlesegeräte und Notebooks mit spezieller Software. Auch hier ist der eigentliche Mehrwert in der Software verkörpert. Ob die passende Standard-Hardware mitgeliefert wird oder nicht, kann für die Beurteilung des Pakets als spezifisches Hilfsmittel keinen Unterschied machen.

In steuerrechtlicher Hinsicht sind vor allem die umsatzsteuerlichen Privilegierungen nach § 4 Nr. 16 und Nr. 18 UStG von Interesse. Danach sind solche Hausnotrufsysteme von der Umsatzsteuer befreit, die von öffentlichen Einrichtungen, Alten- und Pflegeheimen oder von anerkannten Einrichtungen mit „sozialem Charakter“ als Leistungsbündel i. S. v. Fahrdiensten und ärztlicher Erstversorgung angeboten werden, wenn sie unter § 4 Nr. 16 UStG oder unter § 4 Nr. 18 UStG eingeordnet werden können. Die Einordnung hängt davon ab, ob das Hausnotrufsystem in einem Alten- oder Pflegeheim nach § 4 Nr. 16 UStG eingesetzt wird oder zwar in einem Privathaushalt -, aber durch eine Einrichtung mit Gewinnerzielungsabsicht, die die Voraussetzungen nach § 4 Nr. 18 UStG erfüllt, betrieben wird.

Im datenschutzrechtlichen Zwiespalt stehen das aus dem Bundesdatenschutz resultierende Gebot der Datenvermeidung und -sparsamkeit einerseits und das Datenerhebungsinteresse der Sozialversicherungsträger andererseits. Schon die vom GKV-Spitzenverband aufgestellte Anforderung an Hausnotrufsysteme, die Notrufverbindungen im Detail zu protokollieren, sind unter dem Aspekt des höherrangigen BDSG und erst recht des verfassungsrechtlich garantierten allgemeinen Persönlichkeitsrechts höchst problematisch. Im Ergebnis darf die Zulassung von Notrufassistenzsystemen nicht davon abhängig gemacht werden, dass Daten in bestimmtem Umfang erhoben werden. Es ist allein Sache des Kunden, im Wege von ausdrücklichen Einverständnissen das Maß der bei ihm erhobenen und gespeicherten Daten zu bestimmen und damit die Datensparsamkeit in einen Ausgleich mit seinem Interesse an bestmöglicher Hilfe im Notfall zu bringen.

Zielgruppen von Notrufassistenzsystemen sind pflegebedürftige und hochaltrige Personen. Die Zahl der Pflegebedürftigen wird von zurzeit etwa 2,5 Mio. auf geschätzte 3,4 Mio. im Jahr 2030 steigen. Der Zuwachs an Hochaltrigen wird im Zeitraum von 1999 bis 2030 sogar auf 73% geschätzt, die Zahl der Über-80-Jährigen wird demnach von 3,6 Mio. auf geschätzte 6,3 Mio. steigen.

Demgegenüber nimmt sich die Zahl der deutschen Hausnotrufkunden von 350.000 vergleichsweise bescheiden aus. Nur 1,9 Prozent aller Deutschen über 65 Jahre nutzen bislang ein Hausnotrufsystem. Im europäischen Vergleich ist dies gering – in Großbritannien beträgt die Quote 7,8 Prozent. Dies zeigt das erhebliche Entwicklungspotential wie auch die Abwesenheit von Produkten, die den derzeitigen technologischen Stand abbilden.

Weiterer Schub für die Zahl der potentiellen Hausnotrufkunden geht von der zweiten Stufe der Pflegestärkungsgesetze aus. Nach Inkrafttreten zum 1.1.2017 werden ambulante Leistungen stark gefördert und stationäre Pflegeleistungen gekürzt. In der vom Gesetzgeber ausdrücklich gewünschten Konsequenz werden Menschen künftig wesentlich länger in ihrer Wohnung verbleiben, bevor sie in ein Pflegeheim ziehen. Dies erzeugt Bedarf an Notrufassistenzsystemen.

Datenschutz spielt für die Betroffenen keine erhebliche Rolle. Wenn es um die Sicherheit und Gesundheit geht, wird die Sorge um den Umgang mit den eigenen Daten hintangestellt. Ferner wächst die Akzeptanz technischer Assistenzsysteme mit dem zunehmend selbstverständlichen Umgang mit elektronischen Geräten.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Die Forschungsergebnisse bezüglich der pflege- und steuerrechtlichen Aspekte werden Basis separater Veröffentlichungen sein.

Überdies dienen die Erkenntnisse der Vorlaufforschung als Grundlage für die Anschlussforschung. In dieser sollen auch technische Lösungen entwickelt und in die Praxis umgesetzt werden. Hierzu tragen die begonnenen Kooperationen mit dem Usability Engineer Center der TH Nürnberg sowie Industriepartnern bei. In Vorbereitung sind Anträge für ein ZIM-Forschungsprojekt des BMWi sowie für andere geeignete Förderprogramme des BMBF, etwa „SILQUA-FH (Soziale Innovationen für Lebensqualität im Alter)“, „Pflegeinnovationen 2020“, „AAL Joint Program“ oder „Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt 2015-2020“.

Ziel der Anschlussforschung ist es, die bereits untersuchten rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekte zu vervollständigen und um ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse zu ergänzen, um somit ein vollständiges Bild von den Möglichkeiten des Einsatzes technischer Assistenzsysteme zur Gewährleistung von Sicherheit und Mobilität im Alter zu erhalten. Eine Verwertung der Ergebnisse im Rahmen einer Ausgründung, Lizenzierung oder Kooperation mit den Industriepartnern wird angestrebt.

6. Bildnachweis

Abbildungen 1 - 3: fotolia

Finanzierung von Innovationen – Ökonomische Analyse und Verständnis rechtlicher Bestimmungen

Prof. Dr. Dirk Honold
Fakultät Betriebswirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Das Projekt befasst sich mit der ökonomischen Analyse von rechtlichen Bestimmungen in Finanzierungsverträgen mit Risikokapital. Ziel ist es ein verbessertes Verständnis und mehr Transparenz im Finanzierungsprozess für alle involvierten Parteien herzustellen. Des Weiteren sollen die Erkenntnisse genutzt werden, um Finanzierungsverträge zwischen Gründer und Investoren zu optimieren und fair zu gestalten.

Im Folgenden wird aufgrund der Vertraulichkeit des Projekts anstelle einer detaillierten Beschreibung ersatzweise nur ein Teilergebnis durch einen Auszug aus der Publikation „Neue Formen der Eigenkapitalfinanzierung für Innovation & Wachstum – Strukturen, Risiko und Kapitalkosten“, in CORPORATE FINANCE 6/ 2015 S.197-205 veröffentlicht.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Januar 2015 bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Betriebswirtschaft / Kompetenzzentrum Finanzen
Projektleitung	Prof. Dr. Dirk Honold
Kontakt Daten	E-Mail: dirk.honold@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

2.1. Abstract

Wachstumsprojekte sind häufig sehr kapitalintensiv und riskant. Zur Finanzierung ist daher i.d.R. Eigen- bzw. Mezzanine-Kapital nötig. Reichen die im Unternehmen gebildeten Rücklagen nicht aus, muss externes Eigenkapital in das Unternehmen fließen. Minderheitsbeteiligungen, Beteiligungen über eine Projektzweckgesellschaft und Strukturierungen mit Venture Capital-Fonds bilden bei entsprechender Ausgestaltung einen sinnvollen Weg, die Wachstumsoption unter Erhalt der Unabhängigkeit des Unternehmens zu finanzieren.

2.2. Einleitung

Fortschreitende Globalisierung, disruptive Innovationen und sich verändernde Geschäftsmodelle stellen Mittelständler und Familienunternehmen heutzutage immer wieder vor große strategische Herausforderungen. [1] Junge, innovative Unternehmen übernehmen in Teilen die Innovationsführerschaft bzw. verstehen es geschickt, durch neue Geschäftsmodelle in bestehende Märkte vorzudringen und neue Märkte zu schaffen. Des Weiteren ist ein zunehmendes Zusammenwachsen von „Old Economy“ und „New Economy“ zu beobachten. [2] Nachhaltiges Wachstum, in Form von Innovation [3] und Expansion, [4] bildet vor diesem Hintergrund einen wesentlichen Baustein, um wettbewerbsfähig zu bleiben und langfristig das Überleben des Unternehmens zu sichern. [5] Teilweise werden jedoch betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvolle Wachstumsprojekte im etablierten Mittelstand nicht durchgeführt. [6] Ein Mangel an Eigenkapital inkl. eines nicht hinreichenden Spielraums der Innenfinanzierung und hohe Risiken der Projekte gehören zu den Hauptgründen dafür. [7] Eine alternative Finanzierung durch externes Eigenkapital wird aber insbesondere bei Familienunternehmen unter anderem aufgrund der mit der Beteiligung einhergehenden Rechte für die neuen Kapitalgeber sowie des häufig beklagten Renditedrucks und der „Exitproblematik“ bei der Finanzierung durch Finanzinvestoren häufig sehr kritisch gesehen. [8] Durch die Wahl der richtigen Finanzierungsform und deren geschickten Strukturierung ist es für Unternehmen jedoch möglich, diese Hindernisse zu überwinden und den strategischen Handlungsspielraum durch externes Eigenkapital zu erweitern.

3. Ziele

Dieser Beitrag befasst sich mit innovativen Möglichkeiten der Eigenkapitalfinanzierung von Wachstumsprojekten, mit dem Fokus auf die Ausgestaltung aus Unternehmenssicht und den Auswirkungen auf Risiko und Kapitalkosten unter Berücksichtigung des Erhalts der Unabhängigkeit des Unternehmens. Kapitel 4.1. gibt einen Überblick über die verschiedenen Kapitalarten sowie deren unterschiedlichen Einsatz- und Ausgestaltungsmöglichkeiten. Kapitel 4.2. setzt sich mit bisher wenig bekannten Modellen zur Finanzierung von Wachstumsprojekten auseinander. Dabei wird insbesondere die Ausgestaltung der Finanzierungsmodelle beleuchtet und auf deren unterschiedlichen Auswirkungen auf Rendite und Risiko aus Sicht des Unternehmens eingegangen. Abschließend fasst Kapitel 4.3. den Beitrag zusammen.

4. Herangehensweise und Ergebnisse

4.1. Kapitalarten, Ausgestaltung und Umverteilungsmechanismen

Grundsätzlich können wachstumsfördernde Investitionen mit Eigen-, Fremd- und Mezzanine-Kapital finanziert werden, wobei Mezzanine je nach Ausgestaltung mehr Eigen- oder Fremdkapital-Charakter haben kann. [9] Doch nicht jede Kapitalart eignet sich gleichermaßen für den jeweiligen Finanzierungsanlass. Des Weiteren beeinflusst die Wahl der Kapitalform und die Ausgestaltung der Finanzierung die Zahlungsströme sowie die Risikoverteilung zwischen Unternehmen und Kapitalgeber.

4.1.1. Differenzierung der Kapitalarten nach Finanzierungsanlass

Aus Finanzierungssicht sollte nach der allgemein bekannten Fristenkongruenz [10] agiert werden. [11] Bei der Finanzierung von Wachstum ist aber insbesondere auch eine Risikokongruenz zu beachten. Dementsprechend sollte die Betrachtung der Investitionen dahingehend ergänzt und differenziert werden. Zu diesem Zweck wird hier zwischen Investitionen in das Anlage- und Umlaufvermögen sowie in Expansions- und Innovationsprojekte unterschieden. Bei Investitionen in das Anlage- oder Umlaufvermögen ist eine Finanzierung durch Fremdkapital gut möglich, da der Investition ein Wert in der Bilanz gegenübersteht. Das verwendete Kapital wird überwiegend aktiviert und im Falle von Anlagevermögen i.d.R. über viele Jahre abgeschrieben. Die erworbenen Aktiva können daher auch teilweise als Sicherheit für den Fremdkapitalgeber eingesetzt werden. Bei Expansions- und Innovationsprojekten ist dies i.d.R. anders. Häufig sind hohe Investitionen z.B. für Forschungsprojekte oder zur Erschließung eines neuen Markts nötig, welche sich zu großen Teilen als Aufwand auf die Ergebnisrechnung auswirken und somit das Eigenkapital verringern. Das investierte Kapital wird somit kaum oder gar nicht auf der Aktivseite der Bilanz angesetzt. [12] Zudem ist zweifelhaft, ob Fremdkapitalgeber aktivierte Herstellungskosten z.B. in Form von Entwicklungsaufwendungen als Sicherheit anerkennen. Neben dem Mangel an Sicherheiten bergen Wachstumsinvestitionen meist ein für klassische Darlehensgeber zu hohes Risiko hinsichtlich des Projekterfolgs. Daher scheidet Fremdkapital zur Finanzierung solcher Projekte i.d.R. aus. [13] Meist nehmen lediglich Eigen- und zum Teil Mezzanine-Kapitalgeber solch ein Wagnis in Kauf. Abb. 1 veranschaulicht schematisch, welche Kapitalarten für welche Finanzierungsanlässe bei risikokongruenter Finanzierung geeignet erscheinen und welcher tendenzielle Anteil der Investition als Aufwand gilt bzw. in der Bilanz aktiviert wird.

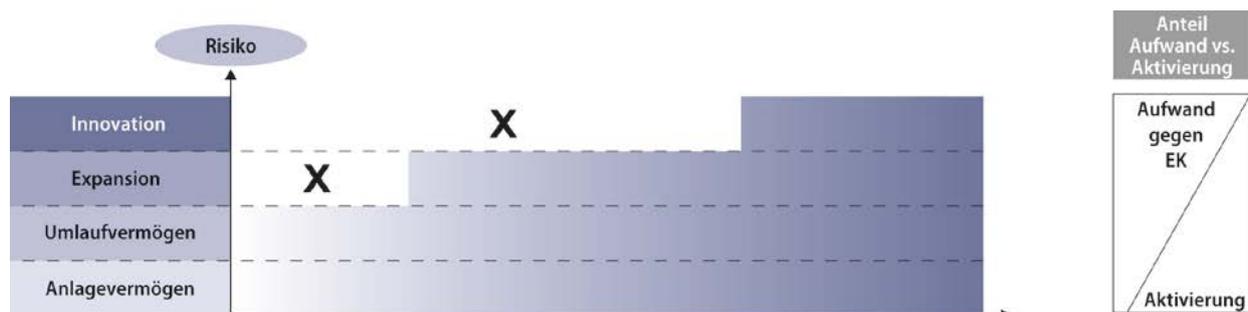
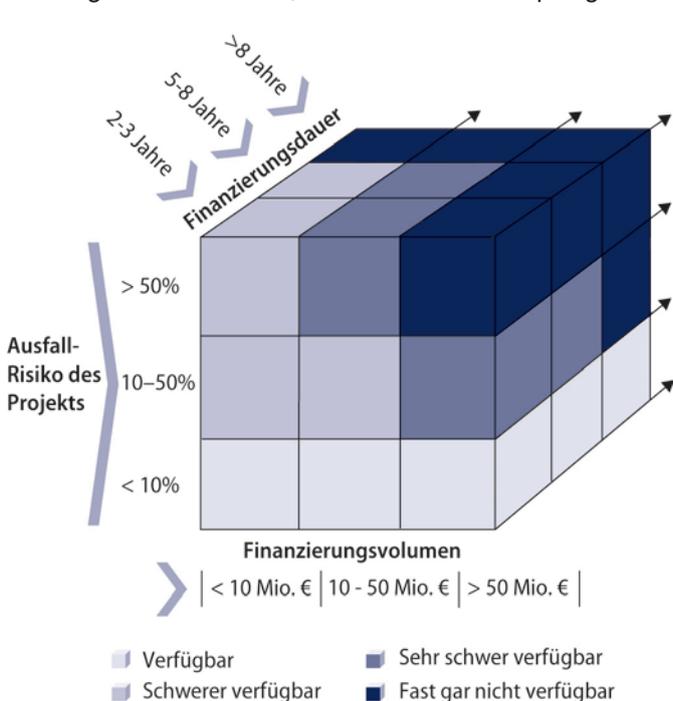


Abb. 1: Finanzierungsanlässe und passende Kapitalarten

Entsprechend des hohen Risikos der Investition liegen die risikoadäquaten Kapitalkosten für Eigen- und Mezzanine-Kapital grundsätzlich deutlich höher als bei Fremdkapital. Dabei sei erwähnt, dass in diesem Zusammenhang neben dem Projektrisiko (Investitionsrisiko) auch das Finanzierungsrisiko mit berücksichtigt werden muss, denn umso höher der Verschuldungsgrad ist (Verhältnis von Fremd- zu Eigenkapital), desto höher ist auch das Ausfallrisiko für die Eigenkapitalgeber. Daraus resultiert eine vom operativen Risiko (Investitionsrisiko) unabhängige Erhöhung der Eigenkapitalkosten. [14] Nach Erfahrungen des Autors wird dies nicht von allen Marktteilnehmern in Gänze reflektiert und kann daher zu Fehlentscheidungen beitragen.

Wird von Unternehmensseite festgestellt, dass nicht mehr alle wertschaffenden Innovations- und Expansionsprojekte intern durch Eigenfinanzierung inkl. Thesaurierung finanzierbar sind, sollte Eigenkapital von außen kommen. Kann ein Misserfolg des geplanten Projekts zur Gefährdung des ganzen Unternehmens führen bzw. wollen die bisherigen Eigentümer das hohe Risiko nicht alleine stemmen, muss ein Investor gefunden werden, der nicht nur als Kapitalgeber sondern auch als wesentlicher Risikoträger fungiert.



Auch bei Eigenkapital gibt es hier fundamentale Unterschiede, inwieweit das Eigenkapital das volle Risiko trägt. Dies wird im Verlauf noch genauer beschrieben.

Die Kapitalakquise gestaltet sich unter gewissen Voraussetzungen schwierig. Vor allem bei kapitalintensiven Projekten mit langer Finanzierungsdauer und hohem Risiko ist Eigenkapital in Deutschland fast gar nicht verfügbar, selbst wenn eine risikoadäquate Verzinsung in Aussicht gestellt wird. [15] Generell gilt, dass sich die Verfügbarkeit von Eigenkapital mit steigendem Finanzierungsvolumen, Risiko und der Finanzierungsdauer tendenziell verschlechtert. [16] Der Würfel in Abb. 2 veranschaulicht dies für verschiedene Kombinationen. Vor allem für Innovationsprojekte, welche extern finanziert werden müssen, stellt dies oft ein Problem dar.

So können hoch innovative Projekte großer deutscher Familienunternehmen und des Mittelstands mit Ausfallwahrscheinlichkeiten von über 50% und Finanzierungsvolumina von mehr als 50 Mio. € - wenn überhaupt - wahrscheinlich nur mit Hilfe internationaler Investoren finanziert werden,

Abb. 2: Charakteristika des Projekts nach Finanzierungsvolumen

soweit keine interne Finanzierung möglich ist. [17] Hintergrund sind die Positionierungen der verschiedenen Kapitalgeber im Private Equity- und Venture Capital Markt bzw. deren Stärke. Kapital ist grundsätzlich genügend vorhanden, aber bei einem Ausfallrisiko von 20% oder sogar 50%, sind nur Anbieter von Venture Capital (VC) mögliche Kapitalgeber: Und dieses Kapital ist in Deutschland nur sehr begrenzt verfügbar. [18] Außerdem ist erschwerend eine Verlagerung der Präferenzen von VC-Investoren, von hochriskanten Investments hin zu weniger risikobehafteten Beteiligungsmöglichkeiten, zu beobachten. [19]

4.1.2. Ausgestaltung der Finanzierung und resultierende Risikoverteilung

Erfolgt die Finanzierung in Form einer Beteiligung, haben neben der Bewertung auch verschiedene Sonderrechte Auswirkungen auf den Wert des jeweiligen Unternehmensanteils. Wird vom Investor ausschließlich „reines“ Eigenkapital [20] zur Verfügung gestellt, entwickelt sich der Wert der Beteiligung immer proportional zum Wert des Projekts. Werden jedoch mezzanane Finanzierungsinstrumente wie stille Beteiligungen, Genussrechte, partiarische Darlehen oder Wandeldarlehen mit eingesetzt, besteht dieser Zusammenhang oft nicht mehr bzw. nur teilweise, da sich die Auszahlungsstruktur je nach Ausgestaltung der Beteiligung (z.B. Verzinsung, Gewinnbeteiligung, Wandlungsrecht) verändert. [21] Das Gleiche gilt für Cashflow-relevante Sonderrechte, welche häufig bei Eigenkapitalfinanzierungen mit hoher erwarteter Ausfallwahrscheinlichkeit zum Einsatz kommen. [22] So gewähren z.B. Liquidationspräferenzen, ein oftmals bei Wachstumsfinanzierungen vereinbartes Sonderrecht, eine vorrangige Bedienung des Investors beim Exit, noch bevor die übrigen Anteilseigner am Erlös beteiligt werden. Erst nachdem der externe Kapitalgeber sein Investment oder sogar ein Mehrfaches davon zurückerhalten hat, wird der verbleibende Rest Erlös pro-rata unter allen Gesellschaftern verteilt. Dies kann insbesondere bei niedrigeren Exit-Erlösen zu einer, im Vergleich zur Anteilsquote, überproportionalen Partizipation des Investors führen. [23] Als Gegenleistung für das reduzierte Risiko könnte bspw. eine höhere Bewertung und eine daraus resultierende niedrigere Anteilsquote für den Investor verhandelt werden, was bei hohen Werten zu einer geringeren Erlösbeteiligung im Vergleich zu einer direkten Beteiligung ohne Sonderrechte führt. [24] Neben Liquidationspräferenzen können auch Kauf- und Verkaufsoptionen [25] (im Folgenden auch Call- und Put-Optionen genannt) mit vorab vereinbarten Ausübungs-

preisen oder Vorzugsdividenden [26], welche bei Nichtentrichtung während der Beteiligungsdauer kumuliert beim Exit vorrangig an den Investor ausgeschüttet werden, das Cashflow-Profil der jeweiligen Parteien wesentlich beeinflussen.

Die bisher beispielhaft genannten Sonderrechte haben gemein, dass sie ihre Wirkung beim Exit entfalten und dabei unabhängig von der Anteilsquote des Investors sind. Insbesondere bei einer gestaffelten Finanzierung [27], bei der das Kapital über einen gewissen Zeitraum in Tranchen bereitgestellt wird, werden häufig Sonderrechte vereinbart, die nicht erst beim Exit, sondern schon während der Beteiligungsphase greifen. Zeigt sich bspw. bei einer Bewertung des Projekts im Zuge einer Folgefinanzierungsrunde, dass die Zukunftspotenziale des Projekts in der Vergangenheit zu optimistisch eingeschätzt wurden, wirkt sich dies negativ auf den Wert der Beteiligung aus. Anti-Dilution-Klauseln schützen den Investor teilweise oder unter Umständen sogar vollständig vor einem dadurch entstehenden Wertverlust. [28] Auch in Verbindung mit Mitverkaufsverpflichtungen [29] (Drag-Along-Right), deren Ausübung häufig an Anteilsquoten gebunden ist, können Anti-Dilution-Klauseln unter Umständen zu einer Veränderung der Machtverhältnisse führen.

Je nach Ausgestaltung der Finanzierung resultieren verschiedene Risikoverteilungen zwischen Investor und Unternehmen. Abb. 3 veranschaulicht dies anhand von drei „Extremvarianten“ und der jeweiligen Verteilungsmuster der Exiterlöse zwischen Investor und Unternehmen in Abhängigkeit des Projektwerts. Die linke Verteilung in Abb. 3 stellt eine volle Risikopartnerschaft zwischen Unternehmen und Investor dar, es erfolgt keine Umverteilung von Risiko bzw. Cashflows (entspricht einer direkten Beteiligung ohne Sonderrechte). Im mittleren Bild wird ein Teil des Risikos der Beteiligung auf das Unternehmen bzw. den Alteigentümer abgewälzt. Die Reduktion des Risikos und Erhöhung der Rendite bei geringen Werten des Projekts wird durch eine etwas geringere Rendite für den Investor bei hohen Werten des Projekts ausgeglichen. Dies zeigt sich in den, im Vergleich zwischen linkem und mittlerem Bild, unterschiedlich großen Flächen. Die Grafik rechts beschreibt den zur mittleren Grafik gegenteiligen Fall, in welchem der Investor mehr Risiko übernimmt, dafür im Erfolgsfall aber zusätzlich profitiert. Für die Praxis ist insbesondere der zweite Fall, die Risikoabwälzung vom Investor auf das Unternehmen, üblich. Dies kann bspw. durch den Einsatz von Liquidationspräferenzen oder der Auszahlung eines Teils des Eigenkapitals als Wandeldarlehen bzw. stille Beteiligung geschehen.

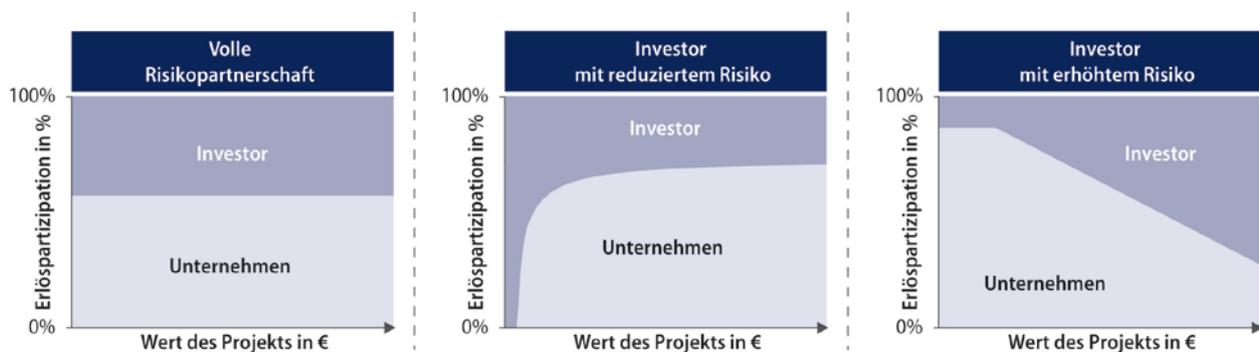


Abb. 3: Wert und Risiko in Abhängigkeit der Ausgestaltung

Entsprechend dieser Darstellung von Risikoverteilungen werden im Folgenden typische Strukturen diskutiert, welche die Unterschiede veranschaulichen sollen.

4.2. Finanzierungsmodelle zum Erhalt der strategischen Optionen für Unternehmen

Das Innovations- bzw. Expansionsprojekt hat für das Unternehmen oft eine strategische Bedeutung. Der Zugriff auf das Projekt ist daher i.d.R. essentiell. Das Gleiche gilt, wenn sich das Unternehmen an einem jungen, innovativen Unternehmen beteiligt [30] und dessen Innovation oder Geschäftsmodell später in das Unternehmen integrieren möchte. [31] Daher werden im Folgenden ausschließlich Finanzierungsmodelle diskutiert, die den Erhalt der strategischen Option zur Erweiterung des Handlungsspielraums des Unternehmens sicherstellen und somit ein langfristiges, nachhaltiges Wachstum ermöglichen. Konkret bedeutet dies, dass das Unternehmen immer die Möglichkeit haben muss, das Wachstumsprojekt im Erfolgsfall zu 100% in die eigenen Strukturen zu integrieren.

4.2.1. Vorüberlegungen zur Auswahl des geeigneten Finanzierungsmodells

Ausgangspunkt der Überlegungen sind die Charakteristika des Projekts. Es muss hinterfragt werden, wie diese zum Unternehmen passen. Neben einer Beurteilung der wertschöpfenden Prozesse (Entwicklung, Produktion, Vertrieb) und dem strategischem Fit [32], sind insbesondere monetäre Gesichtspunkte in Form des Rendite-/Risiko-, Auszahlungs- und Free-Cashflow-Profiles entscheidend für die Auswahl des geeigneten Finanzierungsmodells und dessen Ausgestaltung. Dabei sind unter anderem Einschätzungen bezüglich Kapitalbedarf, Projektdauer, Cash-Break-Even sowie Erfolgswahrscheinlichkeit des Projekts und der zu erwartenden Rendite nötig. In Abb. 4 werden die Profile dargestellt: Das Free-Cashflow-Profil veranschaulicht den (Eigen-)Kapitalbedarf über die Projektdauer. In der Grafik entspricht dieser der Fläche unter der horizontalen Achse. Beim Auszahlungsprofil wird von einer Bereitstellung des Finanzierungsvolumens in meilensteinabhängigen Tranchen ausgegangen, um so bei einer negativen Entwicklung das Wachstumsprojekt auch früher beenden zu können. Dadurch sinkt das Risiko, die mit dem Projekt erzielbare Rendite steigt und als Konsequenz erhöht sich die Finanzierbarkeit des Projekts. Das Rendite-Risiko-Profil gibt durch den Erwartungswert und die Standardabweichung Aufschluss über die zu erwartende Renditeverteilung und dem einhergehenden Risiko des Projekts.

Durch entsprechende Analyse können daraufhin bspw. die Fragen beantwortet werden, welche Risikopartnerschaft mit dem neuen Kapitalgeber gesucht ist und ob das Projekt überhaupt die risikoadäquaten Kapitalkosten innerhalb der vorgesehenen Finanzierungsdauer decken kann. Speziell diesem Punkt ist besondere große Aufmerksamkeit zu widmen, da der erwartete Wert des Projekts wesentlich den Handlungsspielraum bei der Finanzierung und der späteren Ablösung bestimmt. Ist abzusehen, dass der Wert des Projekts

bis zum Ende der Beteiligungsphase nicht die Kapitalkosten des Kapitalgebers decken kann, ist es nötig, zusätzliche Risikopuffer der Muttergesellschaft oder deren Eigentümer mit einzubeziehen, was einer Risikoumverteilung entspricht und damit implizit die erwartete Rendite des Investors verringert. Das Gleiche gilt zur Finanzierung der Ablösung der Beteiligung im Erfolgsfall, wo dann ein anderes Rendite-Risiko-Profil des Projekts vorliegt.

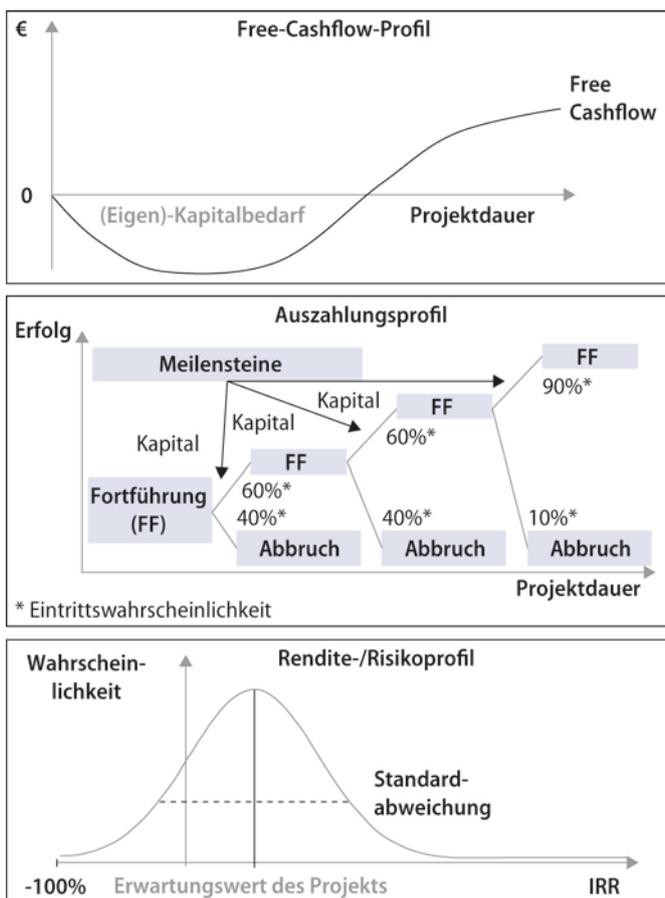


Abb. 4: Schematische Darstellung: Free-Cashflow-, Auszahlungs-, Risiko- und Rendite-/Risiko-Profil des Projekts

Je nachdem wo das Projekt aus Unternehmensperspektive angesiedelt ist, können Finanzierungsmodelle grundsätzlich in interne und externe Modelle untergliedert werden. Beim internen Modell ist das Projekt von Anfang an im Unternehmen eingegliedert. Unter Berücksichtigung des Erhalts der Unabhängigkeit des Unternehmens kann die Finanzierung durch Eigenfinanzierung oder durch eine Minderheitsbeteiligung eines externen Kapitalgebers am Unternehmen erfolgen. Im Falle des externen Modells wird das Projekt in eine Zweckgesellschaft (Special Purpose Vehicle, im Folgenden mit SPV abgekürzt) ausgelagert bzw. ein Joint Venture mit einem strategischen Partner gegründet in dem das Projekt gemeinsam verfolgt wird. Einen Spezialfall des externen Modells bildet das Fondsmodell mit Kaufoption für das Mutterunternehmen, innerhalb dessen das Projekt über einen Venture Capital-Fonds (im Folgenden mit VC-Fonds abgekürzt). Dabei kann dies ein externer VC-Fonds oder ein durch das Unternehmen betriebener

Corporate VC-Fonds sein.

Im Folgenden wird der Fokus beim internen Modell auf Minderheitsbeteiligungen und beim externen Modell auf die Zwischenschaltung eines SPV sowie auf die Finanzierung des Projekts durch einen externen VC-Fonds mit Kaufoption für das Mutterunternehmen gelegt (im Folgenden mit VC-Fondsmodell abgekürzt). Corporate VC-Fonds, Joint Venture- und Lizenzmodelle werden im weiteren Verlauf nicht näher betrachtet, da die in der Praxis bekannten Ausgestaltungen sehr verschieden sein können und die Finanzierung der Wachstumsoption bei diesen Formen teilweise nicht im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Bei allen Finanzierungsmodellen müssen die Implikationen betrachtet werden. Dies gilt aus strategischer, ökonomischer, rechtlicher, bilanzieller und steuerlicher Sicht. [33] So kann ein nicht nach Plan verlaufendes Projekt den Kontrollverlust oder sogar den Verlust des gesamten Unternehmens bedeuten. Ein Risiko, das Gesellschafter häufig davon abhält, externes Eigenkapital mit ins Boot zu nehmen. Dem kann jedoch durch eine geschickte Strukturierung der Finanzierung schon im Voraus begegnet werden.

4.2.2. Internes Modell: Minderheitsbeteiligung

Minderheitsbeteiligungen [34] stellen ein probates Mittel dar, Expansions- und Innovationsprojekte zu finanzieren. [35] Das Interesse, insbesondere durch mittelständische Unternehmen, ist in den letzten Jahren stark angestiegen, [36] sodass es immer mehr Private Equity-Gesellschaften und Family Offices gibt, welche sich auf diese Beteiligungsform spezialisieren. Bei einer Minderheitsbeteiligung beteiligt sich der Investor direkt am Mutterunternehmen und erhält dafür im Gegenzug Geschäftsanteile. Das Investment des Kapitalgebers fließt direkt ins Unternehmen und steht diesem somit uneingeschränkt zur Projektentwicklung zur Verfügung. Abb. 5 zeigt vereinfacht die Funktionsweise.



Abb. 5: Schematische Darstellung einer Minderheitsbeteiligung

Dabei ist die Ausgestaltung der Minderheitsbeteiligung aufgrund verschiedener Interessenskonflikte zwischen Unternehmen und Investor besonders wichtig, vor allem hinsichtlich der Strukturierung des Exits und der Auszahlungsansprüche, ggf. in Abhängigkeit vom Projekt- und nicht vom Unternehmenserfolg. [37] Ein Verkauf der Beteiligung an einen anderen Investor ist erfahrungsgemäß schwierig, da Minderheitsbeteiligungen mit i.d.R. geringen Entscheidungsrechten oft nicht attraktiv für potenzielle Folgeinvestoren sind. Eine Veräußerung des gesamten Unternehmens ist nicht im Sinne des Altgesellschafters. Um dieser Problematik vorab zu begegnen, werden i.d.R. für alle zukünftigen Eventualitäten hinsichtlich des Exits Vereinbarungen getroffen, wie dieser auszusehen hat. [38]

Häufig kommt eine Strukturierung mit Call- und Put-Optionen zum Einsatz (Buy Back [39]), die alle möglichen Szenarien des Erfolgs- und Misserfolgsfalls vorsieht. So könnte der Altgesellschafter bis zum Jahr X eine Call-Option zu einem vordefinierten Ausübungspreis haben. Wird diese im vereinbarten Zeitraum nicht gezogen, hat der Investor eine Put-Option zur Andienung der Beteiligung an den Altgesellschafter. Falls der Altgesellschafter diese Put-Option abwenden will, z.B. weil er die Rücknahme der Anteile nicht finanzieren kann, wird zusätzlich eine Mitverkaufsverpflichtung (Drag-Along-Right) vereinbart. Der Investor wäre dadurch trotz seiner Minderheitsbeteiligung rechtlich in der Lage, das gesamte Unternehmen zu veräußern und so einen Exit zu erzwingen. Der Investor hat durch solch eine Strukturierung von rechtlicher Seite unabhängig vom Projektverlauf immer die Möglichkeit, seine Anteile nach einer gewissen Haltedauer zu veräußern. Im Gegenzug ist der Altgesellschafter aber auch berechtigt, die Call-Option auszuüben und so den Minderheitsinvestor herauszukaufen. Dabei sind die Bedingungen für den Erfolgs- und Misserfolgsfall des Projekts vorab zu

definieren, um einen durch den Investor getriebenen Verkauf des Gesamtunternehmens schon von Beginn an auszuschließen. Diese Trennung zwischen Projekt- und Unternehmenserfolg ist aber teilweise schwierig. Zudem kann es gerade im Interesse des Investors sein, aus Risikogesichtspunkten eben nicht primär das Wachstumsprojekt, sondern nur das Unternehmen zu finanzieren: Denn die Finanzierung des Unternehmens ist eine andere, weniger risikoreiche Beteiligung, als die Beteiligung an einem Wachstumsprojekt.

Falls es zur Ausübung der Call- oder Put-Option kommt ist der Ausübungspreis entscheidend für das Kalkül des Investors und eine Bewertung des Projekts oder Gesamtunternehmens wird irrelevant. Von der vollen Risikopartnerschaft bis zur Verlagerung des Risikos auf das Mutterunternehmen bzw. auf den Investor sind hier prinzipiell alle Gestaltungen hinsichtlich der Rendite-Risikostruktur leicht umsetzbar. So könnte bspw. ein Investor im Misserfallsfall einen geringen Ausübungspreis für einen Call akzeptieren und somit den größeren Teil des Risikos tragen, wenn dies im Gegenzug mit einem höheren Ausübungspreis im Erfolgsfall kompensiert wird. Trotz Risikoverlagerung auf den Investor können so die risikoadäquaten Kapitalkosten des Investors gedeckt werden. Bei konkreten Verhandlungen ist dabei nicht unbedeutend, welches Verständnis der Investor vom Projekt hat und inwieweit er die Erfolgchancen des Projekts teilt. Grundsätzlich gilt: Je besser das Verständnis, desto geringer die geforderte Rendite des Investors. Zugleich werden nach Erfahrungen des Autors von den Unternehmen oft höhere Risiken akzeptiert und getragen, aber zum Teil nicht eingepreist, um die Finanzierung des Projekts überhaupt möglich zu machen. Dies senkt die geforderte Rendite des Investors. Die Konsequenzen der Risikoverlagerung auf das Unternehmen sollten aber genau abgewogen werden

Kommt es zu keiner Ausübung der Call- und Put-Optionen, wird der Investor unter Umständen versuchen, durch die Ausübung der Mitverkaufsverpflichtung das Unternehmen zu veräußern, um am Wert des Gesamtunternehmens zu partizipieren. In diesem Fall stellt sich die Frage, ob hier eine pro-rata Verteilung erfolgt oder auch anders wirkende Mechanismen greifen, die einer Risikoumverteilung gleichen. Hier sind z.B. Liquidationspräferenzen ohne zusätzliche Partizipation am Resterlös (Simple Liquidation Preference), ausgestattet mit einem Wandlungsrecht, ein teilweise vereinbartes Sonderrecht. [40]

Neben dem Exit gilt es die Governance während der Beteiligungsphase dezidiert zu regeln: Dabei könnten die Informations-, Kontroll-, Veto- und Entscheidungsrechte für den externen Kapitalgeber eigentlich auf das Projekt beschränkt werden, dürften i.d.R. aber auf Unternehmensebene ausgestaltet sein, um entsprechende Wirksamkeit zu entfalten. [41]

Für das Unternehmen und den Investor sind der Preis und die Verteilung des Risikos maßgeblich. Der Investor kann das Risiko i.d.R. durch eine Vielzahl von Investitionen diversifizieren und sollte dadurch in der Lage sein, eine geringere risikoadäquate Verzinsung zu fordern. Letztlich hängt dies aber auch stark von der Kenntnis und dem Verständnis des Investors hinsichtlich der Business- und Investment-Rationale ab: Das heißt eine starke Investorenlandschaft mit spezialisierten Investoren verbessert und vereinfacht die Bedingungen der Finanzierung von Wachstumsprojekten. [42]

Die direkte Beteiligung des Investors am Mutterunternehmen und der daraus resultierende erleichterte Zugriff durch den Investor auf das Unternehmen stellt insbesondere für Familienunternehmen ein großes Hindernis dar. Dies gilt vor allem bei suboptimalen Projektverläufen bzw. im Misserfallsfall. Um transparente Regelungen zu vereinbaren, komplexe Vertragsstrukturen mit sehr differenzierten Call-Put-Optionen zu vermeiden und zugleich das Risiko des Verlusts von Unabhängigkeit und Kontrolle für die Altgesellschafter zu minimieren, werden in der Praxis neuartige Formen der externen Projektfinanzierung mit Eigenkapital eingesetzt. Dazu sollen im Folgenden als Alternativen zur Minderheitsbeteiligung die Finanzierung über Special Purpose Vehicles (SPVs) bzw. VC-Fondsinvestments mit Kaufoption vorgestellt werden.

4.2.3. Externes Modell: Special Purpose Vehicle (SPV)

Der Einsatz von SPVs, zu Deutsch Zweckgesellschaften, zur Finanzierung von Wachstumsprojekten ist in Deutschland bisher noch nicht sehr verbreitet, obwohl sich dadurch das Risiko eines Kontrollverlusts der Altgesellschafter, im Gegensatz zur direkten Minderheitsbeteiligung, ggf. vollständig eliminieren sowie die Governance und der Exit einfacher regeln lässt. Zudem ist ein Ausschluss der Konsolidierung möglich, sodass die Wirkungen auf den Jahresabschluss der Muttergesellschaft nur über den Beteiligungsansatz erfolgen. [43] Dies kann bei einer Kapitalmarktnotierung oder bei engen Spielräumen von Covenants durch Fremdkapitalfinanzierungen ein wesentlicher Motivationsgrund sein. Durch den höheren

Aufwand fallen hierfür jedoch tendenziell höhere Kosten für die Strukturierung an. Im Grunde wird bei diesem Modell das Wachstumsprojekt in eine Zweckgesellschaft ausgelagert. [44] Der Investor beteiligt sich nicht direkt am Mutterunternehmen, sondern am SPV und erhält für das eingebrachte Kapital Anteile an der Zweckgesellschaft. Von Unternehmensseite ist offen, welche Werte in das SPV fließen. Neben Kapital könnten auch Arbeitskräfte, Arbeitsräume, immaterielle Vermögensgegenstände etc. eingebracht werden. Je nach Fall ist es außerdem möglich, dass sich weitere Investoren am SPV beteiligen oder geistiges Eigentum (Intellectual Property, kurz IP) von außen für Gesellschaftsanteile eingekauft werden, z.B. aus der Wissenschaft. In Abb. 6 wird das Beteiligungsmodell schematisch dargestellt, welches auch auf die Beteiligung des Unternehmens oder Unternehmers an einem jungen, innovativen Unternehmen übertragen werden kann.

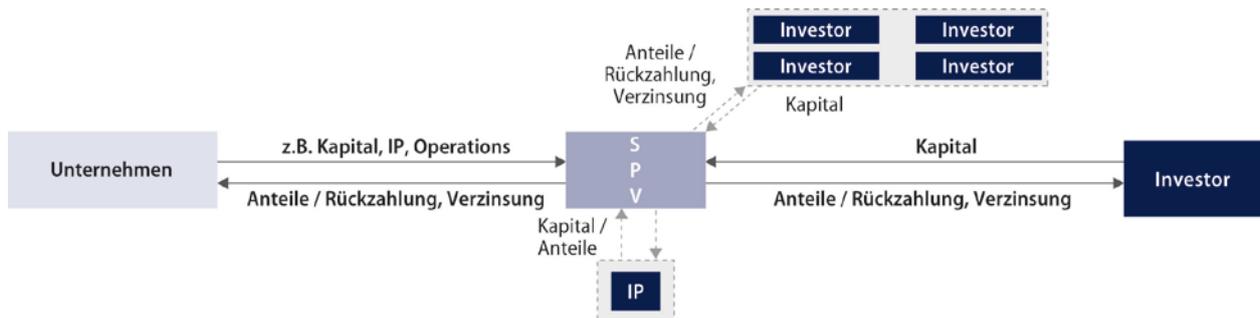


Abb. 6: Schematische Darstellung des externen Finanzierungsmodells über eine Zweckgesellschaft

Durch Zwischenschaltung des SPVs ist das Ausfallrisiko für das Mutterunternehmen auf die Mitfinanzierung, die unter Umständen eingebrachten Werte und ggf. Übernahmeverpflichtungen durch Put-Optionen begrenzt. Da der Investor nun aber direkt in das Projekt investiert, ist die Anteilsquote für ihn an der Projektgesellschaft i.d.R. hoch und in jedem Fall höher als bei einer Minderheitsbeteiligung am Mutterunternehmen. Dementsprechend wird dieser hinsichtlich des Projekts auch mehr direkten Einfluss auf das operative Geschäft und auf strategische Entscheidungen ausüben können als bei einer Minderheitsbeteiligung. Daraus ergibt sich für das Mutterunternehmen die Fragestellung, inwieweit eine Einflussnahme auf das Projekt noch möglich ist. Ist der Exit an das Unternehmen attraktiv und klar geregelt, sind von der Ursprungsvereinbarung und vom Business Plan abweichende Vorgehensweisen durch den Investor je-doch wenig wahrscheinlich. Gibt es doch grundlegend unterschiedliche Ansichten zur Führung des SPVs, lässt sich eventuell eine Option zum Auskauf des Investors verhandeln.

Hinsichtlich des Exits hat der Investor beim externen Modell im Vergleich zur Minderheitsbeteiligung einen größeren Spielraum. Da der Kapitalgeber i.d.R. renditeorientiert handelt, wird er die für ihn rentabelste Exitroute wählen. Eine Veräußerung der Anteile am Projekt an einen Dritten kann also nur ausgeschlossen werden, wenn der Verkauf der Anteile durch den Investor an das Unternehmen eine risikoadäquate Verzinsung bietet.

Wie bei der Minderheitsbeteiligung werden für den Exit häufig Call-Put-Konstruktionen vereinbart, wobei durch die vereinfachten Rahmenbedingungen für einen Verkauf des SPVs Put-Optionen nicht unbedingt notwendig sind und somit nicht von allen Investoren verlangt werden. Hier ist maßgeblich, wie erfahren der Investor ist und welche Möglichkeiten er für einen alternativen Exit sieht. Ggf. könnte im Misserfolgsfall eine Verkaufsoption für die Anteile des Investors in Höhe der steuerlichen Vorteile [45] für das Mutterunternehmen, welche aus den Verlustvorträgen des SPV generiert werden, durchaus vertretbar sein, da solch eine Verwertung für den Investor nicht möglich ist. Dies würde den externen Kapitalgeber vor einem Totalverlust bewahren. Für das Szenario eines Verkaufs des SPVs an einen Dritten sind wiederum Liquidationspräferenzen ein teilweise eingesetztes Mittel, um die Rendite des Investors bei niedrigeren Veräußerungserlösen zu schützen.

Bei der Ausgestaltung der Kaufoption sind die im VC-Markt geforderten risikoadäquaten Renditen zu erwarten, die in Abhängigkeit vom Projekt, dessen Laufzeit und Risikograd sicherlich bei Multiples von 3-5 auf das Investment beginnen. Interessanterweise ist es sogar unter Umständen möglich, das Upside der Investoren durch eine geschickte Call-Put-Konstruktion [47] unabhängig vom Projekt zu begrenzen. Übertrifft das Projekt in

solch einem Fall die erwartete risikoadäquate Rendite des Investors, partizipiert das Unternehmen voll an der generierten „Überrendite“. Im Umkehrschluss ist deswegen jedes Unternehmen gut beraten, alle Projekte oberhalb dieser erwarteten risikoadäquaten Rendite umzusetzen. Im Vergleich zur Minderheitsbeteiligung an der Muttergesellschaft ist deren Einbezug und Risiko beim externen Modell klarer abgrenzbar und muss einzeln verhandelt werden. Vor diesem Hintergrund hat diese Trennung erhebliche Vorteile. Insbesondere werden ggf. die Absicherungen des Investors für den Misserfolgsfall explizit deutlich. Nur für den Fall, dass das Projekt in keinem Fall in dritte Hände fallen darf, ist hier die Distanz zum Mutterunternehmen von Nachteil.

4.2.4. Externes Modell: VC-Fondsmodell mit Kaufoption für das Unternehmen

Eine weitere Möglichkeit zur Strukturierung der Finanzierung bildet ein strategisches Investment des Unternehmens in einen VC-Fonds. Dieser beteiligt sich wiederum an der zur Durchführung des Projekts gegründeten Zweckgesellschaft bzw. mehreren Zweckgesellschaften. [48]

Dieses Modell eignet sich insbesondere für riskante Innovationsprojekte. Das Unternehmen diversifiziert sich mit der Beteiligung am Fonds, da das SPV lediglich einen geringen Anteil am Fonds-Portfolio ausmacht. Die Rendite ist somit nicht alleine vom Projekt abhängig, sondern von der Fondsperformance. Neben dem Unternehmen gibt es weitere Investoren, welche sich am Fonds beteiligen. Im Gegensatz zu den übrigen Fondsinvestoren erhält das Unternehmen jedoch eine Kaufoption auf die Unternehmensanteile des SPVs. [49] Abb. 7 veranschaulicht schematisch die Ausgestaltung eines solchen Fondsmodelles.

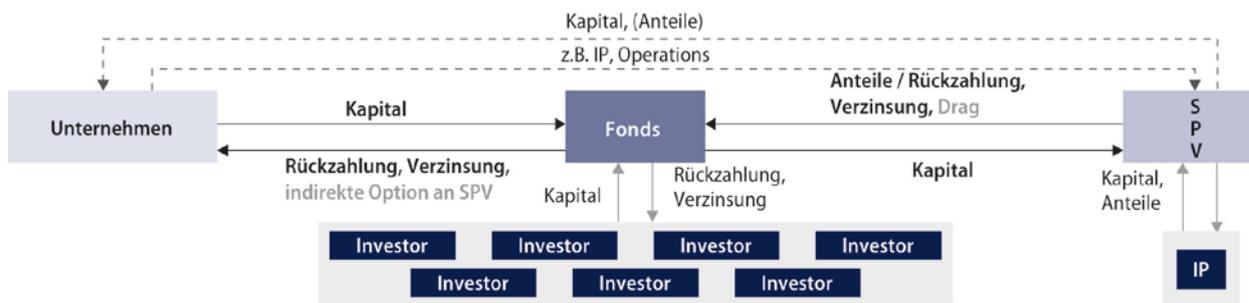


Abb. 7: Schematische Darstellung des VC-Fondsmodells mit Kaufoption

Im Falle eines erfolgreichen Projektverlaufs ist es dem Unternehmen durch die Kaufoption möglich, das SPV relativ einfach wieder in die eigenen Strukturen zu integrieren. Der Preis für das SPV richtet sich i.d.R. nach dem Marktwert, welcher dann den Ausgangspunkt der Preisverhandlung bildet. Im Erfolgsfall führt dies, im Vergleich zu einer von vornherein vereinbarten Call-Option, unter Umständen zu einem hohen Veräußerungspreis. Dieser wird bezogen auf den Kapitaleinsatz des VC-Fonds i.d.R. mindestens bei einem Multiple von 5 liegen. Im Misserfolgsfall kann das Unternehmen die Kaufoption jedoch einfach verfallen lassen. Der Finanzierungscharakter wird dadurch gestaltet, dass der Beteiligung am VC-Fonds ein größeres Finanzierungsvolumen an der Zweckgesellschaft gegenübersteht oder der VC-Fonds sich an mehreren Zweckgesellschaften der Muttergesellschaft beteiligt.

Neben der Eliminierung des Risikos eines Kontrollverlustes bzw. Verkaufs des gesamten Unternehmens im Worst-Case-Szenario, wie es auch bei einem reinen SPV-Modell der Fall ist, wird zusätzlich das unsystematische Risiko durch Diversifikation der Investition auf mehrere Projekte verringert. [50] Das VC-Fondsmodell bildet somit für das Unternehmen eine risikoarme Finanzierungsform. Durch die Fondskosten in Form von Management Fees und erfolgsabhängigen Komponenten [51] sowie des ggf. hohen Veräußerungspreises wird im Gegenzug jedoch die strategische Option für das Unternehmen verteuert. Des Weiteren gilt es bei diesem Modell zu beachten, dass das verfolgte Projekt aufgrund der regelmäßigen Reportings des Fonds an die Kapitalgeber zum Teil transparent für die übrigen Fondsinvestoren wird. Daher schließt sich die Finanzierung von Wachstumsprojekten, die keinesfalls in die Hände Dritter fallen sollen, durch dieses Modell aus. Ein weiterer kritischer Punkt ist, dass operative und strategische Entscheidungen innerhalb des Projekts unter Umständen nicht mehr durch das Unternehmen beeinflusst werden können, da keine direkte Beteiligung am SPV besteht. Es muss sich daher auch bei wegweisenden Entscheidungen jeglicher Art auf die Expertise des VC-Fonds und der weiteren Gesellschafter des SPV verlassen werden. Da der VC-Fonds mit

dem Unternehmen zugleich aber einen einfachen Exit-Kanal hat, wird das Management des Fonds und des Portfoliounternehmens nicht unnötig versuchen, sich diesen durch konträre Entscheidungen zu verbauen.

Das Fondsmodell findet im Bereich der Innovationsfinanzierung immer mehr Anwendung z.B. bei amerikanischen Unternehmen. Die Motive reichen, neben den bisher schon erwähnten Vorzügen, von reduzierten Berichtspflichten von Innovationsprojekten bei einer Kapitalmarktnotierung [52] bis hin zur Möglichkeit, sich eine Vermarktung der Innovation in bestimmten Ländern zu sichern. [53] Im Gegenzug profitiert der VC-Fonds vom zusätzlich geschaffenen Exit-Kanal. Des Weiteren wirkt die Beteiligung des Unternehmens als strategischer Investor am Fonds i.d.R. förderlich für das Fundraising bei Finanzinvestoren.

4.2.5. Vergleich der betrachteten Modelle

Im Vergleich der drei betrachteten Modelle ist der Nettofinanzierungseffekt bei der Minderheitsbeteiligung am größten, da das Kapital direkt dem Unternehmen zufließt und somit im vollen Umfang für das Projekt zur Verfügung steht. Beim SPV-Modell und VC-Fondsmodell entstehen tendenziell höhere „Transaktions- bzw. Nebenkosten“, was zu einem geringeren Nettofinanzierungseffekt führt. Am stärksten ausgeprägt ist dies beim VC-Fondsmodell, da in diesem Fall zusätzlich Management Fees und erfolgsabhängige Komponenten anfallen. Analog kann daher festgestellt werden, dass bei einer Minderheitsbeteiligung im Vergleich die geringsten und beim VC-Fondsmodell die höchsten Kosten anfallen.

Das verbleibende Risiko für das Unternehmen ist bei der Minderheitsbeteiligung am größten, da die Beteiligung des Investors direkt am Mutterunternehmen erfolgt und dieser dadurch bei negativem Projektverlauf unter Umständen direkten Zugriff auf das gesamte Unternehmen bekommen könnte. Durch Zwischenschaltung eines SPVs oder durch ein Fondsinvestment wird dieses Risiko deutlich verringert. Außerdem beschränkt sich ein Totalausfall der Investition bei der externen Strukturierung auf das eingebrachte Kapital bzw. die eingebrachten Werte, wobei bei Investition in einen Fonds zusätzlich eine Diversifikation des Investments erfolgt. Aus Risikogesichtspunkten ist das VC-Fondsmodell somit die vorteilhafteste Form der Ausgestaltung. Seitens der Governance hat der Investor beim internen Modell tendenziell eher wenige

Faktoren \ Modell	Internes Modell	Externes Modell	
	Minderheitsbeteiligung	SPV	VC-Fonds inkl. Kaufoption
Nettofinanzierungseffekt	++	+	+/-
Verbleibendes Risiko	-	+	++
Governance	++	+/-	-
Strategische Nachhaltigkeit	++	+	je nach Ausgestaltung
Finanzierungskosten	+/-	-	--
Verfügbarkeit	immer mehr	noch selten	immer mehr

++: sehr positiv +: positiv +/-: neutral -: eher negativ --: negativ

Beim SPV-Modell werden diese ausgeprägter sein, da der Kapitalgeber i.d.R. zu einem größeren Teil am Projekt beteiligt ist. Beim VC-Fondsmodell liegen Kontroll- und Mitspracherechte voll beim VC-Fonds. Das Unternehmen hat, wenn überhaupt, nur geringe Einflussmöglichkeiten. Aber die Möglichkeit für den Fonds, dass der Exit über das Mutterunternehmen erfolgt, ist hier aus Sicht der Praxis kein unwesentlicher Treiber des Handelns.

Die Übernahme der Geschäftsanteile des Kapitalgebers und die Eingliederung des Projekts in das Unternehmen gestaltet sich beim internen Modell am einfachsten, da

Tabelle 1: Vergleich der betrachteten Modelle aus Unternehmenssicht

das Projekt schon im Unternehmen integriert ist. Beim externen Modell ist die Eingliederung etwas anspruchsvoller und beim Fondsmodell dürfte der Aufwand bei entsprechender Gestaltung ähnlich hoch ausfallen wie beim SPV-Modell.

Die Finanzierungskosten sind je nach Alternative abhängig von der Ausgestaltung und der daraus resultierenden Risikoverteilung, wobei der strukturelle Aufwand beim VC-Fondsmodell am höchsten ist.

Die Bereitschaft in SPVs zu investieren ist bedauerlicherweise noch selten, aber wachsend. Das VC-Fondsmodell ist in den USA stark wachsend und schwappt auch nach Europa: In Deutschland hat unter anderem TVM Capital das Modell mit Eli Lilly Inc. umgesetzt. [54]

Aus Unternehmenssicht muss bei der Wahl des geeigneten Finanzierungsmodells immer der Charakter des Wachstumsprojekts berücksichtigt werden. Darf z.B. die Innovation keinesfalls in die Hände Dritter fallen, eignet sich das VC-Fondsmodell mit Kaufoption nicht. Will das Unternehmen hingegen z.B. mehrere Innovationsprojekte parallel verfolgen und sich zu einem späteren Zeitpunkt nur gezielt einige davon herauspicken, eignet es sich im Vergleich der betrachteten Modelle am besten. Tab. 1 gibt einen abschließenden Modellüberblick inklusive deren Charakteristika aus Unternehmenssicht.

4.3. Zusammenfassung

Die Finanzierung von Innovation und Expansion ist i.d.R. nur durch Eigenkapital und teilweise Mezzanine möglich. Ist für das Unternehmen eine Eigenfinanzierung des Projekts ausgeschlossen, muss auf externe Eigenkapitalgeber ausgewichen werden. Dies ist in Deutschland schwierig, da Kapital mit steigendem Risikograd und Finanzierungsvolumen sowie längerer Finanzierungsdauer immer weniger verfügbar ist, auch wenn eine risikoadäquate Kompensation in Aussicht gestellt wird. Neben der eingeschränkten Verfügbarkeit stellt es für Familienunternehmen und den deutschen Mittelstand häufig ein Problem dar, externes Eigenkapital in das Unternehmen zu holen, da diese teilweise um ihre Unabhängigkeit und unternehmerische Freiheit fürchten. In der Tat besteht dieses Risiko, einerseits durch den Status des Kapitalgebers als „Miteigentümer“ andererseits durch verschiedene vertragliche Ausgestaltungen, welche das Unternehmen vor allem im Misserfallsfall stark sanktionieren. Zugleich gibt es aber Strukturierungen, die dieses Risiko ausschließen.

Dieser Beitrag adressiert diese Problematik und zeigt Lösungswege in Form von neuen Finanzierungsmodellen auf, um die Innovationskraft der Unternehmen verbessern zu können. Dabei wird auf Minderheitsbeteiligungen, SPVs und das VC-Fondsmodell mit Kaufoption für das Unternehmen eingegangen. Es zeigt sich, dass das SPV-Modell und das VC-Fondsmodell gute Alternativen zur klassischen Minderheitsbeteiligung sein können, da eine Risikoreduktion auf das eingebrachte Kapital bzw. die eingebrachten Werte erfolgt, der Investor i.d.R. keinen Zugriff auf das Mutterunternehmen hat und die Mitspracherechte des Kapitalgebers auf das Projekt beschränkt sind. Durch Call-/Put-Strukturierungen ist es dem Unternehmen zusätzlich möglich, die Kapitalgeber herauszukaufen und das Projekt wieder vollständig in das Mutterunternehmen zu integrieren. SPV-Konstruktionen und Investments in VC-Fonds können somit bei entsprechender Ausgestaltung geschickte Wege zur Erhöhung der Innovationskraft des Unternehmens sein.

Dabei werden Art und Umfang der Risikopartnerschaft von Kapitalgebern oft dezidiert durch Details ausgestaltet: Es wird hier zwischen der vollen Risikopartnerschaft, der Risikoabwälzung vom Investor auf das Unternehmen (Investor mit reduziertem Risiko) und der Risikoabwälzung vom Unternehmen auf den Investor (Investor mit erhöhtem Risiko) unterschieden. Die Art der Risikopartnerschaft wirkt einerseits auf die risikoadäquaten Kapitalkosten, andererseits können daraus Risiken für das Mutterunternehmen entstehen. Aufgrund der notwendigen Exit-Regelung und gesteigerten Transparenz bei SPV-Konstruktionen sind diese Minderheitsbeteiligungen vorzuziehen. VC-Fondsmodelle mit Kaufoption sind insbesondere bei mehreren parallelen Innovationsvorhaben gut geeignet, soweit die teilweise entstehende Transparenz und die preislich nicht fixierte Call-Option für das Unternehmen akzeptabel sind. Grenzen werden der Ausgestaltung durch den Wert des Wachstumsprojekts gesetzt: Je höher die Werte, desto eher sind die gewünschten Bedingungen des initiiierenden Unternehmens durchsetzbar.

Zudem ist die Erfahrung der Investoren bedeutend. Je größer die Expertise der Investoren in Bezug auf das Verständnis der Unternehmen und Innovationsprojekte ist, desto geringere Renditen verlangen diese. Dies gilt umso mehr, wenn sie über viele Projekte diversifiziert sind. Dem entsprechend sind gut funktionierende Märkte für Risikokapital mit guten, starken Investoren ein wichtiger Faktor zur Senkung

der Innovationshürden und somit ein wesentlicher Treiber, um Innovationen in einer Volkswirtschaft einfacher finanzierbar zu machen.

5. Literaturverzeichnis

- 1 Vgl. aktuell z.B. Commerzbank AG, Management im Wandel, 2015, S. 22 (25), abrufbar unter: https://www.unternehmerperspektiven.de/media/up/studien/15__studie/UP_15_Studie.pdf, Abruf am 02.05.2015.
- 2 Vgl. Welter, FAZ, Nr. 37 vom 13.02.2015, S. 16; Beitrag von Nöll/Bonn in diesem Heft.
- 3 In diesem Zusammenhang verdienen breakthrough- bzw. radikale Innovationen besondere Aufmerksamkeit. Vgl. dazu Shelton/Percival, Breakthrough innovation and growth, 2013, insb. S. 36 (37), abrufbar unter: https://www.pwc.ch/de/dyn_output.html?content.void=52801&collectionpageid=3764&containervoid=21412&comefromcontainer=true; Abruf am 02.05.2015.
- 4 Vgl. Drucker, Innovation and Entrepreneurship, 1985, S. 134 (136).
- 5 Vgl. Kaserer, Wachstum und Unabhängigkeit durch Eigenkapitalfinanzierung, 2009, S. 21 (22), abrufbar unter: http://deutscheboerse.com/dbg/dispatch/de/binary/gdb_content_pool/imported_files/public_files/10_downloads/33_going_being_public/30_studies/Studie_Wachstum_Unab_EK-Finanz.pdf, Abruf am 01.04.2015; Rammer/Spielkamp, Hidden Champions, 2015, S. 1, abrufbar unter <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/docus/dokumentation1503.pdf>, Abruf am 02.05.2015, Bartels/Müller/Schwettmann/von Au, Die Zukunft von Familienunternehmen, 2014, S. 17, abrufbar unter http://www.pwc.de/de/mittelstand/pwc-studie-ueber-die-zukunft-von-familienunternehmen_gut-geruestet-fuer-schwierige-aufgaben.jhtml, Abruf am 02.05.2015, Beitrag von Weissman/Wegerer in dieser Publikation.
- 6 Vgl. Hud/Rammer, Innovation Budgeting over the Business Cycle and Innovation Performance, 2015, S. 12 (14), abrufbar unter <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp15030.pdf>, Abruf am 02.05.2015.
- 7 Vgl. Stiftung Familienunternehmen, Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Familienunternehmen, 2014, S.53, abrufbar unter: http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/2014_Studie_VolkswirtschaftlicheBedeutungFamilienunternehmen.pdf, Abruf am 01.04.2015; Zimmermann, KfW-Innovationsbericht Mittelstand 2014, 2015, S.6, abrufbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Innovationsbericht/KfW-Innovationsbericht-Mittelstand-2014.pdf>, Abruf am 01.04.2015; Arend/Zimmermann, Innovationshemmnisse bei kleinen und mittleren Unternehmen, 2009, S. 57 (68), abrufbar unter: <https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Schwerpunkt-Sonderthemen/Per-43-Innovationshemmnisse-bei-KMU.pdf>, Abruf am 01.04.2015. Welter et al., Das Zukunftspanel Mittelstand, 2014, S. 9, 15, 20, abrufbar unter http://www.ifmbonn.org/publikationen/ifmmaterialien/publikationendetail/?tx_ifmstudies_publicationdetail%5Bpublication%5D=492&cHash=ea704c42ab79445f6ce2a511c0a53aec, Abruf am 02.05.2015 Hottenroth/Peters, Review of Economics and Statistics 4/2012 S. 1126 (1142).
- 8 Vgl. Achleitner/Poehch/Groth, Beteiligungskapital als Finanzierungsalternative für mittelständische Unternehmen, 2005, S. 16 (19), abrufbar unter: <https://www.muenchen.ihk.de/de/presse/Anhaenge/Studie-Beteiligungskapital.pdf>, Abruf am 01.04.2015; Achleitner/Schraml/Tappeiner, Private Equity in Familienunternehmen, 2008, S.24 (26), abrufbar unter: http://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Studie_Stiftung_Familienunternehmen_Minderheitsbeteiligungen.pdf, Abruf am 01.04.2015; Ebner Stolz Management Consultants/Wolf Häcker Finanzconsulting, Finanzierung im Mittelstand Studie 2014, 2014, S. 26 (27), abrufbar unter: http://www.whf-ag.de/assets/uploads/media/Finanzierung%20im%20Mittelstand%20-%20Studie%202014_final_web.pdf, Abruf am 01.04.2015, Zimmermann CF 2015 S. 183 (190)
- 9 Für eine genaue Betrachtung der unterschiedlichen Finanzierungsformen und deren Ausgestaltung vgl. z.B. Breuer, Finanzierung, 3.Aufl. 2013, S. 9 (39). Für eine ausführliche Definition von Mezzanine-Kapital vgl. z.B. auch Natusch, in Häger/Elkemann-Reusch (Hrsg.), Mezzanine Finanzierungsinstrumente, 2. Aufl. 2007, S. 23 (58).
- 10 Vgl. z.B. Franke/Hax, Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt, 6. Aufl. S. 116 (117).
- 11 Jedoch schenken Familienunternehmen dieser „goldenen Finanzierungsregel“ teilweise weniger Beachtung und finanzieren langfristige Projekte tendenziell häufiger mit kurzfristigem Kapital als Nicht-Familienunternehmen. Vgl. Peters/Westerheide, Short-term Borrowing for Long-term Projects, 2011, S. 11 (13), abrufbar unter: <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp11006.pdf>, Abruf am 01.04.2015.
- 12 Für den Fall, dass Entwicklungsaufwendungen aktiviert werden, sind diese i.d.R. aber oft nicht beleihbar bzw. durch Fremdkapital finanzierbar.
- 13 Vgl. auch Kaserer, a.a.O. (Fn. 5), S. 22 (23), 59. Ergebnisse aus dem KfW-Mittelstandspanel 2013 untermauern diese Aussage zusätzlich. Hier lag der durchschnittliche Anteil der Innovationsaufwendungen bei KMU, der durch Bankdarlehen finanziert wurde, bei lediglich 7%. Vgl. Zimmermann, KfW-Mittelstandspanel 2013: Wie Mittelständler ihre Innovationen finanzieren, 2014, S. 2 (3), abrufbar unter <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-Nr.-50-April-2014.pdf>, Abruf am 01.04.2015.
- 14 Erstmals wurde dies 1958 von Modigliani/Miller in deren Art. „The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment“ dargestellt. Vgl. Modigliani/Miller, American Economic Review 1958 S.261 (297). Neben dem Umstand, dass die Eigenkapitalkosten eines Unternehmens mit steigendem Verschuldungsgrad ansteigen, wird außerdem beschrieben, dass die Kapitalstruktur

keinen Einfluss auf den Unternehmenswert besitzt und die durchschnittlichen Kapitalkosten unabhängig vom Verschuldungsgrad gleich bleiben. Diese Aussagen beziehen sich auf eine Betrachtung ohne steuerliche Effekte unter der Prämisse eines vollkommenen Kapitalmarkts. Werden jedoch Steuern in das Modell miteinbezogen sinken die durchschnittlichen Kapitalkosten mit steigendem Verschuldungsgrad und der Unternehmenswert erhöht sich um die ewige Rente der Tax Shields. Vgl. Modigliani/Miller, *American Economic Review* 1963 S. 433 (443)

- 15 Dies hat der Autor in einigen Projekten bei der weltweiten Suche erfahren müssen und war somit ein wesentlicher Motivationsgrund für die vorgelagerte Konferenz und diesen Beitrag.
- 16 Dies wird z.B. auch bei Betrachtung der aktuellen Finanzierungslandschaft in der deutschen Biotechnologie-Branche deutlich, wo Wachstumsprojekte i.d.R. über einen langen Zeitraum einen sehr hohen Kapitalbedarf bei einhergehendem hohem Ausfallrisiko haben. Hier fehlt deutschen Biotech-Unternehmen massiv Kapital zur Finanzierung solcher Projekte. Vgl. Ernst & Young, *Deutscher Biotechnologie-Report 2014*, 2014, S. 20 (22), abrufbar unter: http://www.biodeutschland.org/tl_files/content/dokumente/biothek/2014/EYBiotechReport_D_2014.pdf, Abruf am 01.04.2015.
- 17 Diese Einschätzung basiert auf Erfahrungen des Autors.
- 18 Laut einer Studie der EVCA wurden 2013 lediglich 0,02% des deutschen BIP in Venture Capital investiert. Damit liegt Deutschland im europäischen Mittelfeld. Vgl. EVCA, *2013 European Private Equity Activity*, 2014, S. 45, abrufbar unter: <http://www.evca.eu/media/142790/2013-european-Private-Equity-activity.pdf>, Abruf am 01.04.2015.
- 19 Vgl. Hummel/Karcher/Schultz, *Journal of Business Economics* 2013 S. 489.
- 20 Zur Definition des Terminus „reines Eigenkapital“ vgl. Drukarczyk/Lobe, *Finanzierung*, 11. Aufl. 2015, S. 298 (301).
- 21 Zur Pay-off-Struktur von Eigen- und Fremdkapital sowie Wandeldarlehen vgl. Müller-Känel, *Mezzanine Finance*, 3. Aufl. 2009, S. 34. (52). Zur Auszahlungsstruktur von stillen Beteiligungen vgl. Wendels/Keienburg/Sievers, *European Financial Management* 2011 S. 467 (471).
- 22 Zu Cashflow-Rechten im Detail vgl. Simon, *Der Wert von Beteiligungsverträgen*, 2010, S. 226 (454).
- 23 Die Ausführungen beziehen sich auf eine Participating Liquidation Preference. Vgl. Honold, *CF* 2014 S. 223. Zur Wirkungsweise von Liquidationspräferenzen und den unterschiedlichen Ausgestaltungsmöglichkeiten vgl. auch Hoffmann/Hölzle, *FB* 2003 S. 113 (120); Simon, a.a.O. (Fn. 22), S. 346 (373), Weitnauer, *Handbuch Venture Capital*, 3. Aufl. 2007, S.290 (292).
- 24 Dies ist sicherlich teilweise verhandelbar, wenn die Beteiligung nicht nur am Projekt, sondern am Gesamtunternehmen erfolgt. Zum Trade-off zwischen Anteilsquote und Sonderrechte vgl. auch Honold, *CF* 2014 S. 220 (236) und Honold/Oed in Günther/Kirchhof (Hrsg.), *Leitfaden für Business Angels*, 2012, S. 174 (177).
- 25 Zur Definition von Kauf- und Verkaufsoptionen vgl. Hull, *Optionen, Futures und andere Derivate*, 7. Aufl. 2009, S. 29 (31).
- 26 Vgl. Simon, a.a.O. (Fn. 22), S. 374 (388).
- 27 Vgl. Gompers/Lerner, *The Venture Capital Cycle*, 2. Aufl. 2004, S.171 (200).
- 28 Liegt der ermittelte Anteilspreis unter dem der vorigen Finanzierungsrunde (Down-Round), wird die Anti-Dilution-Klausel ausgeübt. Je nach Ausgestaltung erhält der Investor nun so viele neue Anteile zum Nennwert, bis der Wertverlust vollständig bzw. teilweise beglichen wurde. Zu den Ausgestaltungsmöglichkeiten von Anti Dilution Klauseln in Form von Full Ratchet- bzw. Weighted Average-Ausgestaltungen vgl. von Einem/Schmid/Meyer, *BB* 2004 S. 2702 (2706); von Einem/Schmid/Meyer, *FB* 2003 S. 879 (883). Zur Veranschaulichung der teils massiven Auswirkungen einer Full-Ratchet-Ausgestaltung hinsichtlich der Gesellschafterstruktur zuungunsten der Altgesellschafter anhand eines Beispiels vgl. Honold, *CF* 2014 S. 228 (235).
- 29 Vgl. Weitnauer, a.a.O. (Fn. 23), S. 288 (289).
- 30 Ein Beispiel stellt die Mehrheitsbeteiligung der WITTENSTEIN AG an der attocube systems AG, einem Spin-Off der Ludwig-Maximilians-Universität München, dar. Siehe für nähere Einzelheiten dazu die Pressemitteilung vom 02.09.2008, abrufbar unter: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/wittenstein-ag/WITTENSTEIN-AG-in-Igersheim-erwirbt-Mehrheit-an-attocube-systems-AG-Muenchen/boxid/201461>, Abruf am 01.04.2015.
- 31 Hier können im Markt Minder- und Mehrheitsbeteiligungen beobachtet werden, wobei vonseiten der Start-ups oft auch der komplette Verkauf im Erfolgsfall gewünscht ist. Familienunternehmer steigen hier teilweise auch zunächst als Business Angel ein und erweitern ihre Beteiligung im Zeitverlauf. Erst bei hinreichendem Projektfortschritt wird das strategische Interesse in Folgefinanzierungsrunden bekundet und oft z.B. mit Kooperationsverträgen zusätzlich ausgefüllt. Eine Vielzahl weiterer, interessanter Fragestellungen zur Ausgestaltung sollen hier nicht weiterverfolgt werden, um den Fokus auf der Finanzierung zu belassen. Zur Ausgestaltung der unterschiedlichen vertraglichen Bestandteile vgl. Winzer, *Forschungs- und Entwicklungsverträge*, 2. Aufl. 2011; Missling, in Weitnauer, a.a.O. (Fn. 23), S. 307 (329).
- 32 Auf eine weiterführende Analyse wird hier aus Platzgründen verzichtet. Vgl. Weissman/Wegerer *CF* 2015 191 (196).
- 33 Vgl. hierzu auch Bardens/Meurer *CF* 2015 S. 209 (215), Blöchle/Schmidt *CF* 2015 S. 216 (222), Springer *CF* 2015 S. 206 (208), Weissman/Wegerer *CF* 2015 191 (196).
- 34 Als Minderheitsbeteiligung wird eine Unternehmensbeteiligung bezeichnet, bei welcher der Gesellschafter weniger als 50% der Unternehmensanteile hält. Für eine genaue Definition der Minderheitsbeteiligung vgl. Kauffmann, *Führung von Minderheitsbeteiligungen*, 2009, S. 24 (25); Söding, *Private Equity Minority Investments*, 2012, S.26 (28).
- 35 Innerhalb einer Befragung von Familienunternehmen, welche sich durch eine Minderheitsbeteiligung finanziert haben, gaben 15 der 19 Unternehmen an, dass sie sehr zufrieden bzw. zufrieden mit der Finanzierungsform waren. Lediglich drei Unternehmen zeigten sich unzufrieden bzw. sehr unzufrieden. Vgl. Achleitner/Schraml/Tappeiner, a.a.O. (Fn. 8), S. 83 (84).

- 36 Vgl. z.B. Roland Berger Strategy Consultants, Internationale Finanzierungsstudie 2011 – Auswertung Deutschland, 2011, S. 25 (26). (Fn. 34), S. 73 (387).
- 37 Vgl. ausführlich zur Ausgestaltung von Minderheitsbeteiligungen Achleitner/Schraml/Tappeiner, a.a.O. (Fn. 8), S. 41 (65), Söding, a.a.O. (Fn. 34), S. 73 (387). Vgl. Jesch, Private Equity-Beteiligungen, 2004, S. 106.
- 38 Zu Exit-Ausgestaltungen bei Minderheitsbeteiligungen vgl. Söding, a.a.O. (Fn. 34), S. 375 (382).
- 39 Vgl. Jesch, Private Equity-Beteiligungen, 2004, S. 106.
- 40 Bei einer Simple Liquidation Preference erhält der Investor den vereinbarten Präferenzbetrag vor den übrigen Gesellschaftern, partizipiert aber im Gegensatz zur Participating Liquidation Preference nicht mehr am verbleibenden Resterlös. Das Wandlungsrecht gewährt ihm jedoch eine Wandlung der Vorzugsanteile in Stammanteile. Dieses wird er dann nutzen, wenn der ihm zufließende Exit-Erlös mit Stammanteilen höher ist als der durch die Vorzugsanteile maximal erzielbare Cashflow beim Exit. Vgl. Hoffmann/Hölzle, FB 2003 S. 113 (114).
- 41 Vgl. Springer CF 2015 S. 206 (208)
- 42 Auch vor diesem Hintergrund kann mit Spannung das Ergebnis der aktuellen Diskussion zum Venture-Capital-Gesetz in Deutschland erwartet werden.
- 43 Zu den Voraussetzungen vgl. Bardens/Meurer CF 2015 S. 209 (215)
- 44 Vgl. Böttcher/ Blattner, Projektfinanzierung, 3. Aufl. 2013, S. 195 (221)
- 45 Die steuerlichen Vorteile werden durch Verrechnung der Verlustviträge mit Gewinnen des Mutterunternehmens aus anderen Bereichen generiert.
- 46 Vgl. Blöchle/Schmidt CF 2015 S. 216 (222).
- 47 Weitere Details dieses interessanten Details dazu bleiben aus Platzgründen weiteren Beiträgen vorbehalten.
- 48 Zum Geschäftsmodell von VC-Fonds vgl. z.B. Schefczyk, Erfolgsstrategien deutscher Venture Capital-Gesellschaften, 3. Aufl. 2004, S. 38 (60).
- 49 Es sind auch Ausgestaltungen möglich, in welchen dem Unternehmen Vorkaufsrechte für mehrere Unternehmen aus dem Portfolio gewährt werden.
- 50 Zur Diversifikation des unsystematischen Risikos durch Portfoliobildung vgl. z.B. Breuer/Gürtler/Schuhmacher, Portfoliomanagement I, 3. Aufl. 2010, S. 319 (321).
- 51 Zur Kostenstruktur von Private Equity- und VC-Fonds vgl. Metrick/Yasuda, Review of Financial Studies 2010 S. 2303 (2341).
- 52 Die Bewertung eines Calls zu Marktpreisen kann mit Null erfolgen, sodass diese Umsetzung still erfolgen kann. Vgl. hierzu auch Bardens/Meurer 72,97
- 53 Aktuell sind auch Beteiligungen von Finanzinvestoren an Corporate Venture Fonds in den USA beobachtbar

Semantische 3D-Objekterfassung – Lokalisierung und semantische Zuordnung potentieller Kollisionsobjekte im Raum auf Grundlage fusionierter Multi-Sensordaten

Prof. Dr. Christine Niebler

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Patrick Murmann

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Intendiertes Ziel des Forschungsobjekts ist die semantische Bildanalyse einer präparierten 3D-Szene. Dabei soll nicht nur erkannt werden, dass sich ein Objekt innerhalb des aktuellen Bildausschnittes befindet, sondern auf möglichst unkomplizierte Weise eine Aussage darüber zu gestatten, um welches bzw. welche Art von Objekt es sich dabei handelt. Im Zuge der Analyse wird aus 3D-Daten ein Mehrwert an semantischer Information generiert. Eine eingangs identitätslose Punktwolke wird zu einer Objektinstanz erhoben, die einem spezifischen semantischen Kontext zugeordnet werden kann.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Juni bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik, Labor für mobile Robotik
Projektleitung	Prof. Dr. Christine Niebler
Kontaktdaten	E-Mail: christine.niebler@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Kostengünstige, auf den Massenmarkt hin ausgerichtete 3D-Kameras erfreuen sich aufgrund ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten zunehmender Beliebtheit im Bereich der mobilen Robotik. Kameras, die Farben und Tiefeninformationen zurückliefern, werden RGBD-Kameras (*Red, Green, Blue, Depth*) genannt. Die Tiefeninformation des aufgenommenen Sichtfeldes ist als sogenannte Punktwolke interpretierbar. Die bekanntesten Kameras diesen Typs sind beispielsweise Microsofts Kinect [5] oder Asus' Xtion [1]. Letztere ermöglicht aufgrund ihrer Sensorik, die Farb- und Infrarot-, sowie Entfernungsdaten zu den erfassten Bildpunkten liefert, ein multimodales Erfassen der jeweiligen Umgebung durch ein einziges optisches Kamerasystem. Die Hardware ist mittels USB-Port unkompliziert an handelsüblichen Rechnern betreibbar. Die Ansteuerung der im Zuge der Tests verwendeten Asus Xtion erfolgt unter dem Betriebssystem Linux unter Zuhilfenahme der Bibliothek OpenNI [8]. Zum Auswerten und Visualisieren der 3D-Punktwolken dient eine Funktionsbibliothek namens *Point Cloud Library (PLC)* [11].

Der für die Erfassung von 3D-Daten verwendete Tiefensensor ist Prinzip-bedingten Restriktionen unterworfen, die im Zuge der Erhebung und Weiterverarbeitung von 3D-Punktwolken bedacht werden müssen:

- Aufgenommene Punktwolken sind auf Entfernungen zwischen etwa 0,8 und 5 Metern begrenzt und damit weder für Makroaufnahmen noch für die Erfassung größerer Räumlichkeiten geeignet.
- Das Tiefenbild handelsüblicher RGBD-Kameras liefert eine vergleichsweise niedrige Auflösung von maximal 640×480 Punkten, was bereits im Falle von faustgroßen Objekten in einer Entfernung von 1-2 Metern zu einer entsprechend niedrigen Anzahl von Punkten pro Flächensegment führt.
- Die erfassten Punktwolken sind stark verrauscht, was sich je nach Umwelteinflüssen in Differenzen von bis zu 10% in den erfassten Daten zweier aufeinander folgender Bilder bei gleichbleibender Bildeinstellung äußern kann.
- Sowohl metallische und anderweitig reflektierende, als auch absorbierende Oberflächen werden entweder unzusammenhängend erfasst oder erscheinen aufgrund der Reflexionseigenschaften transparent bzw. fehlen in der detektierten Punktwolke. Sie sind damit nicht von herkömmlichen transparenten Flächen oder Objektöffnungen zu unterscheiden.
- Unter einem sehr flachen Winkel auf eine Oberfläche treffende Strahlen werden objektseitig unzureichend reflektiert bzw. sensorseitig nicht zuverlässig detektiert, wodurch entsprechende Messpunkte für die zu erfassende Punktwolke verlorengehen. Dies macht sich insbesondere bei Übergängen zwischen benachbarten Punkten mit hohen Tiefengradienten bemerkbar.
- Ein einzelnes Tiefenbild liefert keine vollständige Repräsentation eines zu erfassenden Objekts, sondern lediglich eine sogenannte 2,5D-Ansicht [3] seiner aktuell vom Sensor erfassten, kameraseitigen Oberfläche. Für das Registrieren der vollständigen 3D-Struktur eines Objekts, muss dieses aus mehreren Blickwinkeln aufgenommen und die partiellen Punktwolken anschließend zu einem vollständig geschlossenen Objekt fusioniert werden [4]. Für 3D-Daten erweist sich dieses Verfahren als rechenintensiv und ist derzeit lediglich unter Zuhilfenahme von Spezial-Hardware in Form leistungsstarker GPUs latenzfrei durchführbar [6], was eine Implementierung im Rahmen der mobilen Robotik nur bedingt gestattet.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Intendiertes Ziel des Forschungsobjekts ist die semantische Bildanalyse einer präparierten 3D-Szene. Ziel ist es nicht nur zu erkennen, dass sich ein Objekt innerhalb des aktuellen Bildausschnittes befindet, sondern möglichst verzögerungsfrei eine Aussage darüber zu gestatten, um welches bzw. welche Art von Objekt es sich dabei handelt. Die Objekterkennung erfolgt im Kontext der mobilen Robotik, wodurch autonom operierende Systeme praktischen Beschränkungen hinsichtlich ihrer verfügbaren Rechenleistung unterworfen sind. Die aus der Objekterkennung gewonnen Erkenntnisse sollen unmittelbar als Grundlage für anschließende Handlungsentscheidungen des Systems dienen. Die Notwendigkeit, fortwährend auf Veränderungen in der jeweiligen Umgebung reagieren zu können, strebt daher eine rasche, idealerweise echtzeitfähige Datenverarbeitung an. Um diese beiden konkurrierenden Faktoren hinreichend zu bedienen, wird nach einem verlässlichen Algorithmus mit entsprechend guten Laufzeiteigenschaften gesucht, der Objekte hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit klassifizieren kann.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Aufgrund der in Abschnitt 2 erläuterten Unzulänglichkeiten liefert der Kamerasensor selbst unter kontrollierten Laborbedingungen keine Punktwolken in gleichbleibend hoher Qualität, womit keine verlässliche Aussage über die Identität zweier, zu einander in Beziehung stehender Objekte möglich ist. Daher wurde binäre Aussagenlogik bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Projekts zu Gunsten *qualitativer Aussagen* verworfen. Unter dieser Prämisse wird die in Abschnitt 3 formulierte Zielvorgabe zu einer Aussage über die *Abweichung* einer erfassten Probe gegenüber einem validierten Muster abgewandelt. Um Unterschiede zwischen 3D-Objekten möglichst einfach formulieren zu können, galt es zu überprüfen, ob und inwieweit die differentielle Varianz der wesentlichen Merkmale zweier oder mehrerer Objekte durch eine spezifische skalare Größe darstellbar ist.

4.1 Registrierung und Objekterkennung

Mittels eines Viewpoint Feature Histogramm (VFH) lässt sich ein Objekt anhand seines Merkmals/Deskriptor-Histogramms erkennen. Dieses Verfahren, sowie die Definition der erfassten Merkmale, wurde von Rusu.et.al.in [10] unter der Bezeichnung VFH-Deskriptor bzw. VFH-Signatur vorgestellt.

Dieses Verfahren kombiniert aus lokalen Merkmalen einer Punktwolke einen globalen Deskriptor. Gegenüber lokalen Deskriptoren, die lediglich für markante Schlüsselpunkte einer Punktwolke berechnet werden und die sich damit nur bedingt für gesamtheitliche semantische Aussagen über ein Objekt in seiner Gesamtheit eignen, wird als globaler Deskriptor für die gesamte Punktwolke berechnet. Die ermittelte Signatur kondensiert die wesentlichen Merkmale des zu Grunde liegenden Objekts und speichert sie als Histogramm. Im Falle von VFH erstrecken sich die erfassten Objekteigenschaften auf dessen Oberflächenform und Pose, die in Form von 308 diskreten Einträgen in einem Histogramm gespeichert und bezüglich der Anzahl der Punkte des erfassten Objekts normalisiert werden (siehe exemplarische Darstellungen in Abb. 1. Durch die Normalisierung der Einträge, ist die codierte Form invariant gegenüber der Skalierung. Die Objektpose codiert die Ausrichtung des Blickwinkels der Kamera auf den gemittelten Objektschwerpunkt.

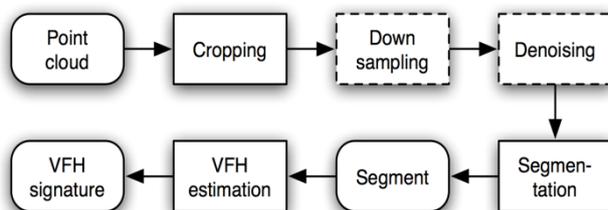


Abb. 1: Sequenz des Erfassungsprozesses

Um eine Punktwolke als diskrete Struktur handhaben zu können, muss der eigentlichen Berechnung der Signatur ein Segmentierungsschritt vorausgehen, der die für das Objekt relevante Punktmenge von seiner Umgebung freistellt. Dies kann bereits zum Zeitpunkt der Aufnahme erfolgen, indem das Frustum des Sichtfeldes von vorne herein auf einen entsprechenden Bereich eingeschränkt wird. Auf diese Weise werden außerhalb des eingeschränkten Sichtbereichs befindliche Szenendetails von vorn herein ausgeblendet. Zusätzlich können und müssen störende Artefakte, die nicht Bestandteil des eigentlichen Objekts sind, nachträglich algorithmisch entfernt werden. Dies trifft insbesondere auf Hintergrundflächen wie Böden und Wände zu, die Teil des aufgenommenen Sichtfeldes sind. Derartige Strukturen lassen sich aufgrund ihrer homogenen Form als zusammenhängende, planare Segmente detektieren, die sich näherungsweise entlang der x/y -, x/z - oder y/z -Ebene

des Kamera-Koordinatensystems erstrecken. Bei hochauflösenden Kameradaten geht dem Segmentierungsprozess üblicherweise zusätzlich ein Downsampling-Schritt voraus, mit dessen Hilfe für die Signaturbildung redundante Details entfernt werden. Zudem können die erfassten 3D-Daten einer Rauschminderung unterzogen werden. Beide Schritte sind auf die Daten von RGBD-Kameras nur bedingt anwendbar, da die ohnehin niedrig auflösenden Punktwolken dadurch zusätzlich verkleinert würden. Die vollständige Prozesskette inklusive der nicht angewandten Funktionsblöcke (gestrichelt) ist in Abb. 1 visualisiert.



Abb. 2: Galerie der als Muster registrierten Objekte

Für die Tests der Objekterkennung wurden elf Objekte (siehe Abb. 2), die auf unterschiedlichen Untergründen platziert wurden, wodurch sich 19 unterscheidbare Testobjekte ergaben. Die aufzuzeichnenden Testobjekte wurden auf einer waagrecht nivellierten Standfläche platziert, die ihrerseits auf dem 3D-Kopf eines Kamerastativs montiert war (Abb. 3). Diese frei im Raum platzierbare Rotationsplattform gestattete gegenüber einem herkömmlichen Drehteller das unkomplizierte Ausblenden seitlich sowie hinter der Plattform befindlicher Objekte, sodass je nach Blickwinkel lediglich die planare Punktmenge der Plattform als objektfremder Saum extrahiert werden musste. Die Ausrichtung der Kamera wurde jeweils parallel zur Äquatorialebene des anvisierten Objekts vorgenommen.



Abb. 3: Exemplarisches Messobjekt mit nicht-reflektierendem, schwarzem Untergrund

Ein Objekt muss für eine spätere allseitige Erkennung möglichst vollständig über 360° prä-registriert werden. Für das Erfassen einer Rundumsicht der Testobjekte wurde der Stativkopf in äquidistanten 10°-Schritten rotiert. In jeder Position wurden in jeweils drei Aufnahmen desselben Bildausschnitts unter identischen Lichtverhältnissen aufgenommen. Durch die Serienaufnahme wird dem zu erwartenden Bildrauschen durch statistische Mittelung Rechnung getragen. Die gemittelten Aufnahmen wurden segmentiert und anschließend in ihre VFH-Signatur überführt. Der Datensatz eines vollständigen prä-registrierten Objekts wird im Folgenden Muster genannt. Ein Muster setzt sich somit aus 36 Einzelsignaturen zusammen. Sämtliche Signaturen wurden in einer Datenbank gespeichert.

Nach einer vollständigen Registrierung aller Testobjekte, wurden diese als Testprobanden nochmals aus beliebigen Blickrichtungen erfasst und abermals wurde ihre VFH-Signatur ermittelt. Die Testsignaturen wurden daraufhin mit dem Datenbestand der prä-registrierten Muster verglichen.

Hierfür wurde als Vergleichsmaß die Chi-Quadrat-Distanz [9] zwischen den Signaturen von Testprobanden und Musterbestandteilen herangezogen. Für zwei Datenvektoren p, q der Länge n ist die Chi-Quadrat-Distanz definiert als:

$$\chi^2(p, q) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(p_i - q_i)^2}{p_i + q_i}$$

Die niedrigste Distanz zweier verglichener Signaturen entspricht hierbei größtmöglicher Übereinstimmung in Bezug auf deren Form und Pose, wodurch der Testproband einer registrierten Einzelsignatur ähnelt und damit ggf. dem zugehörigen Muster zugeordnet werden kann. Durch eine Schwellwert-Distanz wird festgelegt, bis zu welcher Abweichung ein Objekt dem gesuchten Typus zugeordnet werden kann. Die Größenordnung des Schwellwerts hängt dabei von den Systemparametern wie Auflösung der Kamera, Anzahl von Punkten im segmentierten Objekt sowie dem vorherrschenden Signalrauschen ab. Eine größere Punktmenge impliziert, dass sich Messfehler und statistische Abweichungen weniger negativ auf die generierte Objektsignatur auswirken. Zudem werden mehr spezifische Objektdetails erfasst, wodurch eine genauere VFH-Signatur generiert werden kann.

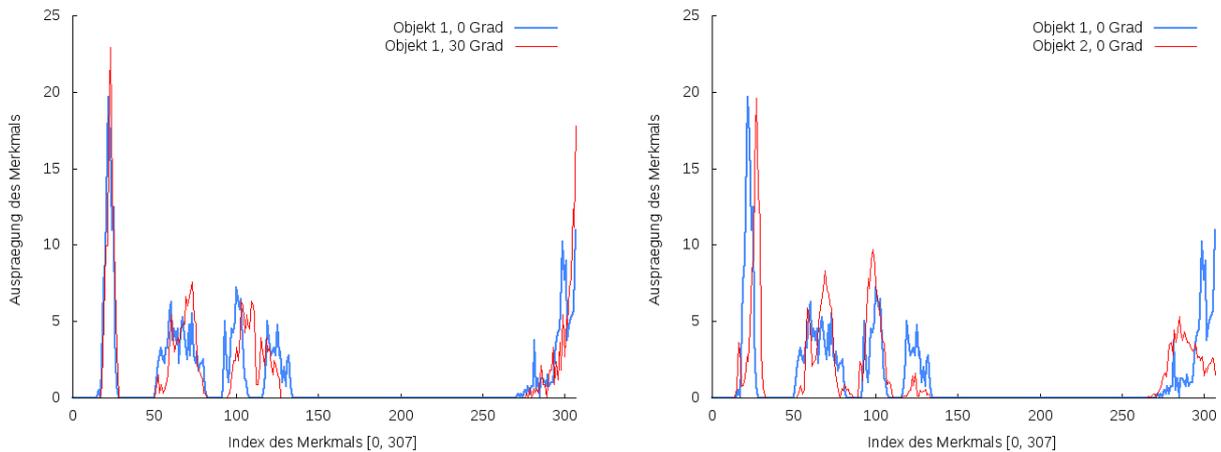


Abb. 4: Überlagerung der Signaturen desselben Objekts, aufgenommen in 0° und 30°-Stellung (links) sowie die Abweichung zweier unterschiedlicher Objekte jeweils in 0°-Stellung (rechts).

In Abb. 4 sind die Signaturen von drei Objekten dargestellt, wobei in der linken Abbildung in beiden Fällen dasselbe Objekt in unterschiedlichen Stellungen aufgenommen wurde. In Abb. 4 rechts sind die Signaturen zweier unterschiedlicher Objekte, die jeweils aus der gleichen Perspektive aufgenommen wurden, abgebildet.

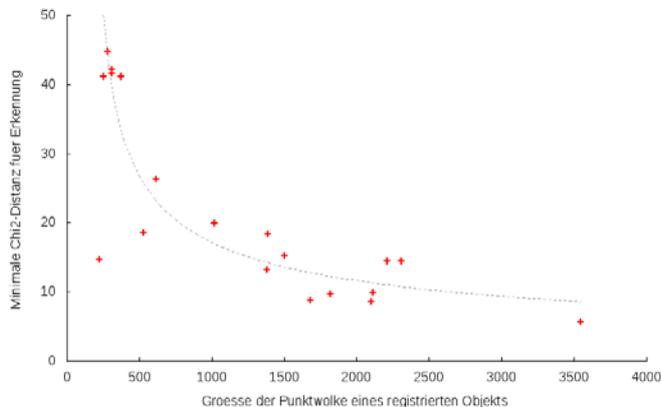


Abb. 5: Minimale, für das Erkennen eines registrierten Objekts notwendige Chi-Quadrat-Distanz aufgetragen über der Größe der jeweiligen Punktwolke (rote Kreuze), sowie reziproke Quadratwurzelfunktion der Punktwolkengröße (gestrichelte Linie)

Es konnte eine umgekehrte Proportionalität zwischen der Anzahl der Punkte der erfassten Objekte und der minimalen Chi-Quadrat-Distanz zwischen Mustern und Signatur der Probe nachgewiesen werden. Dieser Zusammenhang wird in Abb. 5 dargestellt. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Punkte eines registrierten Objekts aufgetragen, die durch den Mittelwert der aufgezeichneten Einzelaufnahmen gegeben ist. Entlang der Ordinate ist die Wiedererkennungs-Qualität in Form der minimalen Chi-Quadrat-Distanz aufgetragen. Ein niedrigerer Wert signalisiert eine bessere Wiedererkennungs-Qualität.

4.2 Optimierung der Laufzeiteigenschaften

Um die Erkennung und Zuordnung zwischen Probe und Muster hinsichtlich ihrer Laufzeiteigenschaften zu optimieren, wurden exemplarisch für drei unterschiedliche Objektformen synthetische Punktwolken generiert. Die ursprünglich konvexen Objektformen wurden nach der Generierung entlang der z-Achse in der Mitte halbiert, sodass sich letztlich Punktwolken mit konkaven Halboberflächen ergaben, wie man sie auch in aufgenommenen 2,5D-Daten vorfindet. Die drei Objekte lagen jeweils in einer Auflösung von 1500, 15000 sowie 150000 Oberflächenpunkten vor. Mit diesen Datensätzen wurde die Signaturgenerierung in Bezug auf Optimierungsmöglichkeiten hin untersucht.

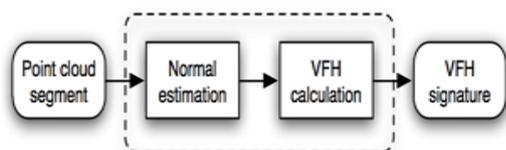


Abb. 6: Zwischenschritte zur Berechnung einer VFH-Signatur aus einer segmentierten Punktwolke

Das Generieren der VFH-Signatur einer Punktwolke vollzieht sich in zwei sequentiellen Schritten (s. Abb. 6). Zunächst werden die Oberflächennormalen sämtlicher Objektpunkte geschätzt (*normal estimation*). Anschließend wird auf Basis der ermittelten Normalen sowie des Objektschwerpunkts die VFH-Signatur der Punktwolke errechnet (*VFH computation*). Beide Schritte wurden initial mit den nicht optimierten PCL-eigenen Klassen *NormalEstimation* und *VFHEstimation* auf einer Intel® i7-4790-CPU umgesetzt. Ohne weitere Optimierung läuft der Al-

gorithmus im Single-Core Betrieb auf der CPU. Die Ergebnisse von Laufzeitmessungen des Single-Core Betriebs sind in Tab. 1 nach Funktionsblöcken gegliedert dargestellt.

Laut [10] erfolgt die Berechnung der VFH-Signatur mit einer Komplexität von $O(n)$, was im Rahmen der durchgeführten Laufzeitmessungen (Tab. 1, Spalte *VFH comp.*) bestätigt wurde. Es lässt sich ablesen, dass die Normalenberechnung rund 90% der Gesamtlaufzeit des Algorithmus in Anspruch nimmt. Bei der in der mobilen Robotik angestrebten, möglichst geringen Laufzeit wird somit das Augenmerk einer Optimierung auf die schnellere Verarbeitung der Normalenberechnung gelegt, da diese auch auf schwächeren Einplatinen-Computern effizient durchgeführt werden muss. Selbst solch einfache Einplatinen-Computer arbeiten heute wahlweise im Mehrkernbetrieb, wodurch mehrere Rechenschritte parallel verarbeitet werden können. Die Vorverarbeitung der Normalenabschätzung weist hinsichtlich der zu Grunde liegenden Rechenschritte keine Interdependenzen auf und kann daher parallelisiert werden. Die Parallelisierung wurde unter Zuhilfenahme der PCL-Klasse *NormalEstimationOMP* durchgeführt, die auf der OpenMP-Bibliothek [7] aufsetzt.

In Tab. 1 wird in der Spalte *Norm. est. (OMP)* die optimierte Rechendauer der Normalen gelistet. Die Parallelisierung der Normalenabschätzung erzielte auf der o. g. Testplattform gegenüber der Single-Core-Ausführung einen Geschwindigkeitsgewinn von bis zu 300%. Dieser Wert wird nur mit den sehr hoch aufgelösten Kunstdaten erreicht. Da für reale Punktwolkenmessungen zum aktuellen Zeitpunkt nur gering auflösende Kameras erhältlich sind, wird dieser Zeitgewinn hoffentlich mit neuen, hochauflösenden Kameragenerationen nutzbar. Bei aktuell vorliegenden realen Punktwolkengrößen von rund 1500 Punkten liegt der Gewinn nur bei durchschnittlich 30%. Bei kleinen Punktwolken konnte im Zuge der Umstellung auf die parallelisierte Normalenabschätzung mitunter auch ein Anstieg der Rechenzeit beobachtet werden (Tabelle 1: Quader mit 1.500 Punkten), was durch die zusätzliche Initialisierung und Synchronisation der nebenläufigen Programmausführung erklärt werden kann. Es muss also sorgfältig evaluiert werden, ob bzw. in welchen konkreten Fällen die Verarbeitung von 2,5D-Daten durch Parallelisierung sinnvoll optimiert werden kann.

Objekt	Auflösung	Normal estim.	Norm. est OMP	VFH comp.
Sphäre	1500	4763 µs 91%	3368 µs	490 µs 9%
Sphäre	15000	49383 µs 92%	15288 µs	4471 µs 8%
Sphäre	150000	538600 µs 92%	158683 µs	44865 µs 8%
Cylinder	1500	4670 µs 90%	2948 µs	514 µs 10%
Cylinder	15000	48575 µs 91%	15637 µs	4562 µs 9%
Cylinder	150000	531036 µs 92%	152913 µs	44976 µs 8%
Quader	1500	4595 µs 90%	5532 µs	507 µs 10%
Quader	15000	46942 µs 91%	14746 µs	4477 µs 9%
Quader	150000	524364 µs 92%	152239 µs	45245 µs 8%

Tab. 1: Laufzeitmessung der algorithmischen Teilschritte für drei unterschiedliche 2,5D-Objekte in jeweils drei Auflösungen. Gelistet ist neben der Standardvariante zur Normalenabschätzung (*Normal estim.*) auch die mittels OpenMP parallelisierte Variante (*Norm. est. OMP*), sowie die Berechnung der VFH-Signatur (*VFH comp.*). Die Prozentangaben der Spalten *Normal est.* und *VFH comp.* addieren sich zu 100 % Gesamtlaufzeit.

5. Verwertung

Semantische Objekterkennung mittels VFH-Signaturen findet seine Anwendung in Szenarien, in deren Verlauf auf 2,5D-Daten basierende Proben mit möglichst geringer Latenz mit bekannten Mustern verglichen werden sollen. Diese Muster können vorab durch Messung des Objekts oder mittels 3D-Computermodellen erzeugt werden. Aus einer Punktwolke im Umfang von 1500 bis 3000 Punkten kann auf Basis des vorgestellten Verfahrens in weniger als 10 ms die zugehörige VFH-Signatur generiert werden. Durch den Vergleich dieser Signatur mit einem registrierten Muster, kann ein Objekt einer spezifischen Form und Pose zugeordnet werden. Die Erkennung des Objekttyps entspricht der semantischen Zuordnung einer Szene zu einem Objekt, wobei diesem Objekt beliebige weitere Metainformationen zugewiesen werden können.

Die Pose und somit räumliche Lokalisierung des Objekts im Sichtfeld kann in der Robotik z. B. bei Greif-, Ausweich- oder Annäherungsaufgaben genutzt werden. Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist die Erkennung von Transportboxen im Kontext der Automatisierungstechnik. Diese sind im Industriefeld standardisiert und können somit einmalig als Muster für die Erkennung hinterlegt werden. Ein mobiler Roboter mit kostengünstiger RGBD-Kamera könnte diese Boxen und ihre Lage schnell ermitteln und anschließend unter Einbezug der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten mittels Routenplanung eine geeignete Route zu ihrem Bestimmungsort berechnen.

Die in Abschnitt 2 aufgelisteten Nachteile der RGBD-Kameras erschweren derzeit die sichere Zuordnung und Lokalisierung von Objekten. Idealerweise wird die Objekterkennung auf der Basis von VFH-Signaturen zusätzlich durch traditionelle Methoden der 2D-Mustererkennung ergänzt, um dadurch auch dann verlässliche semantische Aussagen treffen zu können, wenn die 3D-Erkennung aufgrund unzureichender Qualität der erfassten Punktwolken nicht oder nur bedingt aussagekräftig ist. RGBD-Kameras bieten hierfür durch den RGB-Sensor nicht nur zusätzliche Farbinformationen, sondern durch den Infrarot-Sensor überdies monochrome Helligkeitswerte unter schlechten Lichtverhältnissen. Dies wird im Zuge weiterer Entwicklungen zu Implementieren und zu Testen sein.

6. Bibliographie & Referenzen

1. Asus Xtion Pro Live, https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO_LIVE/
2. Izadi, Shahram; Kim, David; Hilliges, Otmar, *KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera*, UIST'11, Oktober 2011
3. Litomisky, Krystof, *Consumer RGB-D Cameras and their Applications*, University of California, 2012
4. May, S.; Koch, Ph.; Koch, R., Merkl, Ch., Nüchter, A., *A Generalized 2D and 3D Multi-Sensor Data Integration Approach based on Signed Distance Functions for Multi-Modal Robotic Mapping*, Nuremberg Institute of Technology Georg Simon Ohm, 2014
5. Microsoft Kinect, <https://dev.windows.com/en-us/kinect>
6. Newcombe, Richard A.; Izadi, Shahram; Hilliges, Otmar, *KinectFusion: Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking*, Microsoft Research
7. OpenMP Architecture Review Board, *OpenMP Application Program Interface*, July 2013
8. OpenNI 2 SDK, <http://structure.io/openni>
9. Pele, Ofir; Werman, Michael, *The Quadratic-Chi Histogram Distance Family*, School of Computer Science, Hebrew University of Jerusalem, 11th Conference on Computer Vision, 2010
10. Rusu, Radu Bogdan; Bradski, Gary; Thibaux, Romain; Hsu, John, *Fast 3D Recognition and Pose Using the Viewpoint Feature Histogram*, Proceedings of the 23rd IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Oktober 2010
11. Rusu, Radu Bogdan; Cousins, Steve, *3D is here: Point Cloud Library (PCL)*, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), May 2011

Schadensdetektion und Lebensdauerabschätzung an schwingbeanspruchten kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen

Prof. Dr. Berthold von Großmann

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Kompetenzzentrum Analytik- Nano- und Materialtechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Prof. Dr. Thomas Sandner

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Kompetenzzentrum Analytik- Nano- und Materialtechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Ziel des Projekts war die Untersuchung des Verhaltens von CFK-Strukturen bei einer Beanspruchung unter einer wechselnden, dynamischen Belastung. Insbesondere soll das Auftreten der wesentlichen Schädigungsmechanismen wie Delamination, Zwischenfaserbruch und Faserbruch und die Auswirkungen auf die Restfestigkeit des Materials untersucht werden. Zur Charakterisierung der Schädigungen wurden die Verfahren Phased-Array-Ultraschall, Computertomographie und Acoustic Emission eingesetzt. Anhand der gewonnenen Daten soll ein Schädigungsmodell abgeleitet werden, dass die Vorausberechnung der Lebensdauer von Faserverbundkonstruktionen in Abhängigkeit von den wirkenden dynamischen Lasten erlaubt.

1. Projektdaten

Fördersumme	29.700 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik Kompetenzzentrum Analytik- Nano- und Materialtechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Berthold von Großmann
Kontaktdaten	E-Mail: berthold.vongrossmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Der heutige Kenntnisstand über das Ermüdungsverhalten von Faserverbundwerkstoffen hat noch nicht zu praxistauglichen und allgemeingültigen Berechnungsverfahren für die Bauteillebensdauer und Betriebsfestigkeit von Leichtbaukonstruktionen aus Faserverbunden geführt, wie man das z.B. bei traditionellen Konstruktionswerkstoffen im Maschinenbau gewohnt ist. Ursache ist der nach wie vor hohe Forschungsbedarf zu den komplexen Versagensmechanismen der Faserverbunde, insbesondere bei dynamischer Beanspruchung. Insbesondere die Kenntnis des Schädigungsverhaltens und des Schädigungsfortschritts ist ein wichtiger Schlüssel zum vertieften Verständnis der Verbundwerkstoffe.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Es sollen Wöhlerlinien- und Restfestigkeitsversuche zu praxisrelevanten Beanspruchungen an Laminataufbauten aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen durchgeführt werden. Die dabei auftretenden Schädigungsvorgänge sollen im Versuch durch geeignete Detektionsmethoden sichtbar gemacht und interpretiert werden. Zur Detektion der Fehler sollen verschiedene, sich ergänzende Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingesetzt werden. Aus den Erkenntnissen zur Restfestigkeit, Lebensdauer und sukzessiver Schädigung soll ein Schädigungsmodell abgeleitet werden, dass die Vorausberechnung der Lebensdauer von Faserverbundkonstruktionen in Abhängigkeit von den wirkenden dynamischen Lasten erlaubt. Das Berechnungsschema soll die Praxistauglichkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit aufweisen, wie sie für traditionelle Konstruktionswerkstoffe selbstverständlich sind.

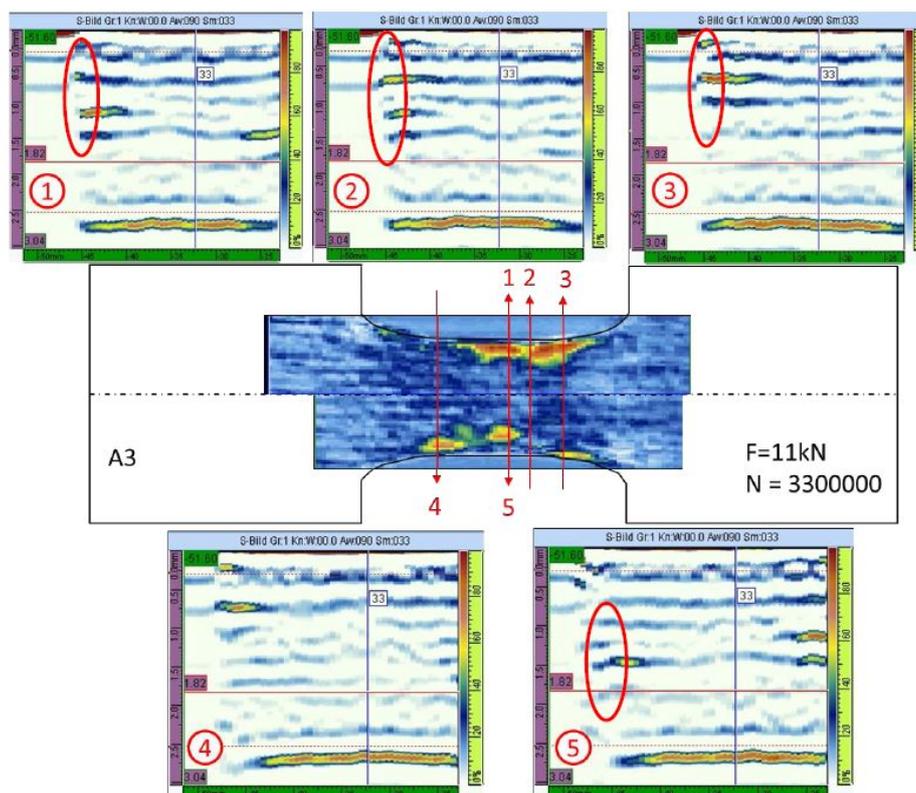
4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Es wurden Versuchsreihen mit dynamisch auf Zug/Druck belasteten Flachproben aus quasiisotropem CFK-Laminat durchgeführt. Das Verhältnis zwischen Zug- und Druckspannungsamplitude (R-Verhältnis) wurde in den Versuchsreihen variiert. Die Versuche lieferten Wöhlerlinien – d.h. Bruchlastspielzahlen N_B in Abhängigkeit von Spannungsamplitude und R-Verhältnis.

Außerdem wurden Restfestigkeitsversuche durchgeführt, die die für eine vorgegebene Lastspielzahl $N < N_B$ und Spannungsamplitude verbleibende Zugfestigkeit ergeben. In ausgewählten Versuchsreihen wurden versuchsbegleitend Schallsignale mit der Acoustic Emission Methode aufgezeichnet. Damit konnte die fortschreitende Schädigung des Materials während des Versuchs beobachtet werden. Außerdem wurden an teilgeschädigten Proben US-Untersuchungen vorgenommen und Probenschliffe lichtmikroskopisch ausgewertet. Die Auswertung der Versuche ergab:

- Die Abhängigkeit der Bruchlastspielzahlen von der Höhe der Spannungsamplituden und dem R-Verhältnis zeigt eine deutliche Systematik, die sich mathematisch beschreiben lässt.
- Auch der Kurvenverlauf der Restfestigkeit über der Lastspielzahl lässt sich mathematisch beschreiben und zeigt eine systematische Abhängigkeit vom R-Verhältnis. Da die Restfestigkeit umgekehrt proportional zur Laminatschädigung ist, lässt sich aus den Ergebnissen folgern, dass der zeitliche Ablauf der Schädigung sehr stark vom R-Verhältnis abhängt.

- Durch den Einsatz unterschiedlicher, sich ergänzender Methoden der Schadensdetektion wie Computertomographie, Acoustic Emission und Ultraschallprüfung konnte eine fortschreitende Schädigung der Faserstrukturen, die bereits nach wenigen Lastwechseln einsetzt, nachgewiesen werden, siehe Abbildung. Die Ergebnisse der zerstörungsfreien Detektionsmethoden konnten auch mit einer materialographischen Untersuchung der belasteten Proben mit Hilfe der Lichtmikroskopie bestätigt werden.
- Der Zusammenhang zwischen Restfestigkeit und fortschreitender Schädigung konnte mit der Acoustic Emission Methode zwar detektiert werden, eine Quantifizierung des Zusammenhangs erweist sich allerdings als schwierig. Die US-Untersuchungen ließen die fortschreitende Schädigung der Matrix erkennen, nicht aber den eigentlichen Restfestigkeitsverlust durch Faserrisse.
- Mit den Versuchsergebnissen konnte ein existierendes, eigenentwickeltes Programm zur schichtweisen Berechnung der statischen Beanspruchung und Festigkeit von Laminaten so erweitert werden, dass es auch die schichtweise Lebensdauerberechnung für dynamische Beanspruchung eines Laminats erlaubt. Das Berechnungskonzept des Programms ist so flexibel und offen gewählt, dass die nun vorhandene Programmbasis in ihrer Aussagegenauigkeit jederzeit mit Hilfe weiterer, eigener Versuche sowie in der Literatur oder Datenbanken dokumentierten Versuchsergebnissen verbessert werden kann.



Detektion der Schädigung mit einer zerstörungsfreien Phased-Array-Ultraschallprüfung an einer CFK-Probe bei einer Spannungsamplitude von 145 MPa nach $3,3 \cdot 10^6$ Lastwechseln. Die genaue Lage und Größe der Schädigung kann anhand der Scans ermittelt werden.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Die in dem Vorlaufforschungsprojekt gewonnenen Ergebnisse ermöglichten es, ein tragfähiges Konzept für die Lebensdauerberechnung von CFK-Laminaten zu entwickeln und in ein entsprechendes Berechnungsprogramm umzusetzen. Die für die Lebensdauer eines Laminats wesentlichen Einflussgrößen wurden konsequent im Programm berücksichtigt. Zudem konnten im Rahmen des Projekts die zerstörungsfreie Prüfmethode der Phased-Array-Ultraschalltechnik weiter optimiert und die Methode der Acoustic Emission erstmalig an der TH Nürnberg für CFK-Strukturen eingesetzt werden. In Kooperation mit dem Fraunhofer Entwicklungszentrum für Röntgentechnik konnte zudem die Computertomographie für die Schadensdetektion eingesetzt werden.

Als nächster Schritt soll die Datenbasis durch eine größere Anzahl an Dauerschwingversuchen (bei unterschiedlichen R-Verhältnissen) ausgebaut werden und damit die Verlässlichkeit und die Aussagefähigkeit des Modells weiter optimiert werden. Zudem ist es auch möglich die Aussagekraft des Modells durch das Einpflegen von Versuchsergebnissen aus der Literatur oder aus Datenbanken in das Modell weiter zu verbessern. Bei einer ausreichenden Validierung des Modells sollen die Ergebnisse in einer wissenschaftlichen Zeitschrift publiziert werden.

Letztendlich ist es das Ziel das ermittelte Lebensdauermodell auch auf reale, mehrachsige Bauteile anwenden zu können. Mit dem vorliegenden Projekt ist das Ziel etwas näher gerückt.

Gelenkflexibler Roboter „FlexRobot“

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Hornfeck

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
3D Visualisierungszentrum
Technische Hochschule Nürnberg

Stefan Landkammer, M. Eng.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
3D-Visualisierungszentrum
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Im laufenden Forschungsprojekt „OHM-Krabbler“ wurde ein Gelenkmechanismus nach dem Vorbild der Spinne entwickelt und patentiert. Dieses Funktionsprinzip soll im Rahmen der Vorlaufforschung auf einen Gelenkroboter für eine direkte Mensch-Maschinen-Kollaboration übertragen werden. Hierzu werden verschiedene Einsatzszenarien zusammengestellt. Zur Demonstration des Grundprinzips wird ein mehrachsiges Funktionsmodell konstruiert und aufgebaut, dessen vorderes Gelenk aus einem gelenkflexiblen Arm besteht. Ziel ist es, die prinzipielle Eignung des bionischen Gelenkprinzips für Roboter ohne Sicherheitssensorik nachzuweisen.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Februar bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik / 3D-Visualisierungszentrum
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Hornfeck
Kontakt Daten	E-Mail: ruediger.hornfeck@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Roboteranwendungen in der Montage- und Handhabungstechnik sind heutzutage kaum noch aus der industriellen Fertigung wegzudenken. Jedoch wird eine direkte „Hand-in-Hand“-Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter bislang größtenteils vermieden. Die Gründe hierfür liegen zunächst in sicherheitstechnischen Bedenken. Kollisionen mit den starren, kraftvollen Armen konventioneller Roboter können zu lebensgefährlichen Verletzungen durch Quetschungen und harten Stößen führen. Aus diesem Grund ist keine Kollaboration mit den Robotern möglich. Weiterhin ist aus Sicherheitsgründen eine räumliche Trennung erforderlich.

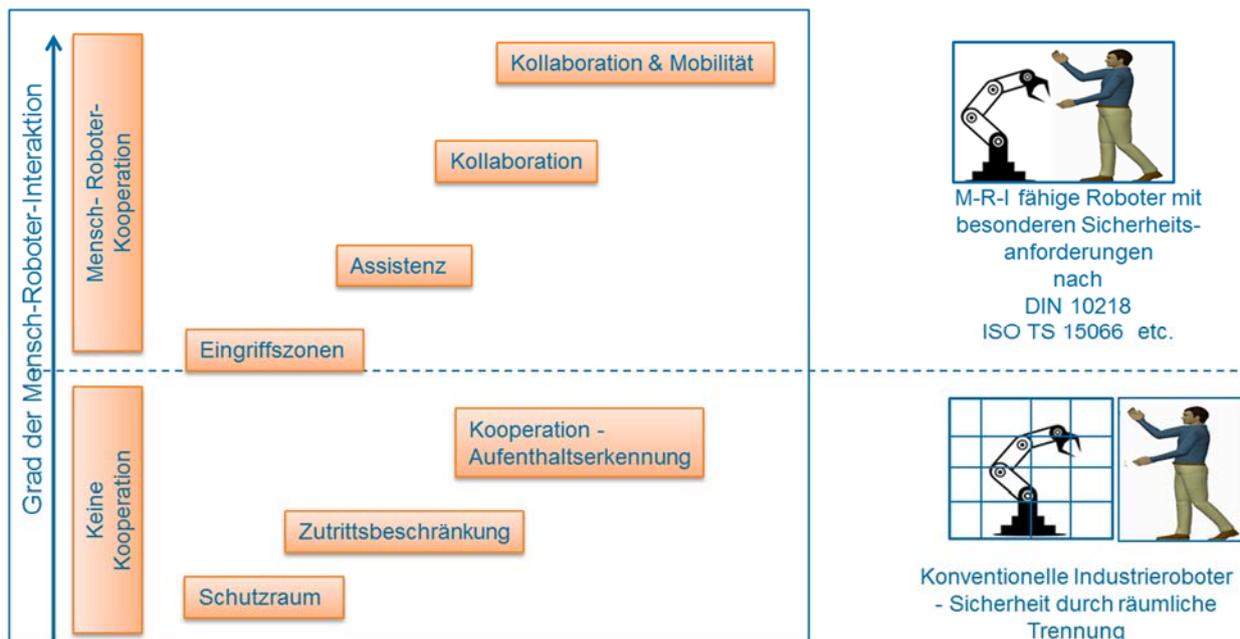


Abb. 1: Grad der Mensch-Roboter-Interaktion [1]

Um eine Mensch-Roboter-Interaktion zu ermöglichen, sind entsprechend aufwendige Sicherheitsanforderungen nach DIN 10218 und ISO TS 15066 zu erfüllen. Zur Erfüllung dieser Richtlinien werden entweder berührungslose, optische und induktive Sensoren eingesetzt oder kapazitive Sensorhäute angebracht.



Abb. 2: Flexibler Produktionsassistent Bosch APAS [2].

Diese aktive Nachgiebigkeitsregelung durch Sensoren ist eine sehr funktionelle Hightech-Lösung, die die hohen Sicherheitsanforderungen erfüllt. Allerdings sind diese Lösungsansätze nicht nur sehr kostenintensiv, sondern auch technisch sehr aufwendig, was zu einem erhöhten Fehlerpotential führen kann.

Eine Analyse der Entwicklungen von Handhabungsrobotern der letzten Jahre lässt in der Robotik eine Trendwende erkennen: weg von den starren Motor-Getriebe- oder Kolben-Zylinder-Einheiten und hin zu flexiblen Komponenten mit einem hohen Grad an struktureller Integration [3]. Die sogenannten „Soft Robotics“ umgehen durch ihre natürliche Nachgiebigkeit dieses Sicherheitsrisiko und erlauben eine direkte Interaktion zwischen Werker und Roboterarm. Dieser neuen Art der Aktuatorik wird aktuell das Potential zugeschrieben, in Zukunft sämtliche Bereiche der Robotik und des Maschinendesigns zu verändern [4].

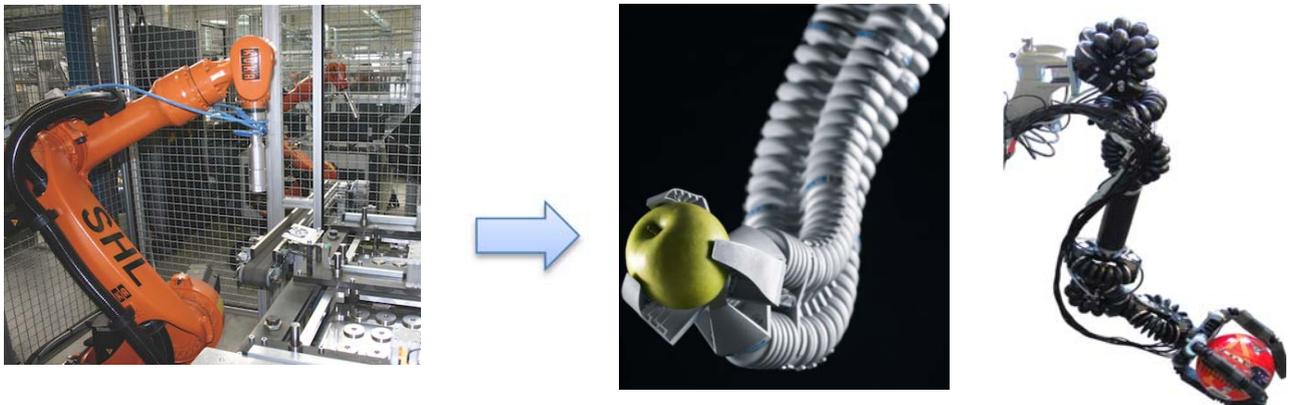


Abb. 2: Links: Konventionelle Roboter (im max. Traglastbereich 5-16kg) [5] mit Sicherheitseinzäunung; Rechts: Soft Roboter, Elefantenrüssel Festo [6] und Montagearm KIT [7]

So gibt es in Deutschland verschiedene Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet. Diese basieren entweder auf entfaltbaren Strukturelementen [6–8] oder pneumatischen Muskeln [9]. Der Nachteil beider Grundprinzipien besteht darin, dass diese nur in eine Richtung Kräfte generieren können. Um an einem Gelenk in beiden Drehrichtungen aktiv agieren zu können, ist eine Umlenkung bzw. ein Gegenspieler nötig.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Im Rahmen des vom Bayerischen Umweltministerium geförderten Forschungsprojekts „OHM-Krabbler“ wurde der Beinmechanismus von Spinnen untersucht. Dieser wird aktuell in ein technisches System für einen Laufroboter umgesetzt [10, 11].



Abb. 3: Bionisch inspiriertes Gelenkprinzip [12]

Dieses neuartige Konzept kombiniert dabei die Vorteile beider Grundprinzipien in einem Drehantrieb. Statt eines Antagonisten auf der Gegenseite des Gelenkbereichs wird nun ein Muskel in den bisher ungenutzten Raum im Beinglied integriert und dadurch ein wesentlich kompakterer Aktuator ermöglicht. Die Vorteile dieses flexiblen Gelenkmechanismus sind:

- ✓ größerer Bereich an Drehmomenten als bestehende Aktuatoren bei gleichem Gesamtdurchmesser und gleichem Betriebsdruck
- ✓ reduziertes Sicherheitsrisiko durch Nachgiebigkeit in beiden Richtungen
- ✓ keine aufwendige Sicherheitssensorik nötig, da eine natürliche Nachgiebigkeit gegeben ist
- ✓ Anpassung des gewünschten Nachgiebigkeitsverhaltens über die Druckdifferenz
- ✓ Energieeffizienz durch anwendungsbezogene Einstellung des Drucklevels
- ✓ energieloses Halten einer Position durch Schließen der Ventile
- ✓ leichtes Reinigen, Schutz vor Umgebungseinflüssen, da alle empfindlichen Bauteile im Inneren liegen
- ✓ Langlebigkeit und Zuverlässigkeit durch wenige einfache Komponenten
- ✓ höhere Dynamik des flexiblen Drehgelenks durch parallele Ansteuerung beider Druckbereiche

Für dieses Prinzip wurde bereits das deutsche Patent DE 10 2013 114660.0 [13] erteilt und ein europäisches Patent (EP14197579.7) eingereicht [14].

Dieses Funktionsprinzip soll im Rahmen der Vorlauforschung auf einen Gelenkroboter für eine direkte Mensch-Maschinen-Kollaboration übertragen werden. Hierzu werden verschiedene Einsatzszenarien zusammengestellt. Zur Demonstration des Grundprinzips wird ein mehrachsiges Funktionsmodell konstruiert und aufgebaut, dessen vorderes Gelenk aus einem gelenkflexiblen Arm besteht. Hiermit soll die prinzipielle Eignung des bionischen Gelenkprinzips für Roboter ohne Sicherheitssensorik nachgewiesen werden.

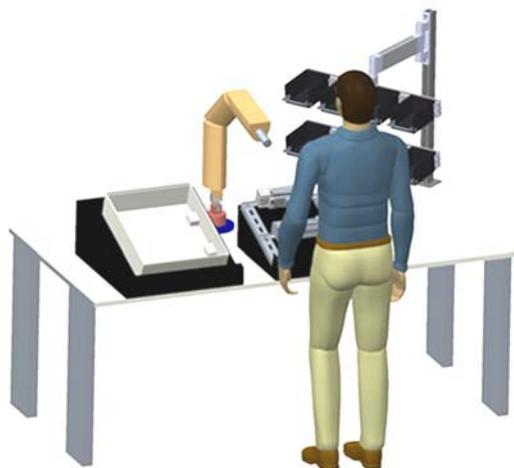


Abb. 4: Mögliches Einsatzszenario: Assistenzsystem

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Analyse möglicher Einsatzszenarien für einen sicherheitssensorlosen Gelenkroboter.

Zu nennen sind drei Argumente, die den Mehrwert der direkten Mensch-Roboter-Kollaboration beschreiben.

- **Steigerung der Produktivität und Flexibilität**

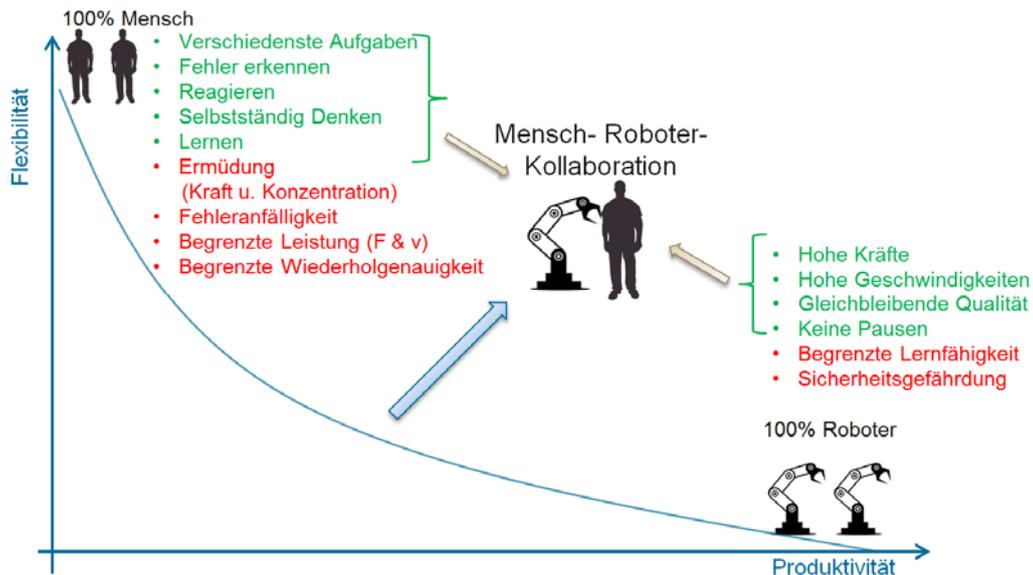


Abb. 5: Stufen der Roboterintegration [15]

Erledigt der Mensch die Arbeit, so kann er sich sehr schnell auf neue Aufgaben einstellen und bei auftretenden Fehlern reagieren. Zudem ist der Werker in der Lage mitzudenken und lernt aus Fehlern. Allerdings ist die damit verbundene hohe Leistungsfähigkeit nicht auf Dauer haltbar, und durch die körperliche Belastung entstehen Ermüdungserscheinungen, bis hin zu physischen und psychischen Krankheiten.

Demgegenüber steht der 100%ige Robotereinsatz. Hier kann eine Kontinuität im Dauerbetrieb gewahrt werden. Allerdings ergeben sich die beschriebenen Sicherheitsprobleme und ein größerer Aufwand bei der Umstellung auf neue Gegebenheiten. Ein sinnvoller Zwischenschritt stellt hier die Mensch-Roboter-Kollaboration dar.

- **Deckung der Anforderungen gesellschaftlicher Langzeittrends „mass customization“**

Die geforderte Flexibilität in der Produktion wird zudem durch den Trend verstärkt, dass eine Verschiebung vom Verkäufer- zum Käufermarkt stattfindet [16].

Dies bedeutet auf der einen Seite eine Anpassung der Kundenwünsche, kurze Lieferzeiten und dennoch kostengünstige Produkte. Auf der anderen Seite bedeutet dies eine ständige Prozessänderung, eine sofortige Prozesskontrolle und eine Einhaltung der Produktionsrate - und dies bei einer zusätzlichen Fertigungskostenminimierung. Flexibel einsetzbare Robotersysteme können hier unterstützen.

- **Minimierung der Fertigungsstückkosten**

Untersuchungen in Industrie und Wissenschaft zeigen, dass das Minimum der Fertigungskosten im Bereich der teilautomatisierten Fertigung liegt. Es wird davon ausgegangen, dass jeder Mitarbeiter beziehungsweise jede Mitarbeiterin einen Teil des Fertigungsprozesses übernimmt und ähnliche Lohnkosten mit sich bringt. Die Lohnkostensparnis bei einer Fertigungsautomatisierung steht deswegen im linearen Zusammenhang mit dem Automatisierungsgrad. Die Kosten der Automatisierung verlaufen jedoch exponentiell steigend, die einfachen, monotonen Arbeitsschritte werden zuerst automatisiert und verursachen einen geringen technischen und finanziellen Aufwand. Mit steigendem Automatisierungsgrad werden die Produktionssysteme allerdings stetig aufwendiger, da die maschinell zu ersetzenden Prozessschritte immer komplexer werden. Um eine hundertprozentige Automatisierung eines flexiblen Fertigungsprozesses erreichen zu können, müssten die Fertigungssysteme dazu befähigt sein, bei neuen Prozessen oder im Rahmen auftretender Prozessänderungen eigene Entscheidungen zu treffen und

die Anpassungen direkt einleiten zu können. Damit nehmen der technische Aufwand sowie die Anzahl potentieller Fehlerquellen enorm zu. Dies führt zu einer wirtschaftlich nicht mehr gerechtfertigten Kostensteigerung bzw. ist bei komplexeren Produkten aus technischer Sicht noch nicht möglich. Folglich werden auch in Zukunft die minimalen Fertigungsstückkosten bei einer Kombination von Roboter bzw. automatisierter Fertigung und Mensch auftreten. [17, 18]

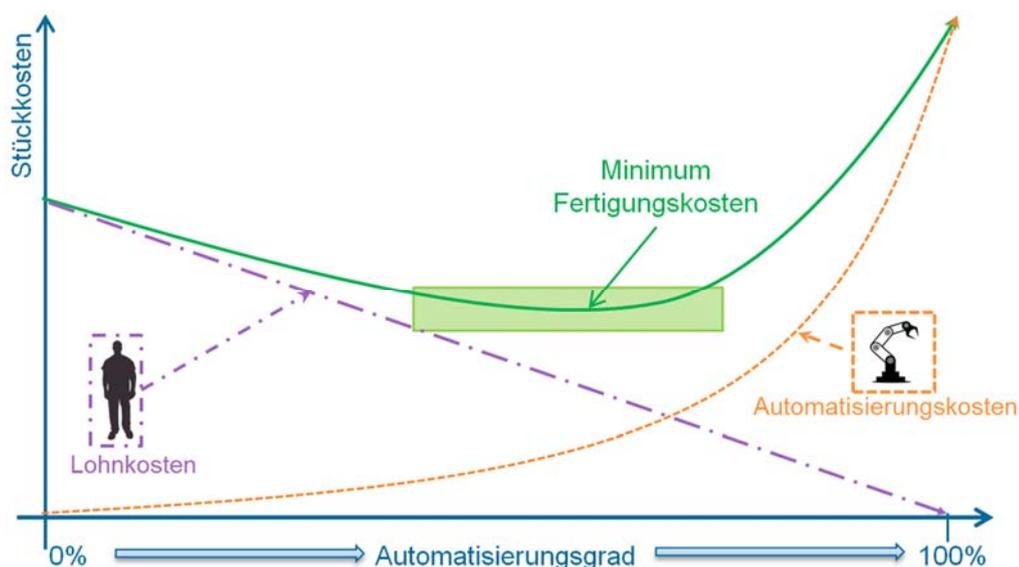


Abb. 6: Minimierung der Fertigungskosten aufgrund optimierten Automatisierungsgrads [17–19]

Basierend auf diesen Grundüberlegungen ergeben sich folgende drei Einsatzszenarien in der Fertigung:

1. „Assistant Robot“-Assistenzsystem in der Fertigung
Diese Roboter können eingesetzt werden, um dem Werker Teile zu reichen, die nicht im unmittelbaren ergonomisch erreichbaren Greifradius des Mitarbeiters liegen, ähnlich Abbildung 4. In diesem Fall ist der Programmieraufwand sehr gering, und eine hohe Positionsgenauigkeit ist nicht erforderlich.
2. „Collaborative Robot“-Roboter übernimmt Teilmontagearbeiten „kollegiale Arbeit“
In einer weiteren Automatisierungsstufe übernimmt hier der Roboter „pick and place“-Aufgaben und kann damit die Produktionsleistung des Mitarbeiters steigern (siehe Abbildung 2).
3. „Supporting Robot“-Roboter übernimmt die körperlich schwere Aufgabe
Wie bereits oben beschrieben, sind die Leistungsdauer, das Leistungsniveau des Menschen und die gesundheitliche Unversehrtheit stark von der körperlichen Belastung während der Arbeit abhängig. Übernimmt der Roboter die physisch schwere Arbeit, so fällt das Leistungsniveau langsamer ab. Ein Montagebeispiel ist in Abbildung 7 dargestellt. Hier greift der gelenkflexible Roboter den schweren Motorradreifen, und der Werker übernimmt die Feinjustierung des Rades auf der Achse. Durch die Nachgiebigkeit des Gelenkarms kann die Roboterposition leicht verändert werden. In diesem Fall ist eine Nachregelung auf die neue Position erforderlich. Dies bedeutet den höchsten Regelaufwand im Vergleich mit den beschriebenen Einsatzfällen.



Abb. 7: Roboter übernimmt körperlich schwere Aufgaben

Neben dem Einsatz in der Fertigung kann dieser nachgiebige Gelenkmechanismus auch als Helfer für körperlich beeinträchtigte Menschen dienen. Hier kann der gelenkflexible Roboter beispielsweise an einem Rollstuhl angebracht sein und dem Rollstuhlfahrer Gegenstände reichen, die er vom Rollstuhl aus nicht erreichen könnte. Durch den gefahrungsfreien Aufbau des Roboterarms sind hierdurch auch Verletzungen durch Fehlfunktionen oder Fehlbedienungen ausgeschlossen.



Abb. 8: Flexibler Roboterarm als Helfer für körperlich beeinträchtigte Menschen [20]

Konstruktiver Aufbau

Zur Demonstration der Funktionsfähigkeit eines gelenkflexiblen Roboterarmes wurde ein mehrachsiger Roboterarm entwickelt. Ein Gelenk wird dabei nach dem beschriebenen bionischen Spinnenbeinprinzip ausgeführt, um die grundsätzliche Eignung des Funktionsmechanismus für eine Mensch-Roboter-Interaktion ohne aktive Sicherheitssensorik nachweisen und untersuchen zu können. Hierfür wurde das vorderste Gelenkglied gewählt, da dieses bei Bring-, Reich- und Montageaufgaben direkt am Kontakt mit dem interagierenden Menschen beteiligt ist. Die weiteren Rotationsgelenke werden von der Firma igus® bezogen und sind durch konventionelle Schrittmotoren angetrieben. Eine hybride Exoskelettbauweise aus CFK-Trägerstäben und additiv gefertigten Außenverkleidungen ermöglicht eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht. Darüber hinaus ermöglicht diese Leichtbauweise die Platzierung der Elektromotoren, Druckluft- und Datenleitungen im inneren der Schalenkonstruktion.

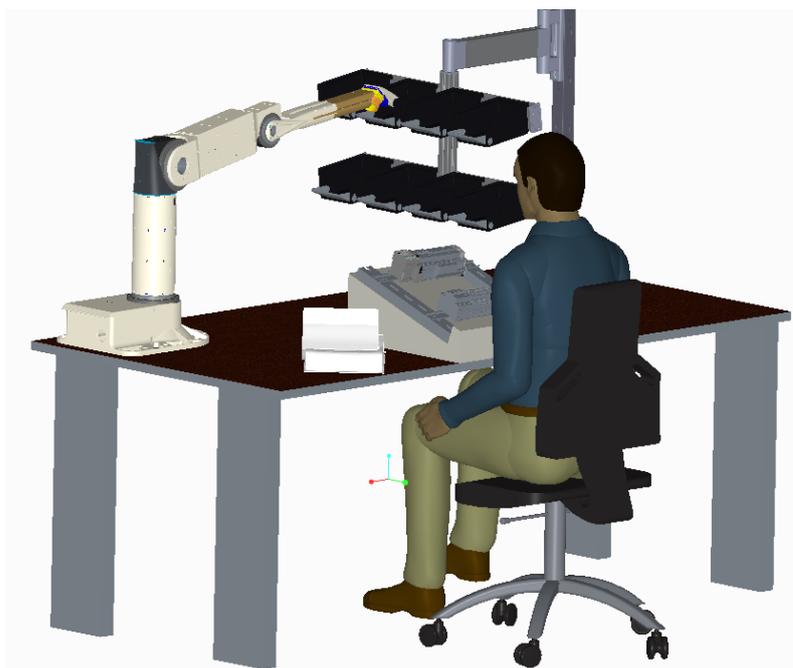


Abb. 9: Konstruktiver Aufbau des BioFlexRobot-Demonstrators.

Aufbau des Demonstrators

Abbildung 10 zeigt den gefertigten Demonstrator im Szenario des nachgiebigen Roboterarmes bei der Elektronikmontage. Diese Arbeitsplatzumgebung stellt das Ausgangsszenario dar und ermöglicht die Nachbildung verschiedener Evaluationsaufgaben für die Mensch-Roboter-Interaktion. Die Anzahl der Freiheitsgrade des Armes sowie die Längen der einzelnen Glieder wurden auf typisch auftretende Arbeitsplatzsituationen abgestimmt, um eine bestmögliche ergonomische Entlastung des Werkers und eine große Bewegungsvermögen des Roboters zu gewährleisten.



Abb. 10.: Aufbau des gefertigten BioFlexRobot-Demonstrators zur Evaluation der Eignung zur Mensch-Roboter-Interaktion.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Auf der Basis des bestehenden Forschungsprojektes „OHM-Krabbler“ [22] konnten weitere Anwendungen für das flexible Gelenk herausgearbeitet werden, was auch der bionischen Entwicklungsstrategie des „biology push“-Prinzips entspricht.

Darüber hinaus konnte, im Zusammenhang mit dem Demonstrator, die Kompetenz auf dem Gebiet der low-cost sicherheitssensorlosen Robotik ausgebaut werden. Dadurch ist es möglich, den interessierten Firmen die Grundfunktionalitäten verständlicher zu demonstrieren.

Im Rahmen der Förderlinie FHprofUnt2015 wurde ein Nachfolgeprojekt „Entwicklung eines bionischen, lowcost, gelenkflexiblen Roboterarms als Handlungseinheit für die Mensch-Maschinen-Kollaboration“ beantragt, das zwischenzeitlich als förderwürdig eingestuft ist. Im Rahmen der hierfür notwendigen Firmenbeteiligungen tragen diese Vorarbeiten dazu bei, die vorhandene Kompetenz zu belegen und Drittmittelgeber einzuwerben.

Um die Forschungsaktivitäten auch im Maschinenbaustudium zu verankern wurden folgende Abschlussarbeiten im Rahmen der Vorlaufforschung vergeben und erfolgreich bearbeitet:

- Celik, Koray, „Konstruktion eines bionisch inspirierten flexiblen Roboterarmes unter Berücksichtigung spezieller Anforderungen der direkten Mensch-Roboter-Interaktion“, Bachelorarbeit, 2015
- Pickel, Michael; „Entwicklung eines Montageroboters für eine Mensch-Roboter-Kollaboration“, Bachelorarbeit, 2015

Darüber hinaus wurden folgende Vorträge/Veröffentlichungen erstellt:

- Landkammer, S.; Morina, D.; Schneider, D.; Hornfeck, R., "Nachgiebige Industrieroboter mit bionischen Gelenken nach dem Vorbild der Spinne," VDI-Fachtagung für industrielle Anwendungen der Bionik, 30.09. - 02.10., Esslingen, 2015.

6. Literaturverzeichnis

1. Gundel, M., "Zusammenarbeit von Mensch und Roboter - eine industrielle Revolution?," 3. Augsburger Technologie Kongress, 29.04., Augsburg, 2014.
2. Le Claire, G., "High-Tech bei Bosch: Roboter und Menschen auf Augenhöhe," URL: <http://www.nordbayern.de/region/nuernberg/high-tech-bei-bosch-roboter-und-menschen-auf-augenhohe-1.4495510>.
3. Iida, F., Laschi, C., "Soft Robotics: Challenges and Perspectives," *Procedia Computer Science*, Vol. 7, 2011, pp. 99–102.
4. Pescovitz, D., "Robots That Show Their Softer Side," *Bloomberg Businessweek*, Vol. 2014.
5. Schumann, D., "Alles im Griff - SHL Automatisierung," *Polysurfaces*, No. 06, 2012, pp. online.
6. Festo-GmbH, "Bionischer Handling-Assistent, Esslingen.
7. Gaiser, I.; Wiegand, R.; Ivlev, O.; Schulz, S., "Smart Actuation and Sensing Systems- 22 - *Compliant Robotics and Automation with Flexible Fluidic Actuators and Inflatable Structures*," INTECH open science, 2012.
8. Ivlev, O., Schöne, A., "BMBF-Verbundprojekte PortaSOR und KoBSAR: Systemtechnische Lösungen mit elastisch nachgiebigen Gelenken für benutzer-kooperierende Roboter und medizintechnische Geräte," *Projektbericht*, 2008.
9. Boblan, I.; Schulz, A.; Bertrand, B., "A Compliant Lightweight Universal Joint Cascadable to a Multi-joint Kinematics - Tripedale Alternanzkaskade, TAK- *Bildquelle* - www.biorobotiklabor.de," 6th International Symposium on Adaptive Motion of Animal and Machines, 11.-14. March, Darmstadt, 2013.
10. Landkammer, S.; Hornfeck, R., "A novel bio-inspired fluidic actuator for robotic applications," 25th International Conference Of Adaptive Structures And Technologies, 06. - 08. Oktober, Den Haag / Netherlands, 2014.
11. Landkammer, S.; Schneider, D.; Winter, F.; Heß, P.; Hornfeck, R., "Static Modeling of an Antagonistic Pneumatic Actuator for Robotic Applications," 12th IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their application to Mechatronics, 22.-24.06.2015, Liberec/ Czech Republic, 2015.
12. Landkammer, S.; Schneider, D.; Hornfeck, R., "Entwicklung eines Gelenkmechanismus mit antagonistischem Fluidsystem nach dem Vorbild des Spinnenbeines," Bionik Kongress 2014, 24. - 25. October, Bremen, 2014.
13. Landkammer, S., Hornfeck, R., "Drehantrieb - Deutsches Patent, 2013, DE 10 2013 114 660 B4.
14. Hornfeck, R., Landkammer, S., "Drehantrieb - Europäische Patentanmeldung, 2014, EP 2 902 642 A1.
15. Finkemeyer, B., "Moderne Zeiten werden modern, Kiel, 2014.
16. Kmucho, W., "Strategischer Erfolgsfaktor Wissen- *Content Management: Der Weg zum erfolgreichen Informationsmanagement*," Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 2000.
17. Ross, P., "Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung," *Dissertation*, IWB - Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, TU München, München, 2002.
18. Fichtmüller, N., "Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme," *Dissertation*, IWB- Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität, München, 1996.
19. Matthias, B., "Sichere MRK in industriellen Anwendungen- *Entwicklungsschritte bei ABB Corporate Research*," Germrob 2011 - 44.Sitzung des FA 4.13 "Steuerung und Regelung von Robotern", 26. Januar, Augsburg, 2011.
20. Tanaka, H., Yoshikawa, M., Oyama, E., Wakita, Y., Matsumoto, Y., "Development of Assistive Robots Using International Classification of Functioning, Disability, and Health- *Concept, Applications, and Issues*," *Journal of Robotics*, Vol. 2013, No. 5, 2013, pp. 1–12..
21. Landkammer, S., Schneider, D., Heß, P., Hornfeck, R., "Research and Development of a Biomimetic Legged Robot," *Newsletter - International Society of Bionic Engineering*, Vol. 3, No. 2, 2014, pp. 12–13.

Onlineberatungsregister – Machbarkeitsstudie zu einem bundesweiten Register für psychosoziale Onlineberatungsstellen

Prof. Dr. Richard Reindl

Fakultät Sozialwissenschaften
Technische Hochschule Nürnberg

Dipl.- Soz.päd. (FH) Sigrid Zauter

Fakultät Sozialwissenschaften
Institut für E-Beratung
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Psychosoziale Beratung über das Internet (Onlineberatung) stellt für einen Teil der Ratsuchenden die erste und mitunter einzige Hilfemöglichkeit dar. Um ein passgenaues Beratungsangebot mit der entsprechenden Qualität – angesichts der Unübersichtlichkeit der Beratungsangebote im Internet für Ratsuchende wie Fachkräfte – schnell verfügbar zu realisieren, wird im Projekt die Machbarkeit eines qualitätsorientierten Registers für psychosoziale Onlineberatungen geprüft. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zur Implementierung eines qualitätsorientierten Registers werden anschließend als Basis für einen Entwicklungs- und Implementationsantrag beim Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend dienen.

1. Projektdaten

Fördersumme	21.260 Euro
Laufzeit	März bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Sozialwissenschaften/ Institut für E-Beratung
Projektleitung	Prof. Dr. Richard Reindl
Kontaktdaten	E-Mail: richard.reindl@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Für die Nutzer/innen von psychosozialen Onlineberatungsangeboten ist auf den ersten Blick nicht erkennbar, ob es sich bei einem Beratungsangebot um eine seriöse und fachlich fundierte Onlineberatung handelt. Die Vielzahl von Beratungsangeboten im Internet ist nahezu unüberschaubar. Der Begriff „Onlineberatung“ ist zudem nicht geschützt, so dass die Überprüfbarkeit der Qualität eines Angebots für die Nutzer/innen kaum möglich ist. Im Unterschied zu den klassischen Face-to-face-Beratungsangeboten gibt es noch keine standardisierten und somit vergleichbaren Verfahren der Onlineberatung. Die Vielfalt und Unübersichtlichkeit der Angebote folgt in erster Linie der Logik des Internets und nicht den Bedürfnissen der Ratsuchenden. Daher lässt sich nur schwer eine Aussage über die Zahl der Onlineberatungsangebote im deutschsprachigen Raum treffen, genauso wie über die Zahl der professionellen Berater/innen sowie deren Qualifikation.

Die Suche nach dem passenden Angebot wird für die Ratsuchenden so zu einer Art Glücksspiel. Die einzelnen Angebote sind für die User auf Anhieb nicht unterscheidbar und auch intensivere Recherchen ergeben wenig Aufschluss über die Art und Qualität der Beratung. Dies ist umso problematischer, da ein Teil der Kinder und Jugendlichen, die im Netz nach Hilfe und Unterstützung suchen, keine andere Unterstützungsmöglichkeit zur Verfügung hat bzw. wahrnimmt (Klein 2012, 37).

Das Institut für E-Beratung an der Technischen Hochschule Nürnberg plant daher gemeinsam mit dem Deutschen Zentralinstitut für soziale Fragen (DZI) in Berlin die Entwicklung und Einrichtung eines Qualitätsregisters für psychosoziale Onlineberatungsstellen im deutschsprachigen Raum. Das Register soll nach Qualitätskriterien gestaltet werden, die einerseits der heterogenen Onlineberatungslandschaft Rechnung tragen und andererseits ein erstes grundlegendes Level an Standardisierung herbeiführen (Engelhardt 2013; Reindl 2012). Das Deutsche Zentralinstitut für soziale Fragen (DZI) fungiert dabei als Partner, dessen Expertise in der Erstellung und Führung von Registern liegt und deren hohe Akzeptanz innerhalb der Verbände der Freien Wohlfahrtspflege, die auch die größten Träger der psychosozialen Onlineberatung in Deutschland sind, anerkannt ist.



3. Ziele des Forschungsprojekts

Im Forschungsvorhaben soll die Machbarkeit eines Qualitätsregisters für psychosoziale Onlineberatung geprüft werden. Neben formalen Gesichtspunkten wie einer dauerhaften Finanzierbarkeit werden vor allem inhaltliche Aspekte der Realisierung eines solchen Registers in den Blick genommen. Diese beziehen sich insbesondere

auf erhebbare Strukturmerkmale guter Onlineberatung, technische Anforderungen an Beratungssoftware und organisatorische Regelungen der Beratungspraxis.

Ein redaktionell und fachlich aufbereitetes Register dient den Ratsuchenden zur Orientierung und zur gezielten Suche nach dem passenden Beratungsangebot. Für die Ratsuchenden bedeutet dies schnelle, passgenaue Hilfeangebote ohne Weiterverweisung. Auf Seiten der Beratungsanbieter wird die Gefahr von Fehlanfragen verringert und Leerlaufzeiten vermieden. Damit können Beratungskapazitäten effizienter eingesetzt werden. Weiterhin erhalten die psychosozialen Beratungsanbieter durch das Register die Möglichkeit, ihr Profil deutlich zu machen und die hohe Qualität ihres Angebots zu belegen. Zudem gibt das Register auch den psychosozialen Fachkräften die Möglichkeit, im Bedarfsfall ihre Klientinnen und Klienten gezielt weiterverweisen zu können.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

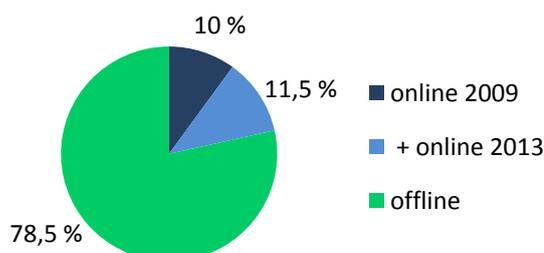
4.1 Situationsanalyse psychosozialer Onlineberatung bundesweit

Zunächst wurde ausgehend von eigenem Datenmaterial sowie gezielten Recherchen in einschlägigen Trägerdatenbanken (DAJEB etc.) ein möglichst differenziertes Bild der Onlineberatungslandschaft im deutschsprachigen Raum erstellt, das die inhaltlichen Angebote, die Adressatenreichweite sowie die rechtliche Einbettung darstellt.

Dabei sollte in einem ersten Schritt zunächst der Umfang der Onlineberatung in Deutschland eruiert werden. In der einschlägigen Literatur sind bislang kaum quantitative Zahlen bzw. Schätzungen diesbezüglich zu finden.

Lediglich Gehrman nennt anhand des Grunddatenmaterials der DAJEB-Datenbank für 2013 eine Quote von 21,5 % Onlineberatungsangeboten an allen dort gelisteten Beratungsangeboten. Damit wäre im Vergleich zu 2009 (10 Prozent) eine erhebliche Steigerung zu verzeichnen (Gehrman 2014, 73).

Beratungsstellen nach DAJEB (2013)



In einem Abgleich mit weiteren trägerspezifischen Datenbanken bzw. Selbstauskünften kann nach unseren Berechnungen realistisch von etwa 1.700 Onlineberatungsstellen ausgegangen werden. Beinahe 90 % dieser Beratungsstellen nutzen gemeinsame Onlineportale für ihr Beratungsangebot. Dabei überwiegen trägerspezifische Onlineberatungsportale (z. B. Caritas) vor trägerübergreifenden (z. B. bke). Der überwiegende Teil der Onlineberatungsangebote ist in der Rechtsform eines eingetragenen gemeinnützigen Vereins organisiert, jeweils ein Prozent entfällt auf eine Trägerschaft in öffentlich-rechtlicher Form bzw. auf Privatpersonen (freiberufliche Berater/innen).

Hinsichtlich der Reichweite der Onlineberatung ist die Datenlage weitaus schwieriger, da bislang keine explizite Statistik vorliegt. Auf der Grundlage der verfügbaren Angaben, Jahresberichte und trägerinternen Statistiken lässt sich das Verhältnis der Onlineberatungen gegenüber den Präsenzberatungen bei einer Reihe von Trägern hochrechnen: Dementsprechend ergibt sich derzeit ein Online-Anteil von etwa 5 % an allen Beratungen. Da bei einer Reihe von Beratungsanbietern (z. B. Caritas) die Gesamtzahl der um Rat nachsuchenden Personen nicht ermittelt werden kann, lassen sich nur absolute Nutzungszahlen feststellen, z. B. 18.500 Ratsuchende über das Caritas-Onlineportal (Schellack 2014, 14). Werden Vergleichsdaten aus älteren Jahresberichten zugrunde gelegt, lassen sich deutliche Steigerungsraten in der Inanspruchnahme von Onlineberatung erkennen (Gehrman 2014, 75) – wenn auch noch auf relativ niedrigem Gesamtniveau.

Die asynchrone Beratung über einen geschützten, webbasierten Nachrichtenaustausch (webbasierte Mailberatung) stellt die am meisten angebotene Form der Onlineberatung dar. Manche Beratungsportale bieten ausschließlich eine webbasierte Mailberatung an. Nur wenige Beratungsstellen konzentrieren sich ausschließlich auf eine Beratung via Chat oder via Forum. Vom Großteil der Onlineberatungsstellen wird sowohl die Chat- als auch die webbasierte Mailberatung angeboten. Ein Beratungsformat, das videogestützt arbeitet, konnte sich in der psychosozialen Onlineberatung bislang nicht durchsetzen. Die Gründe dafür liegen weitgehend im Wunsch nach Anonymität der Ratsuchenden (insb. bei schambesetzten Themen) und in der besonderen Selbstreflexivität einer textbasierten Beratung.

In der Regel stammt die eingesetzte Technik von Softwareunternehmen, die auf psychosoziale Onlineberatung spezialisiert sind. Diese entspricht den aktuellen Datenschutzbestimmungen sowie den Anforderungen an eine geschützte Beratung (Verschwiegenheitspflicht). Nur in wenigen Fällen werden noch Kontaktformulare genutzt bzw. handelsübliche (ungeschützte) Mailprogramme verwendet.

Die große Mehrheit der Fachkräfte der Onlineberatung hat eine grundständige Ausbildung in Sozialpädagogik, Psychologie oder Vergleichbarem (Heilpraktiker, Soziologen, Theologen, Mediziner, Pflegefachkräfte, etc.). In rund 12 % aller Fälle war die Profession der Beratenden aus dem Webauftritt der Beratungsangebote nicht zu ermitteln. Über eine spezielle Zusatzausbildung in internetgestützter Beratung (Onlineberatung) verfügen nur knapp 10 % der Berater/innen. Dieser Befund ist erstaunlich, da gerade die häufig textbasierte Form der psychosozialen Onlineberatung spezielle hermeneutische Kompetenzen, spezielle Lese- und Schreibkompetenzen erfordert.

Bei den Angeboten, in denen freiwillig Engagierte online beraten (z. B. als Peer-Berater/innen), haben beinahe alle neben ihrer spezifischen Feldkompetenz eine besondere Schulung erhalten, sei es in Onlineberatung oder in methodischen Fragen der Beratung.

Im Lauf der Recherche fiel zudem auf, dass eine Reihe von Onlineberatungsstellen in den einzelnen Datenbanken noch gelistet war, obwohl das Angebot nicht mehr im Netz existierte, oder es verhielt sich umgekehrt, dass bestimmte Angebote noch nicht gelistet waren, obwohl sie bereits online waren. Dies spricht für eine hohe Dynamik bei der Entstehung bzw. Schließung von Onlineberatungsangeboten. Möglicherweise liegt ein Grund dafür auch in der bislang nicht geregelten Finanzierung von Onlineberatungsangeboten innerhalb freigemeinnütziger Einrichtungen und Dienste.

4.2 Kategorienbildung und Kriterienprüfung für ein Onlineberatungsregister

In mehreren Expertenrunden wurde aufbauend auf die Situationsanalyse ein erstes Raster von Kategorien für das Onlineberatungsregister erarbeitet. Einerseits galt es, die Vielfalt der Onlineberatungsangebote abzubilden und in eine sinnvolle, für künftige Nutzer/innen wiederauffindbare Ordnung zu bringen. Andererseits sollten bereits jene Kriterien zur Anwendung kommen, die später Aussagen zur Qualität der Onlineberatung zulassen.

Dabei folgt dem ersten Kategorienschema, dass die meisten der von den Ratsuchenden als relevant empfundenen Parameter (Beratungsanlass, Beratungsformat, Anonymität, Erreichbarkeit, Qualifikation der Berater, Anbindung an Beratungsstellen, Kosten, Sprachen, etc.) eine Anordnung nach Kategorien enthalten, wie Problemlagen, Zielgruppen, Handlungsfeldern, Beratungszielen etc. Ein Durchbrechen bzw. eine Überschneidung der kategorialen Systematik soll dabei bewusst in Kauf genommen werden, um kein Beratungsgesuch daran scheitern zu lassen, dass die ratsuchende Person ihre Problemlage hierin nicht abgebildet sieht.

Auf der Grundlage einer stichprobenartigen Untersuchung von Onlineberatungsangeboten bzw. deren Internetpräsenz hinsichtlich ihrer Such- und Zuordnungssystematik wurde das Raster einer ersten Prüfung unterzogen. Dabei wurde u. a. festgestellt, dass oftmals die Beratungsstellen, ihre Träger oder Organisationen, nicht aber die Beratungsanlässe im Vordergrund der Präsentation standen.

In daran anschließenden Workshops mit Beratungsfachkräften konnten erfahrungsbasierte Passungspfade entlang klassifizierter Beratungsanlässe entwickelt werden, die eine jeweils geeignete und erfolgversprechende Inanspruchnahme von psychosozialer Onlineberatung erwarten lassen.

Auf einer weiteren Ebene werden die Qualitätselemente gelistet und bewertet, die für eine gute Onlineberatung im Vorgängerprojekt entwickelt wurden. Diese verteilen sich vor allem auf eine Responsezeit von 48 Stunden, eine spezielle Qualifikation der Beratenden in internetgestützter Beratung (neben ihrer Fach- und Feldkompetenz), die Kontinuität der Beratungsperson bei Folgekontakten, ein dem Beratungszweck angepasstes Datenschutzkonzept inkl. der Verschlüsselung der Übertragungswege und des genutzten Servers sowie eine weitgehende Transparenz des Beratungsangebots u. a. hinsichtlich der weltanschaulichen Ausrichtung des Anbieters.

4.3 Aufbau, Technik, Kosten und Finanzierung

Darstellungsbreite

Mit dem Qualitätsregister für psychosoziale Onlineberatung sollten sich alle online verfügbaren qualitätsorientierten Angebote zur Hilfe, Beratung und Unterstützung (Reindl 2015) in deutscher Sprache erfassen und den Nutzerinnen und Nutzern zugänglich machen lassen. Das abzubildende Spektrum beinhaltet alle Onlineberatungs- und Onlinetherapieangebote des psychosozialen Sektors. Hierzu können auch Angebote zählen, die

mittelbar auf psychosoziale Problemlagen ausgerichtet sind (beispielsweise Studienberatungen an Universitäten oder Beratungsangebote von Sozialversicherungsträgern).

Beratungsangebote, die vorwiegend oder ausschließlich das Ziel der Weitergabe von Informationen verfolgen, der Vermarktung von Dienstleistungen und Produkten dienen oder Werbung für politische Parteien, Religionsgemeinschaften oder Idealvereine betreiben, werden im Register nicht dargestellt.

Systematik und Kategorien

Das Register entsteht nicht entlang der Logik der Anbieter von Onlineberatung, sondern entlang der Bedürfnisse der Ratsuchenden, denn „die Domäne der OnlineberaterInnen wird der Mensch mit seiner Eigenart und Welt sein“ (Lang 2015). Die Systematik des Registeraufbaus orientiert sich demgemäß konsequent am Suchinteresse und Suchrhythmus der Klientinnen und Klienten. Diese gehen bei ihrer Suche nach Rat und Unterstützung



in den meisten Fällen vom aktuellen Beratungsanlass aus (Brehm & Lindl 2010). Insofern steht dementsprechend die Zuordnung zu einem Problembe- reich am Anfang der meisten Suchanfragen. Dem folgt eine zweite Ebene der Ausdifferenzierungen nach weiteren Parametern, die vom Register abgebildet wird: die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Alters- oder Zielgruppe, die Differenzierung nach Handlungsfeldern, die Anbindung an Präsenzberatungsstellen etc. Die dritte Ebene der Ausdifferenzierungen enthält im Wesentlichen die Merkmale, die eine qualitätsorientierte Onlineberatung sicherstellen. Sie differenziert sich hinsichtlich der Merkmale Responsezeit, Qualifikation der Beraterinnen und Berater etc. aus.

Eine beispielhafte Überprüfung der Suchstrategien bzw. ein Test der Suchergebnisse machte deutlich, dass ein nach den o. g. Kriterien differenziertes mehrdimensionales Register (Beratungsanlässe / Strukturdaten der Beratungsstelle / geprüfte Qualitätsmerkmale) in der Lage ist, die Ergebnisse auszuweisen, die angezielt waren. Für die bundesweite Umsetzung wird eventuell eine Erweiterung der Kategorisierung erforderlich sein, um alle Beratungsangebote zu erfassen und schnell auffindbar zu machen. Zudem sollte das Register in seiner kategorialen Systematik offen bleiben für künftige, noch zu erwartende Angebote der psychosozialen Onlineberatung.

Technik

Die anzuwendende Technik (Betriebssystem, Server, Datenbank, Verwaltung, etc.) bzw. die Benutzeroberfläche muss geeignet sein, plattformunabhängig auf allen handelsüblichen internetfähigen Geräten einschließlich Smartphones und anderer mobiler Endgeräte alle Suchkategorien abzubilden. Weiterhin müssen die Suchvorgänge und die Ausgabe der Ergebnisse auch bei einem größeren Aufkommen in kürzester Zeit durchzuführen und mit vertretbaren Kosten errichtet und betrieben werden können. Weitere Kriterien sind die einfache Bedienbarkeit – sowohl für die Beratungssuchenden im Frontend, als auch für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Onlineberatungsstellen im Backend. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die größtmögliche Datensicherheit.

Über einen Selbsteintrag im Backend nach den Vorgaben der o. g. Kriterien werden die Beratungsangebote gelistet. Vor der ersten Veröffentlichung eines Datensatzes einer Organisation erfolgt eine Plausibilitäts- und Funktionsprüfung durch die Redaktion des Registers. Alle Aktualisierungen werden von den Organisationen ohne regelmäßige Prüfung vorgenommen, jedoch werden Stichproben gezogen und die Redaktion geht Hinweisen auf veraltete oder irreführende Daten nach. Alternativ kann jede Änderung durch die Redaktion erneut geprüft und freigegeben werden. Jedes Beratungsangebot ist mit einem Anbieterportrait verlinkt, das alle wesentlichen Informationen der Beratungsstelle auf einer Bildschirmseite als Datenblatt strukturiert in einfacher Sprache darstellt. Mit der standardisierten Darstellung erhalten die Nutzerinnen und Nutzer die Möglichkeit zum Vergleich der Angebote.

Kosten

Die Kosten für das Onlineberatungsregister teilen sich in Entwicklungs- bzw. Implementierungskosten sowie in Kosten für den laufenden Betrieb. Die Entwicklungs- und Implementierungskosten setzen sich im Wesentlichen aus dem Personalbedarf für die Entwicklung und Ersteinrichtung, den Honoraren für die Planung und Pro-

grammierung der Internetseiten und Apps, den Aufwendungen für die Informationsveranstaltungen für die Beratungsanbieter, Lizenzen-, Software- und Servergebühren zusammen.

Nach der Inbetriebnahme fallen Personalkosten für die redaktionelle Arbeit, die weitere Dateneingabe, den Serverbetrieb und die Betreuung und Anpassung der Software an.

Finanzierung

Bis zur Inbetriebnahme kann nicht mit Einnahmen durch Gebühren oder Beiträge von Beratungsanbietern oder deren Trägern und Verbänden gerechnet werden. Die Planungs- und Implementierungskosten müssen daher vollständig aus Fördermitteln getragen werden. Dazu wird ein gemeinsamer Antrag der Träger an das sachlich zuständige Bundesministerium für Familie und Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ) gestellt. Weitere potenzielle Zuwendungsgeber sind vorzugsweise überregional agierende Stiftungen und Verbände der Wohlfahrtspflege, aber auch andere fördernde Organisationen. Eine Finanzierung durch Landesregierungen beziehungsweise deren Ministerien ist auszuschließen, da hierbei der Ausgleich von Leistungen, die außerhalb des jeweiligen Landes in Anspruch genommen würden, nicht quantifizierbar und auch nicht durchführbar wäre. Ebenso sind allgemeine Zuwendungen von Verbänden und Trägern auszuschließen, die direkt oder indirekt mit den Anbietern von psychosozialer Onlineberatung verbunden sind. Hierdurch besteht die Gefahr einer Einflussnahme, die das Neutralitätsgebot des Registers unterlaufen würde.

Für den laufenden Betrieb ist zumindest teilweise eine Finanzierung durch die Beratungsanbieter einzuplanen. Für den Betrieb des Onlineberatungsregisters ist eine institutionelle Förderung des Betriebsträgers anzustreben. Die institutionelle Förderung sollte die Betriebskosten vollständig decken und bei allen Kostensteigerungen angepasst werden. Wenn eine Förderung nur teilweise erreicht werden kann, muss das Onlineberatungsregister Einnahmen aus dem laufenden Betrieb erzielen. Hierfür kommen verschiedene Modelle in Frage.

a) Registergebühr:

Die registrierten Onlineberatungsstellen entrichten eine Gebühr, deren Höhe nach Größe und Vermittlungshäufigkeit gestaffelt ist. Dieses Modell ist für die erste Zeit des Betriebs als unrealistisch einzuschätzen, da die Auslastung der Beratungsstellen nach deren eigener Auskunft derzeit sehr hoch ist und die Organisationen keine Plattform zur besonderen Darstellung und Vermittlung im Netz benötigen. Auch kann allenfalls damit gerechnet werden, dass die Zahl der Einträge sukzessiv steigt und Einnahmen in der projektierten Höhe erst nach mehreren Jahren erzielt werden könnten.

b) Maklergebühr:

Nach diesem Modell entrichten die Onlineberatungsstellen eine Gebühr pro erfolgter Weiterleitung über das Register zu ihrem Beratungsangebot. Dieses Modell ist aus den für einen Registerbeitrag geltenden Gründen unattraktiv, wenngleich die anfallenden Kosten für die Beratungsstellen besser nachvollziehbar sind und auch keine Markteintrittsschwelle zu überschreiten wäre. In diesem Modell müssten allerdings Messfehler, die etwa durch Robots verursacht werden können, ausgeschlossen werden.

c) Koppelung mit Premium-Mitgliedschaft im DGOB:

Der Beitrag für die Mitglieder der Deutschsprachigen Gesellschaft für psychosoziale Onlineberatung (DGOB) wird um einen Förderanteil für das Onlineberatungsregister ergänzt. Die Mitgliedschaft in der DGOB wird den Registereinträgen als Markenzeichen zu eigenen Werbezwecken hinzugefügt. Die Mitglieder erwerben mit dieser „Premium-Mitgliedschaft“ Anspruch auf Beratung durch die Mitarbeiter des Registers in Fragen der Außendarstellung, der Erfüllung von Transparenzkriterien und der Gestaltung ihrer Registereinträge.

d) Qualitätszeichen bzw. Gütesiegel:

Im Zuge eines zukünftig zu erstellenden Qualitätszeichens für Onlineberatungsanbieter wird ein für die Beratungsanbieter kostenpflichtiges Prüfverfahren analog zum DZI Spenden-Siegel entwickelt. Ein zu ermittelnder Anteil an den Prüfgebühren wird für die Entwicklung und Vorhaltung von besonderen Darstellungsformaten im Register verwendet. Dieses Modell kann erst mit der Einführung eines Qualitätszeichens umgesetzt werden.

Juristische Aspekte

Das Onlineberatungsregister wird als Gemeinschaftsprojekt des Instituts für E-Beratung an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm und dem Deutschen Zentralinstitut für soziale Fragen (DZI), Berlin, entwickelt. Das Register wird bei einem Betriebsträger angesiedelt, dessen Gesellschafter mindestens das Institut für E-Beratung und das DZI sind. Alle für den operativen Betrieb des Registers inhaltlich und formal relevanten Entscheidungen werden in enger Abstimmung der Projektpartner getroffen und es wird angestrebt, in allen Fragen Konsens zu erzielen.

Zur Weiterentwicklung des Registers und zur Klärung strittiger Fragen bezüglich der Aufnahme oder Ablehnung von Beratungsanbietern kann von den Trägern ein Beirat gegründet werden. Dessen Mitglieder sollten Expertinnen und Experten aus den Bereichen der Onlineberatung, Psychotherapie und -beratung, Seelsorge und Sozialen Arbeit sein. Die Zusammensetzung des Beirats sowie die Amtszeit, Berufung und Entlassung werden bei der Konzepterstellung berücksichtigt.

Das Onlineberatungsregister dient der Sammlung und Vorhaltung von Informationen über die Anbieter von Onlineberatungsleistungen auf einem eigenen Webportal. Über das Register werden weder Beratungen durch den Betreiber des Registers noch Beratungsangebote von anderen geleistet. Daher muss lediglich geklärt werden, welche Haftungsrisiken für den Fall auftreten können, dass nicht wahrheitsgemäße oder schädigende Informationen durch das Register verbreitet werden.

Im Vordergrund der Erlangung rechtlicher Unbedenklichkeit steht daher die Frage nach der Verantwortung für die dargestellten Inhalte. Da mit allen registrierten Beratungsanbietern Vereinbarungen in Form allgemeiner Geschäftsbedingungen geschlossen werden, die den selbständigen Eintrag beziehungsweise die Erklärung der Richtigkeit der Registerinhalte durch die Anbieter vorsieht, liegt die alleinige Haftung für die Registerinhalte bei den registrierten Anbietern. Das Register gibt keine eigenen Bewertungen oder Kommentare und auch keine Werturteile Dritter wieder. Ein eventuell zu einem späteren Zeitpunkt in die Registerdarstellung aufgenommenes Qualitäts- oder Gütezeichen wird selbsttätig von den Anbietern in die Darstellung ihres Angebots aufgenommen.



Der Inhalt der verlinkten Websites der Beratungsanbieter und anderer Organisationen und Informationsquellen unterliegt vollständig der Verantwortung der jeweiligen Urheber.

Die im Onlineberatungsregister aufgelisteten Daten der Einrichtungen sind zum größten Teil organisations- und nur zu einem geringen Teil personenbezogen. Im Wesentlichen können alle Daten auch aus allgemein öffentlichen Informationsquellen im Sinn des § 29 Abs. 1 Nr. 2 BDSG geschöpft werden und stehen, wenn kein überwiegendes schutzwürdiges Interesse überwiegt, zur Nachveröffentlichung im Onlineberatungsregister uneingeschränkt zur Verfügung.

Die Entnahme einzelner Daten aus dem ohnehin öffentlich und kostenlos allen Nutzern zur Verfügung stehenden Onlineberatungsregister würde die Nutzer in kein besonderes Rechtsverhältnis zum Anbieter setzen. Allerdings hat der Betreiber des Registers die Möglichkeit, den direkten Zugang zur Onlineberatungsregisterdatenbank und die automatische Auslese durch andere Informationsanbieter zu steuern und an Bedingungen zu knüpfen. Dieser Aspekt kann für die teilweise Refinanzierung des Onlineberatungsregisters durch die Vergabe von Lizenzen in der Zukunft von Belang sein.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Erste Ergebnisse der Studie wurden auf dem zentralen deutschsprachigen Fachforum Onlineberatung am 21./22. September 2015 vorgestellt. Eine Veröffentlichung detaillierter Ergebnisse ist im „e-beratungsjournal“ der Fachzeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation für 2016 geplant.

Das angezielte Folgeprojekt zur Entwicklung und Implementation eines Qualitätsregisters für psychosoziale Onlineberatung wird auf einen dauerhaften Betrieb angelegt. Der Aufbau der Datenbanktabellen und die Struktur des Portals, der Suchseiten und der Eintragsmasken erlauben eine unbegrenzte Skalierung sowohl thematisch, als auch bezüglich der Zahl der erfassten Onlineberatungsangebote. Insbesondere die Vermittlung an innovative Beratungsformate wird durch die Nutzbarkeit des Registers über mobile Endgeräte gewährleistet.

Eine weitere Verwertung erfolgt zum einen im Sinne eines sich stetig erweiternden Beratungsansatzes, der Onlineformate in zunehmendem Maß berücksichtigt. Neben den reinen Onlineberatungen sind hierbei besonders Formen des *Blended Counseling* zu berücksichtigen, bei denen die Klientinnen und Klienten über die Erstberatung im virtuellen Raum zur Beratungsstelle als realem Raum geführt werden. Die Internetberatung erfüllt hierin quasi die Funktion einer Anamnese und erlangt hierdurch ihren Wert für die Folgeberatung.

Zum anderen unterliegen psychosoziale Leistungen ebenso wie alle anderen Dienstleistungen erweiterten Wirkungs- und Nutzbarkeitskriterien im Sinne des Verbraucherschutzes. Die Verbraucherinnen und Verbraucher haben auch im Bereich sozialer und therapeutischer Dienstleistungen ein Recht auf die Vergleichbarkeit der Angebote unter nachvollziehbaren und neutral aufgestellten Kriterien. Das Onlineberatungsregister stellt die Vergleichbarkeit der Angebote zumindest in Teilen her und überlässt es den Klientinnen und Klienten, ein Urteil über die Sinnhaftigkeit der ihnen unterbreiteten Angebote zu treffen. Der Nutzen des Onlineberatungsregisters für den Verbraucherschutz ist besonders dort hervorzuheben, wo Beratungsangebote kostenpflichtig sind.

Die Nutzerdaten werden, selbstverständlich anonymisiert, kontinuierlich erhoben und ausgewertet. Die Datenerhebung dient zum einen der Optimierung des Registers, zum anderen werden mit ihr wissenschaftliche Zwecke verfolgt. In regelmäßigen Abständen sollen im Rahmen des Fachforums Onlineberatung oder anderer geeigneter Fachtagungen Forschungsergebnisse zum Stand und zur Entwicklung der psychosozialen Onlineberatung im deutschsprachigen Raum präsentiert und diskutiert werden. Das Register soll als Schnittstelle zwischen den Beratungssuchenden, den Beratungsanbietern und der Forschung entwickelt und umgesetzt werden. Für die Implementation des Registers wird im Anschluss ein gemeinsamer Folgeantrag vom Institut für E-Beratung der TH Nürnberg und dem Deutschen Zentralinstitut für soziale Fragen (DZI) beim sachlich zuständigen Bundesministerium für Familie und Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ) gestellt.

Literatur:

Brehm, Ulrike; Lindl, Susanne (2010): Online-Beratung bei Kindern und Jugendlichen - Ein Erfahrungsbericht von „147 Rat auf Draht“. In: e-beratungsjournal.net, Fachzeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation 1, 1-6

Engelhardt, Emily (2013): Qualitätsmerkmale guter Onlineberatung - Aktuelle Anforderungen an Forschung und Praxis. In: Zeitschrift für Systemische Therapie und Beratung, 111 - 115

Gehrmann, Hans-Joachim (2014): Onlineberatung – zwischen Wachstum und Ernüchterung. In: Bauer, Petra; Weinhardt, Marc (Hg.): Perspektiven sozialpädagogischer Beratung. Empirische Befunde und aktuelle Entwicklungen, Weinheim, 65 - 81

Klein, Alexandra (2012): Beratung im Internet. Befunde und Perspektiven. In: Kinder- und Jugendschutz in Wissenschaft und Praxis 2, 35 - 41

Lang, Josef (2015): Wo steht die Onlineberatung/-therapie in 10 Jahren? In: e-beratungsjournal.net, Fachzeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation 2, 93-104

Reindl, Richard (2012): Qualitätskriterien für Online-Beratung. In: Kinder- und Jugendschutz in Wissenschaft und Praxis 2, 42 – 46

Reindl, Richard (2015): Psychosoziale Onlineberatung – von der praktischen zur geprüften Qualität. In: e-beratungsjournal.net, Fachzeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation 1, 93-104

Schellack, Kirsten (2014): Die Caritas berät in vielen Feldern online. In: neue caritas. Politik – Praxis - Forschung 115, 14 – 15

Bildnachweise:

fotolia; eigene Darstellungen

cTNT – Kohlenstoffdotierte Titanoxidnanotubes für die Anwendung in Brennstoffzellen zur Energiegewinnung aus Wasserstoff

Prof. Dr. Uta Helbig
B. Eng. Jewgeni Roudenko

Fakultät Werkstofftechnik
Kompetenzzentrum Analytik, Nano- und Materialtechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Ziel des Projekts war die Modifizierung und Optimierung des Herstellungsprozesses von kohlenstoffdotierten Titanoxid-Nanotubes. Die Homogenität des Produkts und die Zuverlässigkeit des Prozesses sollten verbessert werden. Zu diesem Zweck wurde einer der Prozessschritte, das Einbringen des Kohlenstoffs in das Material, verändert. Die Dotierung erfolgt im Ethin/Stickstoff-Strom unter gleichzeitiger Temperaturbehandlung. Bisher wurde dieser Prozessschritt unter teilweise schlecht kontrollierbaren Bedingungen durchgeführt, was zu einer geringen Ausbeute an verwendbarem Material führte. Der Prozess wurde im Rahmen des Projekts erfolgreich auf die Behandlung in einem Drehreaktor umgestellt. Erste Untersuchungen des resultierenden Materials deuten auf eine höhere Ausbeute an homogenem Endprodukt hin.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Werkstofftechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Uta Helbig
Kontaktdaten	E-Mail: uta.helbig@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

cTNTs sind ein vielversprechendes Material für den Einsatz als Elektrode, beispielsweise in PEM-Brennstoffzellen. Die Nanoröhren bieten eine hohe spezifische Oberfläche sowie eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit und haben in ersten Tests bereits eine hohe Oxidationsbeständigkeit gezeigt.

Ein übliches Verfahren für die Herstellung von TNTs ist die hydrothermale Umsetzung eines Titandioxid-Pulvers in konzentrierten Laugen. Nach diesem Prozess entstehen mehrwandige Nanoröhren mit einem Innendurchmesser von 3-10 nm und einer Länge von bis zu 500 µm. Für die Röhren wird eine Anatas-artige Struktur bzw. eine Titanatstruktur ($H_2Ti_3O_7$) vorgeschlagen [1]. Im Zusammenhang mit potentiellen Anwendungen wird in der Literatur über verschiedene Dotierungsmöglichkeiten berichtet, auch über die Dotierung mit Kohlenstoff [2].

Das Einbringen der Kohlenstoffdotierung ist essentiell, um die Leitfähigkeit der Partikel zu erzeugen. Ein gängiges Verfahren dafür ist die Temperaturbehandlung im Ethin/Stickstoff-Strom. Wird dieses Verfahren auf die synthetisierten Tubes angewandt, kommt es jedoch zu Sinter- und Kristallisationsprozessen, so dass im Allgemeinen nur noch eine geringe Menge an Röhrenstrukturen verbleibt. Um die nachteiligen Effekte einer nachgeschalteten Temperaturbehandlung zu umgehen, wurde an der TH Nürnberg ein Verfahren entwickelt, bei dem bereits das Vorstufenpulver mit Kohlenstoff dotiert wird. Die Umsetzung des Pulvers zu Titanoxid-Nanoröhren in heißer Natronlauge erfolgt dabei erst anschließend [3].

3. Ziele des Forschungsprojekts

In dem geplanten Vorhaben sollte der Herstellungsprozess der kohlenstoffdotierten Titanoxid-Nanotubes weiter verändert und optimiert werden, um im Hinblick auf eine industrielle Anwendung eine konstante Qualität und höhere Ausbeute an cTNT zu erreichen.

Wie im Abschnitt 2 beschrieben, wurde der Gesamtprozess bereits soweit verändert, dass zunächst das Vorstufenpulver dotiert und dann erst das Material zu Nanotubes umgesetzt wird. Bisher wurde dafür jedoch ein Reaktor eingesetzt, der keine homogene Durchmischung der Reaktionspartner ermöglicht. Es wird somit kein einheitliches Reaktionsprodukt erzeugt. Die Folge ist ein hoher Anteil an nicht weiter verwertbaren Zwischenprodukten. Es sollte daher in dem geplanten Vorhaben ein gasdichter Drehrohrofen angeschafft werden, mit dem die Dotierung des Materials unter besser kontrollierten Bedingungen möglich ist. Ausgehend von den bisherigen Prozessdaten sollten die Betriebsparameter des Drehreaktors ermittelt werden. Anschließend sollte das erhaltene Vorstufenpulver zu Nanotubes weiterverarbeitet und die Qualität des Endprodukts untersucht werden.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Pro Batch wurden ca. 4,5 g TiO_2 -Nanopulver (Aeroxide® P25, Fa. ACROS) im Drehreaktor (HTR 11-75, Fa. Carbolite) bei 700 °C und maximaler Rotationsgeschwindigkeit carbothermisch behandelt. Dazu wurde ein Gasgemisch aus 90 Vol.% Stickstoff und 10 Vol.% Ethin verwendet.

Das Behandlungsprogramm war: 5 Minuten Spülen bei 2 L/min, Heizen mit 68 °C/min auf 700 °C bei 2 L/min, 10 Minuten Halten bei 700 °C und 3 L/min, 8 Minuten Abkühlen auf 300 °C bei 2 L/min und weiteres Abkühlen ohne Gasdurchfluss. Nach dem Abkühlen wurden ca. 1,1 g des mit Kohlenstoff dotierten Nanopulvers (C- TiO_2) zur

Synthese von dotierten Titanat-Nanotubes (cTNTs) verwendet. Dazu wurde das C-TiO₂ in einer Teflonflasche unter Rühren in ca. 325 g VE-Wasser dispergiert und 15 Minuten mit Ultraschall behandelt. Anschließend wurden unter Rühren ca. 160 g NaOH-Perlen der Dispersion zugeführt und unter Rühren 20 Stunden bei 115 °C in einem Silikonölbad der Hydrothermalsynthese unterzogen. Danach wurden die cTNTs bis zu einer Leitfähigkeit kleiner 20 µS in VE-Wasser gewaschen, in 0,1 M Salzsäure 15 Minuten lang unter Rühren behandelt, mit VE-Wasser bis zu einer Leitfähigkeit von 1 µS gewaschen, vakuumfiltriert und bei 60 °C im Trockenschrank über Nacht getrocknet. Nach der carbothermischen Behandlung im Drehreaktor, sowie nach der Hydrothermalsynthese, wurden jeweils Proben zur Röntgenphasenanalyse (XRD), Rasterelektronenmikroskopie (REM) und zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche (BET) entnommen.

Die Übersicht in Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse anhand eines Batches. Das globulare TiO₂ Pulver weist im Anlieferungszustand eine spezifische Oberfläche von 52 m²/g auf und ist eine Mischung aus den TiO₂-Modifikationen Anatas und Rutil (unten links). Nach der carbothermischen Behandlung ist das TiO₂ Pulver durch den Einbau von Kohlenstoff schwarz verfärbt. Der Phasenbestand, die Korngröße und die spezifische Oberfläche des C-TiO₂ Pulvers ändern sich dabei jedoch nicht. Die elektrische Leitfähigkeit steigt dagegen, was einen deutlichen Hinweis für den Einbau von Kohlenstoff in das TiO₂-Gitter darstellt. Die daraus synthetisierten cTNTs zeigen eine tubuläre Struktur (Mitte rechts) und das typische Röntgenbeugungsmuster für Titanat-Nanotubes (unten rechts). Im Vergleich zum C-TiO₂ Pulver haben cTNTs eine deutlich höhere spezifische Oberfläche von 445 m²/g und sind im Vergleich zu undotierten TNTs elektrisch leitfähig.

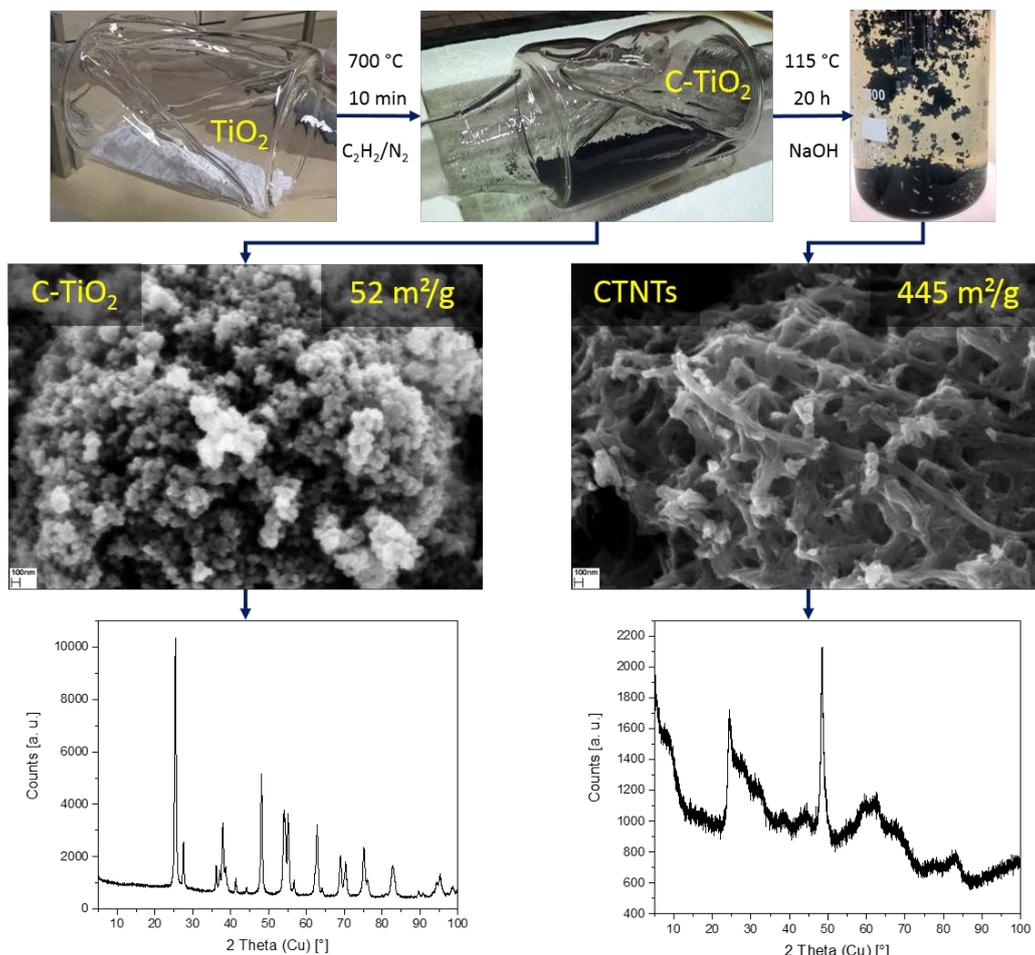


Abb. 1: Ausgangspulver (oben links), TiO₂ Pulver nach der carbothermischen Behandlung im Drehreaktor (C-TiO₂, oben Mitte), daraus synthetisierte Nanotubes (cTNTs, oben rechts), REM-Aufnahmen C-TiO₂ Pulver (Mitte links) und cTNTs (Mitte rechts), röntgenographische Phasenanalysen von C-TiO₂ (unten links) und von cTNTs (unten rechts).

5. Literatur

- [1] N. Liu, X. Chen, J. Zhang und J. Schwank, „A review on TiO₂-based nanotubes synthesized via hydrothermal method: Formation mechanism, structure modification, and photocatalytic applications.“ *Catalysis Today*, Bd. 225, pp. 34-51, 2014.
- [2] M. Mollavali, C. Falamaki und S. Rohani, „Preparation of multiple-doped TiO₂ nanotube arrays with nitrogen, carbon and nickel with enhanced visible light photoelectrochemical activity via single-step anodization.“ *International Journal of Hydrogen Energy*, Bd. 40, pp. 12239-12252, 2015.
- [3] K. Herbst, Elektrisch leitfähige Ti-O-C-Nanotubes mit hoher spezifischer Oberfläche., Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2015.

Wirbelschichtreaktor – Entwicklung einer Pilotanlage zur thermischen Behandlung organischer, metallischer und keramischer Mikrobauteile in der Wirbelschicht

Prof. Dr. Wolfgang Krcmar
Fakultät Werkstofftechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Wirbelschichtreaktors, in dessen Reaktionskammer höchste Temperaturen von beispielsweise 1.300 °C innerhalb weniger Sekunden konstant eingestellt werden können. Bei diesen hohen Temperaturen werden kleinteilige keramische Mikrobauteile (z.B. Spulenkörper aus Steatit) im Schwebezustand gesintert. Das Verfahren soll neben der Sinterung von Elektrokeramik die thermische Behandlung von Produkten anderer Werkstoffgruppen wie Metalle oder organische Werkstoffe kleinster Produktdimensionen auch bei niedrigeren Temperaturen ermöglichen.

1. Projektdaten

Fördersumme	30.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Werkstofftechnik / Energie Campus Nürnberg (EnCN)
Projektleitung	Prof. Dr. Wolfgang Krcmar
Kontaktdaten	E-Mail: wolfgang.krcmar@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Elektrokeramische Komponenten werden aufgrund ihrer sehr guten dielektrischen und mechanischen Eigenschaften vielfach als elektronische Bauteile in der Elektrotechnik oder bei thermischen Prozessen eingesetzt. Typische keramische Produkte sind z.B. Sockelkörper für Leistungselektronik, Grundplatten oder Reglergehäuse, Spulenträger oder Kondensatoren für Leiterplatten. Isolierperlen kommen z.B. zum Schutz der elektrischen Leitungen bei Hochtemperatur-Anwendungen zum Einsatz.

Bereits seit vielen Jahren ist bei der Produktion technischer Güter ein ständiger Drang hin zu immer kleineren Produkten zu verzeichnen. Eine Folge dieses Trends ist die Notwendigkeit der Miniaturisierung der eingesetzten Bauteile und Komponenten aus Elektrokeramik. Diese sollen neben einer reduzierten Baugröße über herausragende technische Eigenschaften und eine hohe Produktqualität verfügen. Mit den heute am Markt verfügbaren Herstellungsverfahren kann den künftigen technischen Anforderungen jedoch nicht mehr nachgekommen werden. Gleichzeitig ist durch veraltete Fertigungsanlagen der Energiebedarf zur Herstellung der elektrokeramischen Kleinteile in der geforderten Qualität stark angestiegen. Die Reduzierung des Einsatzes von Primärenergie ist jedoch eine Forderung, die in den nächsten Jahren die Hersteller und Betreiber von Thermoprozessanlagen vor enorme Schwierigkeiten stellen wird. Zum einen ist durch geänderte Verordnungen eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes verbindlich vorgeschrieben. Zum anderen bleibt den Keramikherstellern zur Beibehaltung der Wettbewerbsfähigkeit bei steigenden Energiepreisen nur die Möglichkeit der Energieeinsparung. Steigende Qualitätsansprüche führen jedoch dazu, dass mit bestehenden Fertigungsmöglichkeiten die geforderte Qualität nur durch strengere Qualitätskontrollen und damit unter vermehrtem Ausschuss sichergestellt werden kann. Gerade bei der Herstellung energieintensiver Produkte wird daher intensiv nach Möglichkeiten gesucht, neuartige Verfahren und Methoden zur Optimierung der Produktqualität sowie des Energieverbrauches zu entwickeln.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines neuartigen Sinter-Verfahrens für kleinteilige elektrokeramische Bauteile. Mit dem neuen Sinter-Verfahren sollen in der Wirbelschicht Produkte mit verbesserter Qualität sowie optimierten elektrischen und mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitiger Reduzierung des Primärenergieeinsatzes hergestellt werden. Um dies zu erreichen, werden die Bauteile kleinster Abmessungen im vertikalen Abgasstrom einer Erdgasflamme in einen Schwebезustand versetzt und dabei gesintert.



Abb. 1: Spulenkörper aus Steatit mit den Abmessungen 2 mm x 1 mm x 1 mm

Die grundsätzliche Machbarkeit wurde innerhalb der Arbeitsgruppe im Rahmen zweier Abschlussarbeiten bereits erfolgreich getestet. Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes wurde ein massiv konstruierter Wirbelschichtreaktor neu aufgebaut. In weiteren Versuchen ist geplant, das Verfahren so zu entwickeln, das innerhalb der Reaktionskammer höchste Temperaturen von beispielsweise 1.300 °C innerhalb von nur wenigen Sekunden konstant eingestellt werden können. Bei diesen hohen Temperaturen sollen kleinstteilige keramische Mikrobauteile (z.B. Spulenkörper aus Steatit) im Schwebezustand gesintert werden. Das Verfahren soll außerdem die thermische Behandlung von Produkten anderer Werkstoffgruppen bei niedrigeren Temperaturen ermöglichen. Es soll u.a. erprobt werden, ob neben den keramischen, auch metallische und organische Werkstoffe kleinster Abmessungen im Wirbelschichtverfahren bei definierten Temperaturen thermisch behandelt werden können. Durch den modularen Aufbau des Wirbelschichtreaktors können durch Variation verschiedener Komponenten (z.B. Befuerung, Gebläse, Gas- und Abgasströmung, elektrische Widerstandsheizung, Abmessungen Reaktionskammer/Ofenraum) Bereiche mit konstantem Temperaturprofil erzeugt werden, so dass Bauteile/Werkstoffe mit unterschiedlichen Abmessungen und in verschiedenen Ofenatmosphären thermisch behandelt werden können. Das Temperaturspektrum soll dabei vergleichsweise niedrige Trocknungstemperaturen, höhere Entbinderungstemperaturen und höchste Sintertemperaturen in derselben Wirbelschichtanlage ermöglichen. Ziel ist stets ein geringer Temperaturgradient sowie eine gleichmäßige Atmosphäre innerhalb der Reaktionskammer, was zu einer sehr homogenen Qualität der thermisch behandelten Werkstoffe führen wird. Im Folgenden ist ein Querschnitt des Wirbelschichtreaktors gezeigt. Durch den heißen Abgasstrom des Brenners findet eine Fluidisierung des Wirbelguts statt. Der Feuerungskanal ist rot eingefärbt, die Richtung des Abgasstroms ist mit einem Pfeil gekennzeichnet.

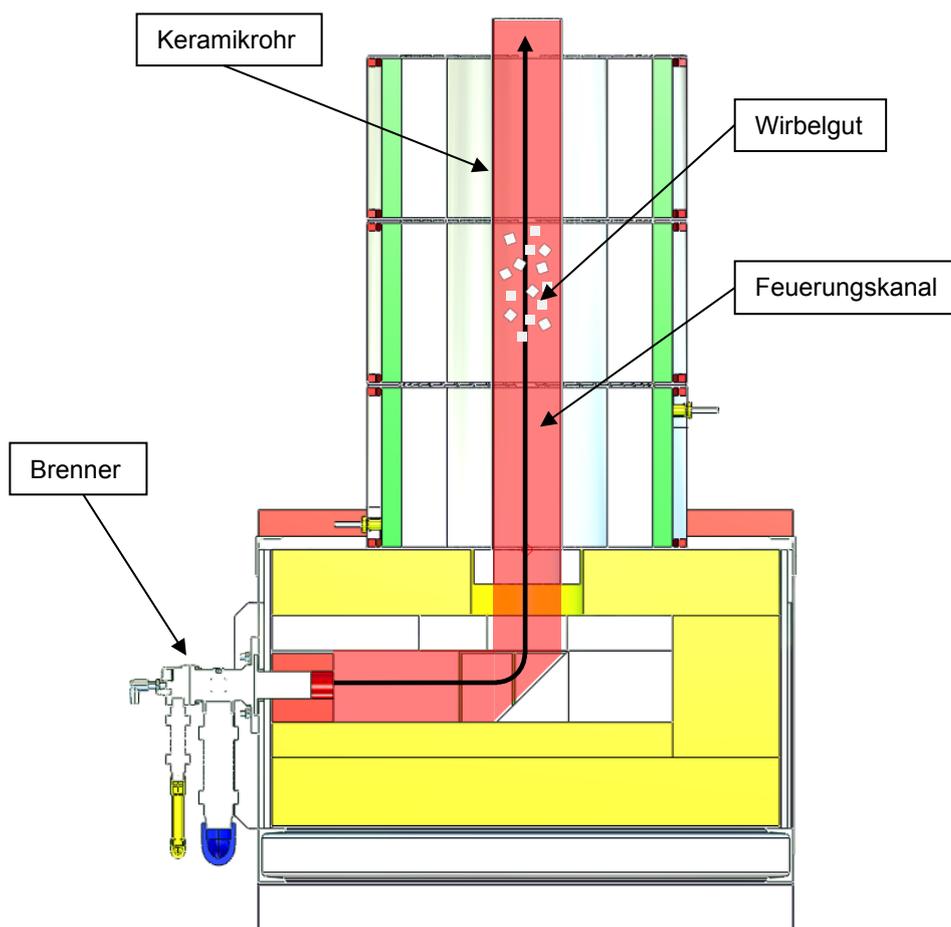


Abb. 2: Querschnitt des Wirbelschichtreaktors

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Um den Wirbelschichtreaktor leistungstechnisch auslegen zu können, wurden die unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten der Probekörper (ungesintert/gesintert) berechnet. Die Berechnungen wurden auf Basis der nachstehenden Parameter durchgeführt:

1.1	g	Erdbeschleunigung	9,81	[m/s ²]
1.2	R _s	Spezifische Gaskonstante	287,058	[J/kg·K]
1.3	p	Luftdruck	101325	[Pa]
1.4	ϑ _{soll}	Solltemperatur Ofenraum	1300	[°C]
1.5	D	Durchmesser der Brennkammer	0,125	[m]
1.6	T	Betriebstemperatur	1573,15	[K]
1.7	d	Äquivalenter Radius des sinkenden Partikels	0,00156	[m]
1.8	ρ _{s,0}	Dichte des Partikels, ungesintert	1400	[kg/m ³]
1.9	ρ _{s,1}	Dichte des Partikels, gesintert	2700	[kg/m ³]
1.10	ρ _f	Dichte des Fluids (Luft) bei Betriebstemperatur T	0,22438	[kg/m ³]
1.11	ρ _{f,0}	Dichte des Fluids (Luft) bei 293,15 K	1,2041	[kg/m ³]
1.12	c _p	Spezifische Wärmekapazität Luft	1,005	[kJ/kg·K]
1.13	c _w	Widerstandsbeiwert (Annahme Doppel-T-Träger, Mittelwert aus Längs-/Queranströmung)	1,46	[J/kg·K]
1.14	V _{s,N}	Sedimentationsgeschwindigkeit (Newton)		
		- bei ρ _{s,0} (ungesintert)	9,34	[m/s]
		- bei ρ _{s,1} (gesintert)	12,97	[m/s]
1.15		Berechneter Luftstrom gesamt MIN (Betriebs-m ³)	412	m ³ /h
1.16		Umrechnung in Norm-m ³	77	m ³ /h
1.17		Leistungsbedarf Erwärmung Trägerluft MIN	33	kW
1.18		Berechneter Luftstrom gesamt MAX (Betriebs-m ³)	573	m ³ /h
1.19		Umrechnung in Norm-m ³	107	m ³ /h
1.20		Leistungsbedarf Erwärmung Trägerluft MAX	46	kW

Zur Berechnung der Luftdichte ρ_f (1.10) bei Betriebstemperatur T (1.6) wurde **Gleichung 1** verwendet.

$$\rho = \frac{p}{R_s \cdot T} \quad (1)$$

Die Sedimentationsgeschwindigkeit V_{s,N} (1.14) des ungesinterten bzw. gesinterten Körpers wurde nach **Gleichung 2** berechnet.

$$V_{s,N} = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot d \cdot g}{3 \cdot c_w \cdot \rho_f}} \quad (2)$$

Aus den Sedimentationsgeschwindigkeiten konnten anschließend der minimal bzw. maximal benötigte Betriebsvolumenstrom (1.15, 1.18) mit **Gleichung 3** sowie der Normvolumenstrom (1.16, 1.19) mit **Gleichung 4** für den ungesinterten bzw. gesinterten Spulenkörper ermittelt werden.

Während des Sintervorganges steigt die Dichte der Probekörper und damit die Sedimentationsgeschwindigkeit an. Um ein Absinken der Teile im Reaktor zu verhindern, muss der entgegengesetzt gerichtete Abgasstrom entsprechend ausgelegt werden. Da sich durch das Regelungskonzept des gasbeheizten Reaktors mit zunehmender Reaktortemperatur die zugeführten Luftströme ebenfalls erhöhen, ist ein Ausgleich der Stoffströme über eine separate Luftzuführung notwendig. Dies erfolgt während der Versuchsdurchführung manuell und kann nach Kenntnis des Regelverhaltens gegebenenfalls durch eine motorische Stellklappe als separater Regelkreis in den Prozess eingebunden werden.

$$\text{Betriebsvolumenstrom} = v_{s,N} \cdot 3600 \cdot D^2 \cdot \pi/4 \quad (3)$$

$$\text{Normvolumenstrom} = \text{Betriebsvolumenstrom} \cdot 293,15 \text{ K}/1573,15 \text{ K} \quad (4)$$

Aus dem Normvolumenstrom wurde der Leistungsbedarf zur Erwärmung der Trägerluft von Raum- auf Betriebstemperatur T mit **Gleichung 5** berechnet – ebenfalls jeweils für den ungesinterten (1.17) sowie für den gesinterten (1.20) Spulenkörper. Entsprechend dieser Berechnungen wurden der Brenner und das Verbrennungsluftgebläse für den Wirbelschichtreaktor dimensioniert.

$$\text{Leistungsbedarf} = \text{Normvolumenstrom} \cdot \rho_{f,0} \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \quad (5)$$

Im nächsten Schritt wurde ein 3D-Modell des kompletten Reaktors mit allen Baugruppen angefertigt. Aus diesem Modell konnten alle notwendigen Fertigungszeichnungen, z.B. für den Stahlbau und den feuerfesten Aufbau, abgeleitet werden.

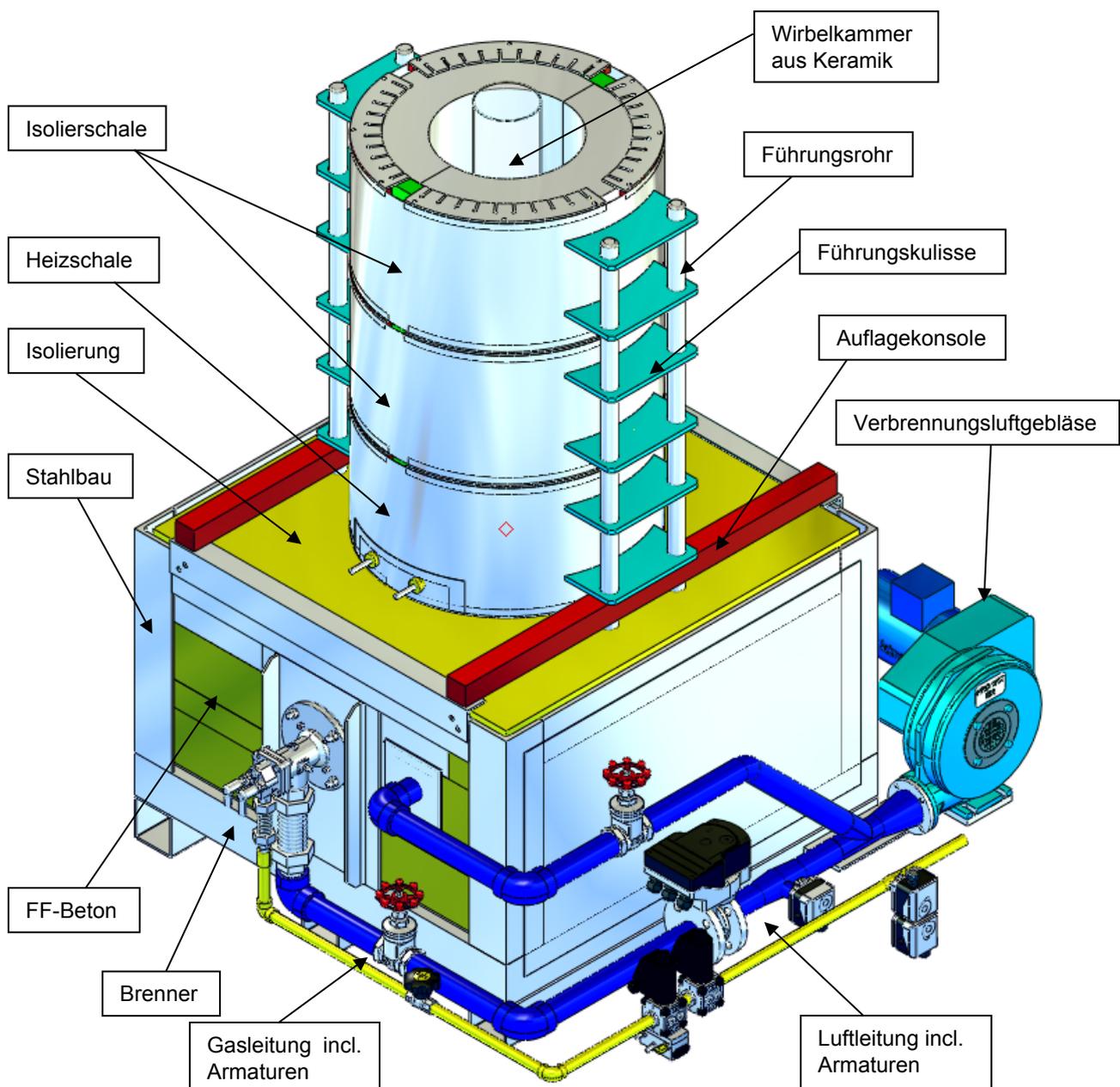


Abb. 3: 3D-Modell des Wirbelschichtreaktors

Das folgende Bild 4 zeigt die Gas- und Luftregelstrecke des Ofens. Die für die Verbrennung notwendige Luftmenge wird dem Gasbrenner über ein separates Verbrennungsluftgebläse zugeführt. Durch einen in die Gasleitung integrierten Gleichdruckregler, der mit einer Wirkdruckleitung mit der Luftleitung verbunden ist, wird automatisch die für eine vollständige Verbrennung notwendige Gasmenge angepasst. Um die Betriebssicherheit der Anlage zu gewährleisten, wurden beide Regelstrecken gemäß der DIN EN 746-2 aufgebaut. Vorgesehen sind dabei die Überwachung der minimal und maximal zulässigen Drücke in den Versorgungsleitungen sowie die Kontrolle der Brennerflamme über eine Ionisationselektrode. Bei Flammenausfall oder unzulässig hohen Drücken werden automatisch die beiden redundanten Magnetventile in der Gaszuleitung verschlossen, sodass der Austritt von unverbranntem Gas verhindert wird. Über eine separate Brennersteuerung wird die Flamme gezündet und alle Funktionen des Gasbrenners werden permanent überwacht.

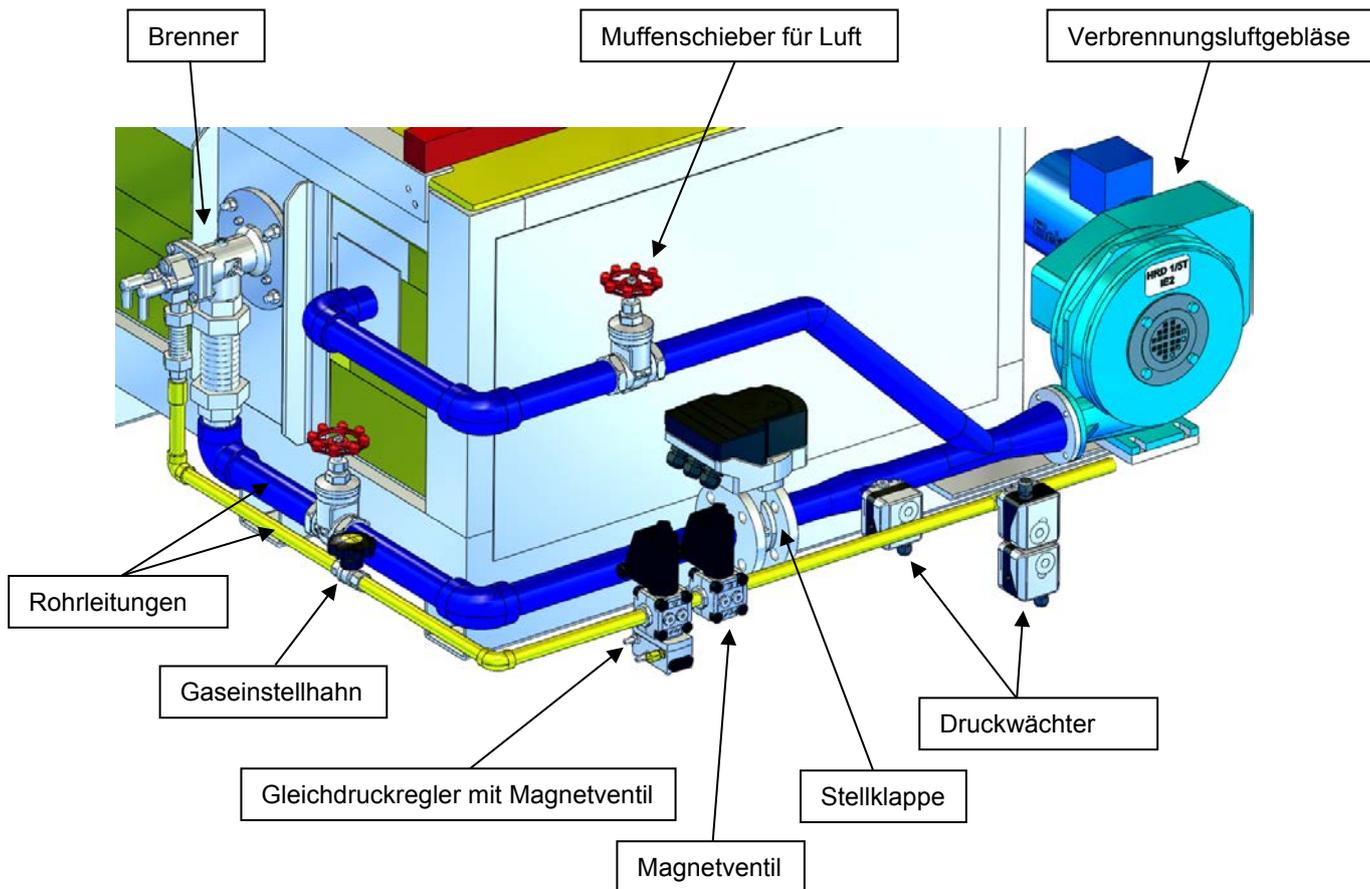


Abb. 4: Detailskizze der Gas- und Luftregelstrecke

Der Ofen ist mit einer elektrischen Zusatzheizung bzw. Heizschale ausgestattet. Diese wird benötigt, um im Reaktor eine Zone mit annähernd gleicher Temperatur, unabhängig von der Temperatur des Abgasstromes, einstellen zu können. Abhängig von der Schwebhöhe der zu sintern den Teilchen in der keramischen Wirbelkammer ist die Heizschale mit zwei Isolierschalen kombinierbar. Die Module können problemlos über Führungsrohre gegeneinander ausgetauscht werden.

Der Ofen wurde inzwischen planmäßig aufgebaut (Bild 5). Im nächsten Schritt erfolgt die Verkabelung der elektrischen Komponenten mit dem bereits vorhandenen Schaltschrank. Anschließend werden Versuche bei verschiedenen Sintertemperaturen durchgeführt und die Betriebsbedingungen optimiert. Zum Schluss erfolgt die Fertigstellung der wärmetechnischen Isolierung und der Endanstrich.

Wenn sich der neue Wirbelschichtreaktor bei den geplanten Versuchsproduktionen bewährt, soll in einem weiteren Schritt ein Teil der heißen Abgase im Kreislauf geführt werden. Dadurch kann der Energieverbrauch (Gasverbrauch) reduziert werden.



Abb. 5: Wirbelschichtreaktor mit Gasregelstrecke und Luftgebläse

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Bei erfolgreicher Entwicklung und Bewährung des neu entwickelten Wirbelschichtreaktors wird geprüft, ob das Verfahren als Patent angemeldet werden kann. Anschließend soll in Zusammenarbeit mit einem namhaften Betrieb der Elektrokeramik und einer Ofenbaufirma ein industriell tauglicher Wirbelschichtreaktor entwickelt, projiziert und gebaut werden. Die wissenschaftlich-technischen Arbeiten und Versuchsproduktionen sollen über ein neu zu beantragendes, größeres F & E-Vorhaben finanziert werden.

Der neue Industrieofen soll in kontinuierlicher Betriebsweise eine Temperaturbehandlung von Produkten ermöglichen, die sich durch vergleichsweise verbesserte Produkteigenschaften auszeichnen. Außerdem wird der neue Wirbelschicht-Reaktor eine Energieeinsparung gegenüber klassischen Thermoprozessanlagen bewirken. Industriebetriebe, die das neue Sinterverfahren einsetzen, können infolge verbesserter Produktqualität und verbesserter Energieeffizienz besonders nachhaltig wirtschaften und sich am Markt behaupten. Dadurch bleiben Arbeitsplätze erhalten und die heimische Industrie in Bayern und Deutschland wird gestärkt. Durch die vergleichsweise Einsparung von Primärenergie wird ein Beitrag zur Energiewende geleistet.

Die Durchführung der dazu notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgt durch zwei besonders geeignete Absolventen der Fakultät Werkstofftechnik der TH Nürnberg im Rahmen kooperierender Promotionen. Darüber hinaus bietet das Vorhaben den Studierenden die Möglichkeit, im Rahmen von Bachelor- und Master-Arbeiten sowie Praxissemestern und Projektarbeiten Erfahrungen bei der Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten zu sammeln und Industriebetriebe kennenzulernen.

6. Literatur / Quellen

Alle Bilder und Zeichnungen stammen aus dem Archiv von W. Krcmar.

OHMKnife - Thermomechanisches Schmieden perlitisch-martensitischer Chromstähle

Prof. Dr. Simon Reichstein

Fakultät Werkstofftechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Dr.- Stephan Kraft

Fakultät Werkstofftechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Die meisten hochwertigen und rostfreien Messerklingen bestehen aus perlitisch-martensitischen Chromstählen. Allerdings erreicht bis heute kein rostfreies Schneidwerkzeug die Schneideigenschaften von nicht rostfreien Stählen, die einen deutlich geringeren Chromgehalt aufweisen. Chrom bewirkt in Stählen bei ausreichend hohen Konzentrationen von über 12-18 Gew.% die Bildung einer diffusionsdichten Oberflächenschicht aus Chromoxid, welche die Korrosion des Stahls wirksam verhindert. Allerdings bildet Chrom mit dem Kohlenstoff des Stahls auch sogenannte Karbide. Diese scheiden sich bei konventioneller Herstellung als harte, grobe Partikel im Werkstoff aus und stören die Schneideigenschaften, indem sie an der Schneidkante entweder als Zähne verbleiben oder zu Ausbrüchen führen. Deswegen weisen Klingen aus Chromstählen eher Eigenschaften einer (Mikro-)Säge auf. Perfekte Schneidwerkzeuge sollen aber eine scharfe gerade Schnittkante aufweisen, um mit wenig Kraft einen glatten sauberen Schnitt ausführen zu können. Solche Schnittkanten kann man bis heute nur mit Stahlsorten erzielen, die so wenig Chrom enthalten, dass sich keine Karbide bilden. Typischer Weise enthalten solche Stähle unter 3 Gew.% an Chrom und sind damit keinesfalls korrosionsresistent. Eine technische Lösung, die optimale Schnitteigenschaften in rostfreien Stählen ermöglicht, ist bis heute nicht gefunden.

Einen Ausweg aus diesem Widerspruch zwischen Schneideigenschaften und Korrosionsbeständigkeit könnte das thermomechanische Schmieden bieten. Der grundlegende Vorteil thermomechanischer Behandlungen von Stählen liegt darin, dass durch die gleichzeitige Umformung und Abkühlung ein sehr viel feineres und homogeneres Gefüge erzielt wird als bei konventionellem, rein thermischen Härten von Stahl. Insbesondere die für die Schneideigenschaften kritischen Karbide bilden sich nach aktuellen Forschungsergebnissen bei einer thermomechanischen Behandlung in viel feinerer Form aus [2].

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	August bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Werkstofftechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Simon Reichstein
Kontaktdaten	E-Mail: simon.reichstein@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Während Stähle früher entweder durch eine Wärmebehandlung oder durch Walzen gehärtet wurden, können heute durch gleichzeitiges Umformen und kontrolliertes Abkühlen weit höhere Festigkeiten in kostengünstigen, niedriglegierten HSLA-Stählen (high strength low alloyed steels) erzielt werden [1]. Durch diese höheren Werkstofffestigkeiten können Karosserien der gleichen Festigkeit mit Blechen geringerer Wandstärke gebaut werden und somit den ehemaligen Gewichtsvorteil von Aluminium weitgehend kompensieren. Diese Entwicklung, eine der größten Werkstoff-Innovationen der letzten 20 Jahre, ist auch als Stahlleichtbau bekannt geworden. Alle führenden Stahlhersteller und eine Vielzahl von Forschungsinstituten und Werkstoffexperten haben sich über Jahrzehnte diesem Thema gewidmet, in erster Linie mit Blick auf kostengünstige niedriglegierte Massentstähle. Im hier vorgestellten Vorhaben wollen wir versuchen, diesen Mechanismus auf eine andere Stahlsorte zu übertragen, die perlitisch-martensitischen Chromstähle. Perlitisch-martensitische Chromstähle finden Anwendung in vielen Bereichen, bei denen gute Festigkeiten bei sehr guter Korrosionsbeständigkeit erforderlich sind. Unter anderen werden solche Stähle im breiten Umfang für hochwertige Schneidwerkzeuge wie Skalpelle sowie Maschinen zur Lebensmittelverarbeitung eingesetzt.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Die konsequente Weiterführung des Projekts zielt auf die Prozessentwicklung und die Prozessoptimierung. Zunächst sollen an den ausgewählten Materialien gezielte thermomechanische Verformungsversuche durchgeführt werden, um ein sicheres Gefühl für die Prozesskette zu erhalten und über die ermittelten Temperatur-, Zeit- und Verformungsdaten eine Korrelation zu dem sich einstellenden Gefüge zu ermitteln. Aus dieser Korrelation lässt sich die Parametrisierung der Prozesskette ableiten und so die prinzipielle Vorgehensweise definieren. Um den Effekt des thermomechanischen Umformens relativ zur rein thermischen Härtung zu beschreiben, werden Probenplättchen nach der Austenitisierung rein thermisch abgeschreckt, möglichst mit der gleichen Abkühlrate wie die thermomechanisch behandelten Proben.

Im nächsten Schritt werden die gesammelten Erfahrungen auf das Bauteil „OHMKnife“ übertragen, wobei zunächst die Verformungsapparatur auf die Bauteilgeometrie eingerichtet werden muss. Die prinzipielle Machbarkeit des Schmiedevorgangs wird durch die Übertragung der Prozessparameter auf die Kaltverformung von Rein-Aluminium überprüft. Das ist möglich, da die Festigkeitswerte des zu schmiedenden Stahls bei 1100°C mit der Kaltverformung von Rein-Aluminium vergleichbar sind. Stellt sich hierbei heraus, dass die an der Fakultät Werkstofftechnik vorhandene Spindelpresse nicht ausreicht, kann das Schmiede-Gesenk auch bei einer externen Firma betrieben werden. Entsprechende Partner wurden bereits kontaktiert und in die Planung einbezogen.

Begleitend zu den mechanischen Versuchen sind Analysen des erzeugten Gefüges notwendig, um die Wirkung des Umformverfahrens beurteilen zu können.

Nachgelagert werden Festigkeitsprüfungen des erzeugten Materials durchgeführt, um die Abhängigkeiten des Gefüges zu den mechanischen Eigenschaften zu beschreiben.

Auf Grund der zu erwartenden Ergebnisse wird schon innerhalb dieses Vorlauftorschungsprojekts die Erstellung eines Antrags auf ein öffentlich geförderten Forschungsvorhabens beabsichtigt, welches das Thema „Thermomechanisches Schmieden“ auf wissenschaftlicher Ebene tiefgreifender angehen wird.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Aus der bisherigen Finanzierungshilfe der Technischen Hochschule Nürnberg wurden für die Initiierung des Forschungsvorhabens deutliche Fortschritte erzielt. Insbesondere konnte die Werkstoffauswahl getroffen werden. Weiterhin wurde in Vorversuchen die Versuchsanlage für das thermomechanische Schmieden konzipiert und das für das eigentliche Projektziel, das „OHMKnife“, passende Schmiedegesenk geplant, konstruiert und in Auftrag gegeben.

Werkstoffauswahl

Für die Vorversuche wurden drei verschiedene Stahlsorten ausgewählt:

1. 100Cr6 – Wälzlagerstahl durchhärtend
2. 42CrMo4 – klassischer Vergütungsstahl
3. C60 – unlegierter härter Stahl
4. X55CrMo14 (1.4110) – klassischer Messerstahl

Konzeption Versuchsanlage

Um Vorversuche zur Ermittlung der Gefügeveränderungen durch thermomechanisches Schmieden an einer an der Fakultät WT existierenden 40 kN Spindelpresse durchführen zu können, wurden in der Zentralwerkstatt der TH Nürnberg ein Druckstempel und eine Druckplatte hergestellt. Mit dieser Vorrichtung können Probelplättchen des Versuchsmaterials thermomechanisch geschmiedet werden. Die Plättchen werden an der Apparatur auf Schmiedetemperatur erhitzt (ca. 1100 °C) und dann zeitnah ($t < \text{ca. } 5 \text{ s}$) zwischen Druckstempel und -platte bei maximaler Kraft der Presse geschmiedet. Der Schmiedevorgang erfolgt unter Temperaturkontrolle, d.h. in der Probe ist ein Thermoelement angebracht, das die Temperatur der Probe hochaufgelöst aufzeichnet.

Durch die hohen Temperaturen wird das Material weitestgehend austenitisiert und homogenisiert (v.a. Auflösung der Karbide). Der unmittelbar anschließende rasche Schmiedevorgang und die dabei auftretenden Temperaturänderungen sollen zu einer feinen Ausscheidungsstruktur führen.

Bei definierten Anfangsdimensionen der Plättchen (ca. $2 \times 10 \times 10 \text{ mm}$) kann die Dickenabnahme und damit der Umformgrad durch den Schmiedevorgang ermittelt werden. So lässt sich in Abhängigkeit der Messungen des Temperaturverlaufs während des Schmiedevorgangs und des erreichten Umformgrades die entstandene Mikrostruktur beurteilen.

Konzeption Schmiedegesenk

Im Rahmen der Vorarbeiten wurde der Prototyp eines Bauteils konzipiert. Das für das thermomechanische Schmieden repräsentativste Bauteil hinsichtlich der Wirkung dieses Umformverfahrens ist eine Messerklinge, da hier die wesentlichen Eigenschaften Rostfreiheit, Schneidfähigkeit, Schneidhaltigkeit, Schärfe und Schärfbarkeit durch die durch thermomechanische Umformung erzielte Mikrostruktur maßgeblich beeinflusst werden kann. Gleichzeitig müssen hier auch die mechanischen Eigenschaften wie Härte und Festigkeit kontrolliert werden, zudem muss ein Messer der Notwendigkeit der Lebensmittelechtheit genügen.

Entsprechend dieser Anforderung wurde ein Schmiedegesenk konzipiert, das zum Ende des Jahres 2015 fertiggestellt sein wird.

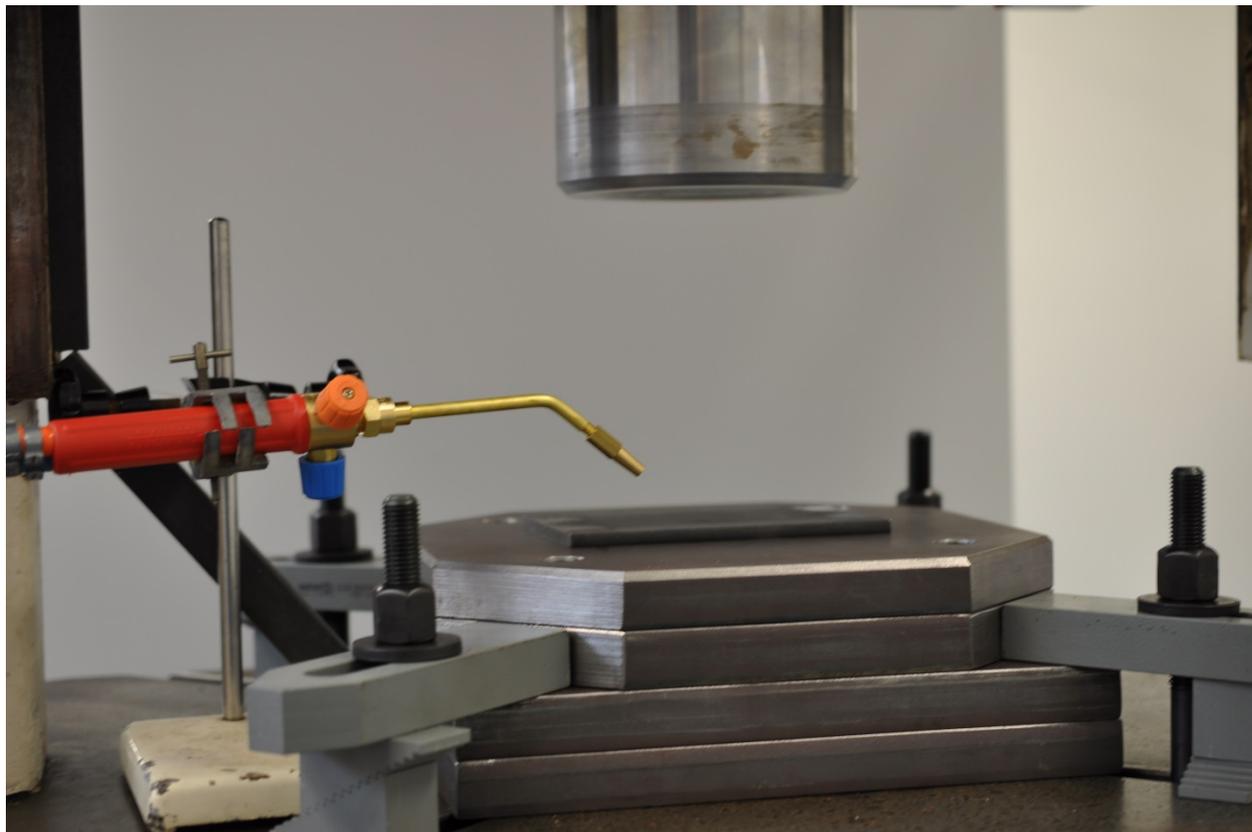


Abb. 1: Versuchsaufbau zum thermomechanischen Schmieden. Zwischen Oberstempel und Schmiedeplatte wirkt eine Kraft von ca. 40 kN.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Falls sich in den oben beschriebenen Versuchen die gewünschten Eigenschaften thermomechanisch geschmiedeter perlitisch-martensitischer Chromstähle abzeichnen, wird ein Antrag im Rahmen des Programms „Neue Werkstoffe in Bayern“ gestellt. Auch eine parallele Antragstellung im Programm „Vom Material zur Innovation (vormals WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft)“ - einem Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) - ist denkbar, da es sich bei den geplanten Industriepartnern um Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMUs) handelt, welchen eine inhaltlich freie Antragsstellung im Ausschreibungstext zugestanden wird.

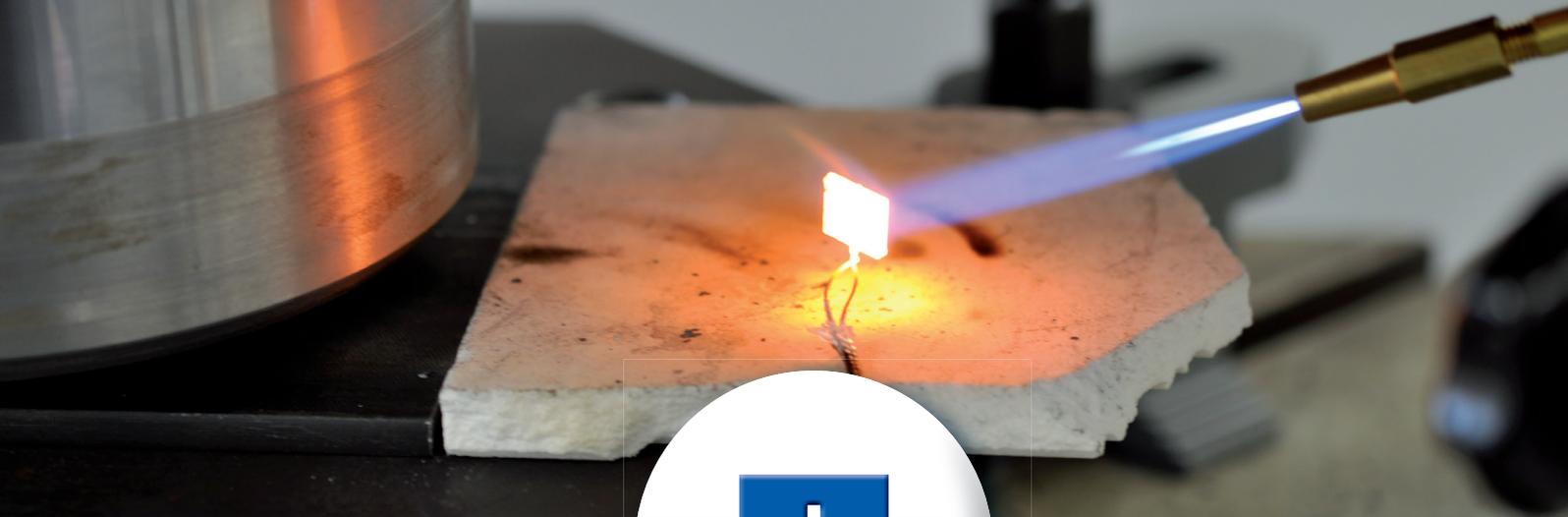
Aktuell besteht Kontakt zu zwei Industriepartnern. Das sind die LASCO Umformtechnik GmbH in Coburg und die SWM Werkzeugfabrik GmbH & Co. KG in Steinbach-Hallenberg. LASCO ist ein führender Hersteller von Umformmaschinen, SWM fertigt Schmiedegesenke und schmiedet als Tochter der Firma Stahlwille Werkzeuge und Werkzeugteile.

Im Erfolgsfall ist (eine Zustimmung der Hochschule vorausgesetzt) die Vermarktung als „OHMKnife“ geplant. Zunächst soll dies für die Fertigung kleiner Stückzahlen in einer Ausgründung der TH Nürnberg geschehen, eine Fertigung größerer Stückzahlen würde eine Kooperation mit einem Unternehmen oder Investor erfordern. Falls die Messer die gewünschten Eigenschaften aufweisen, wäre es möglich, diese hochpreisig als Premiumprodukte über den aktuellen Top-Produkten zu vertreiben.

Die Umsetzung des Projektes ist mit studentischen Mitarbeitern im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeitern bzw. des Studiengangs Master of Applied Research geplant. Unabhängig davon, ob die Herstellung von Stählen mit den gewünschten Eigenschaften gelingt, stünde danach an der Hochschule das Equipment für die Herstellung von Schneidwerkzeugen im Rahmen von Praktika und Projektarbeiten zur Verfügung. Selbst wenn das Projekt als F&E-Projekt scheitert, stellt es eine erhebliche Bereicherung der Attraktivität der Lehre in der Fakultät Werkstofftechnik dar. Sollte es gelingen, wäre die TH Nürnberg führend auf dem Gebiet der Stähle für hochwertige rostfreie Schneidwerkzeuge, mit allen dazugehörigen Möglichkeiten der wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Verwertung.

Literatur

- [1] Hui X., Lin-Xiu D., Jun H. und Misra, R.D.K *Microstructure and mechanical properties of a novel 1000 MPa grade TMCP low carbon microalloyed steel with combination of high strength and excellent toughness* Materials Science & Engineering A 612 (2014) 123–130
- [2] Shena, Y.F., Wang, C.M. und Sun X. *A micro-alloyed ferritic steel strengthened by nanoscale precipitates* Materials Science and Engineering A 528 (2011) 8150– 8156



ISSN 1867-4585

www.th-nuernberg.de