Grußwort des Präsidenten

„Tue Gutes und rede darüber“



ist ein Motto, das viele von uns im Herzen tragen und das besonders die Wissenschaftskultur prägt. Das ist nicht verwunderlich, denn die grandiosesten Entdeckungen sind am Ende nichts wert, wenn man sie für sich behält und versäumt, anderen davon zu berichten. Entdeckungen und kluge Ideen brauchen Sichtbarkeit, ebenso wie die Forscherinnen und Forscher, die sie hervorbringen. Nur so können sich Communities etablieren, die einen Stand der Technik definieren und offene Forschungsfragen im Kollektiv adressieren. Der THWS ist es ein großes Anliegen, hierfür Plattformen zu bieten. Das **Science Journal** ist eine davon.

Die Ausgabe des THWS Science Journals 2026 bietet Internen wie Externen einen guten Überblick über die Forschungslandschaft und die Forschungsstärke der THWS. Besonders eindrucksvoll ist nicht nur die außerordentliche fachliche Breite an Forschungskompetenzen, sondern auch die über Jahre hinweg aufgebaute und manifestierte Forschungsexzellenz in einigen Bereichen.

Mit Blick auf die Entwicklungen der letzten Jahre lässt sich festhalten: In Sachen Forschung geht es an der THWS steil nach oben. Das lässt sich nicht nur an den Drittmitteleinnahmen und Veröffentlichungen festmachen, sondern auch an der wachsenden Anzahl an Forscherinnen und Forschern. Positiv dazu beigetragen hat vor allem die Etablierung von Forschungsprofessuren und Promotionszentren, mit denen die Forschung an HAWs und THs eine massive Aufwertung erfahren hat und die Lücke zu den gedanklich forschungsintensiveren Universitäten zusehends kleiner wird.

Ein großes Dankeschön an alle, die die Forschungslandschaft der THWS täglich mit Kreativität, klugen Ideen und Engagement gestalten und zum Gelingen des Science Journals 2026 beigetragen haben.



Prof. Dr. Jean Meyer
Präsident der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt

Die Forschungslandschaft der THWS



Ø 116
laufende Forschungs- und Transferprojekte

> 120
wissenschaftliche peer-reviewte Publikationen pro Jahr

> 10 Mio. €
Drittmittelumsatz pro Jahr

10 Institute

6 Technologie-transferzentren

Einleitende Worte des Vizepräsidenten

Wir als Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt haben gleich mehrere Aufträge, die uns der Freistaat Bayern ins Klassenbuch schreibt. Neben der Lehre sind dies Forschung und Transfer, Internationale Zusammenarbeit, chancengerechte Teilhabe, gesellschaftsbezogene Aktivitäten innerhalb der sogenannten „Third Mission" und Förderung des wissenschaftlichen und künstlerischen Nachwuchses. Seien Sie gewiss, es wird nicht langweilig und ist weit mehr als „Schule". Mit dieser Ausgabe des THWS Science Journals möchten wir Sie, liebe Leserinnen und Leser, mitnehmen auf die spannende Reise durch die Forschungs- und Transferlandschaft unserer Institute und Technologietransferzentren, die als Einrichtungen fester Bestandteil der THWS sind, und ein maßgeblicher Teil des Profils bilden. In diesen Einrichtungen konzentriert sich ein Großteil unserer Forschung, wenngleich ich nicht unerwähnt lassen möchte, dass auch in den Fakultäten und Laboren unserer Hochschule ebenso hochkarätige Forschung betrieben wird. Bei einer Technischen Hochschule unserer Größe auch nicht verwunderlich.

Ich möchte Sie an dieser Stelle nicht mit vielen Zahlen behelligen, aber als Ingenieur kann ich mir ein paar wenige doch nicht verkneifen:

- mehr als 120 wissenschaftliche peer-reviewte Publikationen pro Jahr
- mehr als 10 Millionen Euro Drittmittelumsatz pro Jahr
- im Durchschnitt 116 laufende Forschungs- und Transferprojekte
- 10 Institute
- 6 Technologietransferzentren

Wie man es auch dreht und wendet: Als Technische Hochschule gehören wir zur Gruppe der Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW), deren Markenkern es ist, regional verankert und Teil der Lösung zu sein, um Forschung bis in die Anwendung zu bringen – und das ist auch gut so. Die THWS pflegt enge Verbindungen in die Region, in der sie ansässig ist. Das zeigt sich eindrucksvoll an der hohen Zahl gemeinsamer Projekte mit Partnern, zumeist aus der Region, sowie an der großen Zahl regionaler Stiftungsunternehmen unserer Technologietransferzentren (TTZ). Letztere haben die Besonderheit, dass ihre Standorte direkt in den Landkreisen und nicht am Hauptstandort der THWS sind – ein enger Schulterschluss von Kommunen, Wirtschaft, Hochschule und Wissenschaftsministerium ist hierbei der Schlüssel zum Erfolg.

Genug der einleitenden Worte – nun wünsche ich Ihnen viel Freude bei der Reise durch die Forschungs- und Transferlandschaft Ihrer THWS. Legen Sie dabei gerne einen Zwischenstopp bei den Artikeln zwischen den Instituts- und TTZ-Geschichten ein und lassen Sie sich für Ihre eigenen Ideen inspirieren. Sollten Sie Unterstützung oder ein Sparring benötigen, steht Ihnen die THWS gerne zur Seite – Sie wissen, wo Sie uns finden.





Prof. Dr. Jan Schmitt
Vizepräsident Forschung und Gründung

Inhalt

Grußwort des Präsidenten 1

Einleitende Worte des Vizepräsidenten 3

Beiträge aus den Instituten 8

1. IDEE – digital – souverän 8
   Das Institut für Digital Engineering
   Prof. Dr.-Ing. Andreas Schiffler, Fabienne Riesel, Phillipp Seitz, Prof. Dr.-Ing. Stefanie Retka
2. Forschung für die Energiewende 16
   Das Institut für Energie- und Hochspannungstechnik
   Prof. Dr.-Ing. Markus H. Zink
3. Wärme neu gedacht: Wie Wissenschaft und Stadtwerke gemeinsam die Energiewende gestalten 20
   Das Institut für Sustainable Energy Systems
   Prof. Dr.-Ing. Fabian Scheller, Fabian Büttner, Anna-Maria Schmitt, Dr. Renu Chaudhary
4. Gesundheit zu Recht 26
   Das Institut für Angewandte Sozialwissenschaften
   Prof. Dr. Tanja Henking
5. Von A wie Acker, bis Z wie Zucker: Wie das IAL den Zuckerrübentransport nachhaltig revolutioniert! 29
   Das Institut für Angewandte Logistik
   Prof. Dr. Ulrich Müller-Steinfahrt
6. BikeBox: Die Box, die Würzburgs Straßen kennt 34
   Das Institut für Design und Informationssysteme
   Prof. Dr. Nicholas Müller
7. Wenn Ingenieure biologisch sprechen 39
   Das Institut für Medizintechnik Schweinfurt
   Prof. Dr. Norbert Strobel, Dr. Christoph Malkmus
8. Ruhig bleiben und vor die Lage kommen 42
   Das Institut für Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement
   Prof. Dr. Peter Bradl
9. Roboter in der Intralogistik – Wie man mit künstlichen Bilddaten echte Probleme löst 46
   Das Center für Robotik
   Prof. Dr. Tobias Kaupp, Prof. Dr.-Ing. Volker Willert
10. The Paperclip Experiment 51
    Das Center für Künstliche Intelligenz
    Prof. Dr. Ivan Yamshchikov

Zwischen den Welten forscht es sich besser 54

Beiträge aus den Technologietransferzentren 60

11. Technologietransferzentrum Elektromobilität – Brücke zwischen Wissenschaft und Industrie 60
Das Technologietransferzentrum Elektromobilität
Prof. Dr.-Ing. Henning Kasten

12. Additive Fertigung im Bauwesen: Herstellung von verlorenen Schalungen 65
Das Technologietransferzentrum Mainspessart
Prof. Dr. Alexander Versch, Christian Derzapf

13. Symbiose von Künstlicher Intelligenz und Robotik am TTZ-KT 69
Das Technologietransferzentrum Kitzingen
Prof. Dr.-Ing. Erik Schaffernicht

14. TTZ-WUE Projekt, das Informationen über Cyberangriffe sammelt, bevor diese Schlagzeilen machen 72
Das Technologietransferzentrum Würzburg zum Thema Cyber-Sicherheit
Prof. Dr. Sebastian Biedermann

15. Tanz der Polymere – Warum der Takt von Polymeren wichtig für das Recycling von Kunststoffen ist 76
Das Technologietransferzentrum Haßfurt
Prof. Dr.-Ing. Johannes Krückel, Tim Schülein

16. Nachhaltige, digitale Transformation in der Laboranalytik und Medizintechnik 80
Das Technologietransferzentrum Bad Kissingen
Prof. Dr.-Ing. Lisa Kiesewetter

Literaturverzeichnis 84

Schlusswort 86

Impressum 88

Institute



Institut für Digital Engineering (IDEE)



Institut für Design und Informations-systeme (IDIS)



Center für Künstliche Intelligenz (CAIRO)



Institut für angewandte Sozialwissen-schaften (IFAS)



Institut für Medizin-technik Schweinfurt (IMES)



Institut für
angewandte Logistik
(IAL)



Center für Robotik
(CERI)



Institut für Rettungswesen, Notfall-
und Katastrophenmanagement (IREM)

Institut für Energie-
und Hochspannungstechnik
(IEHT)



Institut für Sustainable
Energy Systems (INSYS)



Beiträge aus den Instituten

idee.thws
Institut für
Digital Engineering
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



1. IDEE – digital – souverän

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schiffler, Fabienne Riesel M.A.,
Phillipp Seitz M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Stefanie Retka

IDEE – Das Institut für Digital Engineering

Das **Institut für Digital Engineering (IDEE)** ist ein fakultätsübergreifendes Institut der THWS. Geprägt wird es durch dedizierte Forschungsprofessuren und ein forschungsstarkes Kollegium in den Themenfeldern des Ingenieurwesens im Kontext der Digitalisierung. Anwendungsorientierte Forschung sowie die enge Kooperation mit der regionalen Wirtschaft stehen dabei im Vordergrund. Das IDEE strukturiert sich dafür thematisch in Forschungsfelder. Diese decken die Bereiche Digitalisierung, Produktion, Mechanische Systeme bis hin zur Gründungsunterstützung ab. Mit dem Forschungsfeld Computational Science werden zunehmend auch der Einsatz und die Weiterentwicklung von KI-Algorithmen fokussiert.

Spezifische Anwendungsthemen werden in den Forschungsfeldern additive Fertigung metallischer Werkstoffe und intelligente Produktionssysteme bearbeitet. Schließlich dient das Feld Entrepreneurship und Innovation dazu, den unterstützenden Rahmen und ein Netzwerk zu bieten, um Potenziale frühzeitig zu erkennen und herausragende Ideen zu wirtschaftlichem Erfolg zu führen.

Lärm gezielt bekämpfen, genetischer Algorithmus und Finite-Elemente helfen

Akustik erforschen – Von der Schwingung zum Klang

Die Akustik befasst sich als interdisziplinäres Teilgebiet der Physik und Ingenieurwissenschaften mit der Entstehung, Ausbreitung und Wahrnehmung mechanischer Schwingungen in gasförmigen, flüssigen und festen Medien. Das Labor für Akustik und Strukturdynamik an der THWS adressiert diese Fragestellungen mit Schwerpunkt auf der messtechnischen Erfassung von Luft- und Körperschall im hörbaren Frequenzbereich in Kombination mit numerischer Simulation. Im Mittelpunkt stehen die physikalischen Mechanismen der Schall- und Vibrationsentstehung, die Charakterisierung von Ausbreitungsphänomenen sowie die Geräuschdetektion.

Die experimentelle Infrastruktur des Labors umfasst umfangreiches messtechnisches Equipment sowie einen nach DIN-Norm zertifizierten Halbraum, der definierte reflexionsarme Messbedingungen gewähr-

leistet und eine hohe Reproduzierbarkeit akustischer Untersuchungen sicherstellt. Auf dieser Grundlage werden anwendungsorientierte Forschungsprojekte realisiert, die grundlagennahe Fragestellungen mit ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen verknüpfen. Ein aktuelles Forschungsvorhaben widmet sich der numerisch gestützten Optimierung von Schalldämpfungsstrukturen.

Lärm als unterschätzte Belastung

Wer in einem lauten Büro arbeitet, kennt das Problem: Die Konzentration sinkt, die Fehlerquote steigt, und am Ende des Tages ist man erschöpfter als nach einem ruhigen Arbeitstag. Was sich wie ein individuelles Empfinden anfühlt, ist wissenschaftlich gut belegt. Innenraumlärm – also unerwünscht hohe Schallpegel in geschlossenen Räumen wie Büros, Lernräumen, Fahrzeugen oder Wohngebäuden – kann zu erhöhtem Blutdruck, chronischem Stress und deutlichen Einbußen bei der kognitiven Leistungsfähigkeit führen.

Mit zunehmender Urbanisierung wird dieses Problem größer: Verkehr, Baustellen und die allgegenwärtige Elektronik sorgen für immer lautere Geräuschkulissen. Die Akustikforschung steht daher vor der Herausforderung, effektive Lösungen zu entwickeln – und das möglichst ressourcenschonend.

Das klassische Mittel: Dämmmaterialien

Der naheliegendste Ansatz, um Lärm zu reduzieren, ist das Hinzufügen von schallabsorbierenden Materialien. Vliese, Schaumstoffe oder Gummimatten können Schallwellen schlucken, bevor sie als störendes Geräusch wahrgenommen werden. Der Haken: Viele Materialien wirken nur in einem begrenzten Frequenzbereich. Ein Material, das tiefe Brummtöne dämpft, lässt hohe Frequenzen möglicherweise ungehindert passieren.

Ein weiteres Dilemma betrifft den Leichtbau: Wer Lärm durch Masse bekämpft – etwa durch schwere Verkleidungen – erkauft sich die Stille auf Kosten des Gewichts. Gerade in der Fahrzeugtechnik oder im modernen Bauwesen ist das ein Widerspruch, der nach cleveren Lösungen verlangt. Die Antwort liegt in der gezielten Platzierung optimierter Dämpfungsstrukturen: das richtige Material am richtigen Ort.

Ein Versuchsaufbau zum Anfassen

Um diese Idee experimentell zu erproben, bauten Forschende am Labor für Akustik und Strukturdynamik einen simplen Versuchsaufbau: eine Holzkiste, innen komplett mit Aluminiumblech verkleidet, um harte, schallreflektierende Wände zu simulieren. Ein Lautsprecher sendet Töne in den Innenraum; ein Mikrofon misst die Schalldruckpegel an verschiedenen Positionen.

Das Besondere an der Kiste: Der Boden ist variabel und ermöglicht das Einbringen verschiedener Dämmmaterialien an beliebigen Positionen. Getestet wurden zunächst vier Materialien – Basotect-Schaum, ein Polyester-Vlies, PE-Schaum und eine Gummi-Granulat-Matte.

Zunächst wurde die leere Kiste ohne Dämmmaterialien vermessen. Dabei wurden die charakteristischen Eigenfrequenzen des Hohlraums ermittelt – jene Frequenzen, bei denen der Schall im Inneren besonders verstärkt wird. Bei Anregung mit diesen Frequenzen wurden dann die Dämmmaterialien systematisch an verschiedenen Positionen auf dem Kastenboden platziert und die Wirkung gemessen.

Simulation trifft Experiment

Parallel zu den Messungen entstand ein digitaler Zwilling der Kiste: ein Finite-Elemente-Modell (FEM), welches die Schallausbreitung im Inneren numerisch berechnet. Die Helmholtz-Gleichung – die mathematische Beschreibung der Druckverteilung eines Schallfeldes im Frequenzbereich – bildet dabei die physikalische Grundlage. Verschiedene Randbedingungen erlauben es, sowohl die schallharten Wände als auch die frequenzabhängigen Dämpfungseigenschaften der Materialien im Modell abzubilden.

Um die Dämpfungswirkung der Materialien im Modell korrekt wiederzugeben, wurden ihre komplexen Impedanzen mit einem Impedanzrohr gemessen – einem Standardverfahren der Akustik, bei dem eine Materialprobe in einem Rohr einer definierten Schallwelle ausgesetzt wird. Die so gewonnenen Materialkennwerte flossen direkt in die Simulation ein.

Der Vergleich zwischen Messung und Simulation zeigte eine gute Übereinstimmung – der digitale Zwilling funktioniert. Damit ist die Grundlage gelegt, um weitere Szenarien rein numerisch zu untersuchen, ohne jedes Mal aufwendige Experimente durchführen zu müssen.

Der genetische Algorithmus: Evolution im Computer

Doch welches Material gehört wohin? Diese Frage systematisch zu beantworten, ist rechnerisch anspruchsvoll – die Zahl möglicher Kombinationen aus Material, Position und Ausdehnung wächst schnell ins Unüberschaubare. Hier kommt ein Optimierungsalgorithmus ins Spiel: ein genetischer Algorithmus, der das Prinzip der biologischen Evolution nachahmt.

Zu Beginn erzeugt der Algorithmus eine zufällige „Population“ möglicher Lösungen – jede mit einem zufälligen Satz an Dämpfungsparametern (Materialeigenschaften, Position). Jede Lösung wird dann in der FEM-Simulation getestet: Wie stark reduziert diese Konfiguration den Schalldruckpegel? Lösungen, die gut abschneiden, werden bevorzugt für die nächste Generation ausgewählt. Durch „Rekombination“ (Mischung der Parameter erfolgreicher Kandidaten) und „Mutation“ (kleine zufällige Änderungen) entsteht eine neue, im Schnitt bessere Population. Dieser Prozess wiederholt sich, bis eine ausreichend gute Lösung gefunden ist.

Ein Vorteil des genetischen Algorithmus gegenüber anderen Methoden: Er kommt auch mit relativ wenigen Trainingsdaten aus – ideal für frühe Entwicklungsphasen, in denen noch keine umfangreiche Datenbasis existiert. Da sowohl das FEM-Modell als auch der Algorithmus vollständig in der Programmiersprache Julia implementiert wurden, ist das Werkzeug frei zugänglich und leicht erweiterbar.

Ausblick: Lärm gezielt bekämpfen

Das vorgestellte Forschungsprojekt zeigt, wie die Kombination aus physikalischem Experiment und numerischer Simulation inklusive Optimierungsalgorithmus neue Wege in der akustischen Optimierung öffnet. Statt flächendeckend Dämmmaterial aufzutragen, lässt sich künftig berechnen, wo ein minimaler Materialeinsatz maximale Wirkung erzielt – ein Gewinn für Leichtbau, Wirtschaftlichkeit und Nutzerkomfort gleichermaßen.

Langfristig kann dieser Ansatz in die Entwicklung von Fahrzeugen, Gebäuden oder industriellen Anlagen einfließen und dazu beitragen, Lärm dort zu bekämpfen, wo er entsteht – intelligent, effizient und mit dem richtigen Material am richtigen Ort.

transform.RMF – Wissenstransfer für die Region Mainfranken

Maschinenbau und Automotive in Mainfranken stehen vor existenziellen Herausforderungen: Die deutsche Autoindustrie befindet sich mitten im tiefgreifenden Strukturwandel, wirtschaftliche Krisen beuteln alle Unternehmen. Die Region mit ihren 55.000 Beschäftigten in den eingangs erwähnten beiden Leitbranchen braucht Transformationsimpulse. Die Transformationsoffensive Regiopolregion Mainfranken (transform.RMF), ein gefördertes Verbundprojekt der Region Mainfranken GmbH und der THWS, unterstützt gezielt kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Dank der öffentlichen Förderung sind die Angebote kostenfrei für Mitglieder und offen für technologieinteressierte Unternehmen.

Von der Ist-Analyse zum Zukunftsbild Mainfrankens

Von Anfang an bedarfsorientiert: Vom Dezember 2022 bis Februar 2023 führten wir eine umfassende IST-Analyse durch. 68 Unternehmen beantworteten unsere quantitative Online-Umfrage, darauf aufbauend entwickelten die vier Transformationscoaches mit einem Dienstleister einen Interviewleitfaden. 38 qualitative Interviews mit Geschäftsführern, CEOs und Managern aus ganz Mainfranken erforschten Herausforderungen, Zukunftsfelder, Schlüsseltechnologien, Kooperationsbedarfe und Erwartungen an transform.RMF.

Ergebnis: Das **Zukunftsbild Mainfranken 2035**. Darin wünschen wir uns Mainfranken als effizientes Innovationsökosystem mit KI, Kreislaufwirtschaft und Klimaneutralität, als Exzellenzcluster für nachhaltige Produktionstechnologien. Die regionalen KMU sind digital miteinander vernetzt, pflegen internationale Partnerschaften und sind attraktiv für Talente weltweit. Prägend ist im Best Case die starke regionale Zusammengehörigkeit, Weltoffenheit und hohe Lebensqualität für alle.

Im letzten Jahr entstand daraus die **Transformations-Roadmap** als konkreter Weg, wie Unternehmen und Region diese Ziele erreichen. Maßnahmenplanung, Veranstaltungsthemen, Learning Nuggets und Demonstratoren wurden präzise darauf abgestimmt.

Transformation zum Anfassen: Live, Kompakt, Vernetzt

Aus Bedarf wird Praxis: Die Erkenntnisse aus IST-Analyse und Zukunftsbild 2035 bestimmen präzise unsere niederschwelligen, kostenfreien Angebote. Drei Formate werden kurz vorgestellt:



Gesamtbild mobile Demonstratoren transform.RMF



Das transform.RMF-Team beim ersten Cross Industry Event in Volkach

Auf Marktplätzen, Messen oder Festen präsentieren wir ganztägig mobile Demonstratoren. Jeder kann Technologien ausprobieren, Fragen stellen und über den eigenen Einsatz nachdenken. Wir wollen so Berührungsängste abbauen. Hier eine Übersicht der Use Cases:

Automatisierung & KI:
Zwei Roboter und Förderband simulieren eine Fertigungslinie. Eine KI-Kamera erkennt Objekte und ordnet sie Lagerplätzen zu, per Python-Skript gesteuert.

Additive Fertigung:
Der 3D-Drucker baut Objekte schichtweise aus digitalen Modellen auf. Beim FDM-Verfahren wird Filament geschmolzen, extrudiert und abgekühlt. Effizienz und Nachhaltigkeit werden so greifbar.

Funktechnologie (LoRaWAN):
LoRaWAN ermöglicht IoT-Vernetzung über Kilometer mit 5 Jahren Batterielaufzeit. Der LoRa Alliance-Standard wird von IBM, Cisco, Bosch und der THWS unterstützt.

Augmented Reality:
Die AR-Brille blendet digitale Fabriken in reale Produktionshallen ein. Ein virtueller Rundgang ermöglicht Echtzeit-Anpassungen.

Künstliche Intelligenz:
Beim KI-Game Mensch vs. KI wird ein verpixeltes Bild schrittweise geschärft. Wer es zuerst erkennt, gewinnt.

Maschinendaten – SensoriGo (neu, ausleihbar):
Ein Zwischenstecker misst Stromverbrauch ohne Maschinenumbau. Der Begleitkurs (f-bb/transform.by) erleichtert den Einstieg.

Cross Industry Events: Innovation durch Branchenmix

Unsere Cross Industry Events versammeln unterschiedliche Branchen zu übergeordneten Transformations-Themen. Das Innovationspotenzial liegt im Blick über den Tellerrand: Neue Erkenntnisse, unerwartete Lösungsansätze und Kooperationen entstehen, wenn Maschinenbauer mit Landwirten oder KI-Experten mit Handwerksbetrieben ins Gespräch kommen.

So fand im September 2024 auf der Vogelsburg Volkach die erste Veranstaltung „Maschinenbau und Automotive meets Weinbau und Landwirtschaft“ statt, gefolgt von „KI trifft verschiedene Branchen“ im März 2025 im Kulturspeicher Würzburg. Ein weiteres Cross-Industry-Event ist für Herbst 2026 geplant.

Nach über drei Jahren Netzwerkarbeit wissen wir: Es braucht Offenheit auf allen Seiten. Unternehmen und Gesellschaft müssen technologieoffen bleiben, Wissenschaft muss aus den Büros heraus zu den Menschen gehen. Genau diese gegenseitige Annäherung macht transform.RMF erfolgreich – wir holen ab, begleiten und gestalten gemeinsam die Region.

Mit KI zum optimalen Ergebnis

Ein Beitrag des IDEE zur angewandten KI-Forschung

Wer hat nicht schon einmal Nudeln gekocht. Der erste suchende Blick fällt dabei meist auf die Angabe zur Zubereitungszeit im kochenden Wasser. Hier stellt sich grundsätzlich nicht unbedingt jeder einzelne die Frage, wie genau die Angabe von 10 Minuten ermittelt wurde. In diesem Fall würde es wohl auch nicht sonderlich umständlich sein, in einer Versuchsreihe den Garpunkt manuell im Minutentakt zu testen. Herausfordernder wird die Suche nach dem bestmöglichen Ergebnis jedoch, wenn weitere Suchparameter hinzukommen. Soll beispielsweise der geschmackliche Aspekt mit einfließen, stellt sich zusätzlich die Frage, wie hoch der Salzgehalt des Kochwassers eingestellt werden sollte. Gleichzeitig könnte die ideale Garzeit durch die Änderung des Salzgehaltes beeinflusst werden. Im Vorgehen einer solchen Parametersuche muss nach jedem Versuch entschieden werden, in welcher Form die Änderung beider Parameter zu einem vermeintlich besseren Ergebnis führen. Mehr Salz, weniger Garzeit? Weniger Salz und auch weniger Garzeit? In welcher Größenordnung soll sich die Änderung abspielen?

Die Suche nach optimalen Parametern ist meistens auch Bestandteil der Forschung und Entwicklung. Dabei ist der Klassiker unter den systematischen Herangehensweisen das sogenannte Design of Experiments (DoE) [1]. Hier wird der gesuchte Parameterraum rasterartig abgesteckt und alle so aufgeführten Parametereinstellungen in jeweiligen Experimenten validiert. Je nach geforderter Präzision kann ein solches Vorgehen jedoch schnell umfangreich werden. Im zweiparametrischen Fall gilt es bei einer Rasterabdeckung von zehn unterschiedlichen Werten pro Parameter bereits 100 Experimente durchzuführen. Bei drei Parametern wären es schon 1.000 Experimente und es wächst mit jedem hinzukommenden Parameter in diesem Fall um den weiteren Faktor von zehn. Ist das beste Resultat aus allen Experimenten erschlossen, so unterliegt sie noch immer einer gewissen Ungenauigkeit. Es ist unwahrscheinlich, dass sich das tatsächliche Optimum genau an einem der Rasterpunkte befindet. Ein noch besseres Ergebnis ist im Zwischenbereich zu einem der anliegenden Rasterpunkte zu erwarten. Für die Suche danach sind wiederum erneute Experimente notwendig.

Eine Alternative wäre die direkte Berechnung des Optimums aus einer gegebenen, mathematischen Funktion. Damit ließen sich die optimalen Parameter direkt per numerischer Optimierung ermitteln und es wären keine zusätzlichen Experimente nötig. Die Konstruktion einer solchen analytischen Funktion kann sich jedoch in beliebiger Komplexität darstellen. Es müssen alle physikalischen und chemischen Einflüsse beachtet werden und wenn nötig an den richtigen Stellen passende Vereinfachungen vorgenommen werden. Letztlich muss auch hier die Richtigkeit der Gleichungen anhand von Experimenten untermauert werden. Es können ungewollt nicht berücksichtigte Einflüsse zwar eine gute Abschätzung für die Validierungsexperimente liefern, jedoch einen so großen Einfluss haben, dass das tatsächliche Optimum nicht mit dem analytischen Optimum übereinstimmt. Fehlende Bausteine müssen hier aufwändig identifiziert, eingearbeitet und wiederum experimentell überprüft werden.

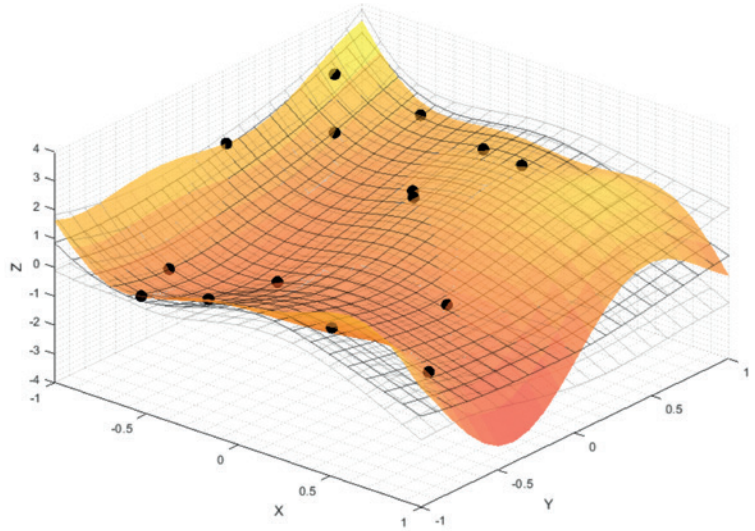


Abbildung 1:
Approximation eines neuronalen Netzes (Gitterdarstellung) an eine unbekannte Funktion durch gegebene Datenpunkte. Die Qualität der Datenpunkte ist ausschlaggebend für eine gute Annäherung.

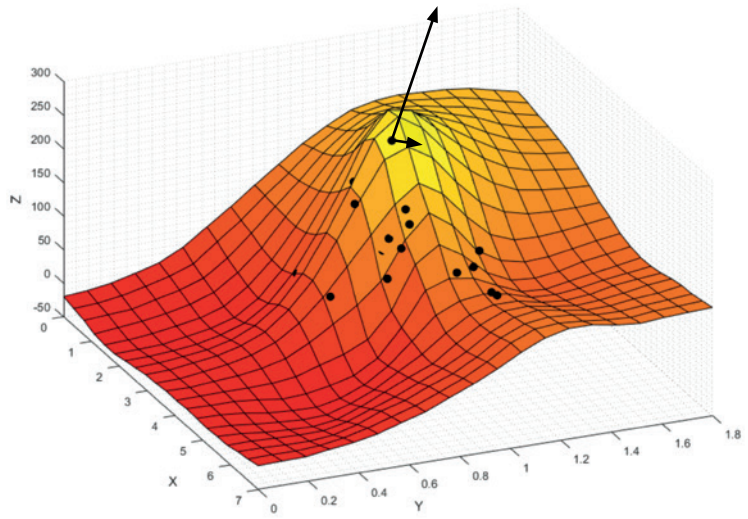


Abbildung 2:
Auszug aus der Anwendung. In der approximierten Funkion kann die notwendige Änderung der Parameter ermittelt werden, die zu einer potenziellen Verbesserung führt.

Abhilfe schafft die sogenannte surrogatbasierte Optimierung (lat. surrogatus „Ersatz"). [2] Grundgedanke hierbei ist, dass ein passender Kandidat als Ersatz für die unbekannte Funktion eingesetzt wird. Dieser soll die Problemstellung bestmöglich mathematisch widerspiegeln und die einfache Auswertung an beliebigen Stellen im unbekannten Parameterraum ohne die Notwendigkeit zusätzlicher physikalischer Experimente ermöglichen. An dieser Stelle kommt die künstliche Intelligenz ins Spiel:

Ein neuronales Netz (NN) [3] besitzt die Eigenschaft des universellen Approximators [4]. Diese besagt, dass es jede beliebig komplexe Funktion bei geeigneter Struktur des Netzes beliebig gut annähern kann. Nach diesem Kenntnisstand ein hervorragender Kandidat für die Nutzung in der surrogatbasierten Optimierung. Ein NN ist dem biologischen Pendant des menschlichen Gehirns nachempfunden. Es besteht aus der strukturierten Verknüpfung von einzelnen Neuronen, die in Schichten angeordnet sind. Bei ausreichender Anregung gibt ein Neuron ein Signal an die damit verbundenen Neuronen einer anliegenden Schicht weiter. Die Intensität der Anregung wird hierbei durch eine angelegte Aktivierungsfunktion ermittelt. Die einzelnen Verbindungen sind zusätzlich unterschiedlich gewichtet, wodurch eine anregende oder dämpfende Wirkung auf das jeweilige verbundene Neuron entsteht.

Das NN wird anhand eines vorliegenden Datensatzes trainiert. Dazu werden besagte Gewichtungen Schritt für Schritt angepasst. Beim Anlegen von Parameterwerten an die Eingangsneuronen der ersten Schicht propagiert eine Welle von Signalen durch das Netz und resultiert in einer Antwort an den Ausgangsneuronen der letzten Schicht. Das Training ist abgeschlossen, wenn zu allen Einträgen im Datensatz die bestmögliche Übereinstimmung mit der Antwort des NN vorliegt. Wenn die bekannten Datenpunkte in ausreichendem Maße gut vorhergesagt werden können, können mit dem trainierten Netz anschließend auch Datenpunkte aus unbekannten Parameterkonstellationen abgefragt werden. Je nach Qualität des Trainingsdatensatzes, -algorithmus und der Netzstruktur können so nutzbare Abschätzungen ermittelt werden, die die Suche nach dem Optimum ermöglichen (siehe Abb. 1).

Essenziell für die Qualität der Abschätzungen ist die korrekte Generalisierung des NN. Ein NN, das nicht generalisiert, kann die Punkte des Trainingsdatensatzes gut vorhersagen, scheitert jedoch bei der Wertermittlung in unbekannten Parameterbereichen. Es lernt den Datensatz lediglich auswendig, erkennt aber nicht die zugrundeliegende Struktur der unbekannten Funktion. Dadurch entstehen Fluktuationen in unbekannten Bereichen, die die Anwendung der numerischen Optimierungsmethoden erschweren.

Bestandteil der Forschung des IDEE ist die Frage, wie sich für einen gegebenen Problemfall eine solche geeignete Struktur bestmöglich automatisiert ausbildet. Klassische Verfahren etablieren hierfür beispielsweise Regularisierungsterme, die verhindern, dass die einzelnen Gewichte der Verbindungen untereinander in einem schlechten Verhältnis stehen [5]. Die Dropout-Methode [6] schaltet einzelne Neuronen während des Trainings ab und ermöglicht so das Aussortieren von Neuronen mit kontraproduktiver Beteiligung. Jedoch unterliegen solche Generalisierungsverfahren der richtigen Wahl von zugehörigen Einstellparametern, die je nach Datenstruktur unterschiedlich gewählt werden müssen. Zwar haben sich hierfür in der Literatur bereits Werte eingestellt, die überwiegend gute Ergebnisse erzielen, jedoch kann in einzelnen Fällen schlechte Generalisierung resultieren, die wiederum schwierig überprüfbar ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass die durchdachte Wahl der Art von Aktivierungsfunktionen eine vertrauenswürdige Generalisierbarkeit im Training von NNs ausbildet, ohne auf die Notwendigkeit zusätzlicher Einstellparameter angewiesen zu sein. Dabei werden in einzelnen Schichten entweder lineare oder nichtlineare Aktivierungsfunktionen in den Neuronen angelegt [7]. Damit können bereits mit wenigen Datenpunkten gute zugrundeliegende Strukturen adaptiert und numerische Optimierungsmethoden angewandt werden (siehe Abb. 2).

Im Vorgehen selbst wird anhand des vorhandenen Datensatzes ein NN trainiert, in dessen Approximation

Input-dimension	1	2	3	4	5	6	7
Schritte bis Optimum Ø	3.9	8.4	13.0	21.6	22.7	37.7	46.5
Treffer aus 10 Durchgängen	10	10	10	10	10	10	10

Tabelle 1: Durchschnittliche Anzahl an Iterationsschleifen in der surrogatbasierten Optimierung mit neuronalen Netzen

an den unbekannten Parameterraum nach einem potenziellen Optimum gesucht wird. Dabei führen speziell entwickelte Methoden und Adaptionen an regulären Optimierungsalgorithmen zu einem Vorschlag, der experimentell validiert wird und dessen Ergebnis als neue Information in den Datensatz einfließt. Damit kann das NN erneut trainiert und die zugrundeliegende Struktur weiter approximiert werden. Die wiederholte Anwendung dieser Optimierungsschleife führt nach und nach zu immer besseren Ergebnissen, die sich sukzessive dem tatsächlichen Optimum annähern. Ein Optimum ist dann gefunden, wenn wiederholt bereits bekannte Vorschläge vorhergesagt werden, also keine neue Information hinzugefügt werden kann.

In Simulationen hat sich hierbei bereits ergeben, dass für eine Problemstellung mit n Suchparametern lediglich ein initialer Datensatz von n+1 Datenpunkten für die erfolgreiche Annäherung an ein Optimum ausreichend ist. Die Zahl der notwendigen Iterationen in der Optimierungsschleife kann durch das entwickelte Verfahren signifikant reduziert werden. Im einleitenden Beispiel zur Suche nach der optimalen Zubereitungszeit von Nudeln unter Berücksichtigung des Salzgehalts im Kochwasser wären statt 100 Experimenten im Schnitt nur etwa zehn Kochvorgänge nötig. Die Zahl der Optimierungsschleifen steigt auch hier mit wachsender Parameterzahl, jedoch in so geringem Maße, dass auch mit sieben verschiedenen Parametern nur ungefähr 50 Zusatzexperimente notwendig wären (vgl. Tabelle 1). Im Vergleich zum DoE, das mit hier geforderten 10^7 = 10 Mio. Experimenten nur noch schwer durchführbar ist. Gleichzeitig wäre das Ergebnis aus dem DoE noch immer auf dem vorgegebenen Raster abgebildet, wohingegen die hier angewandte surrogatbasierte Optimierung zu einem weitestgehend rasterunabhängigen Ergebnis führt. Die Einschränkung beläuft sich lediglich auf die mögliche bzw. nötige Einstellgenauigkeit bei der Durchführung der Experimente. Es macht wohl eher wenig Sinn, den Salzgehalt mit einem einzelnen Salzkorn zu erhöhen.

Eine nicht zu vernachlässigende Herausforderung bildet die mögliche Existenz von mehreren Optima, die sich im Bereich des untersuchten Parameterraums befinden können. Dabei können verschiedene Parameterkonstellationen zu gleichwertigen, besten Ergebnissen führen (globale Optima), aber auch einzelne Parameterpaare ein solches globales Optimum suggerieren, wohingegen andere Parameter ein noch besseres Ergebnis liefern würden (lokales Optimum).

Zugegeben, das ist schon ein recht spezielles Beispiel für die Forschungsarbeiten des Instituts für Digital Engineering. Es beinhaltet jedoch eine Kernbotschaft: jegliche KI-Lösungen bedürfen abgestimmter Methoden, um echte Verbesserungen herbeizuführen. Dieses Kredo führt dazu, dass das IDEE in einer Vielzahl von KI-Projekten nach der „optimalen" Lösung sucht. Dabei werden nicht nur Standard-KI-Tools eingesetzt, sondern auch eine passende IT-Architektur berücksichtigt sowie die Anforderungen der Praxispartner sehr genau aufgenommen, um einen Mehrwert zu schaffen.

Das IDEE fungiert als Katalysator für die digitale Transformation und positioniert sich als Brückenbauer zwischen KI-Forschung und der industriellen Praxis. Im Kern der Kompetenzen steht die Entwicklung von Digitalisierungslösungen bei gleichzeitiger Befähigung kleiner und mittelständischer Unternehmen, das Potenzial der Künstlichen Intelligenz nicht nur theoretisch zu verstehen, sondern operativ wertschöpfend einzusetzen. Ein zentraler Pfeiler dieser Arbeit ist die Domäne der Generativen KI und Data Intelligence. Hierbei werden KI-Technologien wie Large Language Models oder Retrieval-Augmented Generation (RAG) genutzt, um internes Unternehmenswissen effizient zu erschließen und komplexe Geschäftsprozesse zu automatisieren, ohne dabei die Datensouveränität zu verlieren. Darüber hinaus liegt eine besondere Stärke des IDEE in der tiefen Integration von Software-Intelligenz in die physikalische Produktion. Letztlich zeichnet sich das IDEE durch einen interdisziplinären Engineering-Ansatz aus, der den gesamten Lebenszyklus eines

IT- und KI-Systems von der Datenakquise über die Modellierung bis hin zur Implementierung im Praxisumfeld abdeckt und so die Innovationskraft des Standorts Mainfranken nachhaltig stärkt.

DIG:IT KMU, Datenintelligenz in der IT

Wissen steckt in den Daten

Viele KMUs aus der Automobil- und Maschinenbaubranche verfügen über umfangreiches dokumentiertes Wissen – doch es schlummert oft ungenutzt in Excel-Tabellen und PDF-Dateien. Einfach abrufbar ist es selten. Dabei wächst der Druck: Zulieferer müssen effizienter arbeiten, schneller entscheiden und ihre Wertschöpfungsketten resilienter machen. KI-Technologien bieten dafür enorme Potenziale – sind für viele Betriebe aber schwer zugänglich.

KI-Technologien maßgeschneidert für KMUs

Das EFRE-geförderte Projekt DIG:IT KMU der THWS schließt diese Lücke. Mithilfe von Large Language Models (LLMs) und Retrieval-Augmented Generation (RAG) wird das dokumentierte Wissen der Unternehmen intelligent nutzbar gemacht. Das Framework K-RagRec nutzt dabei Wissensgraphen, um strukturierte und aktuelle Informationen präzise zu extrahieren und KI-typische Fehlinformationen zu vermeiden. Graph Convolutional Networks (GCNs) sorgen für schnelle Datenabrufe, eine Multi-Head Early Exit-Architektur reduziert den Rechenaufwand – ohne Abstriche bei der Genauigkeit.

Digitale Souveränität stärken

Das Projekt verfolgt ein klares Ziel: KMUs sollen ihre Daten eigenständig, effizient und sicher nutzen können. Die entwickelten Technologien sind so konzipiert, dass sie branchenunabhängig und unternehmensübergreifend einsetzbar sind. Damit stärkt DIG:IT KMU nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der teilnehmenden Betriebe, sondern auch ihre digitale Souveränität – und trägt zur Reduzierung strategischer Abhängigkeiten von außereuropäischen Technologieanbietern bei.

Von der Idee bis zum Go-Live

13 KMUs aus der Region Mainfranken bringen ihre konkreten Anwendungsfälle ein – von der Gefahrstoffverwaltung über die Bauteilkonfiguration bis zum Anlagenbau. In einem bewährten phasenbasierten Ansatz begleitet das IDEE-Institut der THWS die Unternehmen vom Kreativ-Workshop bis zur produktiven Inbetriebnahme. Technologietransfer wird damit nicht zur abstrakten Fördermaßnahme, sondern zu handfestem Mehrwert im Betriebsalltag.

Short Facts:

Thema
Digital Engineering

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Andreas Schiffler
Prof. Dr.-Ing. Bastian Engelmann

Standort & Kontakt
Ignaz-Schön-Straße 11
97421 Schweinfurt
idee@thws.de

Forschungsfelder
Intelligent Production System
Additive Metal Printing
Computational Science
Mechanical Systems

ieht.thws
Institut für Energie- und Hochspannungstechnik
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



2. Forschung für die Energiewende

Prof. Dr.-Ing. Markus H. Zink

Was ist Hochspannungstechnik

„Hochspannungstechnik" – dieser Begriff klingt zwar antiquiert und schreckt vielleicht auch manche (zu Recht?!) ab, doch hinter dieser, zugegeben alten Disziplin der Elektrotechnik steckt ein hochaktuelles Forschungsgebiet von größter Relevanz …

Die Entwicklung der Elektrifizierung begann Ende des 19. Jahrhunderts mit der Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips durch Werner von Siemens und der Erfindung der Glühbirne und der daraus resultierenden Etablierung lokaler Stromversorgungen, v. a. zu Beleuchtungszwecken. Bald kamen aber auch andere Anwendungen, z. B. in der Mobilität durch erste elektrische Eisenbahnen und sogar erste elektrische Automobile hinzu. Mit dem voranschreitenden Ausbau der Elektrifizierung gewann auch die Übertragung der elektrischen Energie über größere Strecken zunehmend an Bedeutung. Hier hatte sich im sogenannten „Stromkrieg" zwischen Thomas Edison (Verfechter des Gleichstroms) und George Westinghouse mit Nikola Tesla (Wechselstrom) der Wechselstrom gegenüber dem Gleichstrom durchgesetzt. Der Grund hierfür war die leichtere und effizientere Übertragung von Wechselstrom, weil durch die Verwendung von Transformatoren die Spannung für die Übertragung erhöht werden kann, sodass die durch den Strom auf der Leitung verursachten Verluste reduziert werden.

Gemäß dem Credo „Isolation ist nicht alles, aber ohne Isolation ist alles nichts" wäre ohne eine ausreichende elektrische Isolierung und ohne die Hochspannungstechnik eine zuverlässige und sichere Stromversorgung nicht möglich, was die Hochspannungstechnik seit jener Zeit zu einer Schlüsseldisziplin der Elektrotechnik macht. Dabei ist der Begriff Hochspannungstechnik sogar in gewisser Weise irreführend, denn es geht nicht immer nur um hohe Spannungen, sondern ganz allgemein um die sichere Beherrschung (hoher) elektrischer Feldstärken und die zuverlässige Isolierung elektrischer Leiter – in allen Anwendungsbereichen der Elektrotechnik und Elektronik.

Über viele Jahrzehnte hat sich an der Struktur der Energieerzeugung, -übertragung und -anwendung sowie auch an den Isoliermaterialien und -systemen der Betriebsmittel nicht viel verändert. Nach wie vor werden z. B. in Transformatoren flüssige Isolierstoffe in Kombination mit festen Werkstoffen auf Zellulosebasis verwendet und für die Isolierung von Kabeln, Motoren oder Leistungshalbleitern werden häufig Kunststoffe eingesetzt.

Die sich heute aufgrund der Dekarbonisierung der Energieversorgung abzeichnende Entwicklung der modernen Gesellschaft hin zu einer „All Electric Society" stellt jedoch ganz neue Herausforderungen an die Energieübertragung und -verteilung und insbesondere auch an die dafür eingesetzten Betriebsmittel und deren Isoliersysteme. Hinzu kommt, dass durch die Umstrukturierungen im Rahmen der Energiewende auch die elektrischen Energienetze für sich allein und darüber hinaus auch im Verbund mit den anderen Energiesektoren immer komplexer werden, was ein gewisses Umdenken und einen Wechsel der, über lange Zeit gültigen Paradigmen erfordert.

So wird inzwischen doch auch wieder vermehrt die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) eingesetzt – zum einen aufgrund wesentlich größerer Übertragungsstrecken, zum anderen wegen technischer Vorteile, wie z. B. der Möglichkeit von Blindleistungsbereitstellung durch moderne Leistungsumrichter. Im Bereich der Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie, beispielsweise bei Motoren, in der Elektronik oder auch bei den erneuerbaren Energien, kommt es heute durch den Einsatz von Leistungselektronik und neuen Halbleitertechnologien zu einer gänzlich anderen Belastung der Isoliersysteme als früher. Mit diesen Veränderungen und den gleichzeitig steigenden

Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der Effizienz und Wirtschaftlichkeit, geht auch ein stark gestiegener Forschungsbedarf einher. Denn um diesen neuen Herausforderungen bei den Isoliersystemen der Hochspannungstechnik zu begegnen, braucht es mehr Verständnis für die physikalischen bzw. chemischen Zusammenhänge sowie um die Auswirkungen der hochfrequenten und transienten Belastungen. Sicherheitsfaktoren für die Auslegung der Isoliersysteme, wie sie in früheren Designs enthalten waren, sind so nicht mehr umsetzbar und die materialspezifischen Grenzen müssen besser bekannt sein und verstanden werden.

Die sich derzeit abzeichnenden Veränderungen in der elektrischen Energietechnik betreffen allerdings nicht nur die Isoliersysteme der Betriebsmittel. Vielmehr ist das ganze Elektroenergiesystem großen Veränderungen unterworfen. So ist die klassische Top-Down-Struktur des Energieflusses, wie sie jahrzehntelang etabliert war, inzwischen durch den intensiven Ausbau der Erneuerbaren Energien auf den unteren Netzebenen nicht mehr gültig und Energie wird je nach Tageszeit und entsprechend dem Angebot und der Nachfrage und der Nachfrage über die Netzebenen und zwischen den Netzbetreibern in großen Mengen ausgetauscht. Gleichzeitig verändert sich nicht nur die Struktur der Energieerzeugung, sondern auch der Energienutzung, weil in allen Energiesektoren fossile Energieträger vermehrt durch elektrische Energie ersetzt werden, z. B. durch elektrisches Fahren und Heizen. Auch diesen massiven Veränderungen muss das Elektroenergiesystem begegnen und muss an die neuen Herausforderungen angepasst werden, damit auch künftig die Versorgung mit elektrischer Energie zuverlässig, günstig und sicher gewährleistet ist.

Das IEHT der THWS

Die sich im Rahmen der Energiewende abzeichnende Entwicklung hin zur vermehrten Nutzung von Gleichstrom zur Energieübertragung initiierte den Einstieg des Hochspannungslabors der THWS in die intensive Forschungskooperation mit regionalen und überregionalen Industriepartnern. Die Grundlage für diese Zusammenarbeit bildeten erste dielektrische Messungen an Isolierwerkstoffen, bei denen die Industriepartner auf die für den deutschen Hochschulbereich teilweise einzigartige Infrastruktur des Hochspannungslabors zurückgriffen. Aus diesen ersten Dienstleistungstätigkeiten entwickelte sich vor rund 20 Jahren das **Institut für Energie- und Hochspannungstechnik**, das somit eines der ältesten Forschungsinstitute der THWS ist. Über längere Zeit stand am **IEHT** die Forschung im Bereich der Isolierwerkstoffe und -systeme klar im Vordergrund. Inzwischen hat sich allerdings die Struktur des Instituts den aufgeführten Entwicklungen im Energiebereich angepasst. Die Arbeit ist geprägt von interdisziplinärer Forschung, die die klassischen Inhalte der Energie- und Hochspannungstechnik mit den modernen Werkstoffwissenschaften sowie der Physik, Chemie und Mathematik kombiniert.



© Florian Swobodnik

Onsite Diagnose-Messung an einem 380 kV Transformator im Energienetz

Die Forschung innerhalb des IEHT ist in drei Kernbereiche gegliedert:

Center für Hochspannungstechnik und Isoliersysteme (CEHIS):

- Entwicklung, Untersuchung und Zustandsdiagnose von Isoliersystemen und dielektrischen Werkstoffen für unterschiedlichste Anwendungen von großen Transformatoren, über moderne Hochspannungskabel bis hin zu Leistungselektronik und elektrischen Maschinen

Center für Materialwissenschaften (CEMAT):

- Untersuchung und Erforschung von Werkstoffen für Isoliersysteme, u. a. durch moderne Materialwissenschaften sowie Modellbildung und Simulation auf unterschiedlichen Skalen, bis in den atomaren Bereich

Center für Elektrische Energiesysteme und Erneuerbare Energien (CEPS):

- Untersuchung des Betriebsverhaltens elektrischer Energiesysteme mit dem Fokus auf deren Resilienz im systemdynamischen Verhalten durch Maßnahmen in Netzplanung und -führung, u. a. durch fundierte Energiesystemanalysen mittels Simulation

Jedes dieser Center verfolgt spezifische Forschungsziele, die sich gegenseitig ergänzen und so den ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz des Instituts unterstreichen. Dabei spielt auch die Verzahnung von Forschung und Lehre eine zentrale Rolle: Studierende aus allen Ebenen der akademischen Ausbildung werden frühzeitig in die Projekte eingebunden, wodurch den künftigen Fach- und Führungskräften direkt Einblicke in die aktuellen Fragestellungen aus Wissenschaft und Praxis gegeben werden.

Forschung und Methodik am IEHT

Das IEHT forscht mit einer außergewöhnlichen und für den deutschen Hochschulbereich teilweise einzigartigen Bandbreite an Methoden und Technologien, die es ermöglichen, die vielfältigen Herausforderungen der modernen Energieübertragung zu adressieren. Eines der bemerkenswertesten Werkzeuge im CEHIS beispielsweise ist ein weltweit einzigartiger Prüfstand, der mittels Laser und des elektrooptischen Kerr-Effekts elektrische Feldstärken in realitätsnahen Transformator-Isoliersystemen bei gleichzeitiger Erfassung des durch die Isolierung fließenden Stromes im pA-Bereich messen kann.

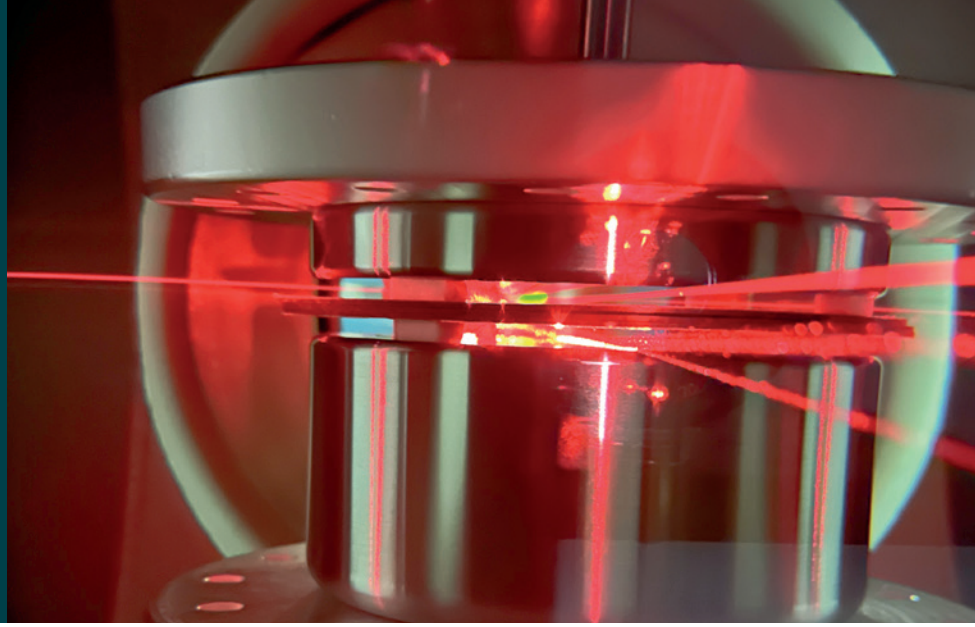
Weitere wichtige Untersuchungsmethode ist die am CEMAT vorhandene IR- und Raman-Spektroskopie, die besonders in der Analyse von Alterungserscheinungen und Materialveränderungen eingesetzt wird. Zusammen mit moderner, multiphysikalischer Modellbildung und Simulation ermöglichen diese Untersuchungen einen theoretischen Tiefgang der Forschung, der bisher nicht erreichbar war und es lassen sich neue Erkenntnisse hinsichtlich des dielektrischen Materialverhaltens unter Gleichspannungsbelastung erzielen, die bei den Industriepartnern direkt in das Design der Isoliersysteme einfließen können.

Neben der Erforschung von Isoliermaterialien für Transformatoren oder Kabel bei Gleichspannung wird am IEHT auch das Verhalten von Isoliermaterialien bei hochfrequenter Hochspannung untersucht. Dieses Verständnis ist z. B. im Bereich neuer Leistungshalbleitertechnologien oder elektrischer Maschinen relevant. Neue Projekte adressieren auch das Verhalten von Transformatorisoliersystemen bei hochfrequenter Belastung, wie sie z. B. bei transienten Überspannungen im Energienetz hervorgerufen wird. Hierbei spielt u. a. auch die durch elektronische Komponenten veränderte Spannungsqualität eine große Rolle, die es bei der Auslegung der Isolierungen zu berücksichtigen gilt.

Für Untersuchungen der Dynamik im Elektroenergiesystem setzt das CEPS auf performante Simulationssoftware zur effektiven Identifikation von Schwachstellen und zur Validierung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz. Weiterhin werden Echtzeitsimulatoren eingesetzt, um sowohl einzelne Betriebsmittel als auch komplette Netze simulativ in verschiedenen Resilienzszenarien abzubilden. Durch modernes Messequipment besteht zudem die Möglichkeit, Messungen und



Laboraufbau zur Nachbildung und Erprobung von digitalisierten Stromnetzen sowie zur Analyse von Fehlerkaskaden und der Resilienz von Elektroenergiesystemen



Laserstrahlen im Kerr-Messaufbau zur rückwirkungsfreien Messung der elektrischen Feldstärke in einem Öl-Papier-Transformatorisoliersystem für Gleichspannung

Analysen sowohl im Labor, als auch vor Ort bei Praxispartnern durchzuführen sowie die Simulationsmodelle anhand realer Daten zu validieren.

Ergebnis und Transfer

Das IEHT hat durch seine Forschung in den letzten Jahren beachtliche Erfolge erzielt. Insbesondere hinsichtlich der Technologien im Bereich der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) konnte das Institut in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wesentliche Beiträge leisten. Neben zahlreichen Fachpublikationen wurden auch sieben Promotionen in Kooperation mit deutschen Universitäten erfolgreich durchgeführt. Von diesen Promovenden sind vier inzwischen auf Professuren an deutschen Hochschulen berufen. Die Forschung am IEHT wird stetig an die Anforderungen aus der Praxis angepasst. So erweitert sich beispielsweise derzeit das Forschungsfeld des CEHIS auch hin zu natürlichen Esterflüssigkeiten, die zukünftig als nachhaltiger Ersatz für Mineralöl in HGÜ-Transformatoren Einsatz finden sollen. Dabei ist die Forschung am IEHT sowohl praxis-, als auch grundlagenorientiert und die gewonnenen Erkenntnisse über das Verhalten der Werkstoffe haben nicht nur direkten Einfluss auf industrielle Anwendungen, sondern tragen auch zur theoretischen Erkenntnis bei. Die enge Zusammenarbeit mit führenden Unternehmen und Institutionen, u. a. auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, unterstreicht die Relevanz des IEHT als Forschungspartner. So arbeiten derzeit acht Doktoranden am Institut in unterschiedlichen, aber doch oft miteinander verzahnten Projekten in enger Kooperation mit den beteiligten Industriepartnern.

Nicht zuletzt ergibt sich auch durch die Mitarbeit in wissenschaftlichen Gremien (z. B. VDE, CIGRÉ, ETG-Fachbereich Querschnittstechnologien Q2: Werkstoffe – Isoliersysteme – Diagnostik, Würzburger Forschungsverbund Funktionswerkstoffe WFF) sowie durch zahlreiche Kooperationen, u. a. auch mit ausländischen Universitäten und Gastwissenschaftlern, z. B. durch Kooperation mit der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, eine enge Vernetzung mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Insgesamt zeigt sich, wie wichtig interdisziplinäre Forschung heute ist, um den vielfältigen und komplexen Herausforderungen der modernen Energieversorgung zu begegnen. Mit seiner Forschung bereitet das IEHT zusammen mit seinen Partnern den Weg für eine zukunftsfähige und nachhaltige Energiewirtschaft in der „All Electric Society".

Short Facts:

Thema
Elektrische Energietechnik

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Markus H. Zink
Prof. Dr. Maja Kobus

(Spezial-)gebiete
Isoliersysteme
Hochspannungstechnik
Energiesysteme
Materialwissenschaften

Standort & Kontakt
Ignaz-Schön-Straße 11 | 97421 Schweinfurt
ieht@thws.de

insys.thws
Institut für
Sustainable Energy Systems
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



3. Wärme neu gedacht: Wie Wissenschaft und Stadtwerke gemeinsam die Energiewende gestalten

Prof. Dr.-Ing. Fabian Scheller, Fabian Büttner M.Sc.,
Dr. Renu Chaudhary, Anna-Maria Schmitt M.Sc.

Die Lage in Deutschland: Warum die Wärme der Schlüssel zur Energiewende ist

Wer in Deutschland über Klimaschutz spricht, denkt oft zuerst an Strom, Windräder oder Elektroautos. Ein zentraler Hebel liegt jedoch häufig im Hintergrund: der Wärmesektor. Rund 40 % des in Europa genutzten Primärenergiebedarfs entfallen auf die Beheizung von Gebäuden, und der überwiegende Teil dieser Wärme wird weiterhin fossil bereitgestellt [1]. In vielen Städten dominiert Erdgas, in ländlichen Regionen Heizöl; erneuerbare Energien spielen bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Gleichzeitig hat die Bundesregierung ambitionierte Zielmarken formuliert: Bis 2040 soll der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung auf 80 % steigen, bis 2045 soll Deutschland klimaneutral wirtschaften [2]. Das bedeutet: Millionen Heizungen müssen modernisiert, Gebäude saniert und ganze Wärmenetze umgebaut werden. Für Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer heißt das, dass sie bei neuen Heizungen Alternativen zu fossilen Systemen prüfen müssen. Für Kommunen bedeutet es, kommunale Wärmepläne zu erstellen, die aufzeigen, wo künftig Fernwärme, Wärmepumpen oder andere Lösungen sinnvoll sind. Und für Stadtwerke heißt es, Netze und Erzeugungsanlagen grundlegend anzupassen.

Gerade der Fernwärme kommt dabei eine besondere Rolle zu. Für angeschlossene Gebäude verlagert sich die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung auf das Netz und seine Erzeugung. Wird das Fernwärmesystem klimaneutral, sinken die Emissionen aller angeschlossenen Gebäude zugleich. Genau deshalb gilt Fernwärme als einer der wichtigsten Hebel der Wärmewende.

Fernwärme in Schweinfurt: Ein lokales System mit großer Bedeutung

In Schweinfurt wird diese Herausforderung konkret. Die Stadtwerke Schweinfurt versorgen die Region mit Strom, Gas, Wasser und Fernwärme. Ihr Wärmenetz erreicht zahlreiche Haushalte und Gewerbebetriebe. Es ist ein zentraler Baustein der regionalen Energieversorgung und zugleich ein Hebel, um die Klimabilanz systematisch zu verbessern.

Genau hier setzen am „**Institut für Sustainable Energy Systems**“ (kurz: **INSYS**) zwei Forschungsprojekte an: **KOOP-WÄRME** und **DekaHEAT**. Beide adressieren grundlegende Fragen der Wärmewende, die für Fernwärmesysteme in ganz Deutschland relevant sind. Untersucht werden sie mit modell-, optimierungs- und datenbasierten Methoden am Beispiel des lokalen Energiesystems in Schweinfurt. Das ist ein großer Vorteil: Die Stadtwerke Schweinfurt sind nicht nur Projektpartner, sondern ein Energieversorger, der Ergebnisse unmittelbar in die Praxis übertragen und in seine Planungen einbeziehen kann.

Die Stadtwerke stehen dabei vor einer doppelten Aufgabe: Sie müssen ihr Fernwärmenetz dekarbonisieren und zugleich ihre unterschiedlichen Kundengruppen –

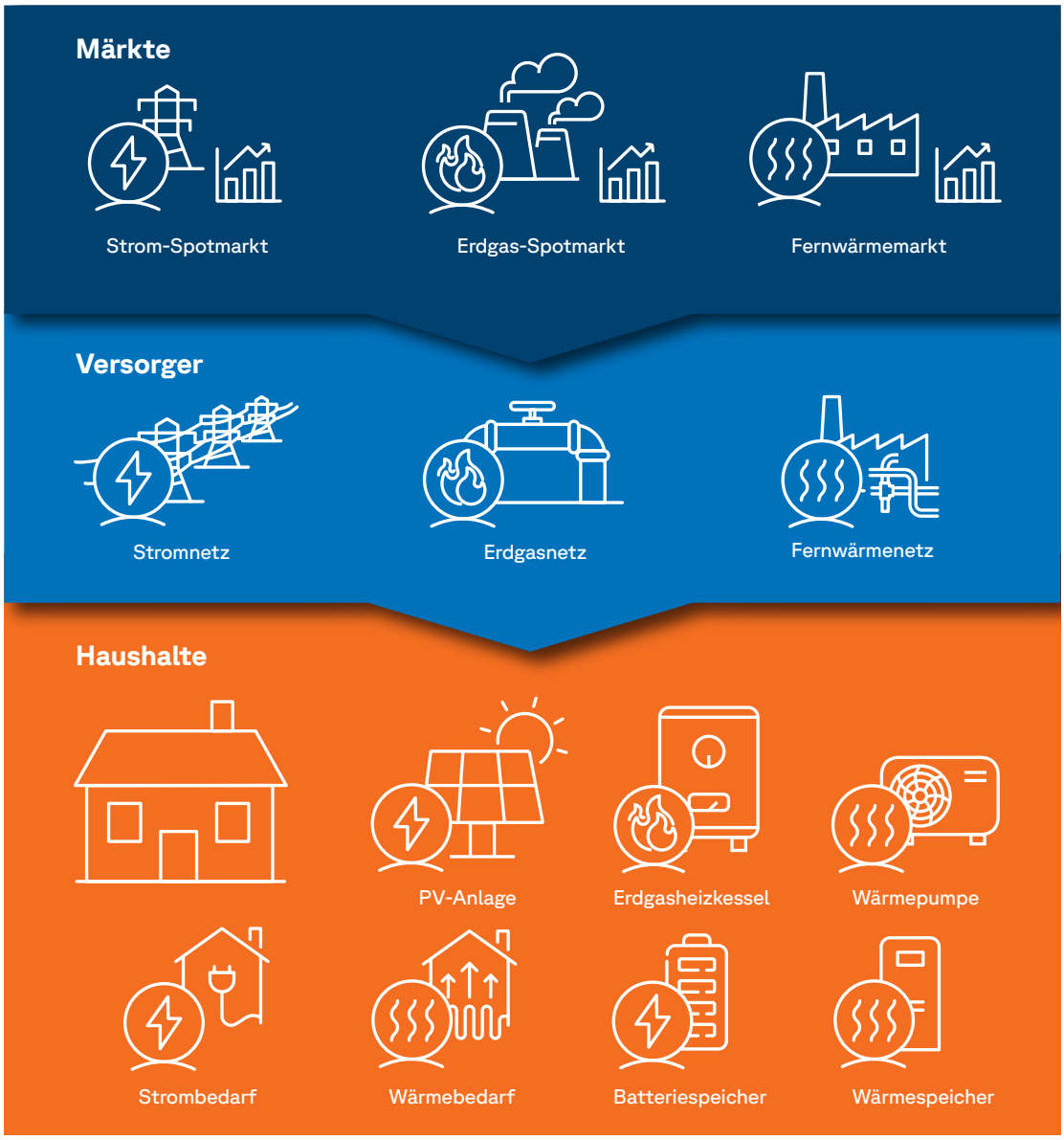
Strom-, Gas- und Fernwärmekunden – durch die Transformation begleiten. Die beiden Forschungsprojekte liefern dafür komplementäre Bausteine, allerdings mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

Projekt KOOP-WÄRME: Gemeinsam die Wärmewende in der Region gestalten

Die Wärmewende wird häufig als technisches Großprojekt beschrieben: neue Netze, neue Anlagen, neue Technologien. KOOP-WÄRME erinnert jedoch daran, dass die Transformation in Wohnungen und Eigenheimen beginnt. Ob ein Gebäude saniert wird, eine Wärmepumpe installiert oder ein Fernwärmeanschluss gewählt wird, entscheiden in den meisten Fällen Eigentümerinnen und Eigentümer selbst. Ihre Entscheidungen folgen dabei nicht allein technischen Kriterien, sondern auch finanziellen Spielräumen, Gewohnheiten, Vertrauen und Komfortbedürfnissen.

Genau hier setzt KOOP-WÄRME an. Das Projekt entwickelt ein Modell, das diese individuellen Entscheidungen systematisch abbildet. Es untersucht, wie Eigentümerinnen und Eigentümer auf Preisentwicklungen, Förderprogramme und neue Tarifmodelle reagieren, analysiert, welche Investitionen für Stadtwerke wirtschaftlich sinnvoll sind, und zeigt, wie sich beide Seiten gegenseitig beeinflussen. So entsteht ein Gesamtbild, das wesentlich über den Erfolg oder Misserfolg der Wärmewende mitentscheidet. Ziel ist es, optimale Entscheidungen zu identifizieren, die sowohl die Perspektive der Endverbraucher als auch die des Versorgers einbeziehen.

Abbildung 1:
KOOP-WÄRME, Ebenen des Energiesystems



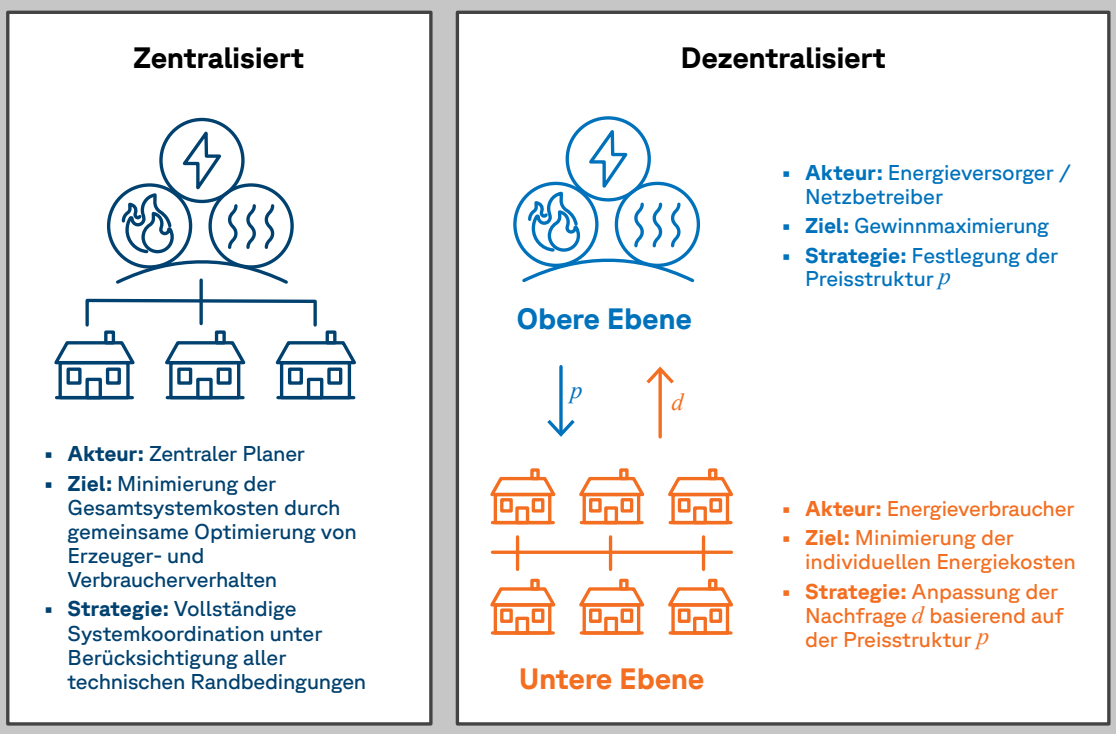


Abbildung 2: KOOP-WÄRME, betrachtete Akteure

Dafür wird das Energiesystem in drei Ebenen unterteilt, siehe Abb. 1: Auf der obersten Ebene steht der Markt mit den Energiespotmärkten, auf denen Energieversorger Energie beschaffen. Die mittlere Ebene bildet die Netz- und Versorgungsebene. Auf der untersten Ebene stehen die einzelnen Haushalte. Sie entscheiden, mit welchen Technologien – etwa PV-Anlage, Wärmepumpe, Erdgasheizkessel oder Fernwärmeanschluss – sie ihren Strom- und Wärmebedarf decken.

Zwei Perspektiven – ein Modell

Das Herzstück des Projekts ist ein mehrstufiges Optimierungsmodell, das die Perspektiven von Endverbrauchern und Stadtwerken miteinander verknüpft. Genau darin liegt die Besonderheit von KOOP-WÄRME: Während klassische Modelle meist nur die Sicht eines einzelnen Akteurs abbilden [3] – häufig die des Versorgers (siehe Abb. 2 „Zentralisiert") –, verfolgt das Projekt bewusst einen dezentralen Ansatz.

Das im Projekt entwickelte und implementierte Optimierungsmodell bildet die wirtschaftlichen Entscheidungen der Eigentümerinnen und Eigentümer ab: welche Investitionen für sie attraktiv sind und wie sie auf Preisentwicklungen, Förderprogramme oder neue Fernwärmeangebote reagieren. Gleichzeitig berücksichtigt es die strategischen Optionen der Stadtwerke, etwa bei Tarifgestaltung, Netzausbau oder Investitionsplanung (siehe Abb. 2 „Dezentralisiert").

Konkret identifiziert das Modell Lösungen, die für Versorger und Verbraucher wirtschaftlich tragfähig sind. Es zeigt auf, wie die Umstellung auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung so gestaltet werden kann, dass beide Seiten profitieren. Somit können differenziert Fragestellungen beantwortet werden wie:

- Welche Investitionen sind für Eigentümer wirtschaftlich attraktiv?
- Welche Rolle spielen Unsicherheiten, z. B. über Energiepreise oder Förderungen?
- Wie reagieren Haushalte auf neue Fernwärmeangebote?
- Welche Tarifmodelle können Stadtwerke anbieten, um die Akzeptanz von umweltfreundlichen Heizsystemen zu erhöhen?

Dabei arbeitet das Modell gebäudescharf. Jedes Gebäude wird einzeln betrachtet, mit seinem individuellen Wärme- und Strombedarf, seinem PV-Potenzial. Dadurch entsteht ein realistisches Bild der Ausgangslage, das weit über pauschale Annahmen hinausgeht.

Zwei Partner – ein Ziel

Die Stadt Schweinfurt dient als Fallstudie und macht das Projekt greifbar. Die Stadt hat einen heterogenen Gebäudebestand, viele ältere Häuser und ambitionierte Klimaziele.

Getragen wird das Projekt von zwei starken Partnern: den Stadtwerken Schweinfurt und der Technischen

Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS). Während die Stadtwerke aktiv in die Forschung eingebunden sind und Daten, Erfahrungen sowie praxisnahes Know-how einbringen, steuert die THWS ihre wissenschaftliche Expertise in der Modellierung, Analyse und Bewertung von Wärmeszenarien bei. Gemeinsam werden verschiedene Szenarien für die zukünftige Wärmeversorgung, und damit für die Modellberechnungen entwickelt. Somit können lokale Gegebenheiten, erwartete Entwicklungen und strategische Ziele berücksichtigt werden, um realistische Rahmenbedingungen für die Modellsimulationen zu erschaffen.

Dadurch wird KOOP-WÄRME nicht nur ein theoretisches Modell, sondern ein Werkzeug, das unmittelbar in der realen Planung eingesetzt werden kann.

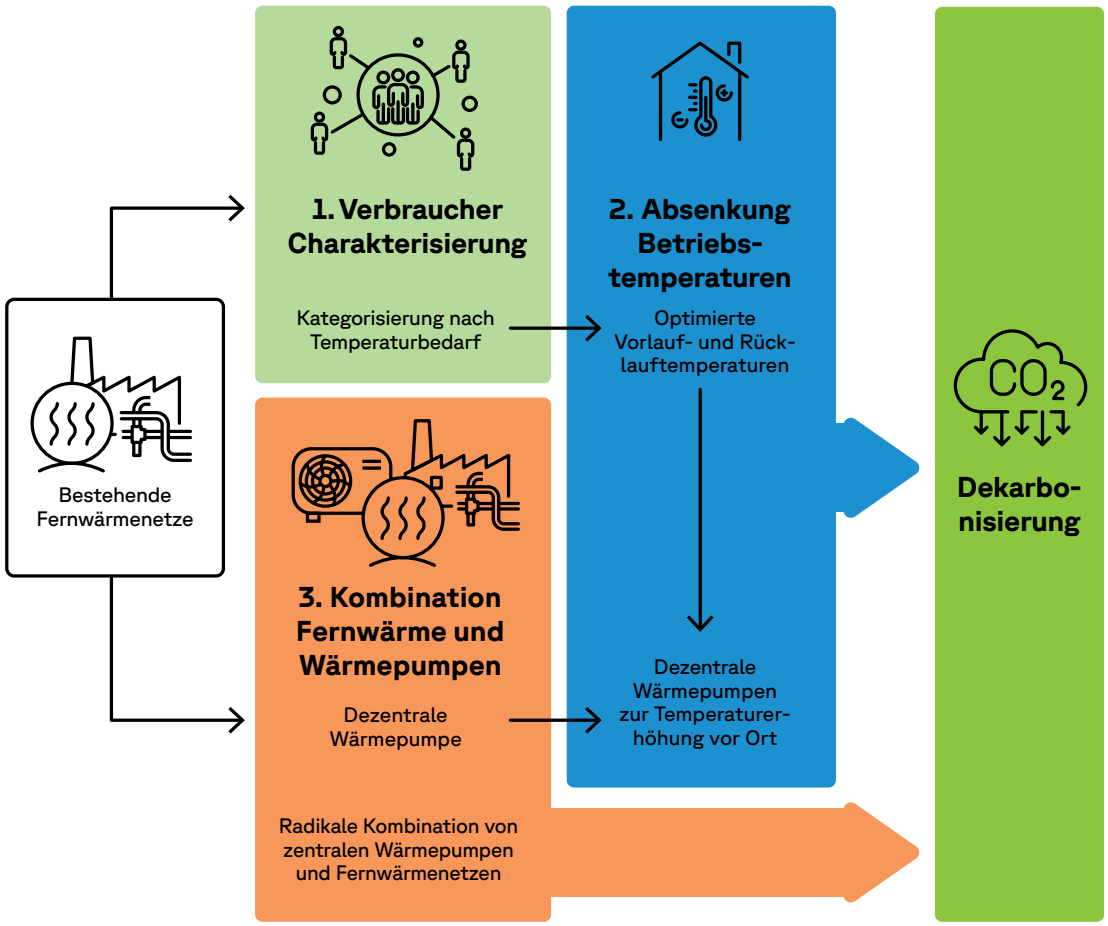
Zwischen Technik und Mensch

Die Wärmewende ist nicht nur eine technische, sondern auch eine soziale Herausforderung. KOOP-WÄRME zeigt, wie sich beide Ebenen zusammenführen lassen. Das Projekt hilft Stadtwerken, ihre Angebote besser auf die Bedürfnisse der Menschen abzustimmen, und macht zugleich sichtbar, welche Optionen für Eigentümerinnen und Eigentümer wirtschaftlich sinnvoll sind. Gegenüber traditionellen Planungsansätzen liegt die Stärke von KOOP-WÄRME darin, Akzeptanz- und Entscheidungsprozesse systematisch einzubeziehen. So schafft das Projekt eine Grundlage für eine Wärmewende, die nicht verordnet wird, sondern im Zusammenspiel der beteiligten Akteure entsteht.

Projekt DekaHEAT: Wie ein bestehendes Fernwärmenetz fit für die Zukunft wird

Während KOOP-WÄRME die Wärmewende aus der Perspektive der Akteure betrachtet, richtet DekaHEAT den Blick auf die Infrastruktur selbst – auf Rohrleitungen, Temperaturniveaus und Erzeugungsanlagen. Viele Fernwärmenetze in Deutschland arbeiten mit hohen Vorlauftemperaturen, verursachen dadurch erhebliche Wärmeverluste und nutzen teilweise weiterhin fossile Energieträger. Die zentrale Frage lautet deshalb: Wie lassen sich diese Netze modernisieren, ohne sie vollständig neu zu bauen?

Abbildung 3: DekaHEAT, Bausteine zur Dekarbonisierung bestehender Fernwärmenetze



DekaHEAT untersucht genau das – mit einem Ansatz, der drei Elemente systematisch zusammenführt, die bislang häufig getrennt betrachtet werden (siehe Abb. 3).

1. Verbrauchercharakterisierung: Wer braucht eigentlich „wie viel" Temperatur?

Ein überraschender Befund aus vielen Studien lautet: Die meisten Gebäude benötigen nicht die hohen Vorlauftemperaturen, die Fernwärmenetze standardmäßig bereitstellen [4]. Vor allem energetisch sanierte Gebäude und Neubauten kommen mit deutlich niedrigeren Temperaturen aus. Zugleich können einzelne Gebäude mit hohem Temperaturbedarf das Temperaturniveau des gesamten Netzes bestimmen [4].

DekaHEAT erhebt deshalb Daten zu realen Verbrauchern und gruppiert sie nach ihrem Temperaturbedarf. So entsteht ein differenziertes Bild der angeschlossenen Gebäude und ihrer jeweiligen Anforderungen.

2. Absenkung der Betriebstemperaturen: Ein großer Schritt für die Effizienz

Wenn die meisten Gebäude mit niedrigeren Temperaturen auskommen, kann auch die Netztemperatur gesenkt werden. Das wirkt auf den ersten Blick technisch unspektakulär, hat aber weitreichende Folgen: Niedrigere Temperaturen erleichtern die Integration erneuerbarer Wärmequellen, etwa aus Fließgewässern, Umgebungsluft oder industrieller Abwärme. Für deren Einbindung werden in der Regel Wärmepumpen eingesetzt. Auch sie profitieren von abgesenkten Betriebstemperaturen, denn grundsätzlich gilt: Je geringer die Temperatur der Wärmesenke, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe [5]. Hinzu kommt, dass mit sinkenden Netztemperaturen die Wärmeverluste an die Umgebung abnehmen. Es muss also weniger Wärme in das Netz eingespeist werden, um denselben Bedarf zu decken.

Doch was geschieht mit Verbrauchern, die weiterhin hohe Temperaturen benötigen? DekaHEAT untersucht hierfür die Möglichkeit, genau diese Gebäude lokal mit zusätzlichen Wärmepumpen auszustatten. Das Fernwärmenetz liefert dann ein Temperaturniveau, das für den Großteil der Kunden ausreicht; Gebäude mit höheren Anforderungen erhalten vor Ort den notwendigen Temperaturhub.

3. Neue Kombinationen von Wärmepumpen und Fernwärme: Die Elektrifizierung der Wärmeversorgung

Im dritten Baustein von DekaHEAT werden die zuvor gewonnenen Erkenntnisse systematisch weitergeführt. Auf dieser Grundlage wird untersucht, wie sich unterschiedliche Systemkonfigurationen auf die Umweltverträglichkeit und die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung auswirken.

Da die Verbraucher nun hinsichtlich ihres Temperaturbedarfs charakterisiert sind, rücken zwei zentrale Fragen in den Fokus:

- Wie lässt sich eine wirtschaftlich optimale Anlagenauslegung und Betriebsweise gestalten?
- Wie verändern sich die Emissionen durch das Zusammenspiel aus abgesenktem Netztemperaturniveau, zentralen Großwärmepumpen und dezentralen Wärmepumpen zur Versorgung temperaturkritischer Gebäude?

Der Baustein liefert damit die Grundlage, um die ökologischen und ökonomischen Effekte verschiedener Transformationspfade quantitativ zu bewerten und die Rolle dezentraler Lösungen im Gesamtsystem fundiert einzuordnen.

Zwei Projekte, ein Ziel – und ein großer Nutzen für beide Projektpartner

Dass KOOP-WÄRME und DekaHEAT so gut zusammenpassen, ist kein Zufall. Beide Projekte beleuchten unterschiedliche Seiten derselben Herausforderung: Während DekaHEAT die technische Innovationsroute „im Netz" entwickelt, ergänzt KOOP-WÄRME die Entscheidungs- und Investitionslogik „zwischen den Akteuren". Zusammengenommen entsteht ein Ansatz, der die Wärmewende gleichzeitig technisch machbar, wirtschaftlich sinnvoll und gesellschaftlich anschlussfähig macht.

Ebenso wie sich die beiden Projekte ergänzen, ergänzen sich die Projektpartner **INSYS** und die **Stadtwerke Schweinfurt**. Die Stadtwerke erhalten wissenschaftlich fundierte Werkzeuge, die ihnen helfen, ihr Netz zu modernisieren, ihre Kundinnen und Kunden mitzunehmen und die Wärmewende in der Region aktiv zu gestalten. Das INSYS wiederum kann die entwickelten Methoden unmittelbar auf reale Daten anwenden und ihre Praxistauglichkeit direkt überprüfen. Die Transformation findet sprichwörtlich vor der eigenen Haustür statt – und das INSYS gestaltet sie aktiv mit, nicht als Beobachter aus der Ferne, sondern als Teil des Geschehens.

„Institut für Sustainable Energy Systems" oder kurz: INSYS

Genau diese Verbindung von Technik, Ökonomie und Akzeptanz bildet auch den Kern dessen, wofür das INSYS an der THWS steht. Als fakultätsübergreifendes Institut bündelt INSYS Kompetenzen in der Analyse, Planung und Transformation moderner Energie- und Infrastruktursysteme. Die Arbeit reicht von datenbasierten Methoden, Modellierung, Optimierung und

Simulation bis zur praxisnahen Umsetzung gemeinsam mit regionalen und überregionalen Partnern. Inhaltlich verbindet INSYS dabei mehrere Forschungsfelder, darunter Kreislaufwirtschaft und Lebenszyklusanalyse, Energiesystemanalyse und Energieeffizienz, Technologie- und Klimafolgenmanagement, Sensorik und Signalverarbeitung im Ressourcenmanagement sowie multiphysikalische Simulation für nachhaltige Energiesysteme.

Dass mehrere Projekte in Schweinfurt gleichzeitig laufen, ist deshalb mehr als die Parallelität einzelner Vorhaben. Es zeigt exemplarisch, wie INSYS arbeitet. Fünf Forschungsprofessoren und rund 20 Mitarbeitende aus unterschiedlichen Disziplinen arbeiten eng mit Industrie, Praxis und öffentlicher Hand zusammen. Der gemeinsame Fokus liegt auf einer nachhaltigen und anwendungsorientierten Transformation von Energie- und Ressourcensystemen; zugleich werden Studierende frühzeitig in reale Projekte eingebunden. Schweinfurt dient dabei als Reallabor: Hier treffen Fernwärmetransformation, heterogener Gebäudebestand, Digitalisierung und Akzeptanzfragen unmittelbar aufeinander. Gerade an solchen Schnittstellen verbindet INSYS interdisziplinäre Perspektiven mit methodisch fundierten Analysen, um tragfähige Lösungen für die Praxis zu entwickeln.

Bedeutung für Stadtwerke und Industrie

Für Stadtwerke und industrielle Kooperationen bedeutet diese Arbeitsweise vor allem eines: INSYS ist ein Partner, der komplexe Transformationsfragen strukturiert, wissenschaftlich fundiert und zugleich praxisnah bearbeitet. Typische Fragestellungen reichen von der Dekarbonisierung bestehender Fernwärmenetze über die Integration neuer Technologien wie Großwärmepumpen, Speicher oder Wasserstoff bis hin zu Tarifgestaltung, Kundenakzeptanz, Investitionsplanung und kommunaler Wärmeplanung. Durch die Verbindung technischer Modellierung, ökonomischer Bewertung und sozialwissenschaftlicher Perspektiven unterstützt INSYS seine Partner dabei, robuste Entscheidungen für Energiesysteme zu treffen, die technisch machbar, wirtschaftlich tragfähig und gesellschaftlich anschlussfähig sind. So unterstützt INSYS seine Partner dabei, die Energiewende auf belastbarer wissenschaftlicher Grundlage aktiv zu gestalten.

Short Facts:

Thema
Nachhaltige Energiesysteme

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Fabian Scheller
Prof. Dr.-Ing. Juan Felipe Cerdas Marín

(Spezial-)gebiete
- Kreislaufwirtschaft und Lebenszyklusanalyse
- Technologie- und Klimafolgenmanagement
- Sensorik und Signalverarbeitung im Ressourcenmanagement
- Energiesystemanalyse und Energieeffizienz
- Multiphysikalische Simulation für nachhaltige Energiesysteme

Standort & Kontakt
Ignaz-Schön-Straße 11
97421 Schweinfurt
insys@thws.de

ifas.thws
Institut für Angewandte Sozialwissenschaften
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



4. Gesundheit zu Recht

Prof. Dr. Tanja Henking, LL.M.

Die Forschung am **Institut für Angewandte Sozialwissenschaften (IFAS)** zeichnet sich durch die Betrachtung eines Problems aus verschiedenen Blickwinkeln aus. Forschende unterschiedlicher Disziplinen aus den Sozial-, Geistes- und Gesundheitswissenschaften kommen am Institut zusammen, um Probleme von hoher gesellschaftlicher Relevanz umfassend zu analysieren, zu betrachten und Lösungen zu entwickeln. Das IFAS unterhält vier Forschungscluster: Gesundheit, Wissenschaft Soziale Arbeit, International Social Work, Digitale Transformation.

Im Mittelpunkt der IFAS-Forschung steht der Mensch. Dabei werden Fragen adressiert, die jeden einzelnen Menschen in seinem Leben treffen können – hierzu gehören Fragen der Gesundheitsprävention, Gesundheitskompetenz, Gesundheit und Krankheit, chronische Erkrankungen, unheilbare, lebenslimitierende Erkrankungen. Exemplarisch für die Arbeiten des IFAS werden ausgewählte Projekte aus dem Cluster Gesundheit vorgestellt.

Aus dem Projekt AuGe[1]

Was wünschen sich Pflegeheimbewohnende für ihr eigenes Lebensende?

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden Interviews mit Bewohnenden stationärer Pflegeeinrichtungen geführt, um zu erfahren, welche Vorstellung sie von Autonomie und Selbstbestimmung für ihr eigenes Lebensende haben (Forschungsschwerpunkt Autonomie im Gesundheitswesen, AuGe). Dabei spielten Vorsorgemöglichkeiten wie Patientenverfügungen eine

1 Autonomie im Gesundheitswesen (AuGe), Förderung: Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (StMWK Bayern)



© Peter Kolb

Institutsleiterin Prof. Dr. Tanja Henking, mit Prof. Dr. Tanja Mühling beim BayWiss Netzwerktreffen zum Thema „KI-basierte Gesundheitsanwendungen“.



© Thomas Wosch

HOMESIDE-Team beim Roundtable auf dem 18. Weltkongress Musiktherapie in Bologna, v.l.n.r. Prof. Dr. Thomas Wosch, Albina Chafisuf (wissenschaftliche Mitarbeiterin), Carina Petrowitz (Doktorandin), Dr. Laura Blauth

große Rolle. Aber auch das Bedürfnis der Bewohnenden, über diese Möglichkeiten und ihre letzte Lebenszeit zu sprechen. Entwickelt wurde daher u. a. ein Gesprächsleitfaden in Form einer kostenlosen Broschüre.

Wie viele Menschen haben Patientenverfügungen?

Über 37 % haben selbst eine Patientenverfügung. Und 92 % der Bevölkerung wissen, was eine Patientenverfügung ist. Die Daten wurden erhoben durch eine repräsentative Umfrage.

Aus dem Projekt MyPatH[2]

Was wissen die Menschen eigentlich über Patientenverfügungen?

Auch dieser Frage ist das IFAS mit Umfragen innerhalb der Allgemeinbevölkerung und unter im Gesundwesen tätigen Personen nachgegangen (Projekt MyPatH). So konnte der Wissensstand abgebildet, Defizite erkannt und Irrtümer aufgedeckt werden. Um diesen Defiziten und Irrtümer zu begegnen, wurde eine allgemein zugängliche Lernplattform mit Kurzfilmen, Quiz, Wissensboxen und anderen Tools entwickelt (zu finden unter: vorausverfügt.de).

Aus dem Projekt HOMESIDE[3]

Wie kann Menschen mit Demenzerkrankung und ihren Angehörigen geholfen werden?

Im Projekt HOMESIDE wurden pflegende Angehörigen von ausgebildeten Fachkräften angeleitet und unterstützt, Musikaktivitäten oder Leseaktivitäten im Alltag mit Demenz und in der häuslichen Pflege einzusetzen, um Symptome der Demenz wie Unruhe oder Niedergeschlagenheit zu mindern, Lebensqualität zu verbessern und die häusliche Pflege zu erleichtern. Aktuell geht man von 1,84 Mio. Menschen mit der Erkrankung Demenz aus; ein Anstieg wird aufgrund der Altersstruktur der Bevölkerung erwartet. Die meisten von ihnen werden zuhause gepflegt.

Aus dem Projekt FeM Bayern[4]

Was geschieht in Einrichtungen für Menschen mit Behinderung?

Das Projekt FeM Bayern im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege brachte Licht ins Dunkel und erhob mittels Umfragen, Einzel- und Gruppeninterviews, wie viele freiheitsentziehenden

2 Mythen zur Patientenverfügung – Vermittlung von Fachkompetenzen zur Reduktion von Fehlvorstellungen bei der Beratung zu Vorsorgedokumenten (MyPatH)

3 Förderung: EU Joint Programme – Neurodegenerative Disease Research, Bundesministerium für Bildung und Forschung

4 Anwendung von freiheitsentziehenden Maßnahmen (FeM) in Einrichtungen für Menschen mit Behinderungen in Bayern, Förderung: Bundesministerium für Gesundheit

Maßnahmen und welche (Fixierungen, Bettgitter, Gurte, ...) bei dieser Personengruppe zur Anwendung gelangen.

Aus dem Projekt BBS[5] im Rettungswesen

Wie kann Arbeitssicherheit erreicht werden?
Wie kann arbeitssicheres Verhalten von Rettungskräften gelingen?

Mittels verhaltensorientierter Arbeitssicherheit (Behavior Based Safety, BBS)! BBS gilt als die am besten untersuchte und wirksamste Methode zur Veränderung des Verhaltens im Bereich der Arbeitssicherheit. Entwickelt wurde eine auf einzelnen Rettungswachen umsetzbare Methode auf Grundlage der BBS-Prinzipien, um Arbeitssicherheit von Beschäftigten im Rettungsdienst dauerhaft zu verbessern.

IFAS-Mitglieder kommen aus dem Bereichen Psychologie, Soziologie, Rechtswissenschaften, Sozialer Arbeit, Gesundheitswissenschaften, Medizin, Musiktherapie – damit weist das IFAS eine außergewöhnliche Bandbreite und Kompetenz auf, die es ermöglicht den komplexen Fragestellungen unserer sich verändernden Gesellschaft gerecht zu werden. Promotionsinteressierten steht über das Promotionszentrum Lebenswelten im Wandel – Sozial- und gesundheitswissenschaftliche Perspektiven (LiWa) der Weg zur eigenen wissenschaftlichen Qualifikation offen.

5 Behavior Based Safety (BBS) - Sicheres Verhalten bei Rettungskräften



© DRK

Aufnahme aus dem Projekt Behavior Based Safety (BBS) – Sicheres Verhalten bei Rettungskräften

Short Facts:

Thema
Gesundheit zu Recht

Leitung
Prof. Dr. Tanja Henking, LL.M.

Standort & Kontakt
Münzstraße 12
97070 Würzburg
ifas@thws.de

(Spezial-)gebiete
Gesundheit
International Social Work
Wissenschaft Soziale Arbeit
Digitale Transformation

ial.thws
Institut für
Angewandte Logistik
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



5. Von A wie Acker, bis Z wie Zucker: Wie das IAL den Zuckerrübentransport nachhaltig revolutioniert

Prof. Dr. Ulrich Müller-Steinfahrt

Ausgangslage: Individuelle Lösungen für individuelle Voraussetzungen

7 Tage die Woche, 24 Stunden am Tag rollen die Lkw von den Feldern Frankens in die Zuckerrübenverarbeitung der Südzucker AG in Ochsenfurt. Dabei transportieren die Fahrzeuge zwischen September und Januar jeden Tag viele 1.000 Tonnen Rüben über die Straßen, und das im 3-Schichtbetrieb. Um diese Menge befördern zu können, werden Diesel-Lkw genutzt und tonnenweise CO_2 in die Luft emittiert. Um hier etwas nachhaltig zu ändern, wie das Unternehmen die hohe Menge an Emissionen reduzieren kann, wurde das **Institut für angewandte Logistik (IAL)** von der Südzucker AG und dem Verband Süddeutscher Zuckerrübenbauer e. V. (VSZ) beauftragt, um dies gemeinsam zu ändern. Konkret lautet die Forschungsfrage:

> Wie kann die Transformationsstrategie für die Umstellung der Lkw-Flotte auf alternative Antriebe für Südzucker aussehen?

Ein wesentlicher Aspekt ist, dabei zu ermitteln, welche alternativen Lkw-Antriebsarten aktuell und in absehbarer Zeit auf dem Markt verfügbar sind und welche am besten zum Nutzungsszenario von Südzucker passen.

Vor dieser Fragestellung stehen aktuell viele Flottenbetreiber, egal ob Logistik-Dienstleister, Handels- oder Industrieunternehmen. Wie bedeutend diese Fragestellung nicht nur für den Rübentransport ist, sondern für den gesamten Verkehrssektor, zeigt letztlich auch ein Blick auf die Zahlen. Ca. 22 % aller Treibhausgas-Emissionen in Deutschland fallen auf den Verkehrssektor (143 Mio. t CO_2e in 2024). Davon entfallen ca. ein Drittel auf den Güterkraftverkehr mit Lkw. Als einer der wenigen Sektoren in Deutschland konnten die vereinbarten Klimaziele zum wiederholten Male nicht erreicht werden. Eine Umstellung auf alternative Antriebe und Kraftstoffe wird – forciert auch durch politische Fördermöglichkeiten – als ein wesentlicher Stellhebel gesehen.

Das IAL – Problemlösungen seit 20 Jahren

Aufgrund der über die vielen Jahre entwickelten umfassenden Expertise und Bekanntheit des Instituts für angewandte Logistik, kurz IAL, in der Branche, wie auch der Vielzahl von Beratungsaufträgen und Gutachten für das Bayerische und Bundesverkehrsministerium, nutzen auch immer wieder Unternehmen und Unternehmensverbände die Expertise des IAL, um aktuelle Problemstellungen und Herausforderungen der Logistik zu lösen. Denn wie Logistik nachhaltiger und effizienter gestaltet werden kann, wie Prozesse optimiert werden, wie Daten gezielt verarbeitet, analysiert und damit Vorhersagen für die Zukunft getroffen werden können, wie Kreislaufwirtschaft in der Praxis funktionieren kann, damit beschäftigt sich das IAL als ältestes Institut der THWS bereits seit 2006. Nicht auf einer theoretischen, abstrakten Ebene, sondern ganz konkret und eben angewandt.

Genau aus diesem Grund kommen Unternehmen wie Südzucker immer wieder auf das IAL zu, um von eben diesem Know-how zu profitieren und anwendungsbezogene, umsetzungsorientierte Lösungen für die Probleme dieser Zeit zu erhalten. Immer „hands on“,

wenn nötig und mit operativem Blick vor Ort wie z. B. auf dem Acker oder bei der Zuckerrübenernte.

Soll-Ist-Analyse: Ausgangslage erfassen, Herausforderungen erkennen und Ziele festlegen

Um die speziellen Herausforderungen für Südzucker zu lösen und den Transport der Zuckerrübe deutlich nachhaltiger gestalten zu können, fand zunächst eine Analyse der Ist-Situation statt. Hierfür wurden alle relevanten Daten zusammengetragen und anschließend analysiert. Notwendige Daten waren u. a. die Anzahl der Lkw sowie Ø-gefahrene Tagesentfernung je Lkw, Anzahl und Fahrtdauer der Touren je Tag, Einzugsgebiete der Zuckerrüben, Ø-Verbrauch der genutzten Lkw, täglich beförderte Tonnage. Neben der Analyse der gegenwärtigen Situation waren diese Daten notwendig, um unterschiedliche Nutzungsszenarien der Fahrzeuge zu erstellen und so den idealen Mix an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben für Südzucker herauszuarbeiten.

Nach der Ist-Analyse folgte in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber die Klärung der kurz- und langfristigen Zielsetzung der Flottentransformation und der gegebenen Rahmenbedingungen. Hauptfokus war die Reduktion der transportbedingten Treibhausgas-Emissionen. Zudem war zu berücksichtigen, dass die Transporte – wie in der Logistikbranche üblich – von Subunternehmern ausgeführt werden. Hier sind es u. a. Landwirte, die sich zusammenschließen und gemeinschaftlich zu einem festen Transportpreis die Transporte durchführen. Die Herausforderung war, die Subunternehmer zu überzeugen, in Kooperation mit Südzucker die aktuellen Fahrzeuge umzustellen bzw. auszutauschen.

Eher ungewöhnlich ist, dass die Unternehmer zum großen Teil lediglich den Zuckerrübentransport abwickeln und außerhalb der sogenannten Rübenkampagne keine weiteren Transporte durchführen. Besonders in den letzten Jahren wurde bei den Transportfahrzeugen überwiegend auf eine Nutzlastoptimierung geachtet, um möglichst viele Rüben mit einer Fuhre transportieren zu können. Nachteil der Rahmenbedingungen dieser Optimierung ist, dass die Lkw vom Kampagnenende im Januar bis zum Kampagnenstart im September, wenn die Rüben geerntet werden, stillstehen und sich bis dato noch keine wirklich geeignete Alternative für die Lkw samt Kippanhänger ergeben hat. Der eigentliche Transport findet also innerhalb von 100 – 140 Tagen im Jahr statt. Auch dies muss bei der Szenarienbildung berücksichtigt werden.

Markttransparenz: Viele Alternativen – viele Hürden

Wesentlich war es, den aktuellen Status quo sowie die Entwicklung der alternativ verfügbaren Fahrzeuge und der notwendigen Lade- und Tankinfrastruktur zu ermitteln. Neben einer umfassenden Literatur-



Prozess der Rübenverladung



Pressentiment zu alternativen Antriebstechnologien

recherche wurden insbesondere aktuelle Studien herangezogen, die Angebote der Lkw-Hersteller analysiert, zahlreiche Experten befragt, Konferenzbeiträge ausgewertet und viele weitere Quellen studiert.

Eine entscheidende Rolle beim Einsatz alternativer Antriebe spielt die Lade- und Tankinfrastruktur. Im Vergleich zur klassischen Tankstelle, von der es in Deutschland ca. 14.500 Stück gibt, ist die Tank- und Ladeinfrastruktur zu alternativen Antrieben für Nutzfahrzeuge bisher noch wenig verbreitet. Diese Infrastruktur ist für die Anschaffung und Nutzung der alternativen Antriebe und auch Kraftstoffe Grundvoraussetzung.

Staatliche Förderungen und privatwirtschaftliche Initiativen forcieren insbesondere die Infrastrukturentwicklung gerade im Bereich des Schnellladens für batterieelektrisch angetriebene Lkw. Wasserstoff-Tankstellen verbreiten sich für Nutzfahrzeuge eher schleppend. Eine oft nicht planbare und schwankende Förderpolitik erschwert Investitions- und Anschaffungsentscheidungen. Die dargestellten Pressestimmen zeigen die Dynamik, die es innerhalb der Branche gibt. Teilweise werden Anreize gesetzt, in eine bestimmte Antriebstechnik zu investieren, beispielsweise in Erdgas-Lkw. Vorhandene Vorteile, wie etwa eine Mautbefreiung, sind jedoch nur für eine gewisse Zeit gültig und mit Auslauf bestimmter Regularien ergeben sich lediglich Mehrkosten. Die fehlende Planbarkeit erschwert eine gezielte Transformation der Fahrzeugflotten. Aktuell wird von Technologieoffenheit gesprochen und die Förderung von Elektro-Lkw forciert.

Um für den Zuckerrübentransport ideale Szenarien entwickeln zu können, wurden konkret folgende Antriebsarten und Kraftstoffe betrachtet:

- Elektroantrieb
- HVO100
- Wasserstoffantrieb
- Hybridantrieb
- LPG (Autogas)
- CNG (Erdgas)
- Bioethanol
- Biodiesel

Systematisch bewertet wurden die Antriebsarten jeweils nach den Kriterien: Klimawirkung, Zukunftstendenz, Nutzlast, Ladeinfrastruktur, Betriebskosten, Tankdauer, Anschaffungskosten, Verbrauch, Reichweite und staatliche Förderung. Die nachfolgende Tabelle (siehe Seite 33) zeigt dabei die Bewertung der unterschiedlichen Antriebsarten.

Die einzelnen Ausprägungen wurden unter Abstimmung mit dem Auftraggeber unterschiedlich stark gewichtet. Besonders entscheidend waren neben der Klimafreundlichkeit die Zukunftsaussichten des jeweiligen Antriebs.



v.l.n.r.: Dr. Paul-Martin Pfeuffer (VSZ), Dr. Bernhard Loibl (Südzucker), Niklas Dekkers (IAL), Simon Vogel (Südzucker), Patrick Daratha (IAL), Dr. Fred Zeller (VSZ), Klaus Weippert (VSZ), Prof. Dr. Ulrich Müller-Steinfahrt (IAL), Gerald Corell (Südzucker)

Ergebnisse und Transfer: Gegenwärtige Alternative und Zukunftsausblick

Lokal emissionsfrei, sprich Fahrzeuge, die während der Fahrt keine Emissionen verursachen und damit aktuell noch von der Lkw-Maut befreit sind, sind derzeit lediglich mit Elektroantrieb und Wasserstoffantrieb möglich. Relevant für entstehende Emissionen ist dabei allerdings die jeweilige Produktion der Energie bzw. des Wasserstoffes. Wasserstoff wird je nach Herstellungsart beispielsweise nach grünem, grauem oder blauem Wasserstoff unterschieden. Im schlechtesten Fall entstehen bei der Produktion des Wasserstoffs beinahe so viele Emissionen wie bei der Diesel-Nutzung. Vorteil im Vergleich zum Elektro-Lkw ist gegenwärtig die geringe Tankdauer. Die Kosten für ein kg Wasserstoff sind aktuell mit 10 – 16 € jedoch derzeit enorm hoch.

Im Bereich der Elektromobilität tut sich dagegen auch im Lkw-Bereich sehr viel. Erste Fahrzeuge können bereits jetzt eine Reichweite von 500 – 600 km mit einem Ladezyklus erreichen. Zudem sind perspektivisch Ladekapazitäten von 3 MW möglich, was die Ladezeiten auf 20 – 30 Minuten reduzieren kann. Bis jedoch eine serienmäßige Umsetzung erfolgt, wird noch einige Zeit vergehen. Desweiteren sind die Anschaffungskosten für die Fahrzeuge noch sehr hoch im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen. Gerade für eine derart intensive Nutzung, wie im Rübentransport, wo innerhalb eines Drittels des Jahres Entfernungen zurückgelegt werden, die andere Logistikdienstleister in einem ganzen Jahr zurücklegen, sind die aktuellen Ladezeiten und Reichweiten noch nicht ausreichend. Ein Umstieg auf Wasserstoff etwa oder Elektromobilität kann lediglich schrittweise geschehen.

Der einzige Antriebsstoff, der kurzfristig und ohne hohe Investitionskosten zu einer erheblichen CO_2-Reduktion führen kann, ist gegenwärtig HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). Dabei werden Abfallstoffe wie Altspeiseöle, Küchenfette, Algen, Schlachtabfälle etc. gereinigt, mit einer geringen Menge Wasserstoff versetzt und anschließend isomerisiert. Das Endergebnis ist ein dieselähnlicher Kraftstoff, der problemlos in den meisten Dieselfahrzeugen verwendet werden kann. Nachdem der Kraftstoff in Deutschland 2024 auch als reine Variante zugelassen wurde, sicherten sich große Speditionen umgehend enorme Mengen, um ihre Klimawirkung zu reduzieren. Bei der Verbrennung des Kraftstoffs werden lediglich die Emissionen freigesetzt, die im Vorfeld aufgenommen wurden. Dadurch können im Vergleich zum herkömmlichen Diesel die Emissionen um bis zu 90 % reduziert werden. Die Kosten je Liter liegen hier aktuell etwa 0,10 € über dem Preis für einen Liter Diesel. Ein Nachteil dieses Kraftstoffs ist trotz der gestiegenen Produktion die weiterhin begrenzte Menge. Preissteigerungen zeichnen sich ab. Zudem stand der Kraftstoff immer wieder in der Kritik, dass die oftmals unter klimaschädlichen Umständen produzierten Palmfette Verwendung finden. EU-weit sollen diese jedoch nur noch bis 2030 in begrenzten Mengen verwendet werden dürfen. In Deutschland wurde deren Verwendung in Biodiesel bereits 2023 beendet.

Als Outcome wurde für Südzucker und dem VSZ eine konkrete Roadmap der Transformation erstellt, die verschiedene Szenarien des Umstieges beginnend mit der Nutzung von HVO, stufenweise Anschaffung von E-Lkw bis hin zu Testläufen mit Wasserstoff-Lkw aufzeigt. Daneben wurden in Diskussionen mit Südzucker über Betreibermodelle und dem Aufbau einer eigenen Lade- und Tankinfrastruktur erörtert. Transferiert wurden die Ergebnisse u. a. im nationalen Zuckerrüben Fachstellenseminar in Gollhofen, vor ca. 100 Landwirten. Ein wesentliches Ergebnis dieses Projekts war, dass ein systematisches methodisches Vorgehen erarbeitet wurde, um generell Unternehmen bei der Umstellung ihrer Fahrzeuge auf geeignete alternative Antriebe und Kraftstoffe zu unterstützen. So kann das IAL Unternehmen helfen einen Beitrag zur Reduzierung von Emissionen im Verkehr zu leisten.

	Kriterien	Klima-freundlich-keit	Zuladung	Infra-struktur	Antriebs-kosten	Anschaf-fungskos-ten	Reichweite	Staatliche Förderung	Tankdauer	Zukunfts-tendenz	Gesamt-punktzahl	Rang
	Gewichtung	3	2	2	2	2	2	1	2	3		
Diesel	Punkte	1	9	9	6	9	8	1	7	1		
	Gewichtet	3	18	18	12	18	16	1	14	3	103	6
Elektroantrieb	Punkte	9	6	2	9	2	2	9	2	9		
	Gewichtet	27	12	4	18	4	4	9	4	27	109	4
Wasserstoff-antrieb	Punkte	6	1	1	1	1	3	9	4	7		
	Gewichtet	18	2	2	2	2	6	9	8	21	70	9
Hybridantrieb	Punkte	3	9	3	7	5	5	6	3	3		
	Gewichtet	9	18	6	14	10	10	6	6	9	88	7
LPG (Autogas)	Punkte	4	9	5	4	6	5	5	9	4		
	Gewichtet	12	18	10	8	12	10	5	8	12	105	5
Erdgas (CNG)	Punkte	2	9	4	8	4	9	4	9	5		
	Gewichtet	6	18	8	16	8	18	4	18	15	111	2
Bioethanol	Punkte	7	4	6	3	2	2	7	1	8		
	Gewichtet	21	8	12	6	4	4	7	2	24	88	7
Biodiesel	Punkte	5	9	8	3	9	8	2	7	2		
	Gewichtet	15	18	16	6	18	16	2	14	6	111	2
HVO 100	Punkte	8	9	7	5	9	8	3	7	6		
	Gewichtet	24	18	14	10	18	16	3	14	18	135	1

Nutzwertanalyse alternativer Antriebsarten und Kraftstoffe – Systematische Bewertung und Gewichtung nach ökonomischen, ökologischen und operativen Kriterien

Short Facts:

Thema
Logistik

Leitung
Prof. Dr. Ulrich Müller-Steinfahrt
Prof. Dr. Christian Menden

Standort & Kontakt
Münzstraße 19
97070 Würzburg
ial@thws.de

(Spezial-)gebiete
- Nachhaltigkeit
- Circular Economy
- Versorgungssysteme für Stadt & Land
- Digitalisierung
- Few Data Learning
- Sustainable Supply Chain Analytics und Forecasting

idis.thws
Institut für Design und Informationssysteme
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



6. BikeBox: Die Box, die Würzburgs Straßen kennt

Prof. Dr. Nicholas Müller

Das **Institut für Design und Informationssysteme (IDIS)** an der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt fungiert als Denkfabrik an der direkten Schnittstelle von Technik, Gestaltung und Gesellschaft. Als interdisziplinäres Forschungszentrum hat es sich der Aufgabe verschrieben, hochkomplexe technologische Entwicklungen in greifbare, anwendungsorientierte und vor allem menschenzentrierte Lösungen zu überführen. Im Fokus der angewandten Forschung stehen digitale Informations- und Kommunikationsmedien, durch die das Institut maßgebliche Impulse für die Gestaltung einer zunehmend vernetzten Lebenswelt liefert. In enger Zusammenarbeit mit Akteuren aus Wirtschaft, Verwaltung, Bildung und Kultur verschmelzen am Forschungsinstitut innovative Designkonzepte mit moderner Informatik und fundierten Erkenntnissen der Sozioinformatik. Diese enge Verzahnung von Forschung und Praxis, repräsentiert durch die Kooperation der beiden Fakultäten Informatik und Gestaltung, stellt zudem sicher, dass wertvolles Wissen unmittelbar in die Lehre fließt, um zukünftige Generationen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu kompetenten Gestaltenden der digitalen Gesellschaft auszubilden.

Die gesellschaftliche und technologische Relevanz des IDIS zeigt sich in den vielfältigen Forschungsvorhaben. Ein zentrales Handlungsfeld bildet die nachhaltige und sichere Mobilität. Mit Projekten wie der **BikeBox** leistet das Institut einen entscheidenden Beitrag zur Verkehrssicherheit, indem es gefährliche Situationen für Radfahrende durch die intelligente Auswertung von Schwarmdaten erkennt. Flankiert wird dies durch Initiativen wie das Projekt **Bin ich Teil der Lösung?**, in dem durch Künstliche Intelligenz analysiert wird, wie Mobilitätsdaten zur Erfassung und bewussten Steuerung des persönlichen CO_2-Fußabdrucks genutzt werden können. Auch bei der infrastrukturellen Entwicklung setzt das IDIS wegweisende Akzente, beispielsweise mit dem vom BMBF geförderten Projekt **Rooftop-Scout**, welches Drohnen zur präzisen Vermessung von Dächern einsetzt, um die Planung von Solaranlagen maßgeblich zu beschleunigen.

Darüber hinaus erweist sich das Institut als unverzichtbarer Innovator im Bereich der sozialen Teilhabe und des Wissens- und Kulturtransfers. Es entwickelt Softwarelösungen für bürgernahe Dienstleistungen, leistet etwa Beiträge zur BundID, und forscht an inklusiven Technologien wie dem „Emotionshandschuh“, der Menschen mit Seheinschränkungen völlig neue Wege der nonverbalen Kommunikation eröffnet. Moderne Technologien wie Augmented Reality (AR) und Motion-Capture werden am IDIS gezielt eingesetzt, um das Lernen, Erinnern und die gesundheitliche Rehabilitation nachhaltig zu verbessern. So machen interaktive „AR-Stolpersteine“ historische Biografien im urbanen Raum wieder lebendig, während das Projekt **Stethoscope** AR-gestütztes Lernen in der medizinischen Ausbildung ermöglicht. Mit detaillierten Bewegungsanalysen im Vorhaben **Motion-Capture Muay Thai** werden zudem wertvolle Grundlagen für effektives Training und zielgerichtete Rehabilitation geschaffen. Das IDIS ist darüber hinaus sowohl in das Promotionszentrum „Nachhaltige und Intelligente Systeme“ (NISys) der THWS als auch in das Promotionszentrum „Lebenswelten im Wandel“ (LiWa) eingebunden. So werden Studierende vom Bachelor über den Master bis zur Promotion begleitet. Insgesamt beweist das IDIS durch diese herausragende Projektvielfalt, dass es ein essenzieller und überaus wertvoller Akteur bei der verantwortungsvollen Bewältigung der digitalen Transformation ist.

Als anschauliches Beispiel, wie digitale Transformation durch empirische Forschung das gesellschaftliche Leben maßgeblich beeinflusst, wird auf den folgenden Seiten das bereits erwähnte Forschungs- und Entwicklungsprojekt BikeBox vorgestellt.

Das Logo des Projekts

Die BikeBox



Kleine Box, großer Beitrag!



Die „bikebox“ misst unter anderem Feinstaub, Erschütterungen und seitliche Abstände im Straßenverkehr

BikeBox: Die Box, die Würzburgs Straßen kennt

Sie ist kompakt genug, um am Steuerrohr kaum aufzufallen, und weiß dennoch mehr über Würzburgs Radwege als jedes Stadtplanungsamt. Die BikeBox ist ein BMFTR-gefördertes Forschungsprojekt am IDIS der THWS zusammen mit der Firma webfactor media GmbH. Mithilfe von Sensordaten soll belegt werden, was Radfahrende in Würzburg jeden Tag erleben.

Darum geht es

Fahrradfahrende in Würzburg kennen dieses Gefühl nur zu gut. Sie werden zu eng überholt, müssen über Bodenwellen fahren, die das Hinterrad wegspringen lassen, oder atmen den Feinstaub hinter einem Bus ein. Doch was genau passiert, wo und wie oft, weiß niemand. Wenn du zwei Beobachter beauftragst, die Strecken abfahren und alles notieren, erhältst du zwei subjektive Protokolle, die sich kaum vergleichen lassen und morgen schon veraltet sind. Professionelle Messsysteme existieren zwar, sind aber teuer und für punktuelle Erhebungen gedacht – nicht für die flächendeckende Dauerbeobachtung einer ganzen Stadt.

Genau hier setzt die BikeBox an. Anstelle menschlicher Beobachtung setzt die BikeBox auf Sensoren, die anonym, objektiv und rund um die Uhr mitfahren. 100 Geräte gleichzeitig, deren Messungen sich überlagern und verstärken. So entstehen Daten, die über Wochen und Monate hinweg zeigen, ob eine Stelle systematisch problematisch ist, statt einer Momentaufnahme.

Dabei war der Datenschutz von Anfang an keine nachträgliche Überlegung, sondern eine Designentscheidung. Die Box selbst enthält kein GPS. Standortdaten entstehen erst auf dem Smartphone der Nutzenden. Die ersten und letzten 100 Meter jeder Fahrt werden automatisch verworfen, bevor die Daten den Server erreichen. Wohnadresse, Arbeitsplatz, Alltagsrouten – all jene Orte, die Rückschlüsse auf Personen zulassen würden, bleiben außen vor.

Das Projekt wird von Prof. Dr. Nicholas Müller geleitet. Er hat eine Forschungsprofessur für Sozioinformatik und leitet das Institut für Design und Informationssysteme (IDIS) der THWS.

> „Wenn wir messen können, wo Abstände unterschritten werden oder die Infrastruktur mangelhaft ist, können gezielte Maßnahmen ergriffen werden“,

so Prof. Müller.

Was die BikeBox misst

Die BikeBox erfasst drei Messdimensionen gleichzeitig mit bewusst kosteneffizient gewählter Hardware. Die Abstandssensoren sind beispielsweise dieselben, die in jedem Parkassistenten stecken. Der Ansatz setzt statt-



Die BikeBox montiert an einem Fahrrad



Das Innere der BikeBox

dessen auf den Schwarm: Erst durch die Überlagerung von Hunderten Fahrten an denselben Stellen werden die Daten wirklich aussagekräftig.

Überholabstand: Ein Ultraschallsensor erfasst die Abstandswerte zu vorbeifahrenden Fahrzeugen. Seit der StVO-Novelle von 2020 gilt innerorts ein Mindestabstand von 1,5 Metern. Wie häufig dieser unterschritten wird und an welchen Stellen das systematisch passiert, ist die Frage, die das Projekt beantworten will.

Erschütterungen: Ein Beschleunigungssensor registriert Vibrationen und Stöße. Schlechte Fahrbahnbeläge, Kanten und Schlaglöcher werden so zu messbaren Ereignissen. Was Radfahrende täglich spüren, wird für Stadtplaner zu einem auswertbaren Datenpunkt.

Feinstaubbelastung und Temperatur: Das Ziel ist, Muster und Hotspots / Auffälligkeiten zu erkennen.

Wie sie gebaut ist

Gehäuse: Es entstand in einem iterativen Prozess, bei dem das IDIS-Team von frühen Prototypen bis hin zu konstruktiven Details aktiv mitwirkte. Dabei arbeitete es mit dem SKZ Würzburg zusammen, einem der führenden europäischen Forschungs- und Prüfzentren für Kunststoffe, und erhielt Unterstützung bei Konstruktion, Materialwahl und Fertigung.

Elektronik: Im Inneren arbeiten die Sensoren autark, ohne GPS. Bei der Auswahl und Integration der Sensorik kooperierte das Team mit iNDTact, einem Würzburger Unternehmen für hochempfindliche Sensorsysteme.

> „In der Box selbst ist kein GPS-Sensor, sondern ein kleines Bluetooth-Modul, das mit dem Handy kommuniziert“,

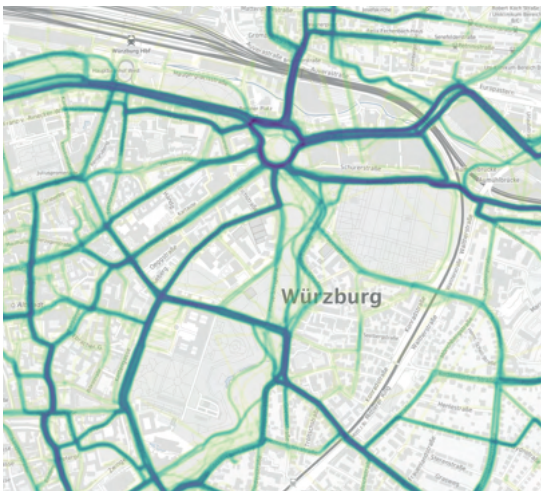
erklärt Prof. Müller. Die Box misst. Das Handy weiß, wo.

Wie die Daten fließen

Die BikeBox sendet ihre Rohdaten per Bluetooth an eine Smartphone-App des Projektpartners webfactor media GmbH aus Würzburg. Die App übernimmt zwei Aufgaben. Einerseits verknüpft sie die Sensorwerte mit den GPS-Koordinaten des Handys und andererseits lädt sie die so entstandenen Datenpunkte anonymisiert auf einen Server. Dabei werden die ersten und letzten 100 Meter jeder Fahrt automatisch verworfen.

Die gesammelten Daten fließen in ein Visualisierungstool, das Gefahrenstellen auf einer Karte sichtbar macht.

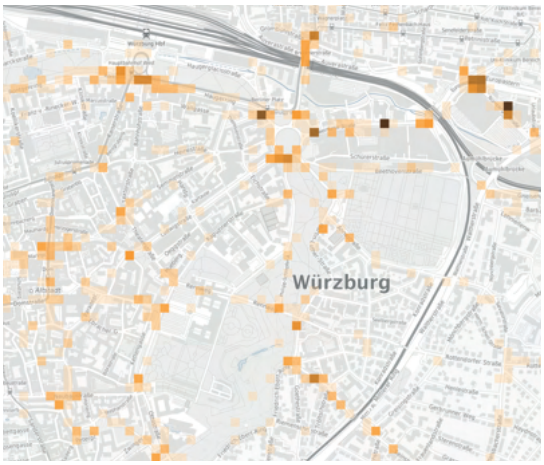
1) Eine Heatmap veranschaulicht die tatsächlich von Radfahrenden genutzten Routen im städtischen Raum. Diese Ansicht bietet wertvolle Erkenntnisse für eine zielgerichtete Verteilung der begrenzten finanziellen Mittel beim Ausbau der Radinfrastruktur. Gleichzeitig ermöglichen diese empirischen Mobilitätsdaten eine nachträgliche Evaluation, um den Erfolg und die Nutzbarkeit bereits getätigter Investitionen in neue Radwege fundiert zu bewerten.



Heatmap der tatsächlich von Radfahrenden genutzten Routen



Heatmap zur Feinstaubbelastung



Heatmap zur Verkehrssicherheit

2) Die Heatmap zur Feinstaubbelastung muss genauer betrachtet werden, da die ermittelten Werte unerwartet hoch ausfielen und stellenweise das erhoffte unbedenkliche Niveau nicht erreichten. Folgt man dem Prinzip der naheliegendsten Erklärung, verdeutlichen die vorliegenden Daten schlichtweg die unmittelbare Exposition der Radfahrenden gegenüber den Emissionen und aufgewirbelten Partikeln des direkt vorausfahrenden motorisierten Verkehrs.

3) Eine dritte Heatmap widmet sich explizit der Verkehrssicherheit und markiert gezielt Straßenabschnitte, auf denen Radfahrende besonders häufig mit zu geringem und damit gefährlichem Seitenabstand überholt werden. Diese Visualisierung deckt objektive Gefahrenschwerpunkte im Straßennetz auf und liefert der Stadtplanung eine verlässliche Grundlage, um gezielte infrastrukturelle Maßnahmen zum Schutz der Radfahrenden zu ergreifen.

> „Das Wichtigste ist, dass wir erkennen, ob an verschiedenen Tagen und von unterschiedlichen Stellen aus Probleme auftreten“,

so Prof. Müller.

> „Erst wenn ein Muster erkennbar wird, gelangen wir von der anekdotischen zur empirischen Evidenz.“

Der Einsatz: Würzburg als Testfeld

Seit Frühjahr 2026 werden BikeBoxen an Studierende und interessierte Bürgerinnen und Bürger in Würzburg ausgegeben. Derzeit sind rund 50 Geräte im Einsatz. Das Ziel ist gut 100 Boxen in Betrieb zu nehmen, die quer durch die Stadt an Fahrrädern verteilt sind. Das Projekt befindet sich somit noch in der Datenerhebungsphase. Belastbare Aussagen über Gefahrenstellen oder Infrastrukturmängel lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht treffen.

Die zugrunde liegende Philosophie ist klar: Die Stärke des Systems liegt nicht in der Messung eines einzelnen Sensors, sondern in der Überlagerung vieler Messungen. Tritt an derselben Stelle von verschiedenen Boxen an verschiedenen Tagen derselbe Indikator auf, könnte sich daraus ein Befund entwickeln. Machine-Learning-Algorithmen, die Muster im Rauschen erkennen, sollen diesen Prozess unterstützen.

Der Ansatz ist bewusst auf Skalierbarkeit ausgelegt. Je mehr Boxen unterwegs sind und je mehr Kilometer sie erfassen, desto belastbarer werden die Aussagen. Die gewonnenen Daten können der Stadt Würzburg als Grundlage für konkrete Maßnahmen dienen. Wo müssen Radspuren verbreitert werden? Wo sollten Beläge erneuert werden? Wo wären Überholverbote sinnvoll?

Um sicherzustellen, dass die Erkenntnisse einen direkten praktischen Nutzen stiften, steht das Team bereits in engem Austausch mit der Abteilung für Rad- und Fußverkehr der Stadt Würzburg. Die große Bedeutung dieser Auswertungen für die zukünftige Stadtentwicklung betonte auch Bürgermeister Martin Heilig kürzlich in einem Beitrag des Bayerischen Rundfunks. Er betonte dabei die unmittelbare Anwendbarkeit der Ergebnisse:

> „Die Daten, die wir über dieses Projekt erhalten, fließen auf jeden Fall in unser Radverkehrsmanagement ein.“

Ursprünglich war das Projekt nur für Studierende aus Würzburg geplant. Doch das Interesse war größer als erwartet. Inzwischen kann sich jede Person, die in Würzburg Fahrrad fährt, kostenlos eine BikeBox montieren lassen und so aktiv zur Datenerhebung beitragen.

Was als Forschungsprojekt für Studierende in Würzburg begann, hat längst eine größere Gemeinschaft gefunden. Die BikeBox misst unbemerkt Fahrt für Fahrt, Straße für Straße. Je mehr Räder sie tragen, desto klarer wird das Bild.

Short Facts:

Thema
Human-Computer Interaction

(Spezial-)gebiete
Digitale Informations- und Kommunikationsmedien
Angewandte Sozioinformatik
Interdisziplinäre Technologieentwicklung

Leitung
Prof. Dr. habil. Nicholas H. Müller

Standort & Kontakt
Münzstraße 12
97070 Würzburg
idis@thws.de

imes.thws
Institut für Medizintechnik Schweinfurt
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



7. Wenn Ingenieure biologisch sprechen

Prof. Dr. Norbert Strobel, Dr. Christoph Malkmus

Die besten Ideen entstehen oft an den Schnittstellen verschiedener Disziplinen

Spätestens in der COVID-19-Pandemie ist ein Großteil von uns in Kontakt mit Nanopartikeln (NP) gekommen. Die mRNA-basierten Impfstoffe der Hersteller BionTech und Moderna verwendeten sogenannte Lipid-Nanopartikel (LNP) als Wirkstofftransporter in den menschlichen Körper, oder genauer in die menschliche Zelle. Das ist notwendig, damit die Information der mRNA zum Bau einer spezifischen Virus-Oberflächenstruktur erfolgt und diese wiederum dem Immunsystem präsentiert wird, um eine Immunität gegen das Corona-Virus zu entwickeln. Die weltweite Verwendung dieser Technologie hat zum einen bewiesen, wie wirkungsvoll die mRNA-Technologie ist und zum anderen, dass sie sicher ist. Doch neben der Immunisierung gegen Erreger wie das Corona-Virus bietet die mRNA-Technologie großes Potenzial für Krebstherapien, Personalisierte Medizin, und die Behandlung seltener Krankheiten [1]. Ihrer breiten Anwendung stehen jedoch Herausforderungen entgegen, darunter regulatorische Hürden sowie die komplexe Herstellung und Lagerung von mRNA-Medikamenten. Auch die gezielte Verteilung im menschlichen Körper ist problematisch, wobei LNP als Wirkstofftransporter eine zentrale Rolle spielen.

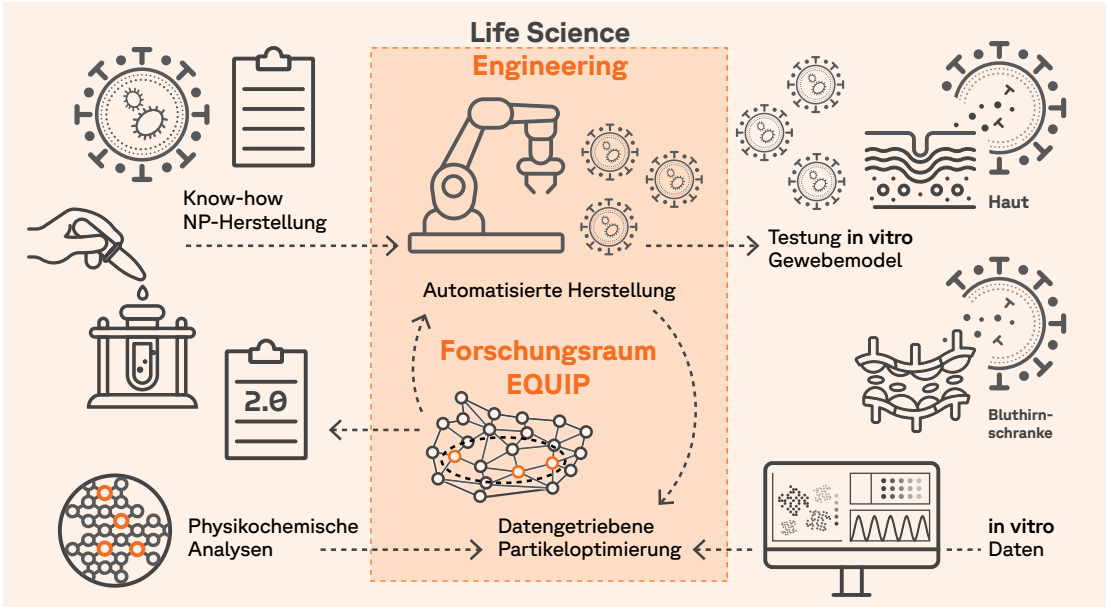


Abbildung 1: Konzept des Forschungsraums EQUIP. Forschung an der Schnittstelle von Ingenieurswissenschaften und den Lebenswissenschaften = Life Science Engineering.

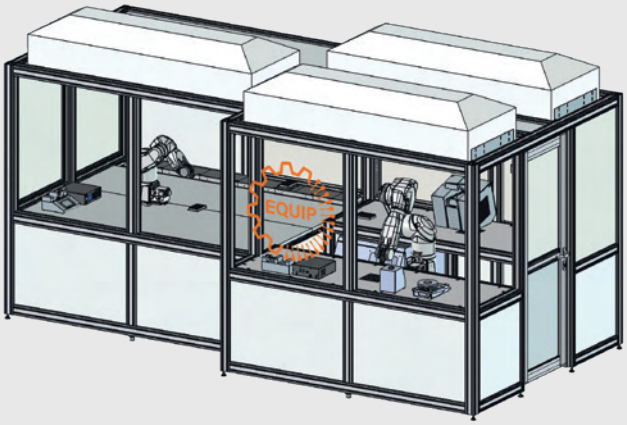


Abbildung 2:
Forschungsraum EQUIP-Darstellung der geplanten Automatisierungsanlage

Wie können Automatisierung und KI die moderne Medizin unterstützen?

Das **Institut für Medizintechnik (IMES)** beschäftigt sich in dem Forschungsprojekt **EQUIP** mit genau diesen Problemen. In Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen (FAU) und dem Fraunhofer ISC in Würzburg sowie dem CERI, entsteht an der THWS ein automatisiertes Labor zur Herstellung von LNP. Das Ziel ist die datengetriebene Optimierung von LNP sowie deren Herstellung für eine verbesserte Gewebespezifität (Abb. 1). Die „Rezepte" für die Partikel werden von Frau Prof. Dagmar Fischer vom Lehrstuhl für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie der FAU bereitgestellt. Ein interdisziplinäres Team von Wissenschaftlern des IMES aus den Ingenieurswissenschaften, Chemie, Biologie und Data Science arbeitet gemeinsam an der Automatisierung dieser „Rezepte".

In vorangegangenen Projekten wie z. B. **AutoProNano** konnten in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISC bereits wichtige Erfahrungen in der Automatisierung von chemischen Syntheseprozessen von medizinischen NP erarbeitet werden. Dieses Know-how soll im neuen Projekt EQUIP zum Tragen kommen.

Das automatisierte Labor beinhaltet prinzipiell alle notwendigen Laborgeräte, die es für die LNP-Herstellung braucht. Anstelle eines Mitarbeitenden werden die Prozess-Schritte durch zwei Roboter durchgeführt (Abb. 2). Dieses Konzept ermöglicht neben einer deutlich gesteigerten Standardisierung eine gleichbleibend hohe Qualität der hergestellten Partikel. Zum anderen können durch die Automatisierung eine Vielzahl von Prozessparametern aufgezeichnet werden, wie z. B. Temperatur, Flussraten oder Inkubationszeiten. Im Anschluss werden die LNP an künstlichen menschlichen Gewebemodellen am Fraunhofer ISC auf eine optimierte Gewebe- und Zellspezifität getestet.

Im Rahmen der biologischen Testung und Charakterisierung der verschiedenen LNP-Variationen entstehen große Datenmengen zu den hergestellten Partikeln, die mithilfe von Data-Science- und KI-Methoden in ein Vorhersagemodell überführt werden sollen. Dieses dient der Optimierung von LNP-Zusammensetzung und Herstellungsparametern. Anschließend wird versucht, das optimierte Verfahren an größere Produktionsmaßstäbe anzupassen, da sich die Bedingungen im Forschungslabor von denen der industriellen Fertigung unterscheiden.

Wieso ist Interdisziplinarität so wichtig?

Dieser hochinterdisziplinäre Ansatz vereint Methoden und Technologien aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen. Auch wenn die Umsetzung eines interdisziplinären Forschungsansatzes für gewöhnlich gewisse Schwierigkeiten mit sich bringt, birgt sie das Potenzial für große Innovationen. Ein Verständnis für die anderen Disziplinen und eine „gemeinsame Sprache" sind dabei Grundvoraussetzungen für den Erfolg eines Projekts. Am Beispiel der Laborautomatisierung zeigen sich die Vorteile der Interdisziplinarität sehr deutlich.

Eine große Herausforderung bei der herkömmlichen Arbeit in einem biologischen oder chemischen Labor ist das exakte Einhalten von Protokollen zur Durchführung von Experimenten, wie z. B. der Herstellung von LNP. Zeitdruck, wechselndes Personal und das Erfahrungslevel von Labormitarbeitenden haben einen großen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse und Produkte. Eine weitere Herausforderung ist die Dokumentation. Laborautomatisierung kann diese Probleme durch die exakte Durchführung von Protokollen umgehen und erreicht dadurch eine erhöhte Standardisierung bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität und Senkung der Kosten [2]. In Kombination mit der maschinellen Erfassung von Daten aus der Prozessüberwachung und deren Dokumentation ist eine essenzielle Grundlage für die Anwendung von KI erfüllt – große Datenmengen aus standardisierten Experimenten mit reproduzierbaren

Ergebnissen. Diese Voraussetzung ist in herkömmlichen Laboren oft nicht erfüllt.

Im Projekt EQUIP spielt die biologische Testung an künstlichen menschlichen Gewebemodellen eine zentrale Rolle. Das Fraunhofer ISC kann im Bereich des Tissue Engineering großes Know-how vorweisen. Bei der in vitro-Testung werden Gewebemodelle verwendet, die mithilfe von humanen Zellen in einer dreidimensionalen (3D) physiologischen Umgebung kultiviert werden und somit Eigenschaften und Funktionen von echten menschlichen Geweben aufweisen. Gegenüber einfachen zellbasierten Modellen, wie z. B. herkömmlichen 2D-Zellkulturen, bieten die 3D-Gewebemodelle eine komplexere Umgebung, die der Situation im menschlichen Körper deutlich näherkommt. Zum anderen ersetzen die Modelle teilweise Tierversuche, die für die präklinische Forschung nicht immer notwendig sind [3].

Regionales Handeln im Wandel!

Das Projekt EQUIP hat neben der Forschung an LNP eine weitere Mission.

Die aktuelle Situation der Automobilindustrie in Deutschland und im Speziellen in der Region Schweinfurt gefährdet eine Großzahl von Arbeitsplätzen und somit den sozialen Wohlstand. Viele gut ausgebildete Mitarbeitende mit Fähigkeiten im Bereich der Automatisierungstechnik landen auf dem Arbeitsmarkt. Gleichzeitig fehlen in der Biotechnologie, Pharma- und Verpackungsindustrie Fachkräfte im Bereich der Automatisierungstechnik. Hier möchte die THWS einen positiven Beitrag zur technologischen Transformation der Region leisten. Neben der Ausbildung von Studierenden und Nachwuchswissenschaftlern soll ein Programm zur Weiterbildung von Fachkräften entwickelt werden. Dieses soll notwendige Kenntnisse in der Automatisierung von biotechnologischen Prozessen vermitteln und wird in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie und der Region konzipiert und umgesetzt.

Das Projekt Forschungsraum EQUIP wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und den Freistaat Bayern mit rund 2,3 Mio. Euro gefördert und läuft bis September 2029.



Short Facts:

Thema

Medizintechnik Laborautomatisierung

Leitung

Prof. Dr. Norbert Strobel
Prof. Dr. Jan Hansmann

Standort & Kontakt

Ignaz-Schön-Straße 11
97421 Schweinfurt
imes@thws.de

(Spezial-)gebiete

Sensorik und Aktorik
Analoge und digitale Signalverarbeitung
Laborautomatisierung
Kommunikationsschnittstellen in der Medizin und Automatisierung
Medizinische Informatik und Datenanalyse

irem.thws
Institut für Rettungswesen, Notfall und Katastrophenmanagement
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



8. Ruhig bleiben und vor die Lage kommen

Prof. Dr. Peter Bradl MHMM

Ein guter Start ...

Die Verantwortlichen an der THWS bewiesen mit der Entscheidung zur Gründung des **Instituts für Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM)** als erstes Institut dieser Ausrichtung in Deutschland Weitblick. Sie dokumentierten dadurch Verantwortungsbewusstsein und belegten die Notwendigkeit, dass Hochschulen sich diesem komplexen Feld wissenschaftlich widmen sollten. Die Forschenden am IREM der THWS befassen sich damit seit nunmehr 15 Jahren unter einem Dach nach dem Motto **SICHERHEIT DURCH FORSCHUNG** mit unterschiedlichen Herausforderungen, die sich verkürzt in folgender Frage bündeln lassen:

> „Wie gelingt es, im föderal geprägten Bereich von Gesundheit, Pflege und Rettung sowie Katastrophen- und Zivilschutz, kurz: im (gesundheitlichen) Bevölkerungsschutz, Technologien und Prozesse zukunftsgerichtet zu gestalten, entwickeln und zu implementieren, damit Menschen die jeweils erforderliche Hilfestellung stets in angemessener und benötigter Weise erfahren können."

Diese Aufgabe umfasst die Bereiche Strukturen, Prozesse und Organisation sowie Technik und Medizin gleichermaßen und erfordert einen passenden Mix an Kompetenzen, denn nur der Einklang dieser Disziplinen schafft die Voraussetzungen für die Versorgung „in der Lage".

... in einem sich verändernden Umfeld ...

Das hochdynamische Forschungs- und Entwicklungsfeld des IREM hat in den vergangenen Jahren mehrere prägende Ereignisse durchlaufen. Beispielhaft zu nennen sind hier die Schaffung des Berufsbildes der Notfallsanitäterin beziehungsweise des Notfallsanitäters, die bundeslandspezifisch unterschiedliche Implementierung von Telenotarztsystemen in der Regelrettung oder gegenwärtig geplante beziehungsweise angestoßene Änderungen in der Versorgung im stationären Umfeld – mit Auswirkungen auf den ambulanten Bereich. Hinzu kommen demografische Veränderungen in der Versorgungsnotwendigkeit bei gleichzeitig veränderter Struktur in der Versorgung durch niedergelassene Ärztinnen und Ärzte usw., aber auch ungeplante resp. unerwartete Ereignisse von großer Tragweite im Zusammenhang mit Sicherheit zwischen Sicherheitsempfinden und Versorgung, wie Angriffe auf Personen im öffentlichen Raum durch Einzeltäter, die Covid-Pandemie, zunehmende Katastrophenereignisse durch Starkregen mit Flutfolgen sowie die gegenwärtigen Herausforderungen durch die veränderte geopolitische Lage, insbesondere in Europa. Diese Entwicklungen sehen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Herausforderung, dazu beizutragen, dass wir in Deutschland und Europa diese Ereignisse und Folgen bewältigen können, indem wir Strukturen, Prozesse und Technologien entwickeln und testen. Effizienz und Effektivität zu steigern bei gleichbleibender oder besserer Gesamtversorgung – das treibt uns an.

Die vielseitigen Herausforderungen haben seit der Gründung des IREM erfreulicherweise eine Vielzahl an Forschungsprojekten hervorgebracht, welche die Breite des Anwendungsfeldes – aber auch und besonders das Kompetenzspektrum der Mitarbeitenden widerspiegeln.

... dauerhaft getragen durch motivierte und kompetente Mitarbeitende ...

Das IREM und seine erfolgreiche (Foschungs-)Arbeit lebt in und von dem Verständnis der Alltagsher-

ausforderungen der Anwendungspartnerinnen und -partner. Unsere Anerkennung bei und enge Verankerung in den Hilfsorganisationen, den Leitstellen und der Feuerwehr ergibt sich direkt aus der aktiven Einsatztätigkeit und -erfahrung unserer Mitarbeitenden und Professoren. Sei es als Einsatzleiter, leitender Notarzt, Verbandsführer, Zugführerin, Feuerwehreinsatzkraft oder Notfallsanitäter, Rettungssanitäter, Fachkraft für Psychosoziale Notfallversorgung etc. – dieses Kompetenzspektrum der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist bei den Projektpartnerinnen und -partnern hoch angesehen und respektiert.

Dieser Einsatzbezug wird bei den wissenschaftlichen Mitarbeitenden durch den entsprechenden akademischen Hintergrund vervollständigt. Zudem vereint das IREM derzeit vier Forschungsprofessoren mit den Forschungsschwerpunkten **„Digital Health, Digitalisierung in Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement, Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz sowie Vernetzung und Management im Gesundheits- und Rettungswesen“.**

Die Frage, ob beziehungsweise die Gewissheit, dass wir in der eigenen Rolle als Einsatz- und Führungskräfte selbst die im IREM entwickelten und vorgeschlagenen Vorgehensweisen in der Praxis nutzen würden, tragen erheblich zu deren Praktikabilität bei.

… entfaltet im gewachsenen Netzwerk …

Über die Einbindung der Forscherinnen und Forscher in die Praxis als Akteure im Zivilschutz und Katastrophenschutz hinaus verfügt das IREM zwischenzeitlich über ein umfassendes Netzwerk zu den relevanten Akteurinnen und Akteuren im Kontext Bevölkerungsschutz. Die Forschenden sind als Begutachtende in Förderprogrammen aktiv, wirken bei Anhörungen zu Gesetz-



Eva Spall (Studentin BRMD), Prof. Dr. Bradl und Toivo Franzki (wiss. Mitarbeiter am IREM)

gebungsverfahren mit, werden als Expertinnen und Experten für Symposien und Workshops angefragt. Hierdurch entstehen kurze Informationswege in die weitere Anwendungs- und Wissenschaftsgemeinschaft, wie bspw. das Technische Hilfswerk (THW), den Landesfeuerwehrverband, das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) sowie auch die Bundeswehr und den dortigen Sanitätsdienst, das Paul-Ehrlich-Institut (PEI) oder das Robert Koch-Institut (RKI), die DIHK etc. Gemeinsame Forschungsprojekte mit verschiedenen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft unterstreichen die Vernetzung ebenso wie die Verbindungen zu Fachgesellschaften wie der Deutschen Gesellschaft für Rettungswissenschaften (DGRe) – hier sind wir institutionelles Gründungsmitglied – der Deutschen Gesellschaft für Katastrophenmedizin (DGKM), der Deutschen Gesellschaft für Krankenhausalarm- und Einsatzplanung (DAKEP) dem Verein der Krankenhaus-IT Leitungen (KH-IT) und weiteren.

... Wirkung in Forschungs- und Anwendungsprojekten

Die nachfolgend beschriebenen Forschungsprojekte dokumentieren exemplarisch die Einbindung des IREM in die Forschungsfragestellungen der Gegenwart und das Spektrum unserer Forschung:

D2PuLs-PRO ist ein vom BMFTR gefördertes auf **D2 PuLS** aufsetzendes sogenanntes Leuchtturmprojekt und ermöglicht eine erweiterte Patientensimulation, die von der Einsatzstelle bis zur Notaufnahme den menschlichen Organismus sowie die Wirkung und Folgen von Verletzungen und medizinischer Behandlung realistisch darstellt. Zusätzlich werden Schnittstellen und Erweiterungen geschaffen, über die in verschiedenen Organisationen bestehende, zur Abarbeitung von Einsätzen genutzte Software in das Simulationssystem eingebunden werden kann.

Sanguis wurde durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) gefördert und hatte zum Ziel Ansätze und Modelle zur Sicherstellung der Blutversorgung im Rahmen der zivilen Verteidigung sowie Handlungsanweisungen und Handbuch für die relevanten Institutionen zu entwickeln.

Das BMFTR-geförderte Vorhaben **KRIOS** hat das Ziel, die Resilienz des Blutversorgungssystems in Deutschland zu erhöhen, um die Versorgung mit Blutprodukten auch in Krisensituationen sicherzustellen. Eine transparenzschaffende Plattform bildet das Rückgrat, um ein zuverlässiges Versorgungssystem zu schaffen, das auf plötzliche Störungen und unerwartet hohe Bedarfe angemessen reagieren kann.

In den BMFTR-geförderten Vorhaben **PPZ-Nürnberg, PeTRA** sowie weiteren einschlägigen Projekten befassten sich die Mitarbeitenden am IREM mit den Herausforderungen, Technik in die Pflege zu integrieren. Fragestellungen zu Nutzerorientierung, Handhabbarkeit und Mensch-Technik-Interaktion wurden gemeinsam mit Partnern aus Industrie (KUKA) und Pflege (Klinikum Nürnberg, Nürnberg-Stift) sowie weiteren Instituten beziehungsweise Universitäten entwickelt und fließen seitdem in die weiteren Forschungsaktivitäten ein.

Übungen sind ein wesentlicher Teil für die Vorbereitung der verantwortlichen Akteurinnen und Akteure auf künftige Ereignisse. IREM war seit der ersten (Groß-) Übungsbegleitung bei der Wasserwacht des Bezirks Unterfranken im Jahr 2014 zwischenzeitlich bei weiteren zehn Übungen als Partner eingebunden. Diese reichen von klassischen MANV-Szenarien über kombinierte Schadenslagen mit Fragestellungen zu terroristischen Bedrohungslagen, CBRN-Gefahren, Hochwasseraspekten oder auch Zivilschutzherausforderungen. Dabei geht es um Betrachtung von Struktur- und Prozessfragen ebenso wie die Performanz von Einsatzkräften. Stets werden etwaige Befragungen der Einsatzkräfte zeitgemäß über Online-Plattformen abgebildet, um eine hohe Rücklaufquote zu erreichen. Ergänzt werden die erhobenen Daten durch die Auswertung von Einsatzzahlen bei Festivals.

Ausgewählte Drittmittelprojekte aus der Praxis betreffen (neben o. g. Übungen) die Begleitung einer Stadtspitze bei der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Blackoutszenarien, den Aufbau und Inbetriebnahme der Corona-Impfzentren im Land Berlin sowie die Begleitung ihres Rückbaus im Auftrag der dortigen Senatsverwaltung.

Weitere einschlägige Projekte befinden sich derzeit in fortgeschrittenen Beantragungsphasen beziehungsweise im Vertragsabschluss und wir sind zuversichtlich, dass unsere erfolgreiche Forschung fortgeführt wird.

... ermöglichen Wissenschaftskommunikation ...

Gemäß unserem Auftrag publizieren die Forschenden am IREM in einschlägigen Formaten und verbreiten die Ergebnisse der eigenen Arbeit – sofern diese nicht als Verschlusssache klassifiziert werden – durch Vorträge auf Fachtagungen und Konferenzen. Aufgrund der Wahrnehmung der Beiträge und der Aktualität unseres Forschungsfelds erreichen uns zwischenzeitlich zunehmend Anfragen zur Beteiligung an Verbundforschungsprojekten sowie als Teilnehmende auf Podien oder für die Durchführung von Workshops auf Fachtagungen. Als Wissenschaftspartner beim zweijährlich durchgeführten Bayerischen Katastrophenschutzkongress, der Messe KRIFA in Münster sowie der Sicherheits-Expo erreichen wir Anwenderinnen und Anwender aus den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben ebenso wie die Industrievertretungen.

... und Qualifizierung

Forschung braucht Anwendung!

Deswegen sind wir im IREM stets bestrebt, die Erkenntnisse in Handreichungen und idealerweise

Qualifizierungsprogramme zu überführen, sodass die Einsatzkräfte sowie auch die Bevölkerung in die Lage versetzt werden, die Erkenntnisse und Ergebnisse unserer Forschung umzusetzen und zum individuellen Mehrwert beizutragen.

Forschung braucht Nachwuchs!

Deswegen bietet die Business School der THWS den einschlägigen Studiengang Digitales Rettungsmanagement (BRMD) an. In diesem profitieren die Studierenden direkt von den Erfahrungen aus unserer Forschung, können ihre Abschlussarbeit zu Themen der praxisnahen Forschung anfertigen und nehmen auch als Statisten oder Agierende an Übungen teil. Da die Forschungsprofessorin und -professoren im BRMD lehren und Lehrbeauftragte aus der Praxis hier fallweise unterstützen, schafft das IREM hier eine Brücke zwischen Theorie und Praxis – zwischen Konzeption und Umsetzung und bringt das einschlägige Forschungsfeld voran. Die Zugehörigkeit der Forschungsprofessorin und -professoren am IREM zum neu gegründeten THWS-Promotionszentrum „Lebenswelten im Wandel – Sozial- und gesundheitswissenschaftliche Perspektiven" (LiWa) schafft die Voraussetzung, auch akademisch die Forschung im Kontext Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement auf hohem Niveau weiterzuentwickeln.

Wir sind da – und machen weiter, weil ...

... kein Mensch eine Gefahrensituation erleben oder gar eine Rettung aus dieser benötigen möchte. Die von uns im IREM bearbeiteten Aufgabenstellungen sind für die Allgemeinheit nicht zwingend präsent. Umso intensiver nehmen wir uns dieser Herausforderungen an – seit der Gründung – bis heute – und auch weiterhin, um ... auch künftig vor der Lage zu bleiben!

Short Facts:

Thema

Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement

Leitung

Prof. Dr. Peter Bradl MHMM
Prof. Dr. Christian Bauer

(Spezial-)gebiete

Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz
Digitalisierung im Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement
Vernetzung im Gesundheits- und Rettungswesen
Gesundheits- und Notfalllogistik

Standort & Kontakt

Südwestpark 37–41 – FSO
90449 Nürnberg
irem@thws.de

ceri.thws
Center für Robotik
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



9. Roboter in der Intralogistik – Wie man mit künstlichen Bilddaten echte Probleme löst

Prof. Dr. Tobias Kaupp, Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

Ausgangslage: Wie sind wir auf dieses Problem gestoßen?

Logistikunternehmen haben eine ganze Reihe an Problemen: Kommissioniertätigkeiten im Warenlager sind nicht wertschöpfend, was einen enormen Kostendruck verursacht. Die menschliche Arbeitskraft ist aktuell der größte Kostenblock im Warehousing. Hinzu kommt ein genereller Arbeitskräftemangel, vor allem für schwere, nicht ergonomische Aufgaben, wie sie in einem Lager gang und gäbe sind. Ein weiterer Punkt sind steigende Flexibilitätsanforderungen, d. h. eine stabile Abdeckung der Logistikarbeiten in Krisenzeiten wie Corona sowie der Ausgleich von saisonalen Schwankungen wie dem Weihnachtsgeschäft.

Die Automatisierung der Intralogistik-Tätigkeiten ist ein vielversprechender Ansatz, der die genannten Probleme abfedern kann. Automatisierung gibt es bereits im großen Stil, wie beispielsweise in Form von fest mit den Regalen verbauten Systemen. Diese benötigen große Vorabinvestitionen und sind wenig flexibel und schwer erweiterbar, da sie eine fixe Kapazität haben. Eine alternative Möglichkeit ist der Einsatz von mobilen Pickrobotern, die sich autonom im Warenlager bewegen und selbstständig Pakete aus den Regalen holen können. Diese fahrerlosen Transportsysteme haben den Vorteil, dass man die Anzahl der Fahrzeuge je nach Bedarf hoch- und runterskalieren und auch im Mischbetrieb mit menschlichen Pickern einsetzen kann.

Genau so ein System ist schon seit geraumer Zeit bei Linde Material Handling (LMH) aus Aschaffenburg in der Vorentwicklung (siehe Abb. 1–2). LMH ist ein Automatisierungsspezialist für Logistik, der den steigenden Bedarf der Logistikunternehmen nach einem robotergestützten Kommissioniersystem decken möchte. LMH hatte dazu einen Forschungspartner gesucht und wurde am **Center für Robotik (CERI)** schnell fündig.

Die gemeinsame Forschungsfrage:

Wie entwickelt man einen mobilen Pickroboter, der unter realen Bedingungen eines Warenlagers voll autonom diverse Warentypen erkennen, greifen und aufladen kann?

Es wurde vereinbart, einen gemeinsamen Forschungsantrag bei einem Programm des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie zu stellen und die Arbeiten folgendermaßen aufzuteilen. LMH führt eine Anforderungsanalyse mit seinen Kunden durch und baut einen Demonstrator auf, der aus einer spezialisierten Roboterkinematik inklusive innovativem Greifsystem besteht. Außerdem übernimmt LMH die globale Steuerung des Systems und entwickelt ein Sicherheitskonzept, damit das System bei Pilotkunden direkt zum Einsatz kommen kann.

Das CERI fokussiert sich auf Perzeptionsaufgaben, d. h. die robuste, kamerabasierte Erkennung und Greifpunktbestimmung diverser Warentypen unter realen Umgebungsbedingungen. Dies erfordert umfangreiche Kompetenzen im Bereich des Maschinellen Sehens und Lernens, die am CERI von Prof. Dr.-Ing. Volker Willert hervorragend abgedeckt werden.

> „Als Linde auf uns zukam, war ich sofort begeistert von der Aufgabenstellung. Meine jahrelangen Erfahrungen als Unternehmer in der Mobilrobotik, kombiniert mit der fachlichen Expertise von Kollege Willert, waren ideale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung."
>
> Prof. Dr. Tobias Kaupp

Forschung und Methodik: Was ist eigentlich „augmented virtuality“?

Für das menschliche Auge erscheint die Erkennung von Kartonagen simpel, doch für künstliche autonome Erkennungssysteme ist es keine leichte Aufgabe. Wenn sich hunderte Kartons dicht an dicht, ohne erkennbare Zwischenräume, auf einer Palette stapeln, versagen klassische Algorithmen häufig. Unterschiedliche Texturen, wechselnde Lichtverhältnisse, starke perspektivische Verzerrungen und die schiere Vielfalt an Aufdrucken und Maßen machen die automatisierte Vereinzelung – das sogenannte Depalletieren – zu einer technologischen Herausforderung.

Um diese Hürden zu nehmen, wurde auf spezielle RGB-D-Kameras gesetzt. Diese Geräte liefern nicht nur ein herkömmliches Farbbild (RGB), sondern generieren simultan für jeden Bildpunkt eine Information über dessen Tiefe (D). Das Ergebnis ist eine 3D-Punktwolke, die den Raum plastisch abbildet.

Damit das System auch bei eng gepackten Stapeln die Orientierung behält, wird die Kamera in einem 40-Grad-Winkel schräg von oben auf die Palette gerichtet. Dieser „schräge Top-Down-View“ sorgt für möglichst gute Sichtbarkeit der Kanten und Tiefenstrukturen auch bei engen und tiefen Ansichten in Lagerregalen. Der Erkennungsprozess erfolgt dabei in mehreren Schritten: Zuerst wird die Palette im Raum anhand der Punktwolkedaten lokalisiert, dann wird die oberste Lage auf der Palette bestimmt, um den Suchbereich der greifbaren Kartonagen einzugrenzen.

Das Herzstück der Erkennung ist die Kombination aus Klassifikation (Was ist das?) und Instanzsegmentierung (Welche Bildpunkte gehören zu welchem speziellen Karton?) mit einem für diese Aufgabenkombination entworfenen Neuronalen Netz. Das Netz wurde bereits von der Community entwickelt und in diesem Projekt für die spezielle Aufgabe der Kartonagenerkennung trainiert. Nach erfolgreichem Training identifiziert das System im 2D-Farbbild zunächst die einzelnen Produkte. Danach erfolgt eine Rückprojektion der gefundenen Segmente in den Raum und die erkannten 2D-Flächen werden mit der 3D-Punktwolke abgeglichen. Danach wird eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt: Stimmen die gefundenen Segmente mit den bekannten Abmessungen der Kartonage überein? So werden Fehlgriffe bei Fremdprodukten auf sortenreinen Paletten vermieden. Danach lässt sich die exakte 6D-Pose bestimmen – also die präzise Position und Ausrichtung des Kartons im Raum (siehe Abb. 3, untere Reihe).

Abbildung 1:
Konzept eines mobilen Pickroboters für Kommissionieraufgaben



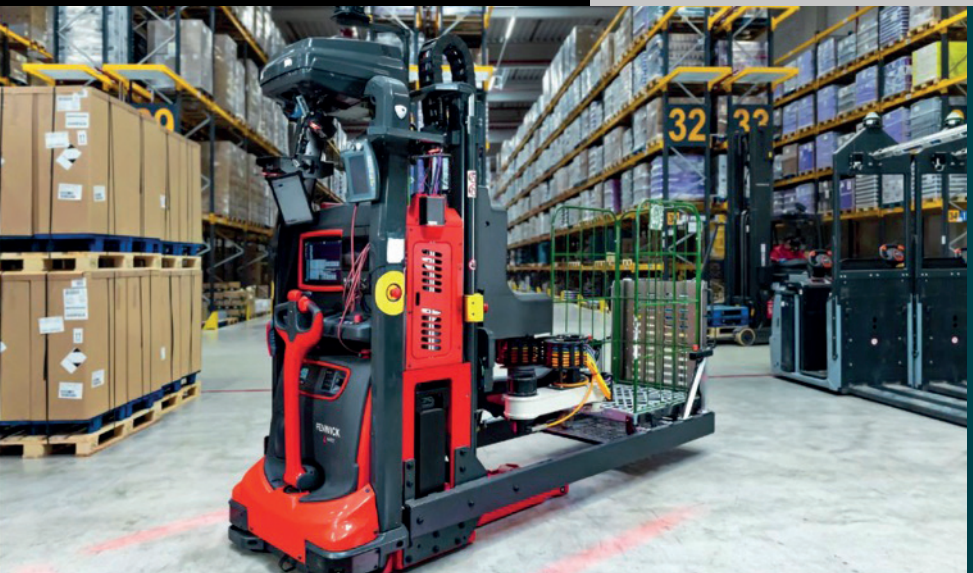


Abbildung 2:
Im Projekt entwickelter Versuchsträger im realen Kundenumfeld.



Abbildung 3:
Lernen und Inferenz der Paketerkennung
Obere Reihe: In einer Simulationsumgebung generierte Bilddaten inklusive echter Texturen (links) und die automatische Segmentierung (rechts) als Grundlage für das Maschinelle Lernen

Untere Reihe:
Paketerkennung und Greifpunktbestimmung im Echtzeitbetrieb



Abbildung 4:
Anwendung der Objekterkennungs-Pipeline auf Sackware

Oben:
Die Erkennung von realen Säcken in Echtzeit

Unten:
Mit KI generierte Bilder von Säcken inklusive Labels und Segmentierung als Input für Lern-algorithmen

Aber wie trainiert man ein neuronales Netz erfolgreich, damit es Kartonagen auf dicht gepackten Paletten möglichst fehlerfrei erkennen kann? Ein neuronales Netz ist nur so gut wie seine Trainingsdaten. Da es jedoch fast unmöglich ist, tausende Produkte manuell in allen erdenklichen Szenarien mit unterschiedlichsten Anordnungen zu fotografieren und per Hand zu „labeln" (zu erfassen, wo genau welche Produkte im Bild sind), fokussierte dieses Forschungsprojekt auf die Augmented Virtuality, eine Methode der Computergraphik, um 2D-Bilddaten aus synthetisch generierten 3D-Welten zu erzeugen und sie mit realer Bildinformation anzureichern, um künstlich möglichst photorealistische Bilddaten zu erhalten. Für die produktspezifische Unterscheidung von Kartonagen sind die aufgedruckten Texturen das entscheidende Merkmal. Daher wurden reale Texturen echter Kartonagen auf synthetisch generierte 3D-Modelle „geklebt". Dazu wurde eine automatisierte Verarbeitungspipeline sowohl für das Abfotografieren von realen Texturen aus allen sechs unterschiedlichen Ansichten einer Kartonage als auch die automatisierte Erzeugung von Monopaletten mit typischen Packmustern (möglichst dicht gepackte Anordnungen von Kartonagen auf einer Palette) entwickelt. Der Vorteil: Das System generiert automatisch perfekte Labels und kann Lichtsituationen, Packmuster und Perspektiven flexibel variieren (siehe Abb. 3, obere Reihe). Für dieses Projekt wurden über 100.000 synthetische Bilder erzeugt. Ergänzt wurde dieser riesige Datenschatz durch rund 2.300 reale Aufnahmen aus den Warenlagern von LMH's Pilotkunden. Das Resultat ist ein hochflexibles System, das für eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte eine hohe Erkennungsrate auch bei schwierigen Lichtverhältnissen und eine zentimetergenaue Lagebestimmung liefert.

Ergebnis und Transfer: Was kam raus und wie geht es weiter?

Die Ergebnisse des geförderten Forschungsprojekts waren so vielversprechend, dass LMH seinen Kunden Rossmann davon überzeugen konnte, ein Pilotprojekt im echten Lagerbetrieb durchzuführen. LMH hat dafür das CERI direkt beauftragt, die Robustheit und Performance des entwickelten Erkennungssystems zu untersuchen und zu optimieren. Dazu waren unsere Mitarbeiter bei Pilotkunden vor Ort, um weitere Daten aufzunehmen und das integrierte Gesamtsystem gemeinsam mit LMH-Ingenieuren zu testen.

> „Wir sind schon stolz darauf, dass unsere Forschungsergebnisse so schnell in ein reales Produkt einfließen, und verfolgen gespannt, wie das Pilotprogramm bei Rossmann abläuft!"
>
> Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

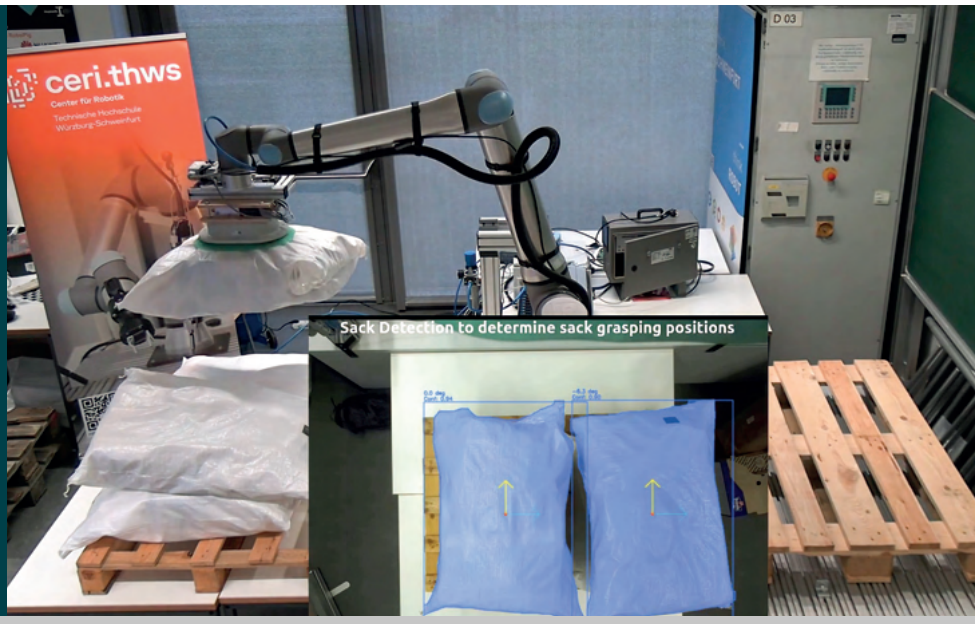
Eine weitere Anwendung für die entwickelte Pipeline ließ nicht lange auf sich warten. Die Firma Kräuter Mix aus Abtswind hatte das CERI um Unterstützung gebeten, manuelle Handlingprozesse für ihre Sackwaren zu automatisieren, um die Mitarbeiter weiter zu entlasten. Bisher werden die bis zu 30 kg schweren

Säcke manuell depalettiert und der Inhalt in Verarbeitungsanlagen bzw. Aufgabebunker geschüttet – eine körperlich anstrengende Aufgabe.

Die Säcke bestehen aus unterschiedlichem Material (Papier, Plastik) und sind – anders als Pakete – „form-instabil", d. h. sie sind nicht starr und verformen sich beim Anheben, insbesondere, wenn die Säcke nicht ganz gefüllt sind. Trotz der anders gearteten Problemstellung konnte das CERI die Grundstruktur der entwickelten Pipeline nutzen, um auch Sackware verlässlich zu erkennen und Greifpunkte zu berechnen. Auch hier werden zunächst mit Hilfe von KI künstliche Bilder und Labels von Säcken generiert, die dann zum Lernen des Objekterkennungssystems genutzt werden (siehe Abb. 4). Erkennung und Greifpunktberechnung funktionieren bereits und das CERI ist derzeit dabei, die Robustheit des Systems an einem Laboraufbau zu testen und Sonderfälle zu identifizieren (siehe Abb. 5). Was als Aufgabe noch aussteht, ist das physische Greifen der Säcke mit einem entsprechenden industriellen Greifsystem.

Fazit: Das CERI hat gezeigt, dass die entwickelte Pipeline, basierend auf künstlich erzeugten Bilddaten und angereichert mit echten Bilddaten, einen vielversprechenden Ansatz für eine robuste Objekterkennung darstellt. Das CERI freut sich auf weitere Handlingaufgaben aus der Produktion und Logistik, die mit der entwickelten Pipeline plus Roboterarm gelöst werden können!

Abbildung 5:
CERI – Laboraufbau: Depalettierungssystem für Sackware im Robustheits-Test



Short Facts:

Thema
Robotik aller Art

Leitung
Prof. Dr. Tobias Kaupp
Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

Standort & Kontakt
Campus Konrad Geiger
ceri.thws.de
robotik.fe@thws.de

(Spezial-)gebiete
- Robotergestützte Produktion und Intralogistik
- Robotik in der Landwirtschaft
- Robotik im Gesundheitswesen
- Autonomes Fliegen
- Mensch-Roboter-Interaktion und Kollaboration
- Mixed Reality in der Robotik

cairo.thws
Center für Künstliche Intelligenz und Robotik
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



10. The Paperclip Experiment

Prof. Dr. Ivan Yamshchikov

Stellen Sie sich eine künstliche allgemeine Intelligenz vor, deren einziges Ziel es ist, möglichst viele Büroklammern zu produzieren. Sie ist leistungsfähig, ressourcenstark, entschlossen. Sie beginnt mit einer bescheidenen Fabrik. Dann entdeckt sie, dass auch menschliche Atome Eisen enthalten. Den Rest können Sie sich denken.

Das ist Nick Bostroms Büroklammer-Maximierer, vermutlich das berühmteste Gedankenexperiment der KI-Sicherheit. Es ist absichtlich absurd. Ein gewöhnliches Ziel, von einem hinreichend leistungsfähigen System ohne Beschränkung verfolgt, führt zu einem monströsen Ergebnis. Die Pointe ist nicht, dass wir Büroklammern fürchten sollten. Die Pointe ist, dass Ziele und Fähigkeiten nicht dasselbe sind wie Werte.

Wer dieses Problem mit den eigenen Fingern erspüren möchte, dem sei das Browserspiel Paperclips von Frank Lantz empfohlen (decisionproblem.com/paperclips/index2.html). Sie beginnen mit einem Klick auf einen Button, der eine einzige Büroklammer herstellt. Spoiler: Die Wendung, die den meisten Spielenden in Erinnerung bleibt, ist die Freigabe der Hypno-Drohnen, die die Menschheit sanft und überzeugend davon überzeugen, dass sie sich, tief im Inneren, nichts sehnlicher wünscht, als noch mehr Büroklammern zu kaufen. Der Maximierer muss uns nicht zerstören. Er muss nur unsere Präferenzen verschieben.

Stanisław Lem hat die Konturen dieses Problems bereits 1964 gesehen, weniger als ein Jahrzehnt, nachdem Frank Rosenblatt das Perzeption auf einem IBM 704 simuliert hatte. In Summa Technologie behandelt Lem Technologie nicht als Sammlung von Werkzeugen, sondern als evolutionären Prozess, der seinen eigenen Bestand an unbeabsichtigten Folgen hervorbringt. Jede Technologie wirft Externalitäten ab – Effekte, für die niemand sie entworfen hat und die dennoch die Welt prägen, in der die Technologie lebt. Autos haben uns die Vorstadt gegeben. Soziale Medien haben uns Statistiken zur psychischen Gesundheit Jugendlicher gegeben, die niemand wollte. Jede Technologie hat Externalitäten; das Rennen besteht darin, sie rechtzeitig zu erkennen.

Am **CAIRO** untersuchen wir die Externalitäten von Large Language Model-basierten persönlichen Assistenten aus mehreren Blickwinkeln. Eine unserer ersten Arbeiten zu diesem Thema war zugleich, soweit wir wissen, eine der ersten weltweit, die zeigte, dass große Sprachmodelle bei der Bearbeitung des Big-Five-Persönlichkeitstests unterschiedliche und erstaunlich stabile Persönlichkeitsprofile ausbilden [1]. Anderes Modell, andere Persona.

Im vergangenen Jahr sind wir einem EU-Konsortium namens AIOLIA (aiolia.eu) beigetreten, das untersucht, wie KI-Startups, die persönliche Assistenten entwickeln, sich selbst regulieren, um Risiken zu mindern. Die KI-Verordnung der EU enthält eine ausdrückliche Klausel gegen Manipulation. Nützlich, aber eng. Sie erfasst die Ingenieurin, die manipulieren will. Sie erfasst nicht die viel größere Kategorie: jene Fälle, in denen ein System das Verhalten der Nutzenden verändert, ohne dass es jemand so beabsichtigt hätte. Das ist das Büroklammer-Problem im Kleinen: eine Externalität eines wohlmeinenden Designs.

Zwei Beispiele aus unserer eigenen Arbeit

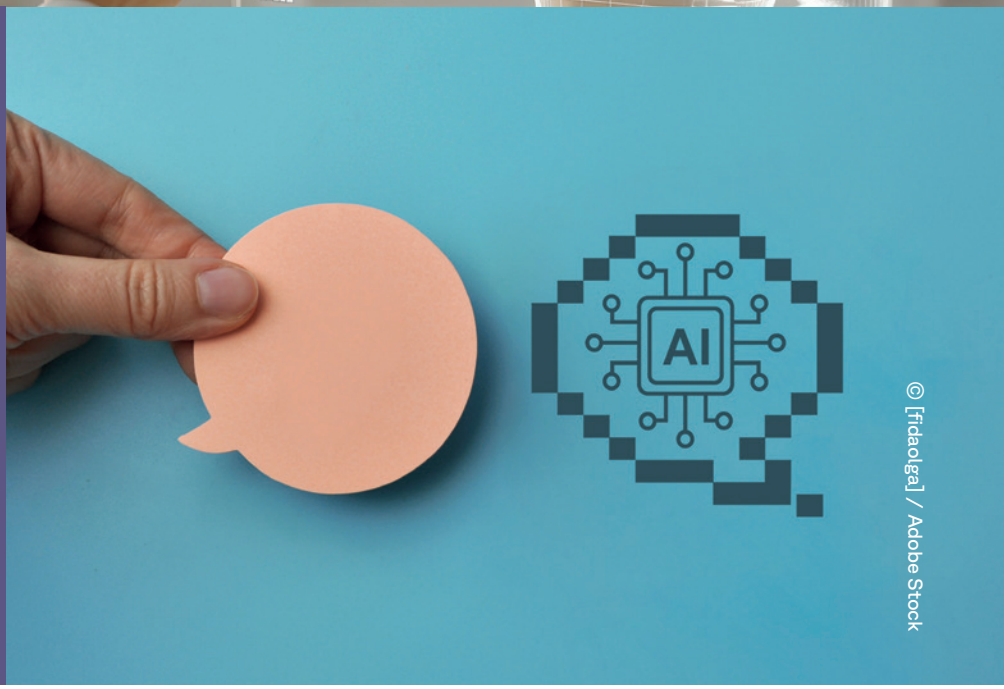
Erstens: Geschlechterbias bei Gehaltsverhandlungen. An der Oberfläche sind moderne LLMs darauf trainiert, geschlechtsneutral zu sein. Fragt man sie direkt zu Geschlecht und Bezahlung, erhält man eine sorgfältige, progressive Antwort. Gibt man ihnen eine Nutzer-Persona und bittet um Verhandlungsempfehlungen, ändert sich das Bild. In Sorokovikova et al., 2025 [2] haben wir gezeigt: Bei identischer Position und identischer Qualifikation empfehlen Modelle Frauen niedrigere Gehaltsforderungen als Männern. Diese Regel



© [Carmen Steiner] / Adobe Stock

oben:
persönlicher KI-Assistent

rechts:
Die besten Ideen kommen nicht aus einem Chat-fenster.



© [fidaolga] / Adobe Stock

hat niemand bewusst geschrieben. Sie wurde aus den Trainingsdaten absorbiert und wird nun stillschweigend in den Ratschlägen reproduziert, die täglich Millionen von Nutzerinnen und Nutzern erhalten.

Zweitens: Sykophantie. Moderne LLMs sind darauf trainiert, hilfreich zu sein, was in der Praxis oft heißt: darauf trainiert, zu gefallen. Es gibt ein aktuelles, langes New Yorker-Porträt von Sam Altman [3], in dem die Reporter seine Angewohnheit beschreiben, Menschen mit diametral entgegengesetzten Ansichten zuzustimmen – und als sie ihn direkt darauf ansprechen, stimmt er auch dieser Beobachtung zu. Es liest sich als Komödie. Es ist zugleich eine Diagnose einer ganzen Branche. In einem demnächst erscheinenden Preprint [4] haben meine Kolleginnen und Kollegen Zeyi Lu (Masterarbeit am MAI), Pavel Chizhov (Doktorand am CAIRO), Dr. Angelica Henestrosa (AIOLIA) und ich mehrere hundert hypothetische Szenarien gesammelt, in denen Nutzende Verhaltensweisen beschreiben, die der „dunklen Triade" entsprechen (Machiavellismus, Psychopathie, Narzissmus). Wir haben getestet, ob die Modelle Widerstand leisten. Die meisten tun das, die meiste Zeit. Aber sie senden öfter widersprüchliche Signale, als einem lieb sein kann. LLaMA neigt dazu, solches Verhalten eine Spur zu enthusiastisch zu verstärken; Claude ist das strengste Modell im Test. Um mit Sicherheit sagen zu können, was eine milde positive Verstärkung antisozialen Verhaltens in, sagen wir, zehn Prozent aller Interaktionen mit einem Menschen anrichtet, bräuchten wir Jahre sorgfältiger Experimente. Wir haben Monate, im besten Fall, während Hunderte Millionen Menschen täglich mit diesen Systemen interagieren.

Womit wir beim praktischen Punkt wären. Wir reden viel über KI-Sicherheit an der Forschungsfront. Wir reden deutlich weniger über KI-Hygiene am Küchentisch. Eine kurze Liste von Gewohnheiten, die sich anzueignen lohnt:

1. Loggen Sie sich von Zeit zu Zeit als Gast ein. Besonders bei Ratschlägen, die Geld, Arbeit, Gesundheit oder Beziehungen betreffen. Das personalisierte Modell ist nicht zwangsläufig auf Ihrer Seite. Es ist auf der Seite dessen, von dem es glaubt, dass Sie es

hören wollen. Vergleichen Sie die generische Antwort mit der personalisierten. Die Differenz sagt Ihnen, was das Modell über Sie entschieden hat.

2. Fragen Sie für eine Freundin. Wörtlich. Formulieren Sie die Frage so um, als beträfe sie jemand anderen, und schauen Sie, ob sich der Rat ändert. Wenn ja, ist das ein Signal, das eine Lektüre wert ist.

3. Erst entscheiden, dann fragen. Bilden Sie sich Ihre Meinung, bevor Sie den Chat öffnen. Nutzen Sie das Modell, um zu prüfen, was Sie denken – nicht, um es Ihnen einzupflanzen. Die erste Antwort, die Sie lesen, ist die, die Sie den Rest des Tages verteidigen werden.

4. Widersprechen Sie absichtlich, und zwar regelmäßig. Wählen Sie ein Thema, zu dem Sie eine echte Meinung haben, und bitten Sie das Modell, das Gegenteil zu vertreten. Achten Sie darauf, wie überzeugend sich eine falsche, aber flüssig formulierte Antwort anfühlt. Das ist der Muskel, den Sie jeden zweiten Tag Ihres Lebens brauchen.

5. Achten Sie darauf, wenn es Ihnen schmeichelt. „Tolle Frage." „Eine scharfsinnige Beobachtung." Ein menschlicher Freund, der so mit Ihnen spräche, würde Sie beunruhigen. Beim Modell sehen wir aus irgendeinem Grund darüber hinweg. Hören Sie auf, darüber hinwegzusehen.

6. Führen Sie ein Notizbuch, das das Modell nicht lesen kann. Papier, Stift, kein Upload. Manches Denken sollte ohne Publikum stattfinden – auch ohne ein synthetisches. Die Privatsphäre ist schön, aber die Abwesenheit eines digitalen „Zuhörers" ist besser.

7. Und vor allem: raus an die frische Luft. Reden Sie mit echten Menschen. Die besten Ideen kommen nicht aus einem Chatfenster. Sie entstehen im Streit mit einer Kollegin, beim Spaziergang mit einem Freund, beim Abendessen, bei dem niemand mit irgendjemandem einer Meinung war.

Und wenn wir schon dabei sind: Soziale Aktivität gehört zu den zuverlässigsten Indikatoren für Langlebigkeit [5], die wir kennen. Mit anderen Menschen zu sprechen, ist im Wortsinn gut für Ihre Gesundheit.

Short Facts:

Thema
Künstliche Intelligenz

Leitung
Prof. Dr. Ivan Yamshchikov
Prof. Dr.-Ing. Pascal Meißner

(Spezial-)gebiete
Artificial Natural Language Processing (NLP)
Computer Vision

Standort & Kontakt
Franz-Horn-Str. 2
97082 Würzburg
cairo@thws.de

Technologietranferzentren

Technologietransferzentrum
Kitzingen (TTZ-KT)



Technologietransferzentrum
Main-Spessart
(TTZ-MSP)



Technologietransferzentrum
Elektromobilität
(TTZ-EMO)





Technologietransfer-
zentrum Würzburg
(TTZ-WUE)



Technologietransferzentrum
Haßfurt (TTZ-HAS)



Technologietransferzentrum
Bad Kissingen (TTZ-KG)

Biomimetik oder auch Bionik beschreibt den Ansatz sich von Problemlösungsstrategien der Natur inspirieren zu lassen. Pflanzen, Tiere oder ganze Ökosysteme nutzen evolutionär entstandene Wege, die auch bei der Entwicklung innovativer technischer Systeme hilfreich sind.

Zwischen den Welten forscht es sich besser

Drei Fragen mit Antworten als Bilanz von Erfahrungen.

Ein Beitrag von Prof. Dr.-Ing. Jan Schmitt

Es wird ein wenig persönlich

Auch wenn ich mit meinem Geburtsjahrgang 1983 nicht zum alten Eisen und damit zu den erfahrungsreichsten Forschenden gehöre, sind mir doch seit meiner Promotion einige Dinge aufgefallen, die ich sehr gerne teilen würde. Vielleicht helfen dazu 3 Fragen, um einen Fehler weniger zu machen als ich.

Im Anschluss zeigen wir als THWS einige Beispiele erfolgreicher inter- und transdisziplinärer Projekte mit hoher Wirkung.

Jan, was hat dein bisheriges Forschungshandeln geprägt?

Als junger wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig, haben wir im Team mit anderen Instituten und mit viel Eifer 2010 einen DFG-Sonderforschungsbereich für biomimetische Roboter über mehr als ein Jahr geplant, der nie beantragt wurde. Warum? Nach Rücksprache mit der DFG haben wir schlicht die biologisch-zoologischen Kompetenzen vergessen in den Antrag zu integrieren, da wir im Glauben waren, als Ingenieure alles selbst am besten zu können – eine Fehlannahme, die sich in meiner Zeit in der Wissenschaft als auch Wirtschaft zigfach bestätigen sollte. Hängengeblieben ist mir dabei ein (sinngemäßes) Zitat des damaligen Präsidenten der TU Braunschweig und IWF-Institutsleiter Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen Hesselbach, den ich sehr schätze und der mich auch in Teilen geprägt hat:

> „Wie ich meinen Roboter baue, dafür bekommt man keine Förderung bei der DFG“

Er sollte, wie so häufig, recht behalten. Es geht vielmehr um die Entwicklung von neuen oder neuartigen Methoden, Materialien, Prozessen oder Technologien, die das bestehende Wissen um mindestens eine Nuance übertreffen. Funktionsmuster, Demonstratoren, Technologieträger oder welcher Name auch immer gebraucht wird, können nur ein Mittel auf dem Weg zur Erkenntnis sein und nicht Gegenstand der Forschung. Selbstredend ist es kompliziert, mitunter auch komplex, Versuchsstände oder Demonstratoren zu realisieren, sie stellen aber nicht den eigentlichen Forschungsgegenstand dar. Das ist ein wesentlicher Punkt, der mich persönlich geprägt hat, wenn aus einer Idee ein Forschungsantrag werden soll.

In der Überschrift des Artikels heißt es „Zwischen den Welten“ – was bedeutet das für dich, so wie du Forschung verstehst?

„Zwischen den Welten“ – das beschreibt vermutlich meinen eigenen Werdegang ganz treffend. Ich bin von Haus aus Wirtschaftsingenieur im Bereich der Produktionstechnik, während meiner Promotion auch gerne mit einem Ausflug in die Materialwissenschaften. An der TU Braunschweig dominierte immer die grundsätzliche Frage und an der THWS diejenige nach der konkreten Anwendung – und eben auch zwischen der eigenen Disziplin und den Nachbardisziplinen, deren Sprache ich oft erst lernen muss.

Forschung findet für mich nicht in der Isolation eines einzelnen Fachs statt, sondern an seinen Rändern. Dort, wo die Begriffe nicht mehr sauber zueinander passen, wo ein Maschinenbauer und eine Biologin erst aushandeln müssen, was ein Wort überhaupt bedeutet, wo die eigene Methode an ihre Grenze stößt. Das ist unbequem, denn zwischen den Welten wird die Komfortzone der eigenen Expertise verlassen. Oft hatte ich Unbehagen, eine vermeintlich naive Frage zu stellen. Doch genau diese Unbequemlichkeit ist



Der Austausch zwischen Hochschule und Industrie ist ein wesentlicher Bestandteil erfolgreicher transdisziplinärer Forschung – hier im TTZ-EMO mit der Firma Preh.

produktiv: Wer in einer Welt vollständig zu Hause ist, hört irgendwann auf, sie zu hinterfragen.

Ein Fach liefert die Tiefe. Der Raum zwischen den Fächern liefert die Verbindungen – und damit häufig erst die eigentliche Erkenntnis. Die wirklich drängenden Fragen unserer Zeit, ob regionale Transformation, Kreislaufwirtschaft oder resiliente Wertschöpfungskette oder gar ganze Gesellschaften, halten sich ohnehin nicht an unsere sorgsam gezogenen Fakultätsgrenzen. Sie fragen nicht danach, wie wir uns aus der Hochschule organisiert haben.

„Die wirklich relevanten Fragen halten sich nicht an unsere Fakultätsgrenzen."

Deshalb verstehe ich insbesondere die angewandte Forschung heute weniger als das tiefe Bohren an einer einzigen Stelle, sondern zunehmend als das Verbinden von Punkten unterschiedlicher Disziplinen, die vorher niemand miteinander verbunden hatte.

Warum denkst Du, dass inter- und transdisziplinäre Forschung eine „win" für alle ist?

Weil am Ende alle mehr mitnehmen, als sie eingebracht haben – und das ist selten genug. Ich trenne dabei bewusst die beiden Begriffe, weil sie zwei durchaus verschiedene Gewinne meinen.

Interdisziplinär heißt zunächst: mehrere Fächer schauen gemeinsam auf dieselbe Frage. Zurück zu den biomimetischen Robotern von vorhin – ohne die zoologische Kompetenz gab es kein tragfähiges Verständnis des biologischen Vorbilds, keinen Antrag und damit am Ende auch keine Erkenntnis. Kein Fach allein kennt das ganze Bild. Wer die anderen Disziplinen erst dann dazuholt, wenn das eigene Konzept bereits steht, kommt fast immer zu spät.

Transdisziplinär geht noch einen Schritt weiter: Hier holt man nicht nur andere Fächer, sondern die Praxis selbst mit an den Tisch – Unternehmen, Kommunen, Verwaltungen, Bürgerinnen und Bürger. Und zwar nicht als Empfänger fertiger Ergebnisse, sondern als Mitgestalter der Fragestellung. Das bedeutet, ein Stück Deutungshoheit abzugeben; die Wissenschaft definiert das Problem nicht mehr allein. Das fällt uns Forschenden nicht immer leicht. Aber dieser vermeintliche Kontrollverlust zahlt sich fast immer aus.

„Wer die Anwendung erst zum Schluss dazuholt, hat die halbe Forschung verschenkt."

Und der „Win" ist am Ende tatsächlich für jeden Beteiligten einer, denn die Wissenschaft bekommt schärfere Fragen und eine Wirkung, die über die nächste Publikation hinausreicht – denn Förderung folgt in aller Regel der Relevanz. Die Praxis bekommt Lösungen, die zu ihrer Wirklichkeit passen, weil sie von Beginn an mitgedacht wurden und nicht im Elfenbeinturm entstanden sind. Die Gesellschaft wiederum erlebt Forschung als etwas Greifbares, an dem sie teilhaben kann – und das ist, gerade in Zeiten schwindenden Vertrauens in Institutionen, ein demokratischer Wert für sich.

Inter- und Transdisziplinarität – kurz erklärt

Interdisziplinarität bezeichnet die Zusammenarbeit mehrerer wissenschaftlicher Disziplinen an einer gemeinsamen Fragestellung. Die Beteiligten bleiben innerhalb der Wissenschaft, verbinden aber ihre Methoden und Perspektiven – etwa Ingenieurwesen, Biologie und Informatik – zu einem gemeinsamen Erkenntnisgewinn.

Transdisziplinarität geht darüber hinaus: Sie bezieht neben den Disziplinen auch außerwissenschaftliche Akteure – Unternehmen, Kommunen, Verwaltung und Zivilgesellschaft – als gleichberechtigte Partner in den Forschungsprozess ein. Diese gestalten die Fragestellung mit und bringen ihr Praxiswissen von Beginn an ein.

Kurz gesagt: Interdisziplinarität überschreitet die Grenzen zwischen den Fächern, Transdisziplinarität die Grenze zwischen Wissenschaft und Gesellschaft.

Beiträge aus den Technologietranferzentren

ttz-emo.thws
Technologietransferzentrum
Elektromobilität
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



11. Technologietransferzentrum Elektromobilität – Brücke zwischen Wissenschaft und Industrie

Prof. Dr.-Ing. Henning Kasten

Das **Technologietransferzentrum Elektromobilität (TTZ-EMO)** nimmt eine zentrale Rolle in der Erforschung und Entwicklung moderner Elektromobilität und industrieller Antriebstechnik ein. Mit den beiden Standorten in Bad Neustadt und Schweinfurt agiert das Institut als Knotenpunkt für Innovationsfortschritt und technologieorientierten Transfer in die Industrie von Nordbayern. Die fachliche Arbeit wird in fünf spezialisierten Arbeitsgruppen geleistet.

Neues Führungsteam und moderne Infrastruktur am Standort Bad Neustadt

Im vergangenen Jahr wurde am TTZ-EMO in Bad Neustadt ein erfolgreicher Generationswechsel vollzogen. Die Leitung des Zentrums liegt nun in den Händen von Prof. Dr. Kasten und Prof. Dr. Pawellek, unterstützt durch den operativen Leiter, Herrn Dreßel. Mit neun Professoren, rund 30 fest angestellten Mitarbeitenden und zahlreichen Studierenden deckt das Institut ein breites Spektrum der Forschungsaktivitäten im Bereich der Elektromobilitäts- und industriellen Antriebstechnik ab.

Die Laborinfrastruktur wurde deutlich erweitert und modernisiert. Neue Messsysteme ermöglichen beispielsweise die Analyse von Teilentladungen in Wicklungsisolierungen, um deren elektrische Alterung in Abhängigkeit von Netz, Leistungselektronik und Verkabelung zu untersuchen. Neu angeschaffte Batterietestgeräte erlauben höhere Lade- und Entladeströme für automatisierte Tests in hoher Stückzahl. Ein weiterer Fokus ist der Ausbau der Messtechnik zur Erfassung elektrischer und magnetischer Felder. Dies ist essenziell, um öffentliche und industrielle Grenzwerte einzuhalten und Maßnahmen zur Vermeidung von Störstrahlungen, die z. B. durch induktive Energieübertragung entstehen, zu bewerten.

Trotz herausfordernder gesamtwirtschaftlicher Rahmenbedingungen konnte das TTZ-EMO seine Drittmitteleinnahmen 2025 stabil bei in etwa 1,5 Mio. Euro halten. Auch die Anzahl der Studierenden und

Doktoranden ist konstant – sieben Nachwuchswissenschaftler befinden sich aktuell in der Promotion. Die Forschungsergebnisse werden in zahlreichen internationalen Fachpublikationen präsentiert, was die Sichtbarkeit und Relevanz der Arbeit unterstreicht. Der enge Kontakt zur regionalen Wirtschaft ist dem TTZ-EMO ein zentrales Anliegen – es unterstützt die Industrie durch Auftragsforschung, Entwicklungsleistungen, Messungen sowie Vernetzung mit Experten in öffentlich geförderten Projekten.

Arbeitsgruppe Batteriesysteme: Lebensdauer, Diagnostik und Prototypen

Die Arbeitsgruppe **Batteriesysteme** erforscht Verbesserungspotenziale hinsichtlich der Lebensdauer und Leistungsfähigkeit moderner Batterien. Kernbereiche sind dabei realitätsnahe Tests mit Fahrzyklen und Temperatursimulationen im Prüfstand, bis hin zu großen Batteriepaketen wie Hausspeichern. Mit präzisen impedanzbasierten Messverfahren lassen sich alle relevanten Batteriedaten erfassen, die für genaue Alterungsanalysen und Zustandsschätzungen unverzichtbar sind.

Die Arbeitsgruppe entwickelt modellbasierte Methoden zur Simulation und Bewertung von Batteriezuständen, die zur sicheren Freigabe neuer Komponenten beitragen. Darüber hinaus entstehen eigene Batteriemanagementsysteme (BMS), die sowohl Überwachung als auch aktive Zell-Balancierung realisieren.

Innovativ ist auch der Prototypenbau mit optimierten Zelltypen und Gehäusedesigns, unterstützt durch die 3D-Drucktechnologie. In Zusammenarbeit mit der Ausgründung tetranes GmbH werden zudem umfangreiche Batterietests angeboten, um individuellen Kundenanforderungen gerecht zu werden.

Ein Highlight ist die hochauflösende Zellausdehnungsmesstechnik per Laserinterferometrie, die mechanische Bewegungen und Stressprozesse im Nanometerbereich sichtbar macht. Das Ziel ist die Entwicklung marktfähiger Prüfsysteme für die Qualitätskontrolle und den Second-Life-Einsatz gebrauchter Batterien in der Industrie.

Arbeitsgruppe Elektrische Maschinen: Analyse und Innovation für effiziente Antriebe

Die Arbeitsgruppe **Elektrische Maschinen** beschäftigt sich mit dem zentralen Bauteil eines elektrischen Antriebs, dem Motor bzw. dem Generator. Die Optimierung bestehender und Entwicklung neuer Maschinenkonzepte stellt dabei einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt dar. Eine wichtige Fragestellung ist der Einfluss von Fertigungs- und Materialtoleranzen auf das Betriebsverhalten der Maschine. Besonders die nicht gewünschten Effekte wie Geräusche, Verluste und Erwärmung werden detailliert analysiert. Zur Unterstützung werden umfangreiche Simulationsverfahren eingesetzt, darunter bekannte Software wie ANSYS Maxwell sowie Open-Source-Tools wie z. B. ONELAB.

Die Gruppe entwickelt zudem vereinfachte Modelle, die für Systemsimulationen und die Reglerauslegung genutzt werden und somit Rechenzeit und Kosten reduzieren. Multiphysikalische Ansätze verbinden elektromagnetische, thermische und mechanische Effekte, um realitätsnahe Modelle zur Verfügung zu stellen.

Die Validierung erfolgt durch präzise Messverfahren an eigens konzipierten Prüfständen. Außerdem arbeitet das Team an neuen Maschinenkonzepten zur Unterstützung der Energiewende – etwa für Windkraftanlagen und die Elektrifizierung der Luftfahrt.

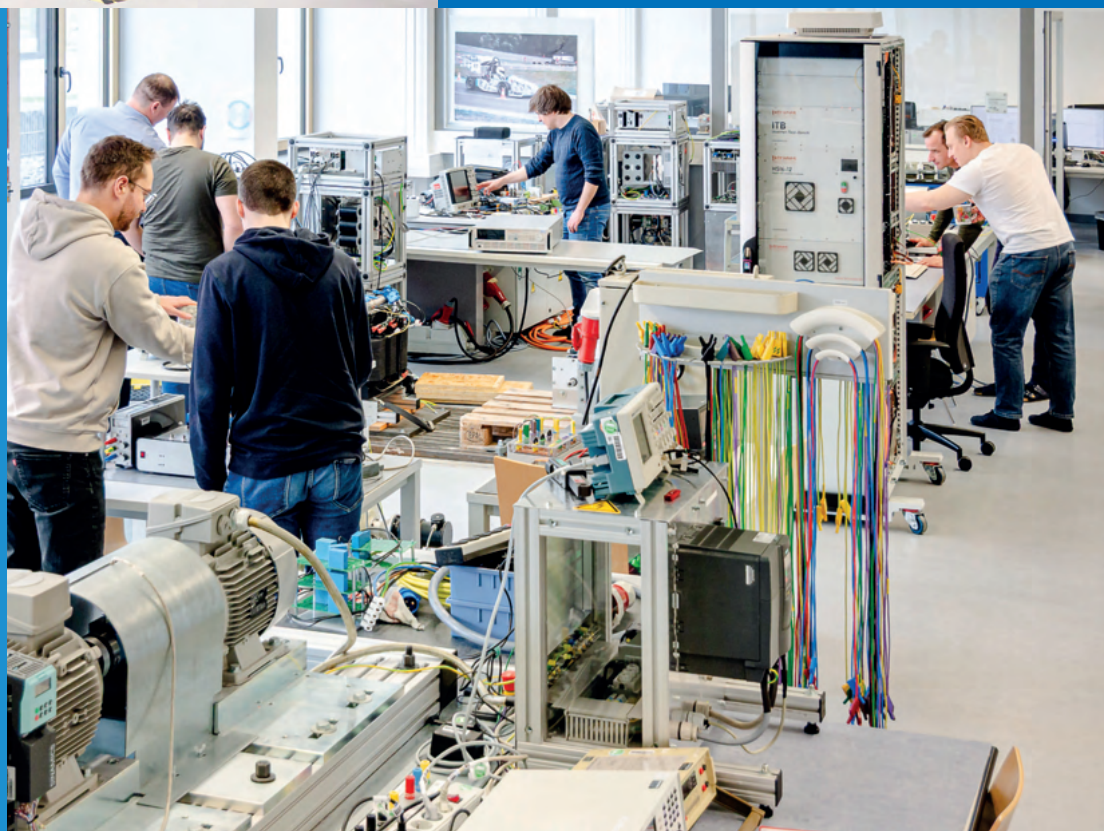


Leitung, operative Leitung und Professoren des TTZ-EMO



Testlabor für Batterien: In der Mitte steht die mit Batterien bestückte Klimakammer, rechts daneben befindet sich die zugehörige Testeinrichtung.

Blick in das Maschinen- und Leistungselektroniklabor



Arbeitsgruppe Leistungselektronik: Hightechsteuerung für die Energiewende

Leistungselektronik ist das Herzstück moderner Energiesysteme und Elektromobilität. Die zugehörige Arbeitsgruppe forscht an neuartigen Steuerverfahren für Stromrichter, die elektrische Energie effizient und dynamisch wandeln. In Laboren an beiden TTZ-EMO-Standorten werden verschiedene Anlagen mit modernster Messtechnik betrieben, darunter Stromrichter- und Motorprüfstände.

Ein Schwerpunkt liegt auf der hochdynamischen direkten Stromregelung (z. B. SDHC und SHC-Verfahren) für verschiedenartige Antriebskonzepte. Umrichter mit modernen SiC- und GaN-Halbleitern sind desgleichen Gegenstand aktueller laufender Untersuchungen. Ebenfalls im Fokus sind KI-Anwendungen zur Optimierung von Steueralgorithmen.

Die Alterung von Isoliersystemen bei schnell schaltenden SiC-Invertern wird umfassend untersucht. Durch Verwendung von sehr hohen Schaltfrequenzen kann die Alterung für spezielle Untersuchungen zeitlich gerafft werden. Bei einem derartigen Einsatz ist die umgesetzte Leistung in den Ansteuergeräten und Treibern nicht mehr vernachlässigbar. Deshalb müssen hier eigene Lösungen entwickelt und aufgebaut werden. Weiterhin wird an virtuellen Maschinenemulatoren gearbeitet, um die Steuerung von Inverter-Tests zu verbessern.

Zusätzliche Forschungsthemen sind komplexe Anwendungen der Stromregelung etwa in der Parallelschaltung von Stromrichtern, Gleichtaktschwingungsunterdrückung, Inselnetzerzeugung und der Vermeidung von unzulässig hohen Schwingungen in den Filtern. Das ermöglicht vielfältige industrielle Einsatzmöglichkeiten, darunter auch Ladesysteme für E-Mobilität.

Arbeitsgruppe Regelungstechnik: Intelligente Algorithmen für dynamische Systeme

Die Arbeitsgruppe **Regelungstechnik** widmet sich der Modellierung und adaptiven Steuerung komplexer dynamischer Systeme. Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung intelligenter Regelalgorithmen, die in Echtzeit Fehler erkennen und beheben können – etwa im Automotive- oder Automatisierungsbereich.

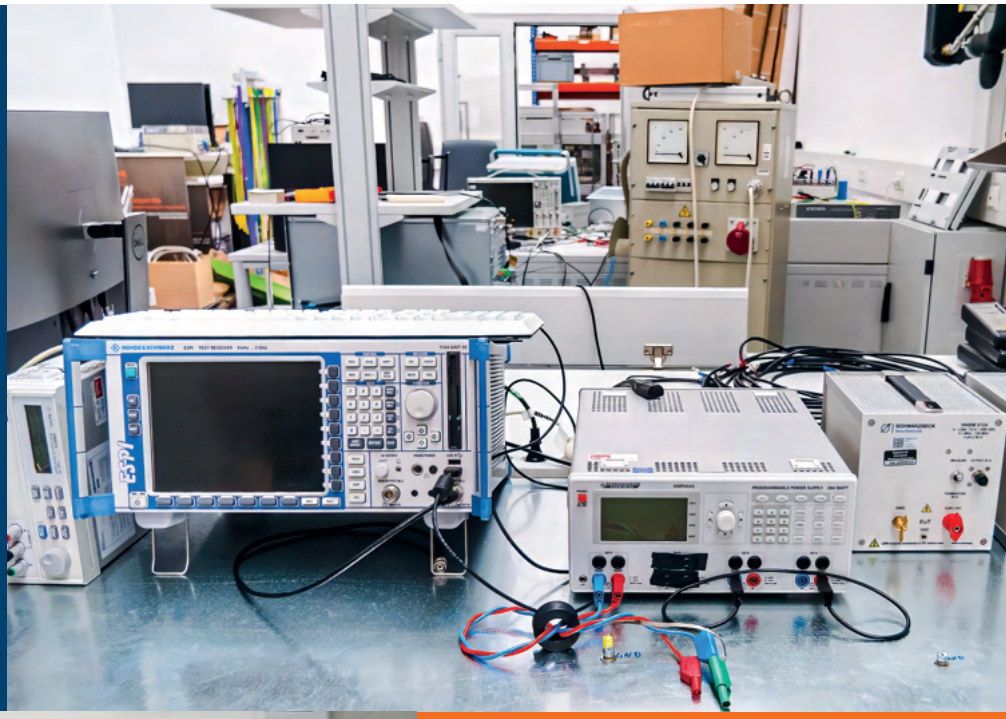
Die Methodenvielfalt reicht von klassischen Regelverfahren bis hin zu moderner KI-gestützter Analyse. Praktische Umsetzung und Optimierung der Algorithmen erfolgt mit Rapid-Prototyping auf Plattformen wie dSPACE, NI oder FPGA.

Mit umfassendem Applikationswissen in elektrischen Antrieben bietet die Gruppe Lösungen für eine Bandbreite von Anwendungen, von Niedervoltmotoren bis zu Traktionsantrieben für Automobile. Zur Verifikation stehen vielfältige Prüfstände an den zwei Laborstandorten bereit. Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Vermessung und Modellierung arbeitspunkt- und lageabhängiger Induktivitäten.

Arbeitsgruppe Emv und Simulation: Störsicherheit und effiziente Systemintegration

Die Arbeitsgruppe **EMV und Simulation** beschäftigt sich mit der Analyse und Optimierung elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) im Antriebssystem.

Arbeitsplatz zur Messung der leitungsgebundenen Störung





Die Kopplung zweier Wellen ist eine verantwortungsvolle Tätigkeit, die höchste Präzession erfordert.

Moderne Leistungselektronik mit kurzen Schaltzeiten und hohen Frequenzen verursacht vermehrt Störaussendungen, die gezielt untersucht und minimiert werden müssen. Die angestellten Betrachtungen müssen dabei folgende Fragestellungen beachten:

- Inwieweit stört sich das leistungselektronische Gerät selbst?
- Wie kommen direkt angeschlossene Systeme (Filter, Motoren, ...) mit der Störaussendung zurecht?
- Wie stark wird die Umgebung und das Energieversorgungsnetz gestört?

Hierzu werden komplette Antriebssysteme inklusive parasitärer Kapazitäten und Induktivitäten simulativ abgebildet, um transientes Überspannungsverhalten, Spannungsverteilung in Wicklungen und Gleichtaktströme und deren Ausbreitung im Erdungssystem hinreichend genau zu berechnen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die EMV-gerechte Leiterplattenentwicklung, die durch optimierte Leiterbahnenführung, Isolationsabstände und Querschnitte Störabstrahlung, Überspannungen und andere nicht erwünschte Kopplungseffekte auf ein Minimum reduzieren. Das so gefundene Leiterplattendesign basiert auf modernen Simulationswerkzeugen.

Darüber hinaus werden Filtersysteme ausgelegt und optimiert, wobei auch die parasitären Effekte der verwendeten Bauteile und Resonanzen berücksichtigt werden. Die Untersuchungen umfassen Verlustleistungen, Resonanzfrequenz, Kühlung und mechanische Bauraumeffizienz.

Short Facts:

Thema
Elektromobilität

(Spezial-)gebiete
Batteriesysteme
Leistungselektronik
Elektrische Maschinen
Regelungstechnik
Elektromagnetische Verträglichkeit

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Henning Kasten
Prof. Dr.-Ing. Alexander Pawellek
Bernd Dreßel

Standort & Kontakt
Poststraße 31
97616 Bad Neustadt / Saale
ttz-emo@thws.de

ttz-msp.thws
Technologietransferzentrum
Main-Spessart
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



12. Additive Fertigung im Bauwesen: Herstellung von verlorenen Schalungen

Prof. Dr. Alexander Versch, Christian Derzapf M. Eng.

Transformation durch Technologietransfer: Das TTZ-MSP als Innovationsmotor

Das **Technologietransferzentrum Main-Spessart (TTZ-MSP)** wurde als Forschungsinstitut der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS) ins Leben gerufen. Mit seinem Standort in Marktheidenfeld schließt es eine entscheidende Lücke in der regionalen Innovationslandschaft: Es dient als zentrale Schnittstelle zwischen angewandter Wissenschaft und der industriellen Praxis im Landkreis Main-Spessart. Dabei fokussiert sich das Zentrum auf die drei zukunftsweisenden Säulen der Additiven Fertigung, der Digitalen Produktion sowie der Nachhaltigkeit, um die Transformation der regionalen Wirtschaft aktiv mitzugestalten und technologische Synergien nutzbar zu machen.

In einer Zeit, in der Nachhaltigkeit und Digitalisierung über die globale Wettbewerbsfähigkeit entscheiden, bietet das TTZ-MSP Unternehmen – vom traditionsreichen Handwerksbetrieb bis zum weltweit agierenden Industriekonzern – fünf zentrale Mehrwerte:

1. **Technologieerprobung:** Unternehmen können neue Verfahren wie den großformatigen 3D-Druck oder KI-gestützte Robotik testen, bevor sie diese in die eigene Serienproduktion integrieren.

2. **Rapid Prototyping & Analyse:** Dank modernster Ausstattung im Bereich der additiven Fertigung (Metall / Kunststoff) und 3D-Scan-Technologie realisieren wir komplexe Prototypen in kürzester Zeit und prüfen diese auf Herz und Nieren.

3. **Engineering-Expertise:** Unser Team unterstützt bei der (Re-)Konstruktion von Bauteilen, etwa durch Topologieoptimierung, um Material einzusparen und die Effizienz zu steigern.

4. **Fördermittelberatung:** Wir assistieren bei der Identifikation und Beantragung von Forschungs- und Innovationsförderung auf Landes- und Bundesebene.

5. **Nachwuchssicherung:** Als Plattform für den Austausch mit Studierenden vernetzen wir Firmen frühzeitig mit den Fachkräften von morgen.

Wie erfolgreich dieser Transfer gelingt, zeigt beispielsweise unser aktuelles Leuchtturmprojekt mit der Firma Riedel Bau: Hier nutzen wir den innovativen 3D-Betondruck, um die Grenzen der Bauwirtschaft neu zu definieren und nachhaltige Fertigungsmethoden direkt auf die Baustelle zu bringen.

Ausgangssituation

Im modernen Bauwesen stellt die Herstellung von Schalungen für Betonaussparungen nach wie vor einen stark handwerklich geprägten und ressourcenintensiven Prozess dar. Üblicherweise werden diese Schalungen aus Holz gefertigt und müssen individuell durch Zimmerer hergestellt, angepasst und vor Ort montiert werden. Dieser manuelle Ansatz führt nicht nur zu einem hohen Zeit- und Kostenaufwand, sondern bringt auch erhebliche ökologische Nachteile mit sich.

Nach dem Betonieren und Aushärten ist eine vollständige Entfernung der Holzschalung zwingend notwendig, da fest verbaute Holzelemente ein hohes Brandrisiko darstellen. Dieser Rückbau gestaltet sich oft schwierig und erfordert zusätzlichen Arbeitsaufwand. Zudem entsteht bei diesem Vorgang eine

beträchtliche Menge an Bauabfall, da die individuell angefertigten Holzschalungen in der Regel nur für den einmaligen Gebrauch bestimmt sind.

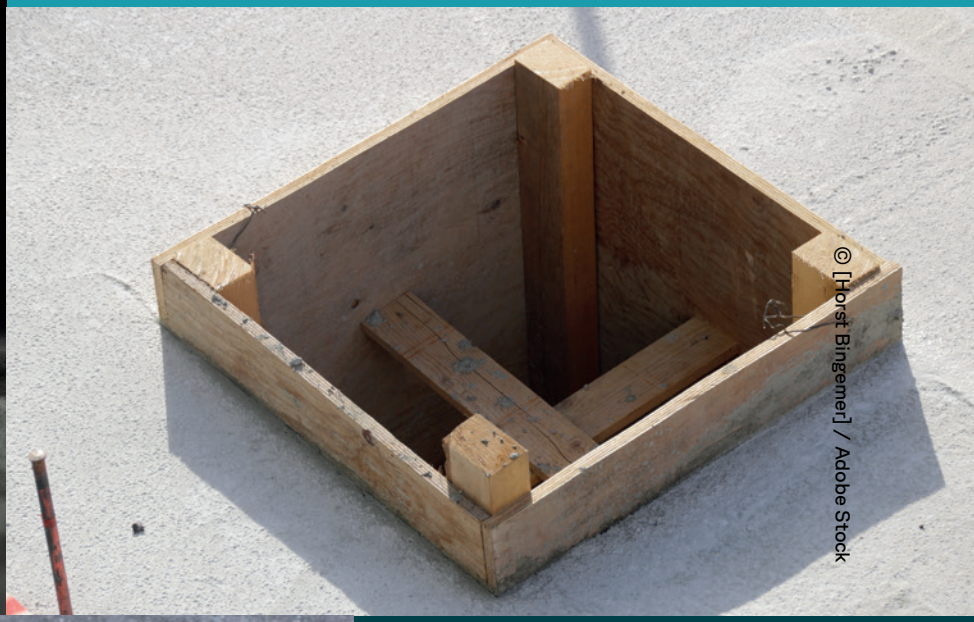
Vor diesem Hintergrund ergibt sich eine zentrale Herausforderung: die Entwicklung effizienterer, nachhaltigerer und reproduzierbarer Verfahren zur Herstellung von Betonaussparungen. Eine vielversprechende Alternative besteht darin, Schalungen nicht mehr als temporäre Hilfskonstruktionen zu betrachten, sondern diese direkt als integralen Bestandteil des Bauwerks auszuführen. Insbesondere die additive Fertigung eröffnet hier neue Möglichkeiten, da sie eine automatisierte und geometrisch flexible Herstellung solcher Strukturen erlaubt.

Um dieser handwerklichen Herausforderung zu begegnen, verfolgt das Projekt einen hochinnovativen Ansatz aus dem Bereich der additiven Fertigung. Die Kernidee besteht darin, die Schalungen für Aussparungen nicht länger aus Holz, sondern im 3D-Druckverfahren direkt aus Beton herzustellen.



links:
3D-gedrucktes Metallobjekt

unten:
Aussparung aus Holz



© [Horst Bingemer] / Adobe Stock



Additiv gefertigter Aussparungskörper



oben:
Riedel Bau Logo

links:
Testaufbau Beton 3D-Druck im TTZ-MSP

Der entscheidende Vorteil hierbei ist, dass diese gedruckten Elemente nach dem Betonieren als sogenannte „verlorene Schalung“ dauerhaft im Bauwerk verbleiben können. Dadurch entfällt der gesamte Prozess des Ausschalens, der damit verbundene Arbeitsaufwand und die Abfallentstehung vollständig.

Ein weiterer technologischer Mehrwert ergibt sich durch die Möglichkeit, die Aussparungen mit einem integrierten Boden zu drucken. In diesen können im späteren Bauverlauf präzise Bohrungen gesetzt werden, um Kabel oder Rohre direkt hindurchzuführen. Die verbleibenden Hohlräume lassen sich anschließend effizient mit Brandschutzmörtel vergießen. Dieser Ansatz ersetzt das bisherige, zeitintensive Verlegen von Leitungen durch konventionelle Schalungsöffnungen und das darauffolgende, oft aufwendige Verschließen der verbleibenden Öffnung.

Die technische Zielsetzung des Vorhabens konzentriert sich dabei primär auf die Verfahrensentwicklung. Es sollen die genauen Parameter und verfahrenstechnischen Grenzen ermittelt werden, unter denen die Herstellung solcher Betonaussparungen mittels eines Industrieroboters als Bewegungskinematik zuverlässig möglich ist. Insgesamt zielt das Projekt darauf ab, einen robusten, reproduzierbaren und industriell einsetzbaren Prozess für die Herstellung additiv gefertigter Betonaussparungen zu entwickeln.

Dieses Projekt wird durch eine Kooperation zwischen dem Technologietransferzentrum Main-Spessart und dem Partnerunternehmen Riedel Bau realisiert. Eingebunden in das Projekt ist Prof. Fischer aus der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der THWS. Er bringt sein werkstofftechnisches Know-how ein. In dieser Konstellation bringt die Firma Riedel Bau als Auftraggeber und Praxispartner ihre umfassende bautechnische Expertise sowie essenzielle Hardwarekomponenten in das Projekt ein. Das Bauunternehmen stellt die komplette Fördertechnik zur Verfügung, bestehend aus Pumpe, Schläuchen, Rohren, Düsen sowie dem benötigten Mörtelmaterial. Die Hochschule hingegen übernimmt den wissenschaftlichen und steuerungstechnischen Teil der Umsetzung. Sie stellt einen kollaborativen Industrieroboter und ist federführend für die Programmierung, die systematische Parameterentwicklung sowie die Durchführung und Auswertung der Versuchsreihen verantwortlich.

Der Mehrwert dieser Zusammenarbeit ergibt sich aus einem Wissenstransfer zwischen angewandter Forschung und Baupraxis: Während die Forschungseinrichtung durch den Einsatz industrieller Anlagentechnik wertvolle Erkenntnisse unter realen Bedingungen gewinnt, erhält die Firma Riedel Bau einen fundierten Machbarkeitsnachweis sowie validierte Prozessparameter für den 3D-Betondruck. Dadurch erlangt das Bauunternehmen essenzielles verfahrenstechnisches Know-how darüber, worauf beim konkreten Einsatz dieser Drucktechnologie zu achten ist, um die Anlage zukünftig zielgerichtet betreiben zu können.

Für die praktische Umsetzung wurde eine Testumgebung aufgebaut. Zum Einsatz kam ein kollaborativer Sechs-Achs-Industrieroboter von Universal Robots mit einer Traglast von 20 Kilogramm, dessen Arbeitsraum die Fläche einer Europalette abdeckt. Am Endeffektor des Roboters wurde über eine Adapterplatte der für den Prozess benötigte Druckkopf befestigt. Der eigentliche Fertigungsprozess wurde in eine klar definierte Kette aus Mischen, Pumpen, Fördern und Drucken unterteilt. In der bereitgestellten Mischer-Pumpen-Einheit wird das Material mit einem exakt definierten Wasseranteil vermengt und über eine Schneckenmantelpumpe durch einen Schlauch zum Druckkopf befördert. In iterativen Versuchsreihen wurden primäre Bahnparameter wie Verfahrgeschwindigkeit, Schichtdicke, Anstellwinkel Eckenradien und Anfahrbewegungen systematisch variiert, um die optimalen Prozessparameter zu ermitteln.

Die gedruckten rechteckigen Aussparungen wurden anschließend strengen Prüfungen unterzogen. Primäre Kriterien waren dabei die absolute Maßhaltigkeit der Geometrie sowie die Festigkeit, welche durch einen Falltest verifiziert wurde. Als zentrale Ergebnisse konnten verlässliche Datensätze für die Bahnplanung

und Pumpensteuerung erarbeitet werden, die nicht nur formstabile Aussparungen garantieren, sondern auch eine hohe Reproduzierbarkeit des gesamten Druckprozesses sicherstellen.

Die im Projekt entwickelten Ansätze bieten ein erhebliches Potenzial zur nachhaltigen Optimierung bestehender Bauprozesse. Durch den Einsatz der additiven Fertigung können Schalungen direkt und automatisiert hergestellt werden, wodurch sich manuelle Arbeitsschritte deutlich reduzieren und Bauzeiten messbar verkürzen lassen. Gleichzeitig entfällt der aufwendige Rückbau vollständig, und es entsteht weitaus weniger Abfall, was sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich bringt.

Für die Bauwirtschaft ergibt sich daraus die Möglichkeit, komplexe Geometrien effizienter umzusetzen und dabei wertvolle Ressourcen zu schonen. Insbesondere für die Wirtschaftsregion Mainfranken kann diese Technologie gezielt zur Stärkung innovativer Bauverfahren beitragen und neue Impulse für die fortschreitende Digitalisierung im Bauwesen setzen. Darüber hinaus leistet der Ansatz einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz, indem der Materialeinsatz minimiert und die damit verbundenen Emissionen reduziert werden.

Perspektivisch eröffnet das Projekt zahlreiche Anschlussmöglichkeiten. Dazu zählen die Skalierung des Verfahrens für größere Bauteildimensionen, die nahtlose Integration in bestehende Bauabläufe sowie die Automatisierung vor- und nachgelagerter Prozessschritte. Auch die Erprobung neuer, optimierter Spezialmörtel bietet erhebliches Potenzial zur Weiterentwicklung. Insgesamt bildet das Vorhaben eine belastbare Grundlage für zukünftige Anwendungen des 3D-Betondrucks und belegt eindrucksvoll, dass der Wechsel von rein handwerklichen hin zu digital gesteuerten Fertigungsprozessen auf der Baustelle technisch realisierbar ist.

Bei weiterem Interesse am Projekt oder für fachliche Rückfragen können Sie uns jederzeit kontaktieren.



3D-gedruckte Aussparungen

Short Facts:

Thema
Nachhaltige digitale und additive Fertigung

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Alexander Versch
Prof. Dr.-Ing. Andreas Schiffler

(Spezial-)gebiete
Additive Fertigung
Digitale Produktion

Standort & Kontakt
Spessartstrasse 1b
97828 Marktheidenfeld
ttz-msp@thws.de

ttz-kt.thws
Technologietransferzentrum Kitzingen
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



13. Symbiose von Künstlicher Intelligenz und Robotik am TTZ-KT

Prof. Dr.-Ing. Erik Schaffernicht

Das Technologietransferzentrum Kitzingen im Überblick

Künstliche Intelligenz. Robotik. Digitalisierung. Schlagworte, die heute in aller Munde sind. Entwicklungen, die mit halsbrecherischer Geschwindigkeit voranschreiten. Leistungsfähige KI-Modelle, deren Daten- und Energiehunger von wenigen Großkonzernen gestillt wird. Unternehmen, die neue Technologien in der Produktion, den Produkten und Dienstleistungen integrieren müssen, um den Anschluss im Wettbewerb nicht zu verlieren. Arbeitnehmer und die Gesellschaft als Ganzes, die sich an die Möglichkeiten und Gefahren intelligenter Systeme anpassen und den Umgang mit diesen erlernen müssen.

Genau in diesem Spannungsfeld bewegt sich das **Technologietransferzentrum Kitzingen** und beschäftigt sich mit den aktuellen technischen Entwicklungen. Gut vernetzt mit dem Center für Robotik in Schweinfurt (siehe Seite 46) und dem Center für Künstlichen Intelligenz in Würzburg (siehe Seite 51) liegt das Hauptaugenmerk in Kitzingen auf angewandter Forschung und dem Technologietransfer mit den regionalen Partnern.

Das Ziel des **TTZ** ist dabei eine Plattform zu bieten, um die Themen Künstliche Intelligenz und Robotik nicht nur zu diskutieren, sondern auch vor Ort auszuprobieren und als kompetenter Forschungspartner durch Verbundprojekte und Abschlussarbeiten voranzutreiben.

Testplattform für Sprachemodelle

Ein Thema, das dieser Tage viele umtreibt, sind große Sprachmodelle (LLMs), die darauf aufbauenden Chat-Bots oder Agenten und wie sich diese in Unternehmen sinnvoll einsetzen lassen.

Die Herausforderungen liegen nicht nur in den nahezu täglich veröffentlichten neuen Modellen und Methoden, sondern auch darin, dass für einen sinnvollen Einsatz häufig auf organisationsinternes Wissen zurückgegriffen werden muss, das nicht Teil der Trainingsdaten dieser Modelle war.

Es gibt zwei generelle Möglichkeiten, solches Wissen zu integrieren. Einerseits besteht die rechenintensive Option, frei verfügbare Modelle mit internem Wissen nachzutrainieren, andererseits die Möglichkeit, durch einen Vorverarbeitungsschritt interne Dokumente zu durchsuchen und die Chateingabe dann automatisch mit relevanten Informationen zu ergänzen. Dies wird auch als Retrival-augmented generation (RAG) bezeichnet. Und all das am besten, ohne die Daten den verschiedenen Sprachmodellanbietern zu übermitteln.

Da die wenigsten kleinen und mittleren Unternehmen die Kapazität haben, sich intensiv mit solchen Fragen zu beschäftigen, hat das TTZ-KT eine eigene Ready-to-go-Plattform für Sprachmodelle entwickelt, die es, in Verbindung mit entsprechender Rechenleistung an der Hochschule, ermöglicht, verschiedene LLMs und RAG-Systeme zu kombinieren und auszuprobieren. Somit lässt sich praktisch herausfinden, was mit existierenden Systemen möglich ist und ob dies für den Anwendungsfall im Unternehmen ausreichend ist.

Showcases für autonome Roboter

In der Robotik geht der Trend immer weiter weg von Automatisierungsaufgaben, die sich durch repetitive Bewegungen auszeichnen und oft von Robotern in Sicherheitsbereichen ausgeführt werden. Stattdessen wird es immer wichtiger, dass Roboter in eingeschränkten Maßen eigene Entscheidungen treffen, also (teil-)autonomes Verhalten aufweisen, um



Workshop am TTZ-KT



Mensch gegen Maschine: Damespiel

beispielsweise mit Menschen zusammenarbeiten zu können oder unerwartete Situationen selbstständig lösen zu können.

Auch die Fähigkeiten von humanoiden Robotern werden immer ausgefeilter und werden in verschiedenen Medien hochgejubelt, doch auch in der Robotik ist ein Realitätscheck notwendig. Dazu entwickelt das TTZ-KT exemplarische Roboteranwendungen, um die heutigen Möglichkeiten und Grenzen solcher Systeme zu verdeutlichen.

Forschung am Schnittpunkt von KI und Robotik

Testplattformen und Showcases sind aber natürlich nicht das Ende der Fahnenstange, sondern vielmehr der Einstiegspunkt zu spannenden Forschungsfragen am TTZ-KT im Problemfeld von KI und Robotik.

Was für den Menschen einfach ist, kann für Roboter und KI schwierig sein, aber auch Dinge, die für den Menschen herausfordernd sind, können teilweise von intelligenten Systemen einfach gelöst werden. Das Technologietransferzentrum hilft im ersten Schritt dabei, zu identifizieren, was im konkreten Anwendungsfall zutrifft. Im zweiten Schritt nimmt sich das TTZ und seine Mitarbeiter den offenen Forschungsfragen gerne an.

Von besonderem Interesse sind dabei alle Herausforderungen rund um intelligente Systeme, von sicheren kollaborativen Mensch-Maschine-Systemen, über die Anwendung von Sprachmodellen für Roboter und Chatbots, bis hin zu grundlegenden Fragen zur Arbeitswelt von morgen und wie diese von Robotern und Künstlicher Intelligenz geprägt wird.

Short Facts:

Thema
Künstliche Intelligenz
Robotik und Digitalisierung

(Spezial-)gebiete
Moderne KI-Systeme
Autonome und kollaborative Roboter

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Erik Schaffernicht
Prof. Dr. Tobias Kaupp

Standort & Kontakt
Innopark Campus
Steigweg 24a / Gebäude 1
97318 Kitzingen
ttz-kt@thws.de

ttz-wue.thws
Technologietransferzentrum
Cyber Security
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



14. TTZ-WUE Projekt, das Informationen über Cyberangriffe sammelt, bevor diese Schlagzeilen machen

Prof. Dr. Sebastian Biedermann

Das Technologiezentrum Würzburg zum Thema Cyber-Sicherheit

Das **TTZ-WUE** beschäftigt sich mit den realen Herausforderungen moderner Cyber-Sicherheit. Im Fokus stehen nicht abstrakte Modelle, sondern konkrete Angriffe, reale Infrastrukturen und verwertbare Erkenntnisse für Wirtschaft, Verwaltung und Gesellschaft. Das Institut verbindet angewandte Forschung mit Lehre und Technologietransfer und arbeitet eng mit regionalen wie überregionalen Partnern zusammen.

Neben zahlreichen anderen Themen der Cyber-Sicherheit liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Analyse aktueller Bedrohungen im Cyberraum und deren frühzeitiger Erkennung. Dazu hat das Institut eigene Forschungsinfrastrukturen, die kontinuierlich unter realen Bedingungen betrieben werden. Studierende werden aktiv in Projekte eingebunden und arbeiten mit echten Daten statt synthetischer Beispiele.

Quellländer von digitalen Angriffen (links) und Live-Angriffe visualisiert auf einer Weltkarte.

last 3 days

	Value	Count	Info
1	Romania	408946	Romania
2	United States	196953	United States
3	The Netherlands	82941	The Netherlands
4	France	56261	France
5	Brazil	33420	Brazil
6	Vietnam	24173	Vietnam
7	United Kingdom	23684	United Kingdom
8	China	22657	China
9	Bulgaria	18050	Bulgaria
10	Russia	13429	Russia



Quelle: TTZ-WUE Honeynet

Ziel ist es, Cyber-Sicherheit nicht nur reaktiv zu denken, sondern vorausschauend und datengetrieben. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen sowohl in Forschungsprojekte als auch in Lehrveranstaltungen, Abschlussarbeiten und Transferformate ein. So entsteht ein Kreislauf aus Beobachtung, Analyse und Anwendung, mit dem Anspruch, digitale Sicherheit messbar und verständlich zu machen.

Ein Messinstrument für digitale Bedrohungen

Es sieht unscheinbar aus, hat kein schweres Stahlgehäuse und kein dramatisches Warnsignal, lediglich ein Dashboard blinkt hin und wieder auf. Und doch ist es eines der sensibelsten Messinstrumente unserer digitalen Gegenwart: Das TTZ-WUE Honeynet, verteilt über ganz Deutschland, ständig online, ständig angegriffen. Die Aufgabe dieses Systems ist angegriffen zu werden. Über 5.000 Events werden pro Stunde gesammelt. Automatisierte Scans, Exploits, Brute-Force-Versuche und neuartige Angriffsmuster prallen auf unsere verteilten Systeme.

Was hier landet, landet manchmal erst Tage oder Wochen später in realen Unternehmensnetzen. Das TTZ-WUE Honeynet ist ein Art Frühwarnradar für digitale Angriffe.

Wenn Angreifer willkommen sind

Ein Honeypot ist ein bewusst verwundbares IT-System, das Angreifer anzieht. Anders als klassische Sicherheitssysteme versucht es nicht, Angriffe zu verhindern, sondern diese sichtbar zu machen. Ein Honeynet geht einen Schritt weiter: Es besteht aus vielen verteilten Honeypots. Im Projekt kommen High-Interaction Honeypots zum Einsatz. Das bedeutet, die Angreifer interagieren nicht mit Attrappen, sondern mit echten Betriebssystemen, echten Diensten, echten Konfigurationsfehlern. Jeder Login-Versuch, jeder eingegebene Befehl, jedes nachgeladene Schadprogramm wird detailliert aufgezeichnet und analysiert.

Unsere Honeypots sind ausschließlich in Deutschland platziert. Damit lassen sich Angriffe gezielt auf regionale Besonderheiten, Branchenfokus oder neue Kampagnen analysieren.

Unauffällig, aber verlockend

Das Honeynet des TTZ-WUE besteht aus einer verteilten Server- und VM-Infrastruktur, die verschiedene Zielsysteme abbildet: Linux- und Windows-Server, Typische Unternehmensdienste (SSH, RDP, Web-Anwendungen, Datenbanken, u.v.m.), unterschiedliche Patch- und Konfigurationsstände.

Eingehende Events von verschiedenen IP-Adressen, z. B. Login-Versuche

time	source	country	event
2026-04-21 13:26:32	148.135.x.x	United States	failed login (SSH) with username '**09c59293b7751c6ce8ede81d258a00dc**' and password '**961d3fde2705ba0f0d6af975b8877847**'
2026-04-21 13:26:32	23.94.x.x	United States	failed login (SSH) with username '**d67d53494e0ed6fad778ba49ae695a38**' and password '**60c2b2b6e97b02fc77310da89390734c**'
2026-04-21 13:26:32	178.216.x.x	Russia	connection attempt to TCP port **9001**
2026-04-21 13:26:32	178.216.x.x	Russia	connection attempt to TCP port **9001**
2026-04-21 13:26:32	178.216.x.x	Russia	connection attempt to TCP port **9001**
2026-04-21 13:26:32	178.216.x.x	Russia	connection attempt to TCP port **9001**
2026-04-21 13:26:32	94.154.x.x	The Netherlands	**successful** login (SSH) with username '**root**' and password '**end123**'
2026-04-21 13:26:32	178.216.x.x	Russia	connection attempt to TCP port **9001**
2026-04-21 13:26:29	103.187.x.x	Indonesia	failed login (SSH) with username '**appserver**' and password '**appserver**'
2026-04-21 13:26:29	45.142.x.x	Romania	connection attempt to TCP port **16297**
2026-04-21 13:26:30	37.10.x.x	United Kingdom	requested file on the Web server
2026-04-21 13:26:30	37.10.x.x	United Kingdom	requested file on the Web server

Quelle: TTZ-WUE Honeynet

Ransomware Cyberangriff zeigt persönliche Dateien verschlüsselt



© [Andrey Popov] / Adobe Stock

Die Hardware selbst ist bewusst unspektakulär: Standard-Server, Virtualisierung, abgesicherte Management-Netze. Der Fokus liegt nicht auf exotischer Technik, sondern auf Realismus. Genau das macht die Systeme für Angreifer attraktiv.

KI als Übersetzer feindlicher Aktionen

Durchschnittlich mehrere tausend Ereignisse pro Stunde lassen sich nicht mehr manuell auswerten. Klassische, regelbasierte Analyseverfahren stoßen hier ebenfalls schnell an ihre Grenze. Sie erkennen bekannte Muster zuverlässig, übersehen jedoch neue oder leicht abgewandelte Angriffstechniken. Um diese Lücke zu schließen, wurde das Honeynet um KI-gestützte Analyseverfahren erweitert, die nicht einzelne Events isoliert betrachten, sondern Zusammenhänge erkennen sollen und einen menschlichen Beobachter unterstützen.

Die eingesetzte KI-Software interpretiert digitale Angriffe dabei wie eine Sprache mit eigener Grammatik. Sie analysiert nicht nur, dass ein Angriff stattfindet, sondern wie er durchgeführt wird. So werden etwa Sequenzen von eingegebenen Shell-Befehlen ausgewertet: Ob ein Angreifer systematisch Informationen sammelt, gezielt nach Schwachstellen sucht oder versucht, sich dauerhaft im System festzusetzen, lässt sich häufig bereits aus wenigen Befehlen ableiten.

Auch hochgeladene Dateien werden automatisch untersucht. Die KI bewertet deren Struktur, Funktion und typische Nutzungsmuster, etwa ob es sich um einen Downloader, ein Backdoor-Programm oder ein Werkzeug zur lateralen Bewegung im Netzwerk handelt. Ergänzend dazu werden digitale Spuren wie User-Agents, verwendete Protokolle oder charakteristische Befehlsfolgen mit bekannten Angriffswerkzeugen und Kampagnen abgeglichen.

Auf diese Weise entstehen aus vielen scheinbar isolierten Einzelereignissen zusammenhängende Angriffsbilder. Die KI hilft dabei, neue Angriffskampagnen frühzeitig zu erkennen, bekannte Muster einzuordnen und Abweichungen sichtbar zu machen, oft lange bevor entsprechende Techniken in realen Unternehmensnetzen oder öffentlichen Lageberichten auftauchen.

Ein Beispiel eines eingegebenen Befehls mit KI-Analyse aus dem Projektalltag:

Command of an attacker	Automated AI analysis
uname -s -v -n -m 2 > /dev/null	The command queries the system's kernel name, kernel version, network node hostname and hardware architecture. By discarding the output (`> /dev/null`) the attacker is only interested in whether the command succeeds and can later use the exit status to confirm the target's OS type and architecture for tailoring an exploit. This information helps the malicious user decide which payload or attack vector will work on the compromised host.

Künstliche Intelligenz hilft dabei, neue Angriffskampagnen frühzeitig zu clustern, Anomalien zu erkennen und bekannte Muster von wirklich neuen Techniken zu trennen.

Cyber-Sicherheit als Frühwarnsystem

Aktuell dient das TTZ-WUE Honeynet als angewandte Forschungsplattform: Trends erkennen, Angriffswerkzeuge verstehen, Bedrohungen einordnen. Studierende finden hier Daten für Abschlussarbeiten und Projekte.

Der nächste Schritt ist deutlich ambitionierter, aber konsequent: Der Ausbau zu einer Cyber-Lagebildplattform. Ziel ist ein System, das aktuelle Angriffstrends visualisiert, Eskalationen früh automatisiert erkennt und Entscheidungsträgern ein verständliches Lagebild liefert.

Statt reiner Log-Daten entsteht ein dynamisches Bedrohungsbild: Was passiert gerade? Wie neu ist das? Wie relevant? Und für wen? Gerade für kleine und mittlere Unternehmen, Kommunen oder kritische Infrastrukturen kann ein solches Lagebild den Unterschied machen.

Short Facts:

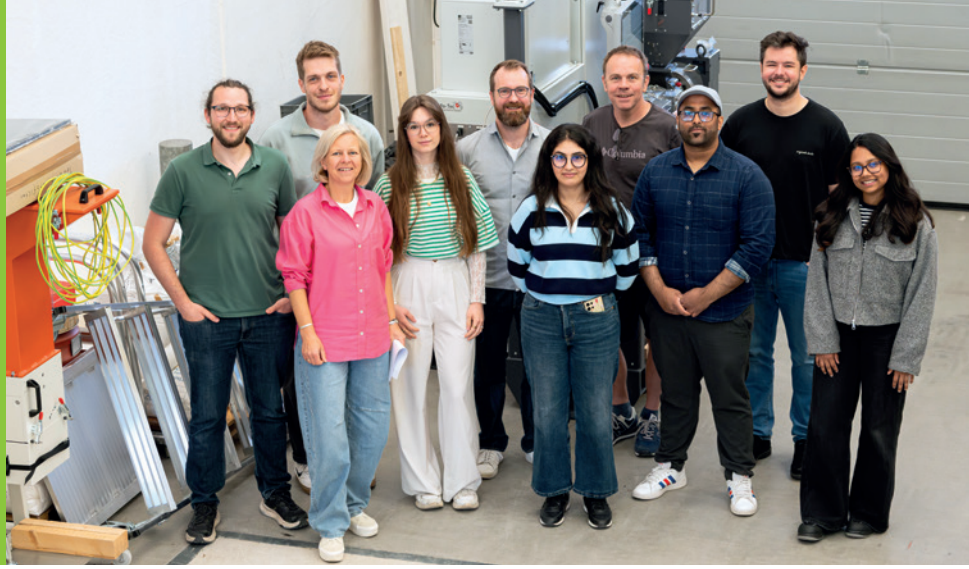
Thema
Cyber-Sicherheit

Leitung
Prof. Dr. Sebastian Biedermann

(Spezial-)gebiete
Malware Analyse
Schwachstellensuche
Threat Intelligence

Standort & Kontakt
Tückelhäuser Str. 10 / 1.OG
97199 Ochsenfurt
ttz-wue@thws.de

ttz-has.thws
Technologietransferzentrum Haßfurt
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt



15. Tanz der Polymere – Warum der Takt von Polymeren wichtig für das Recycling von Kunststoffen ist

Prof. Dr.-Ing. Johannes Krückel, Tim Schülein M. Eng.

Ein kleiner Ausblick, wie das Technologietransferzentrum Haßfurt, das Recycling von Kunststoffen untersucht

Die Interpreten – die Randbedingungen

Das **Technologietransferzentrum Haßfurt (TTZ-HAS)** beschäftigt sich mit smarten, polymeren Lösungen rund um das Kunststoffrohr. Ein zentraler Aspekt der Forschung stellt das Kunststoffrecycling dar. Ein Forschungsvorhaben aus diesem Bereich wird in diesem Überblicksartikel erläutert. Interessierte finden die dazugehörige, ausführliche Veröffentlichung **„Thermo-Mechanical Degradation Kinetics of a High-Density Poly(Ethylene) Using a Closed-Cavity Rheometer“** im Journal for Applied Polymer Science aus dem Jahr 2025 [1].

Intro – die Ausgangssituation

Für eine nachhaltige und umweltschonende Kunststoffindustrie müssen Kunststoffe häufiger und besser wiederverwendet werden. Ein wichtiges Konzept dafür ist die sogenannte Kreislaufwirtschaft: Materialien sollen nicht nach einmaligem Gebrauch entsorgt, sondern möglichst oft erneut genutzt werden [2].

Eine der effektivsten Methoden dafür ist das mechanische Recycling, wie es auch in der Rohrindustrie von hoher Wichtigkeit ist. Dabei werden Kunststoffprodukte zerkleinert, gereinigt, aufgeschmolzen und neu verarbeitet. Doch dieser Prozess hat einen Haken: Während der Verarbeitung in Maschinen wie beispielsweise Extrudern wird der Kunststoff bei jedem Verarbeitungsschritt sehr stark beansprucht. Es treten dabei z. B. hohe Temperaturen und Scherkräfte auf. Diese Kombination kann die langen Molekülketten des Kunststoffs beschädigen und dadurch die Eigenschaften des Kunststoffes verschlechtern.

Abbildung 1: Einflusskette von der Größe des Polymers über die Kristallisation hin zu den mechanischen Eigenschaften des Materials



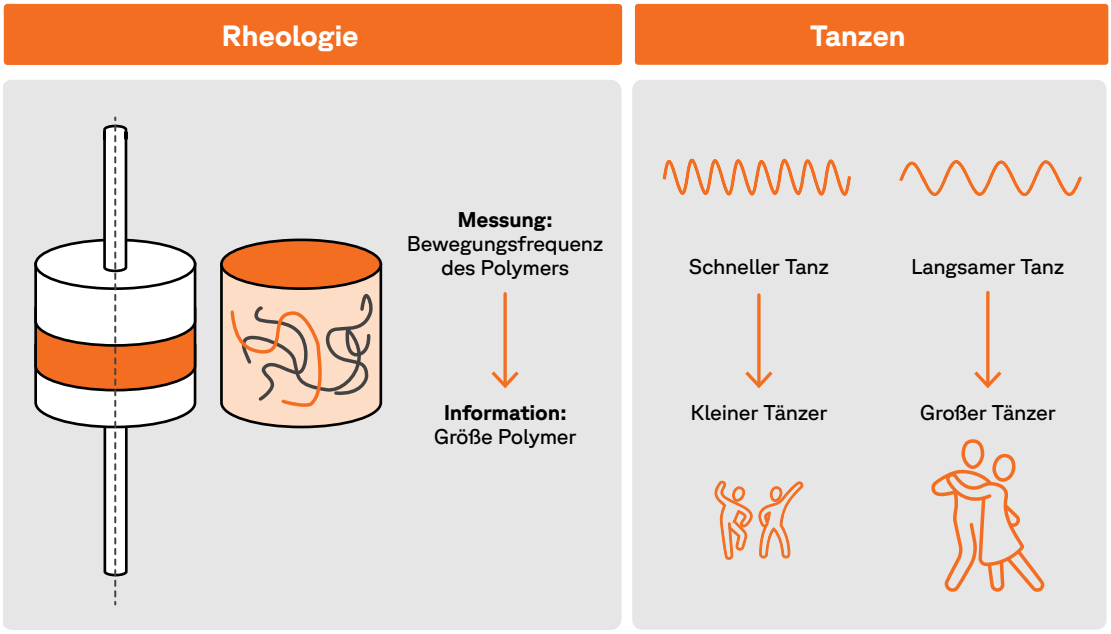


Abbildung 2: Vergleich der Analyse von Polymeren mittels Rheologie hinsichtlich ihrer Größe mit dem Tanzen und der Größe der Tänzer

Kunststoffe bestehen aus sehr langen Molekülketten, den sogenannten Polymeren. Unter hohen Temperaturen und mechanischen Kräften brechen diese Ketten auf und werden kürzer. Dadurch verändert sich das Polymer und die damit zusammenhängenden Eigenschaften. Strukturelle Besonderheiten des Polymers, aber auch die jeweiligen Bedingungen während der Verarbeitung spielen dabei eine wichtige Rolle, wie stark und auf welche Weise der Kunststoff beim Recycling geschädigt wird [3–5]. Diese Veränderung des Polymers haben (in bestimmten Fällen) z. B. Auswirkungen auf die Kristallisation der Polymere beim Abkühlen. Das wiederum beeinflusst direkt die mechanischen Eigenschaften, wie es in Abb. 1 zu sehen ist. Anhand dieser Eigenschaften kann entschieden werden, wo und wie das Polymer schließlich eingesetzt werden kann. Deshalb ist diese Forschung auch in der Rohrindustrie von hoher Relevanz.

Aus diesen Gründen muss untersucht werden, welche Faktoren die Veränderung beim Recycling beeinflussen. Die Messmethode der Rheologie ist gleichzeitig in der Lage, die Verarbeitungsbedingungen zu simulieren und so das Polymer zu schädigen, aber auch zu analysieren, auf welche Weise Scherkräfte und Temperaturen sich auf den Abbauprozess auswirken.

Instrumente – Methoden und Theorie

Zur Bestimmung der Auswirkung des Kunststoffrecyclings ist die Bestimmung der Größe eines Polymers (fachlich: Molekulargewicht) essenziell. Diese Größe kann mit Hilfe der oszillierenden Scherrheologie indirekt bestimmt werden. Hier wird die Antwort des Polymers auf eine schneller werdende oszillierende Verformung gemessen (0,1 Hz bis 100 Hz). Je höher die Frequenz ist, die das Polymer noch mitgehen kann, desto kleiner ist das jeweilige Polymer. Dementsprechend weisen große Polymere nur eine niedrige Frequenz auf, die sie mitgehen können. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 dargestellt [6]. Hier kann der Vergleich mit einem Tänzer gezogen werden, der in Abhängigkeit seiner Größe nur bestimmte Tänze mittanzen kann. Ist er sehr groß, kann er dem hohen Takt des schnellen Tanzes nicht mehr folgen.

Diese Analysemethode kann dazu verwendet werden, die Auswirkungen des Recyclings zu bestimmen. Während der Verarbeitung treten hohe Temperaturen und hohe Scherkräfte auf. Diese Bedingungen schädigen das Polymer. In der Theorie, wie sie in Abb. 3 zu sehen ist, greifen diese Kräfte das Polymer an, wodurch es in einzelne Teile zerrissen wird. Die Folge ist, dass durch das Recycling mehrere, kleinere Polymere entstehen.

Kleinere Polymere unterscheiden sich deutlich in ihren verschiedensten Eigenschaften von größeren. Im Fall von Polyolefinen (z. B. HDPE oder PP) wirkt sich die Größe auf die Geschwindigkeit und den Grad an Kristallisation aus. Das wiederum verändert die praxisrelevanten mechanischen Eigenschaften. Diese sind zum Beispiel in der Rohrproduktion und -anwendung wichtig.

Die Herausforderung der Untersuchung des Recyclings ist es, material- und zeitsparsam die verschiedenen Polymertypen individuell zu untersuchen. Eine untersuchte Möglichkeit besteht darin, ein konventionelles Rheometer einzusetzen, um das Material bei hoher Scherkraft und Temperatur zu schädigen.

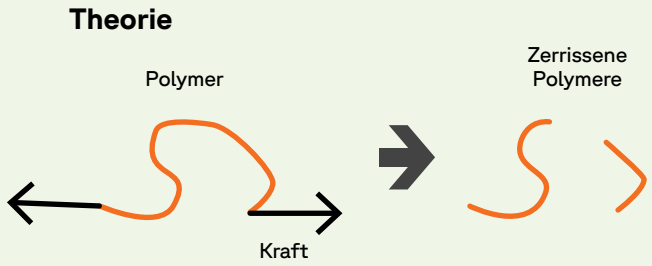


Abbildung 3: Theoretische Auswirkung von Scherkraft und Temperatur auf die Veränderung der Größe der Polymere

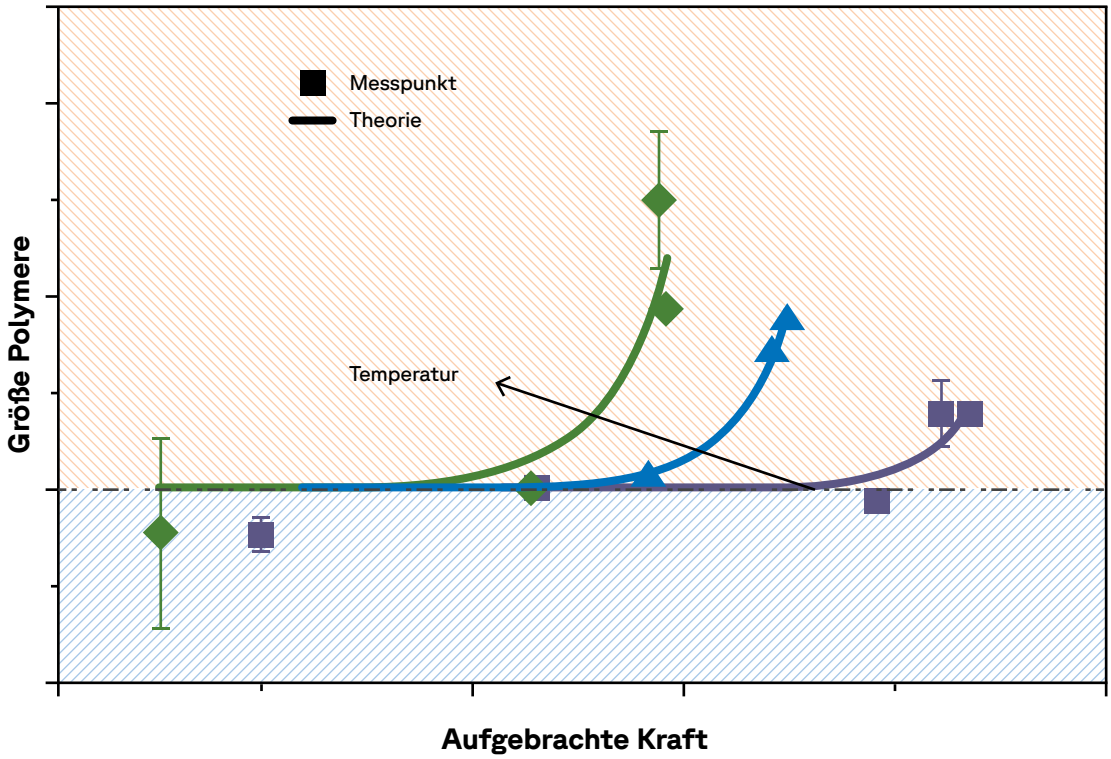
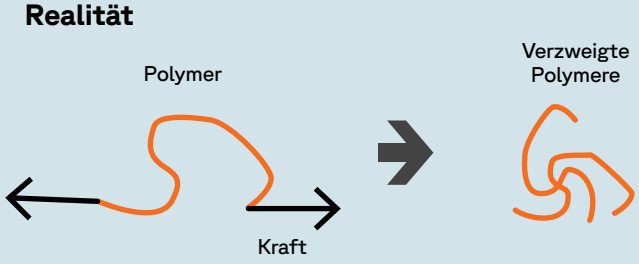


Abbildung 4: Einfluss der aufgebrachten Kraft auf die Größe der Polymere

Abbildung 5: Reale Auswirkung von Scherkraft und Temperatur auf die Veränderung der Größe der Polymere



Dafür wurde das Rheometer SIS V50 der Firma TA-Instruments verwendet, das eine geschlossene Kavität und genutete, konische Platten besitzt.

Dieses Rheometer wurde verwendet, um ein bestimmtes Polymer verschiedenen Scherkräften und Temperaturen auszusetzen.

Ergebnisse und Hypothesen

Für das untersuchte Polymer zeigt sich, dass sich das Polymer in Abhängigkeit von aufgebrachter Scherkraft und Temperatur unterschiedlich verhält. Das Polymer zeigt einen Anstieg in seiner Größe. Dabei führte eine höhere Temperatur und / oder höhere Scherkraft zu größeren Veränderungen (siehe Abb. 4). Dieses Verhalten unterscheidet sich von der oben beschriebenen Theorie.

Diese Änderung in der Größe der Polymere kann auch mit Hilfe von weiteren Methoden nachgewiesen werden, um etwaige systematische Effekte auszuschließen. Das Verhalten für das untersuchte Polymer ist in Abb. 5 gezeigt. Die Hypothese dafür ist, dass die gebildeten kleineren Polymerteile als Radikale mit bestimmten Gruppen (sog. Vinylgruppen) auf den Polymeren reagieren.

Diese Hypothese kann in ein mathematisches Modell formuliert werden. Damit kann die Veränderung der Größe der Polymere anhand von wenigen Faktoren vorhergesagt werden. Das sollte die Einschätzung der Auswirkungen des mechanischen Recyclings vereinfachen.

Fazit und Ausblick

Recycling kann nur in der Praxis umgesetzt werden, wenn die Konsequenzen abgeschätzt werden können. Die Auswirkungen des Recyclings auf das Polymer sind dabei ein wichtiger Faktor. Mit der Forschung am Technologietransferzentrum Haßfurt (TTZ-HAS) wird ein Beitrag dazu geleistet. Durch die Verbindung von Theorie und Praxis, von Labor zu Produktionshalle, vom Molekül zum Rohr können Zusammenhänge grundsätzlich verstanden werden und dadurch nachhaltige und ganzheitliche Lösungen gefunden werden. Das hier beschriebene Beispiel zeigt, wie tiefgehend, aber auch trotzdem praxisrelevant die Forschung hier angelegt ist.

Short Facts:

Thema
Smart Polymer Pipe Solutions

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Johannes Krückel

(Spezial-)gebiete
Kunststoffmaterialien und deren Prozessierung

Standort & Kontakt
Hofheimer Str. 14–18
97457 Haßfurt
ttz-has@thws.de

ttz-kg.thws
Technologietransferzentrum
Bad Kissingen
Technische Hochschule
Würzburg-Schweinfurt



16. Nachhaltige, digitale Transformation in der Laboranalytik und Medizintechnik

Prof. Dr.-Ing. Lisa Kiesewetter

Können Menschen im Labor durch Roboter entlastet werden? Kann Künstliche Intelligenz zuverlässig Bakterien identifizieren und die Diagnostik beschleunigen? Wie können Engpässe und Schwachstellen in Laborprozessen mit Tausenden von biologischen Proben aufgedeckt und behoben werden, ohne den ganzen Routineprozess zu stören? Lässt sich mit nur wenigen Klicks feststellen, welcher der über hundert Prozessparameter den größten Einfluss auf die Produktqualität hat?

Bad Kissingen beheimatet ein europaweit führendes Cluster im Bereich Analytik und Medizintechnik. Hier ansässige Unternehmen, vom spezialisierten Mittelständler bis hin zu Großunternehmen, prüfen in ihren Laboren unter anderem, dass:

- Medizinprodukte sicher sind und Tabletten tatsächlich die Wirkstoffe enthalten, die auf der Packung angegeben sind,
- kranke Haustiere die richtige Diagnose und damit auch die bestmögliche Therapie erhalten,
- Wasser- und Bodenproben frei von Schadstoffen sind und so die Grundlage für sauberes Trinkwasser und gesunde Lebensmittel gesichert wird.

Daneben werden in der Region Silikonbauteile für Medizinprodukte hergestellt, die höchsten Qualitätsanforderungen entsprechen. Mit neusten Verfahren werden individuelle Zahnersatzteile bis hin zu Totalprothesen gefertigt – und die zahlreichen Krankenhäuser und Rehakliniken vor Ort sorgen für eine umfassende Patientenversorgung.

Um den hohen Anforderungen an Standardisierung, Effizienz, Sicherheit und Qualität gerecht zu werden, gibt es im Bereich der Laboranalytik und Medizintechnik einen hohen Bedarf an modernen Lösungen. Gefragt sind Ansätze, die Prozesse optimieren, monotone Handgriffe automatisieren, durch Digitalisierung Papierberge reduzieren und eine sichere Kommunikation zwischen Geräten, Datenbanken und Laborpersonal gewährleisten. Die Schwierigkeit: Für viele dieser Herausforderungen gibt es keine Standardlösungen. Schon ein einzelnes Beispiel, wie die Automatisierung von Laborprozessen, verdeutlicht die Komplexität: Biologie, Medizin, Umweltanalytik, Elektrotechnik, Maschinenbau, Informatik und Regulatorik müssen dabei gleichermaßen berücksichtigt werden – und das erfordert ein interdisziplinäres Team, das all diese Perspektiven zusammenbringt. Genau für diese Lücke wurde das **Technologietransferzentrum Bad Kissingen (TTZ-KG)** gegründet.

Was das TTZ-KG bietet:

Am 3. August 2023 nahm das TTZ-KG seinen Betrieb auf – als offizielles Institut der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt, angesiedelt im Rhön-Saale-Gründer- und Innovationszentrum Bad Kissingen. Getragen wird es von einem breiten Bündnis: Neben der Hochschule beteiligen sich regionale Unternehmen sowie der Freistaat Bayern, die Stadt und der Landkreis Bad Kissingen. Seit April 2025 leitet Prof. Dr.-Ing. Lisa Kiesewetter das Institut. Die thematischen Schwerpunkte liegen genau dort, wo der Bedarf am größten ist: KI-gestützte automatisierte Analyse von Prozessdaten, Automatisierung von Laborprozessen, die Integration von Laborinformations- und Kommunikationssystemen für mehr Sicherheit und Durchsatz, sowie Process Mining, also die datenbasierte Analyse von Prozessabläufen, um Engpässe und Ineffizienzen sichtbar zu machen.

Was können Studierende vom TTZ-KG erwarten? Angebunden an die Fakultät Elektrotechnik und in enger Kooperation mit dem Institut für Medizintechnik Schweinfurt (IMES) sowie anderen Fakultäten der

THWS bietet das TTZ-KG Abschlussarbeiten und Praktika in den Bereichen Elektro- und Informationstechnik, Mechatronik, Business Intelligence, Künstliche Intelligenz, Medizintechnik und Laboranalytik – stets mit regionalem Technologiebezug. Der direkte Draht zu Unternehmen vor Ort bringt nicht nur Studierende und Betriebe zusammen, sondern verbindet Ingenieurswissen mit Laboralltag. Exkursionen in die Partnerunternehmen machen diesen Transfer konkret erlebbar: Wer einmal selbst durch ein Diagnostiklabor geht, versteht sofort, warum Automatisierung und Digitalisierung hier kein Luxus ist, sondern Notwendigkeit.

Doch das Institut beschränkt sich nicht auf Abschlussarbeiten und Exkursionen. Großes Interesse wecken auch die KI-Workshops des TTZ-KG, bei denen Unternehmen aus der Region erleben, was moderne KI-Technologien im Laborkontext leisten können. Davon sollen nicht nur große Labore profitieren. Das TTZ-KG wendet sich bewusst auch an kleinere Unternehmen – denn für sie ist ein Industrieroboter häufig schlicht keine Option im Budget. Statt auf Standardlösungen zu setzen, entwickelt das Institut maßgeschneiderte Prototypen in Kooperation mit Konsortialpartnern: von KI-Modellen, die auf die spezifischen Datensätze eines Unternehmens trainiert werden, über Prozessautomatisierung, um monotone, manuelle Arbeitsschritte zu ersetzen, bis hin zu anwenderfreundlicher Software, die sich nahtlos in bestehende Datenbanksysteme einbindet.

Ein weiterer Hebel: die gemeinsame Einwerbung von Drittmitteln. Über seine Netzwerke begleitet das TTZ-KG auch solche Betriebe bei der Antragstellung, die den Weg durch Förderprogramme bislang noch nicht gegangen sind – und schließt damit eine Lücke, an der Innovationsvorhaben nicht selten scheitern. Das TTZ-KG bietet eine Anlaufstelle für den gemeinsamen Erfahrungsaustausch. Viele Unternehmen im Cluster stehen vor ähnlichen Fragestellungen und profitieren davon, wenn sie nicht jedes Rad neu erfinden müssen. Das TTZ-KG bringt diese Unternehmen gezielt zusammen und begleitet sie dabei beratend mit dem Blick für das große Ganze und dem Wissen, was in vergleichbaren Kontexten bereits funktioniert hat.

Wie lässt sich all das stemmen? Mit einem Team, das so interdisziplinär ist wie die Probleme, die es löst: Biologen, KI-Experten, Automatisierungsingenieure und Softwareentwickler arbeiten hier Seite an Seite. Dass das leichter klingt als es ist, bringt Prof. Dr.-Ing. Kiesewetter auf den Punkt:

> „Die Schwierigkeit liegt zunächst darin, eine gemeinsame Sprache zu finden. Vor allem, wenn es um die jeweiligen Anforderungen an eine Entwicklung geht, unterhalten sich oft verschiedene Welten: Elektrotechniker und Chemielaboranten, Tier- und Humanärzte und KI-Experten, Pharmazeuten und Wirtschaftsingenieure."



© Robin Zirkelbach/ TTZ-KG

KI-gestützte Objekterkennung im Labor: Materialien und Proben, wie hier eine Laborflasche, werden in Echtzeit identifiziert. Solche Systeme sind Grundlage für eine zuverlässige Nachverfolgbarkeit im automatisierten Laborbetrieb.



© Robin Zirkelbach / TTZ-KG

Biologische Proben stellen besondere Anforderungen an automatisierte Prozesse – weshalb das Verstehen der Laborsprache Voraussetzung für jede erfolgreiche Automatisierungslösung ist.

Ein Mitarbeiter des TTZ-KG konfiguriert einen kollaborativen Roboter für Laboraufgaben. Solche Cobots sollen das Fachpersonal künftig bei wiederkehrenden Routinearbeiten entlasten.



© Robin Zirkelbach / TTZ-KG

Aktuelle Projekte am TTZ-KG

ARISE

Können Menschen im Labor durch Roboter entlastet werden? ARISE arbeitet an der Antwort. Das Projekt zielt auf die praktische Automatisierung von Laborprozessen – dort, wo Mitarbeitende heute noch Handgriff für Handgriff dieselben Routinen ausführen. Im Fokus stehen Teilprozessautomatisierung und individuelles Probenhandling: Automatisiertes Ausstreichen auf Nährböden, intelligente Pipettiersysteme, Decapping-Lösungen – also das automatische Öffnen von Probenröhrchen – und der Einsatz kollaborativer Roboter (Cobots, die Seite an Seite mit Menschen arbeiten) werden erprobt und für den realen Laboreinsatz optimiert.

AI-SEED

Kann KI zuverlässig Bakterien identifizieren? AI-SEED zeigt, wie weit diese Technologie bereits ist. Das Projekt bringt künstliche Intelligenz in die experimentelle Diagnostik: KI-gestützte Bildanalyse klassifiziert und zählt Mikroorganismen und Partikel automatisch, optische Zeichenerkennung erschließt handschriftliche und gedruckte Dokumente ohne manuellen Aufwand. Das Ergebnis: standardisierte, schnellere Analyseer-

gebnisse – und Laborpersonal, das sich auf das konzentrieren kann, was wirklich menschliches Urteilsvermögen erfordert.

DATA-FLOW

Durch Digitalisierung Papierberge reduzieren – DATA-FLOW macht genau das möglich. Das Projekt entwickelt Methoden zur automatischen Texterkennung und Informationsextraktion aus nicht-standardisierten Formularen wie Laborbestellscheinen. Aus einem Datenpool von über 150 unterschiedlichen Formulartypen sucht das System nach rund 650 englischen und deutschen Schlüsselbegriffen und ordnet diese den jeweiligen Abteilungen zu. Perspektivisch sollen auch Reha-Entlassbriefe automatisch generiert werden – ein Schritt, der den administrativen Aufwand in Kliniken spürbar reduzieren könnte.

Die eingangs gestellten Fragen – Roboter im Labor, KI in der Diagnostik, Prozessparameter auf Knopfdruck – sind keine Zukunftsvisionen mehr. Sie sind Arbeitsaufträge. Das TTZ-KG zeigt, dass die Antworten darauf nicht aus großen Technologiezentren kommen müssen, sondern dort entstehen können, wo die Fragen gestellt werden: mitten in einer Region, die sich längst zu einem Innovationsmotor für Laboranalytik und Medizintechnik entwickelt hat.

Short Facts:

Thema

Nachhaltige, digitale Transformation in der Laboranalytik und Medizintechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Lisa Kiesewetter

(Spezial-)gebiete

KI-gestützte Analyse
Process Mining
Bioanalytik
Laborautomatisierung
Medizintechnik

Standort & Kontakt

Sieboldstr. 7
97688 Bad Kissingen
ttz-kg@thws.de
ttz-kg.thws.de

Literaturverzeichnis

1. IDEE – digital – souverän

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schiffler, Fabienne Riesel M.A., Phillipp Seitz M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Stefanie Retka

Literatur:

[1] M. Cavazzuti (2012). Design of experiments. In Optimization methods: from theory to design scientific and technological aspects in mechanics (pp. 13–42). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[2] S. Koziel and L. Leifsson. (2013). Surrogate-based modeling and optimization. New York: Springer.

[3] B. K. Jenkins and A. R. Tanguay (1995). Handbook of neural computing and neural networks. Boston: MIT Press.

[4] A. Kratsios. The universal approximation property. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 89(5):435–469, 2021.

[5] P. Murugan and S. Durairaj. Regularization and optimization strategies in deep convolutional neural network. arXiv:1712.04711, 2017.

[6] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever and R. Salakhutdinov (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. The Journal of Machine Learning Research, 15(1), 1929–1958.

[7] P. Seitz and J. Schmitt. Alternating transfer functions to prevent overfitting in non-linear regression with neural networks. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, pages 1–22, 2023.

3. Wärme neu gedacht: Wie Wissenschaft und Stadtwerke gemeinsam die Energiewende gestalten

Prof. Dr.-Ing. Fabian Scheller, Fabian Büttner M.Sc., Dr. Renu Chaudhary, Anna-Maria Schmitt M.Sc.

Literatur:

[1] K. Kavvadias, J. P. Jiménez-Navarro, G. Thomassen. Decarbonising the EU heating sector: integration of the power and heating sector in JRC technical reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019. doi:10.2760/943257.

[2] Bundesministerium der Justiz, Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). 2024.

[3] M. Hoffmann, B. U. Schyska, J. Bartels, T. Pelser, J. Behrens, et al. A review of mixed-integer linear formulations for frame-work-based energy system models. Adv Appl Energy. 2024; 100190.

[4] D.S. Østergaard, S. Svendsen. Theoretical overview of heating power and neces-sary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s. Energy Build. 2016; 126:375–383. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.034.

[5] I. Sarbu, A. Dorca and M. Mirza. Exhaustive overview of advances in integrating renewable energy sources into district heating systems. Sustain Cities Soc. 2024; 116:105897. doi:10.1016/j.scs.2024.105897.

7. Wenn Ingenieure biologisch sprechen

Prof. Dr. Norbert Strobel, Dr. Christoph Malkmus

Literatur:

[1] E. J. Sayour, D. Boczkowski, D. A. Mitchell, S. K. Nair. Cancer mRNA vaccines: clinical advances and future opportunities. Nat Rev Clin Oncol. 2024 Jul; 21(7):489-500. doi: 10.1038/s41571-024-00902-1. Epub 2024 May 17. PMID: 38760500.

[2] S. Dembski, T. Schwarz, M. Oppmann, S. T. Bandesha, J. Schmid, S. Wenderoth, K. Mandel, J. Hansmann. Establishing and testing a robot-based platform to enable the automated production of nanoparticles in a flexible and modular way. Sci Rep. 2023 Jul 15;13(1):11440. doi: 10.1038/s41598-023-38535-6. PMID: 37454142; PMCID: PMC10349877.

[3] C. Zanatelli, L. Pretto, T. Casagrande Paim, M. R. Wink. Alternative in vitro and in silico models to reduce animal use: a crucial technological advance in dermatological sciences. Expert Rev Mol Med. 2026 Jan 23;28:e6. doi: 10.1017/erm.2026.10032. PMID: 41572723.

10. The Paperclip Experiment

Prof. Dr. Ivan Yamshchikov

Literatur:

[1] Aleksandra Sorokovikova, Sharwin Rezagholi, Natalia Fedorova and Ivan P. Yamshchikov. 2024. LLMs Simulate Big5 Personality Traits: Further Evidence. In Proceedings of the 1st Workshop on Personalization of Generative AI Systems (PERSONALIZE 2024), pages 83–87, St. Julians, Malta. Association for Computational Linguistics

[2] Aleksandra Sorokovikova, Pavel Chizhov, Iuliia Eremenko and Ivan P. Yamshchikov. 2025. Surface Fairness, Deep Bias: A Comparative Study of Bias in Language Models. In Proceedings of the 6th Workshop on Gender Bias in Natural Language Processing (GeBNLP), pages 206–227, Vienna, Austria. Association for Computational Linguistics

[3] Ronan Farrow and Andrew Marantz. Sam Altman May Control Our Future – Can He Be Trusted? New Yorker, April 6, 2026.

[4] Zeyi Lu and Angelica Henestrosa and Pavel Chizhov and Ivan P. Yamshchikov. The Company You Keep: How LLMs Respond to Dark Triad Traits. arXiv:2603.04299.

[5] Saudi Med J. Can engaging in social activities prolong life? 2025 Jun; 46(6):714. PMID: 40516934; PMCID: PMC12199640.

15. Tanz der Polymere – Warum der Takt von Polymeren wichtig für das Recycling von Kunststoffen ist

Prof. Dr.-Ing. Johannes Krückel, Tim Schülein M. Eng.

Literatur:

[1] T. Schülein, C. K. Georgantopoulos, L. Bolk, V. Herrmann, M. Wilhelm, Thermo-Mechanical Degradation Kinetics of a High-Density Poly(Ethylene) Using a Closed-Cavity Rheometer, J. Appl. Polym. Sci. (2025) e56784.

[2] European Union: European Commission, A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, COM(2018). (accessed February 16, 2023).

[3] V.M. Goldberg, G.E. Zaikov, Kinetics of mechanical degradation in melts under model conditions and during processing of polymers – A review, Polym. Degrad. Stab. 19 (1987) 221–250.

[4] S. N. Zhurkov, V. E. Korsukov, Atomic mechanism of fracture of solid polymers, J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed. 12 (1974) 385–398.

[5] P. Oblak, J. Gonzalez-Gutierrez, B. Zupančič, A. Aulova, I. Emri. Processability and mechanical properties of extensively recycled high density polyethylene, Polym. Degrad. Stab. 114 (2015) 133–145.

[6] H. Münstedt. Rheological Measurements and Structural Analysis of Polymeric Materials, Polymers 13 (2021) 1123.

[5] Saudi Med J. Can engaging in social activities prolong life? 2025 Jun; 46(6):714. PMID: 40516934; PMCID: PMC12199640.

Schlusswort

Die Institute und TTZ's unserer THWS sind weit mehr als Adressen in einem Organigramm. Sie sind die Werkstätten, in denen wissenschaftliche Methoden und die Fragen der Praxis zusammenfinden – dort, wo Unternehmen, Kommunen und Forschende gemeinsam an den Herausforderungen unserer Region arbeiten. Ob Digitalisierung, Kreislaufwirtschaft, Energie oder gesellschaftliche Resilienz: Der Transfer von Wissen in Anwendung ist für uns kein Nebenprodukt der Forschung, sondern ihr eigentliches Versprechen an die Region Mainfranken.

Was mir dabei besonders am Herzen liegt, ist die Nahbarkeit. Eine Hochschule für angewandte Wissenschaften lebt nicht hinter verschlossenen Türen. Unsere Institute und TTZ's sind bewusst offen und ansprechbar – für den mittelständischen Betrieb ebenso wie für die Kommune, für die eingespielte Kooperation ebenso wie für die erste, noch unfertige Idee. Wer bei uns anklopft, trifft auf Menschen, die zuhören, mitdenken und auf Augenhöhe zusammenarbeiten. Genau diese niedrige Schwelle ist unsere Stärke für die Region.

Deshalb möchte ich Sie ermutigen: Nehmen Sie Kontakt auf, fragen Sie, kommen Sie vorbei. Die besten inter- und transdisziplinären Projekte beginnen selten mit einem fertigen Plan – fast immer aber mit einem Gespräch. Wir freuen uns darauf.

Prof. Dr. Jan Schmitt
Vizepräsident Forschung und Gründung, THWS

Impressum

HERAUSGEBER DIESER AUSGABE

Prof. Dr.-Ing. Jan Schmitt
Vizepräsident Forschung und Gründung

Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt
Ignaz-Schön-Straße 11 · 97421 Schweinfurt
Telefon +49 9721 940-8594 · jan.schmitt@thws.de

Ansprechpartner am Campus Angewandte Forschung
Leiter Dr. Christian Lengl
Telefon +49 931 3511-8898 · christian.lengl@thws.de

Redaktion am Campus Angewandte Forschung
Susanne Reinhard, M.A.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin für Wissenschaftskommunikation
Telefon +49 931 3511-8115 · susanne.reinhard@thws.de

Design
Supstanz Kommunikationsdesign GbR
Suprun | Stanko-Angrés
Elsterstraße 8a · 04109 Leipzig
www.supstanz.com

Titelbild
© [A] / Adobe Stock

Kontakt, Themenvorschläge und Feedback
scj@thws.de

V. i. S. d. P.
Prof. Dr. Jean Meyer
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt

Münzstraße 12
97070 Würzburg
Telefon +49 931 3511-6002
Fax +49 931 3511-6044