

Abraswitch

Entwicklung eines innovativen Prototyps für den verschleißarmen Transport von Trockenfutter in Rohrleitungen durch ein optimiertes Strömungsverhalten

Autoren: Dunja Terörde, Fabian Pioch, Franz-Josef Peitzmann

Motivation/ Problemstellung

Während des Transports von Futterpellets zeigen sich vor allem in den Rohrweichen und den innenliegenden Flippern signifikante Abnutzungserscheinungen (Abb. 1). Dies führt zu einem erheblichen Energieverlust und einem Austreten von Futterpellets aus dem System, was den gesamten Transport verlangsamt und ökonomisch nicht effizient ist. Bei einem nicht synchronisierten Fütterungsprozess der Schweine entsteht zudem Futterneid zwischen den Tieren, was zu erheblicher Unruhe in den Ställen und Stress für die Schweine führt [1]. Bisher entwickelte Prototypen zur Lösung dieses Problems sind zwar erfolgreich, stehen jedoch vor der Herausforderung hoher Fertigungskosten, die bisher nicht durch den Verkaufspreis aufgefangen werden können.



Abb. 1: Prototypische Futterweiche mit Abnutzungserscheinungen an unterschiedlichen Flippern

Vorgehen und Ergebnisse

Die **Materialparameter der Futterpellets** wurden umfassend analysiert (in Anlehnung an DIN ISO 4324). Der Feuchtegehalt hat einen signifikanten Einfluss auf den Elastizitätsmodul sowie das Bruch- und Reibverhalten der Futterproben. Mit steigendem Feuchtegehalt der Pellets nimmt der Elastizitätsmodul ab, während die Reibneigung zunimmt [2]. Im Schüttwinkelversuch (Abb. 2) ergab sich ein Winkel von 50°, was auf eine erhöhte innere Reibung und Kohäsion schließen lässt [3]. Diese umfassenden Untersuchungen der Materialparameter liefern die Möglichkeit die Partikeleigenschaften in einer Simulation korrekt einzustellen.



Abb. 2: Schüttwinkelversuch mit Futterpellets aus der Schweinefütterung

Die gekoppelte **CFD-DEM-Simulation** (Computational Fluid Dynamics - Discrete Element Method) erlaubt eine detaillierte Analyse des abrasiven Verhaltens durch die Futterpellets während des Transports. Durch die Integration von Erosionsmodellen werden die Verschleißerscheinungen an der Futterweiche quantifiziert und tragen somit maßgeblich zur Optimierung des Systems bei. Die gewonnenen Ergebnisse bieten Einblicke in die Partikelbewegungen und ermöglichen eine präzise Vorhersage von Verschleißphänomenen für eine zielgerichtete Weiterentwicklung des Futtertransportsystems.

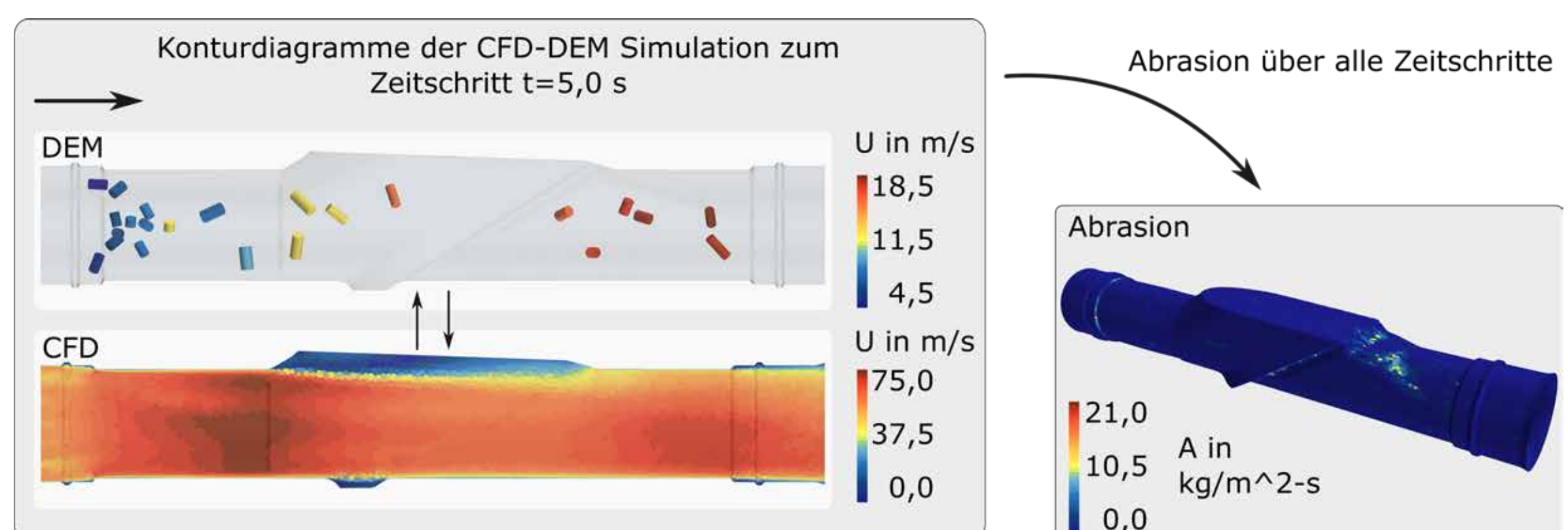


Abb. 3: Übersicht der Konturdiagramme einer gekoppelten CFD-DEM Simulation bei geschlossenem Abzweig in der Rohrweiche

Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendung der entwickelten Methoden und Erkenntnisse ermöglicht eine effizientere Gestaltung von Futtertransportsystemen in der Schweinehaltung, was zu erheblichen Einsparungen von Energie und Futter führt. Dies trägt nicht nur zur ökonomischen Optimierung bei, sondern unterstützt auch die Verbesserung des Tierwohls durch eine präzisere und stressfreiere Futterversorgung.

Die CFD-DEM-Kopplung kann außerdem auf den Transport von Schüttgütern in verschiedenen Industriezweigen angewendet werden. Die Optimierung von Förder- und Transportprozessen kann zu einer nachhaltigeren und kosteneffizienteren Produktion beitragen.

Quellen

- [1] A. Elkmann and Justus Liebig University Giessen, "Haltungsbioologische Untersuchungen zur Beschäftigung von Mast Schweinen in einstreuloser oder eingestreuter Haltung," Universitätsbibliothek Gießen, 2008.
- [2] E. Gallego, J. M. Fuentes, Á. Ruiz, G. Hernández-Rodrigo, P. Aguado, and F. Ayuga, "Determination of mechanical properties for wood pellets used in DEM simulations," Int. Agrophys., vol. 34, no. 4, pp. 485–494, 2020, doi: 10.31545/intagr/130634.
- [3] W. A. Günthner, J. Fottner, S. Kessler, H. Otto, and M. Rackl, Forschungsbericht zu dem IGF-Vorhaben DEM-Schüttgutdatenbank - Generierung einer Datenbank zur Kalibrierung von Schüttgütern für die DEM-Simulation von Förderanlagen der Forschungsstelle(n) Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München. Garching: fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2017.

Gefördert durch



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kontakt

Prof. Dr. Franz-Josef Peitzmann
E-Mail: franz-josef.peitzmann@w-hs.de
02871/2155-916
Münsterstr. 265
46397 Bocholt

Fabian Pioch
E-Mail: fabian.pioch@w-hs.de
02871/2155-155
Münsterstr. 265
46397 Bocholt

Dunja Terörde
E-Mail: dunja.teroerde@w-hs.de
02871/2155-928
Münsterstr. 265
46397 Bocholt

Westfälische Hochschule
Hochschulstandort Bocholt
Fachbereich Maschinenbau Bocholt
www.w-hs.de

Emissionsminderung und Tierwohlverbesserung in Kuhställen mittels eines digitalen Zwillings

Autoren: Fabian Pioch, Franz-Josef Peitzmann

Visual Abstract

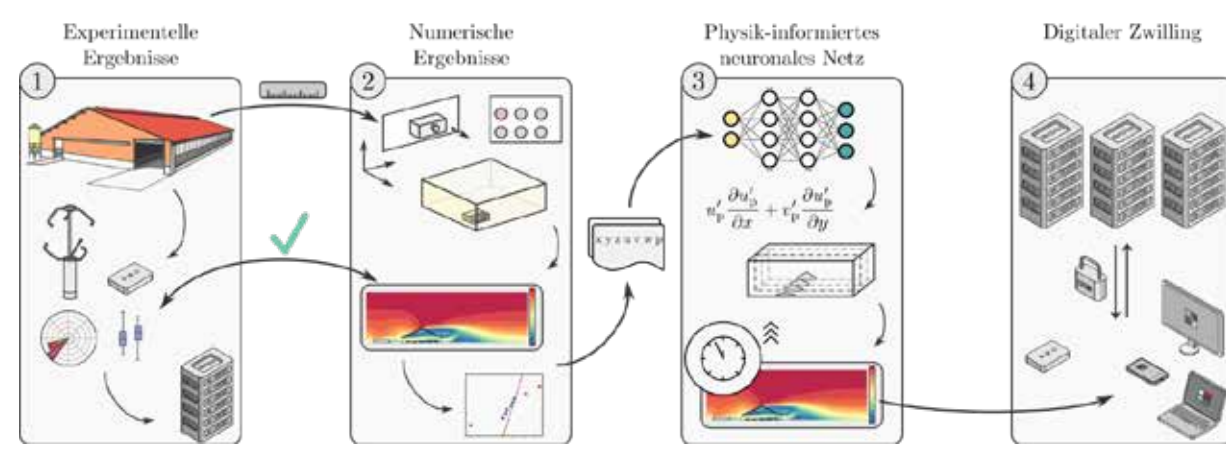


Abb. 1: Visuelle Zusammenfassung des Projekts

Motivation/ Problemstellung

In Anbetracht des Klimawandels und des weltweiten Bevölkerungswachstums stehen die Herausforderungen für die Agrarindustrie im Spannungsfeld komplexer und teils widersprüchlicher Anforderungen: Die Nahrungsmittelproduktion muss erweitert, Treibhausgasemissionen reduziert, das Tierwohl berücksichtigt und gleichzeitig flexibel auf Extremwetterereignisse reagiert werden. In Deutschland liegt ein besonderer Fokus auf der Milchviehhaltung, die weltweit etwa 6,1 % der Milchproduktion ausmacht [1]. Da die Produktivität der Milchkühe direkt mit ihrem Wohlbefinden zusammenhängt, ist ein gut reguliertes Mikroklima im Stall von entscheidender Bedeutung. Dies wird durch aktive und passive Lüftungselemente gesteuert (Abb. 2). Jedoch entstehen durch Verdauungsprozesse und Lagerung von Dung klimaschädliche Methanemissionen, die minimiert werden sollten. Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, relevante Faktoren zu identifizieren, um das Tierwohl zu verbessern, die Produktivität zu steigern und die Emissionen zu reduzieren.

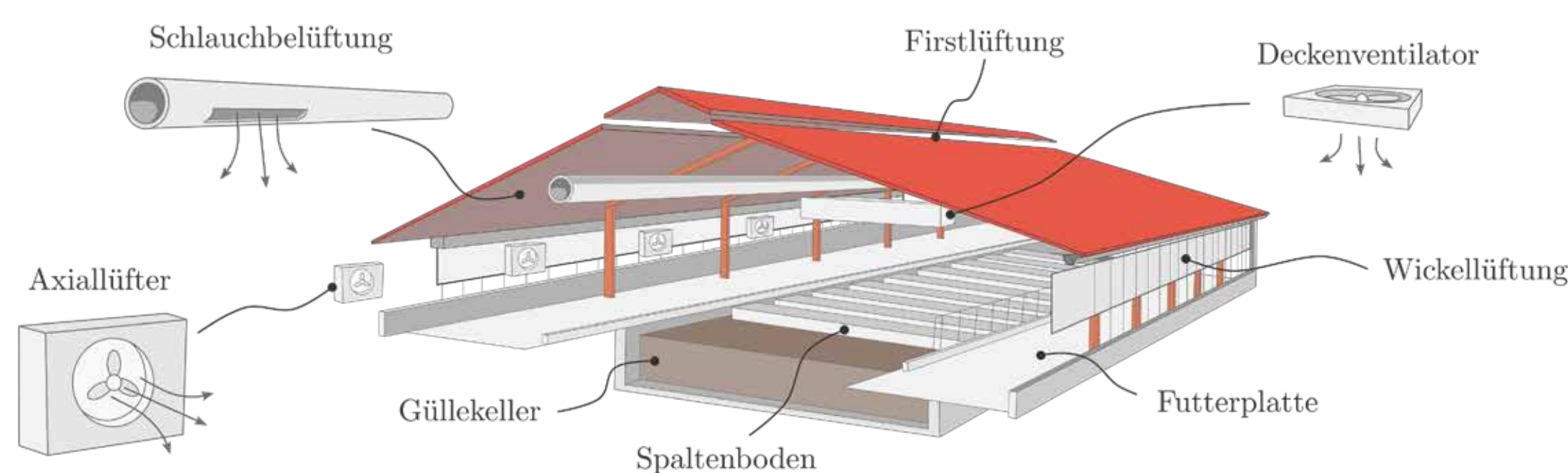


Abb. 2: Ein typischer freibelüfteter Stall mit außenliegender Futterplatte in der Schnittdarstellung und mit detaillierter sowie gekennzeichneten Lüftungselementen

Vorgehen und Ergebnisse

Die experimentelle Grundlage dieser Studie beruht auf Messkampagnen an einem realen Versuchsstall in Bocholt. Die Datenerhebung erstreckte sich über verschiedene Parameter, darunter Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Methankonzentrationen. Die Messgrößen wurden mit unterschiedlichen Sensoren in und außerhalb des Stalls erfasst. Für die numerische Untersuchung wurde ein parametrisierbares 3D-CAD-Modell erstellt. Dieses Modell ermöglicht die Variation relevanter Parameter und den sekundenschnellen Neuaufbau des CAD-Modells. Der Transport von Fluid, Wärme und Stoff wurden mittels COMSOL Multiphysics in einer gekoppelten numerischen Simulation berechnet. Diese multiphysikalischen Simulationen ermöglichen eine umfassende Analyse von Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Methankonzentration und Luftfeuchte in und um den Stall (Abb. 3). Durch die Simulation verschiedener Konstellationen, basierend auf einer statistischen Versuchsplanung, kann der Einfluss unterschiedlicher Parameter identifiziert werden. Diese systematische Herangehensweise erlaubt es, gezielte Schlüsse über die Wechselwirkungen der untersuchten Größen zu ziehen und ihre Auswirkungen auf das Stallklima präzise zu charakterisieren (Abb. 4).

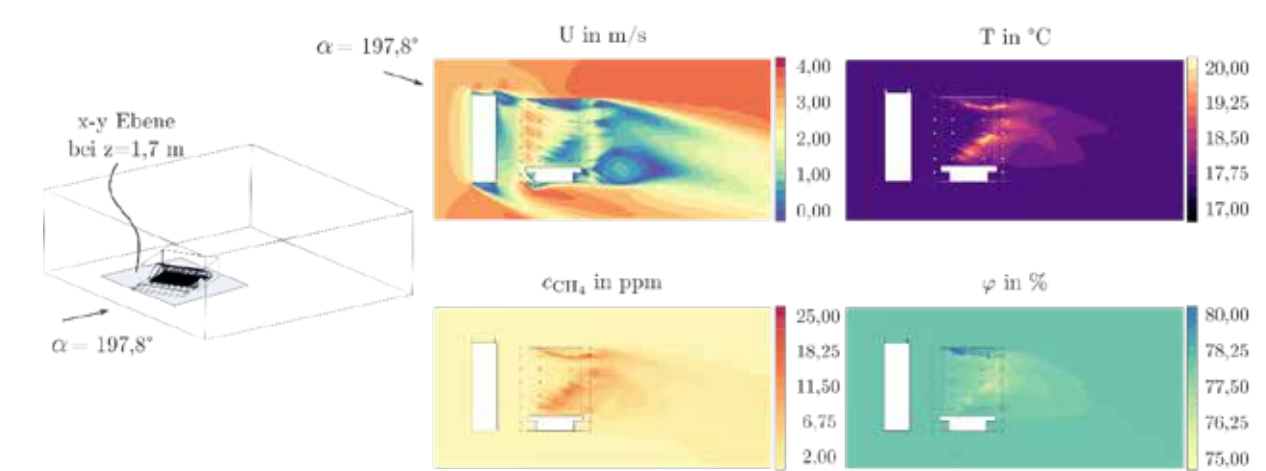


Abb. 3: Ausschnitt der Ergebnisse des Geschwindigkeitsbetrages, der Lufttemperatur, Luftfeuchte und des Methangehaltes auf der Schnittebene x-y bei z = 1,7 m

Die Surrogatmodellierung erfolgte unter Einsatz von Physik-informierten neuronalen Netzen (PINN). Diese speziellen künstlichen neuronalen Netze bieten die einzigartige Kombination von Simulationsdaten und Erhaltungsgleichungen für das Training, womit eine effektive Vorhersage trotz begrenzter Datenbasis möglich wird. In diesem Projekt wurde ein PINN darauf trainiert, die Strömungsverhältnisse in freibelüfteten Kuhställen für unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten, Stellungen der Wickellüftung und Dachneigungen in Echtzeit abzubilden. Hierzu wurde ein Turbulenzmodell für PINNs entwickelt und erprobt [2]. Durch den Einsatz von PINN wurde die Vorhersagezeit im Vergleich zur Simulation von 16 Stunden auf 0,006 Sekunden bei höchstens 15 % Abweichung verringert (Abb. 5). Der Fehler bezieht sich auf die Vorhersage einer Parameterkombination, die nicht in den Trainingsdaten des PINN enthalten war.

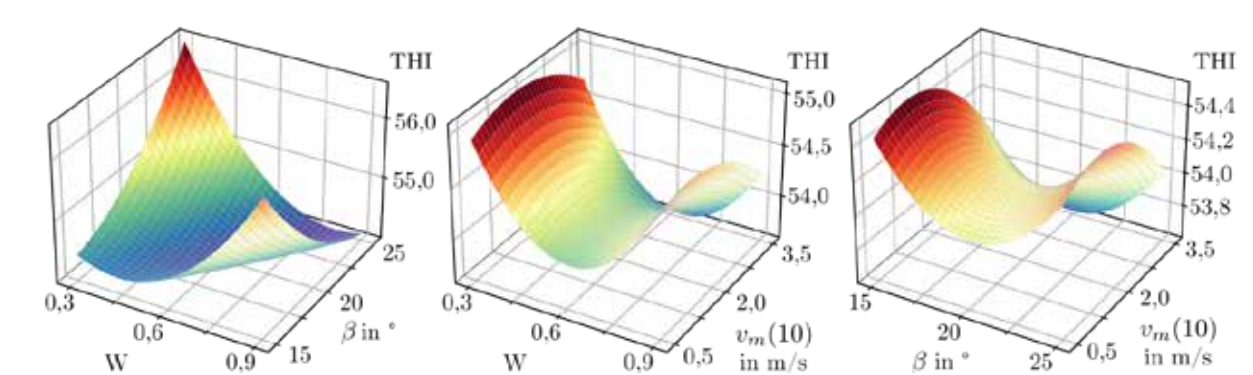


Abb. 4: Antwortflächen der Faktoren des Box-Behnken-Versuchsplans gemäß Auswertung nach Tierwohl-Index THI

Der digitale Zwilling wurde mittels einer Webapplikation realisiert, die Ergebnisse und Funktionen bereitstellt. Um höchste Sicherheitsstandards zu gewährleisten, erfolgte die kryptographische Absicherung durch eine Bcrypt-Verschlüsselung in Kombination mit einem Salt. Dies stellt sicher, dass der digitale Zwilling verlässlich vor unbefugtem Zugriff geschützt ist, während gleichzeitig die nutzerseitige Bereitstellung von Echtzeitdaten und -funktionalitäten ermöglicht wird.

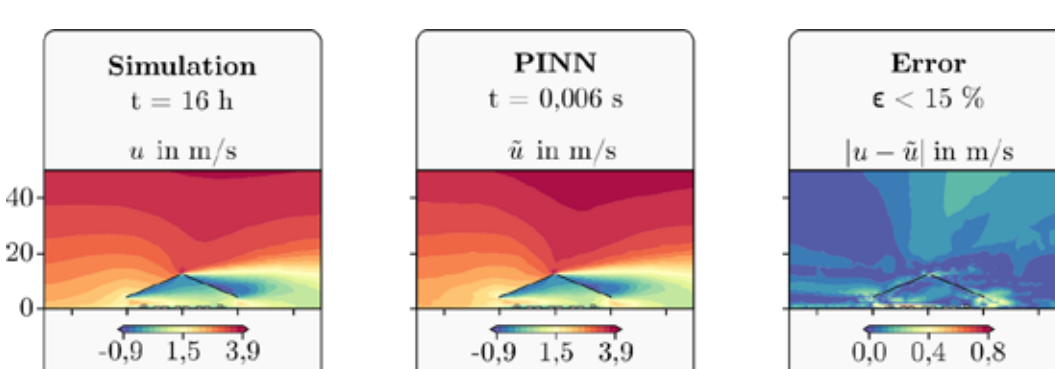


Abb. 5: Konturdiagramme der Simulation, PINN-Vorhersage und dem absoluten Fehler für $W = 75\%$, $\beta = 22,5^\circ$ und $v_m(10) = 2,75\text{ m/s}$

Anwendungsmöglichkeiten

Die entwickelten Methoden bergen nicht nur großes Potenzial für die Optimierung von freibelüfteten Kuhställen, sondern könnten auch in anderen industriellen Bereichen Anwendung finden. Hierbei ist das methodische Vorgehen zur Analyse relevanter Einflussfaktoren und echtzeitfähigen Vorhersagen von Strömungsverhältnissen, Temperatur und Stoffkonzentrationen hervorzuheben. Die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten eröffnen das Potenzial für interdisziplinäre Kooperationen. Wir sind offen für zukünftige Projekte und die Zusammenarbeit mit Unternehmen, um die erlangten Erkenntnisse und Methoden auf neue Herausforderungen und Industriezweige auszuweiten.

Quellen

- [1] Max-Eyth-Verlag, Ed., DLG-Mitteilungen: Sonderheft, 2023.
- [2] F. Pioch, J. H. Harmening, A. M. Müller, F.-J. Peitzmann, D. Schramm, and O. el Moctar, "Turbulence Modeling for Physics-Informed Neural Networks: Comparison of Different RANS Models for the Backward-Facing Step Flow," *Fluids*, vol. 8, no. 2, p. 43, 2023, doi: 10.3390/fluids8020043.

Kontakt

Fabian Pioch
E-Mail: fabian.pioch@w-hs.de
02871/2155-155
Münsterstr. 265
46397 Bocholt

Prof. Dr. Franz-Josef Peitzmann
E-Mail: franz-josef.peitzmann@w-hs.de
02871/2155-916
Münsterstr. 265
46397 Bocholt

Westfälische Hochschule
Hochschulstandort Bocholt
Fachbereich Maschinenbau Bocholt
www.w-hs.de

Gefördert durch:

Ministerium für Landwirtschaft
und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Techno-ökologische Maßnahmenbewertung zur Steigerung der Lebensdauer (repair, re-use, remanufacture)

Autoren: Martin Gertz, Thomas Brümmer

Gemeinsam zu mehr Nachhaltigkeit beim Einsatz von Energiesystemen

Im Zuge der angestrebten Energiewende in Deutschland kommt es zu einem verstärkten Ausbau von dezentralen Energiesystemen zum Bereitstellen von elektrischer und Wärmeenergie in Quartieren. Dabei werden zum Bereitstellen von elektrischer und Wärmeenergie überwiegend Neuanlagen verbaut, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Altanlagen dagegen werden nur selten auf ihre Wiederverwendung geprüft und technisch aufgerüstet. Dieses Vorgehen ist aus ökonomischer Sicht zwar nachvollziehbar, sorgt aber für eine geringere Ausschöpfung des ökologischen Potenzials.

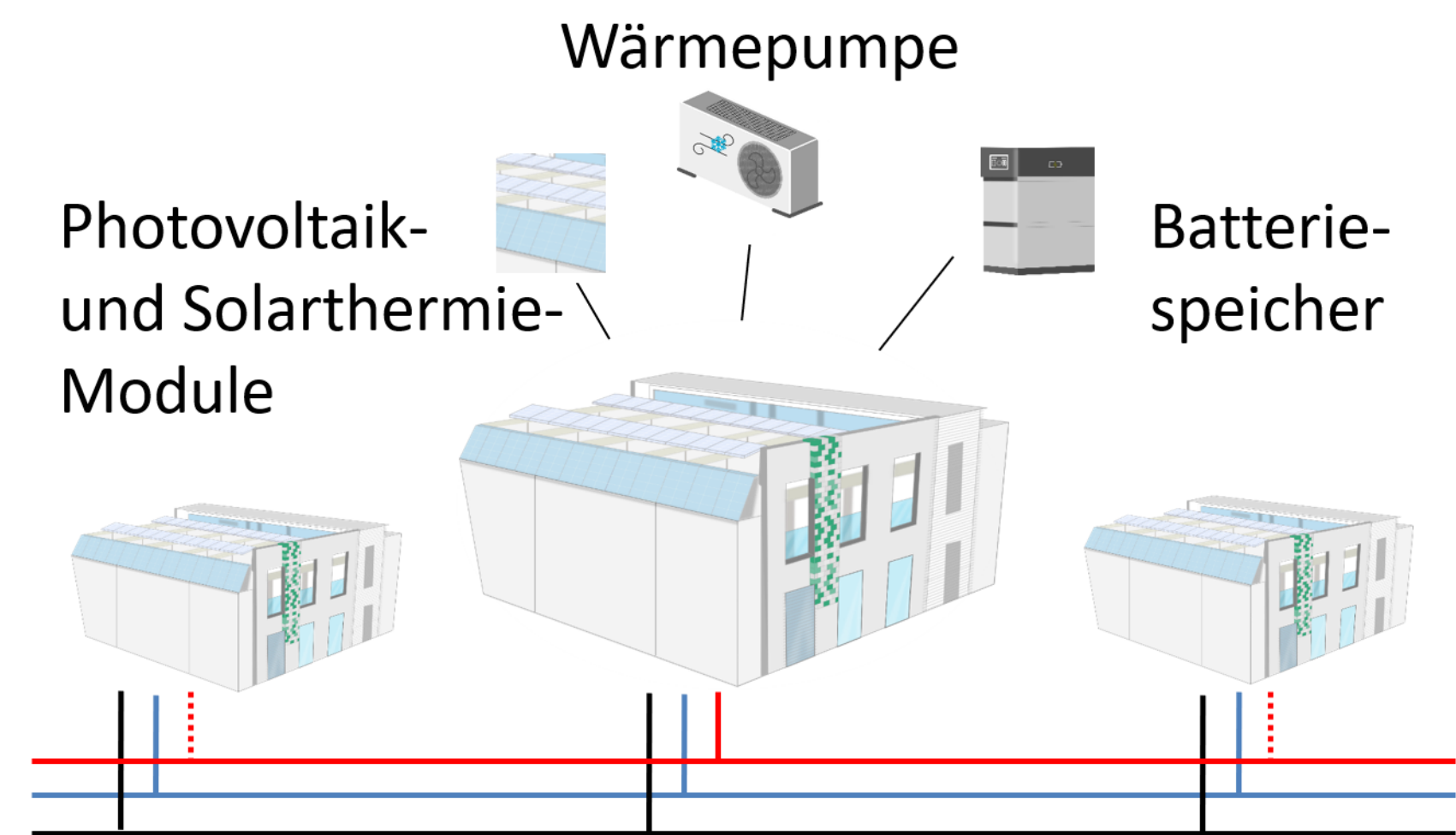


Abb 1: Wandel der Energieversorgung zu dezentralen Energiesystemen in Wohnquartieren (Eigene Darstellung)

Zukunft Bau Forschungsförderung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen geförderten Forschungsvorhabens „Techno-ökologische Maßnahmenbewertung zur Steigerung der Lebensdauer (repair, re-use, remanufacture) – Es3R“ werden bis Anfang 2026 die Möglichkeiten zur Reduktion der Umweltbelastung untersucht, welche durch die Komponenten der Energiesysteme während ihres Lebenszyklus (Produktion, Betrieb und Recycling) verursacht werden. Hierzu werden Maßnahmen identifiziert und bewertet, welche zu einer Verlängerung der Lebensdauer der jeweiligen Systemkomponenten führen. Der Fokus der Betrachtung liegt dabei auf den in Quartieren verbauten Energiesystemen und deren Komponenten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Systeme der Wärmepumpen, Batteriespeicher sowie Photovoltaik-Anlagen. Für eine Verknüpfung des Projektes mit der Praxis wurde zu Beginn des Forschungsvorhabens ein Projektbeirat gegründet, der die Ergebnisse nachhaltig in die Branche transferiert. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Ergebnisse in Form einer Nachhaltigkeitsbetrachtung gezielt in die Branche zu transferieren.

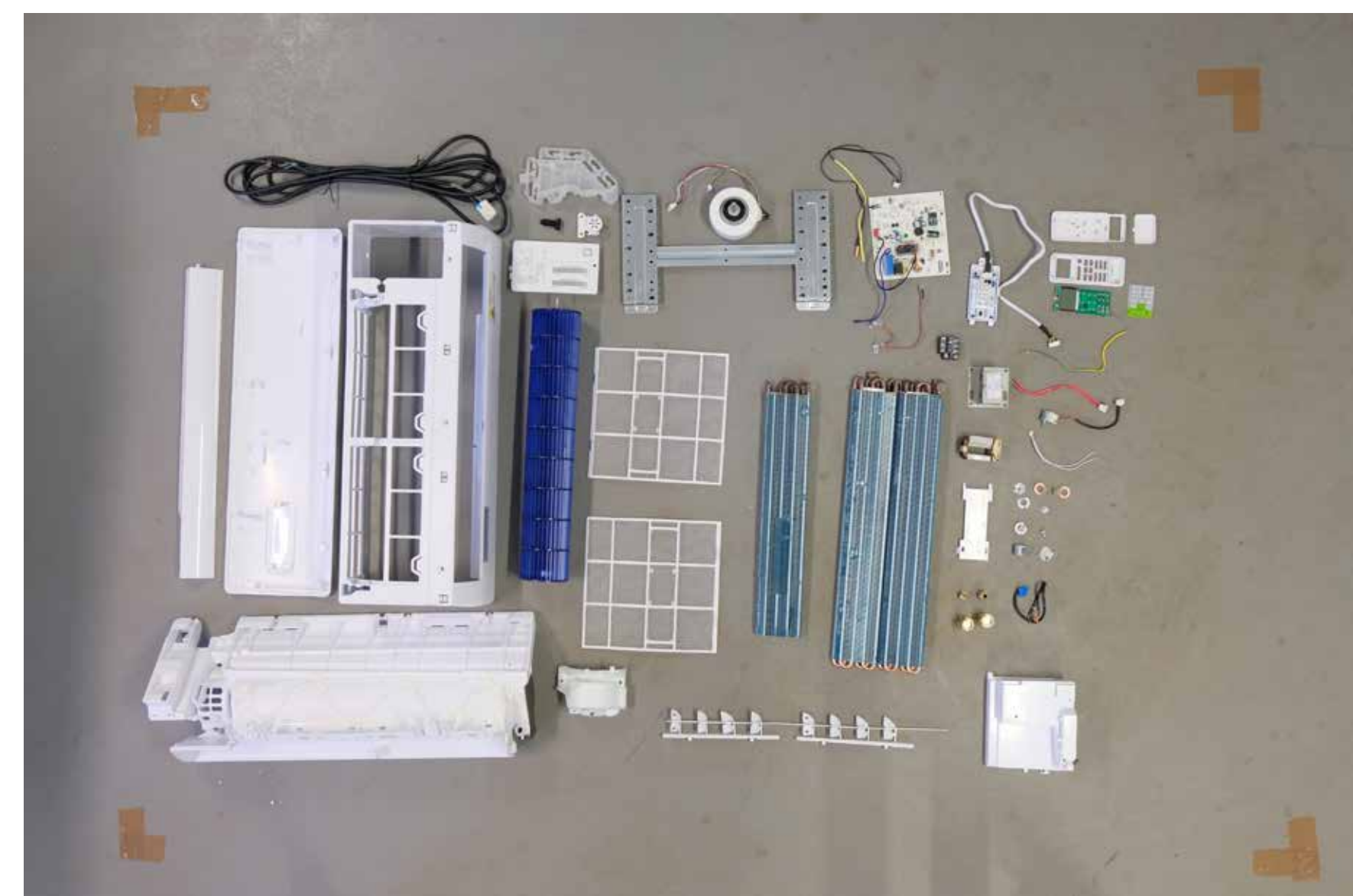
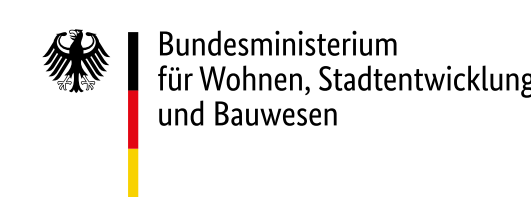


Abb 2: Untersuchung von Einzelkomponenten einer Luft-Luft-Wärmepumpe für den Einsatz im second-life (Eigene Darstellung)



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen aus Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung.



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung



Abb 3: Logos der Projektpartner und Informationen sowie Logos zur Projektförderung

Kontakt

Martin Gertz
Tel.: +49 209 9596-8969
E-Mail: martin.gertz@w-hs.de

Prof. Dr. Thomas Brümmer
Tel.: +49 209 9596-299
E-Mail: thomas.brümmer@w-hs.de

Westfälische Hochschule
Neidenburger Straße 43
45897 Gelsenkirchen
www.w-hs.de

Strukturierte Automatisierungsmethode - SAM

Autoren: Christopher Langner, Thomas J. Naber

In den kommenden Jahren werden die geburtenstarken Jahrgänge sukzessiv das Renteneintrittsalter erreichen, sodass es zu einem erheblichen Rückgang des Fachkräfteangebots in Deutschland kommen wird. Schon ab 2025 begrenzt der Mangel an Arbeitskräften die Expansion der Wirtschaft. Selbst eine steigende Erwerbsquote der Frauen und der Älteren sowie eine jährliche Nettozuwanderung von 100.000 Personen können diesen Trend nicht aufhalten.

„Wie können wir Prozesse **strukturiert** analysieren, um dem **Fachkräftemangel** mit **Automatisierungslösungen** entgegenzuwirken?“

Projektdarstellung

Prozessanalyse

- Wie hoch ist das Automatisierungspotenzial eines Prozessschrittes?
- Wie hoch ist die Notwendigkeit, den Prozessschritt zu ändern?

Priorisierung

- Welcher Prozessschritt sollte aufgrund der Ergebnisse der vorgeschalteten Analyse mit technischen Lösungen unterstützt werden?

Umsetzung

- Wie kann das Automatisierungspotenzial gehoben werden?
- Wie kann die menschliche Arbeit besser gestaltet werden?

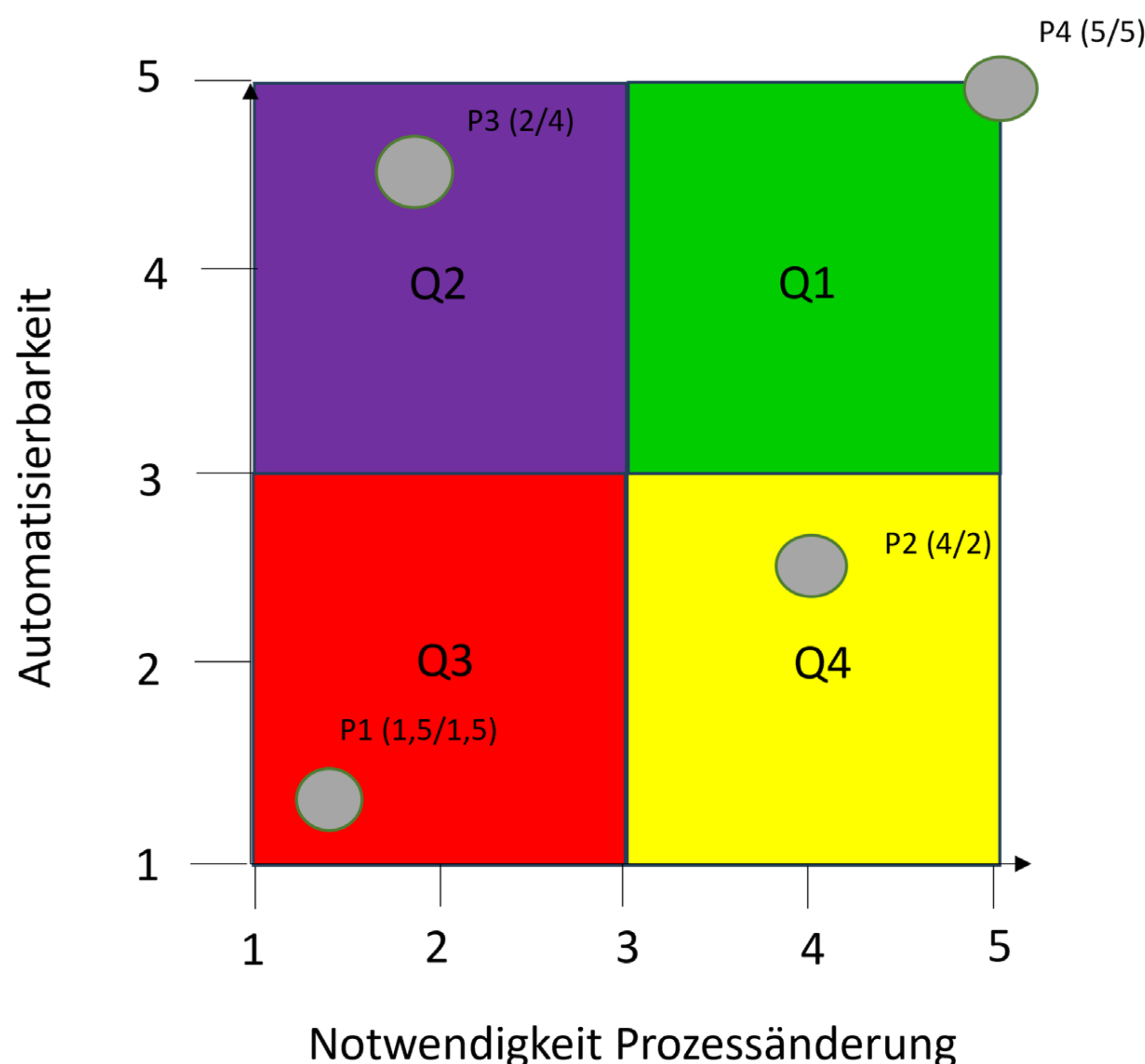


Abb. 1: Auswertung Prozessanalyse

Ausblick

Durch die Handlungsempfehlungen dieser strukturierten Methode kann ein Einstieg in die Prozessautomatisierung erleichtert werden. Somit kann der Fachkräftemangel auch in Zukunft bewältigt werden und Unternehmen können sich immer schneller wandelnden Gegebenheiten anpassen.

Kontakt

Christopher Langner, M. Sc.
Münsterstr. 265
46397 Bocholt
E-Mail: christopher.langner@w-hs.de

Prof. Dr. Thomas J. Naber
Münsterstr. 265
46397 Bocholt
E-Mail: thomas.naber@w-hs.de

Westfälische Hochschule
Hochschulstandort Bocholt
Fachbereich Maschinenbau Bocholt
www.w-hs.de

Machbarkeitsstudie: Verformungsmessung textiler Automobilteile Online-Überwachung während der Bauteilprüfung im Klimawechseltest

Autoren: Jonas Weitenberg, Henning Tünte, Moses-Gereon Wullweber, Prof. Dr. Horst Toonen

Zur Entwicklung und Fertigung von Bauteilen gehört, neben der vorherigen Berechnung, auch die Überprüfung der Eigenschaften unter Realbedingung. Bei der Bauteilprüfung textiler Automobilteile der Fa. autoneum (Abbildung 1) werden 15 Jahre Lebensdauer in vier Wochen durch Klimawechseltests simuliert. Die Zustandsveränderung des Bauteils lässt sich aktuell nur im Nachhinein durch kostenintensive 3D-Vermessung überprüfen. Eine punktuelle bzw. rasterförmige Messung der Bauteildurchbiegung mit entsprechender Live-Übertragung stellt eine direktere und wesentlich günstigere Lösung dar.

Abb. 1: Logo der Kooperationsfirma autoneum [1]

Basis des Aufbaus ist ein optischer Sensor (ToF, Time of Flight) zur Distanzmessung, einer Messung der Umgebungstemperatur sowie deren Signalfassung und -verarbeitung durch einen Mikrocontroller. Das vollständige Echtzeit-Monitoring-System besteht neben der Messtechnik aus einer drahtlosen IOT-Anbindung (Internet of Things) mittels WIFI, der Speicherung sowie der Visualisierung auf der Online-Plattform ThinkSpeak (Abbildung 2).

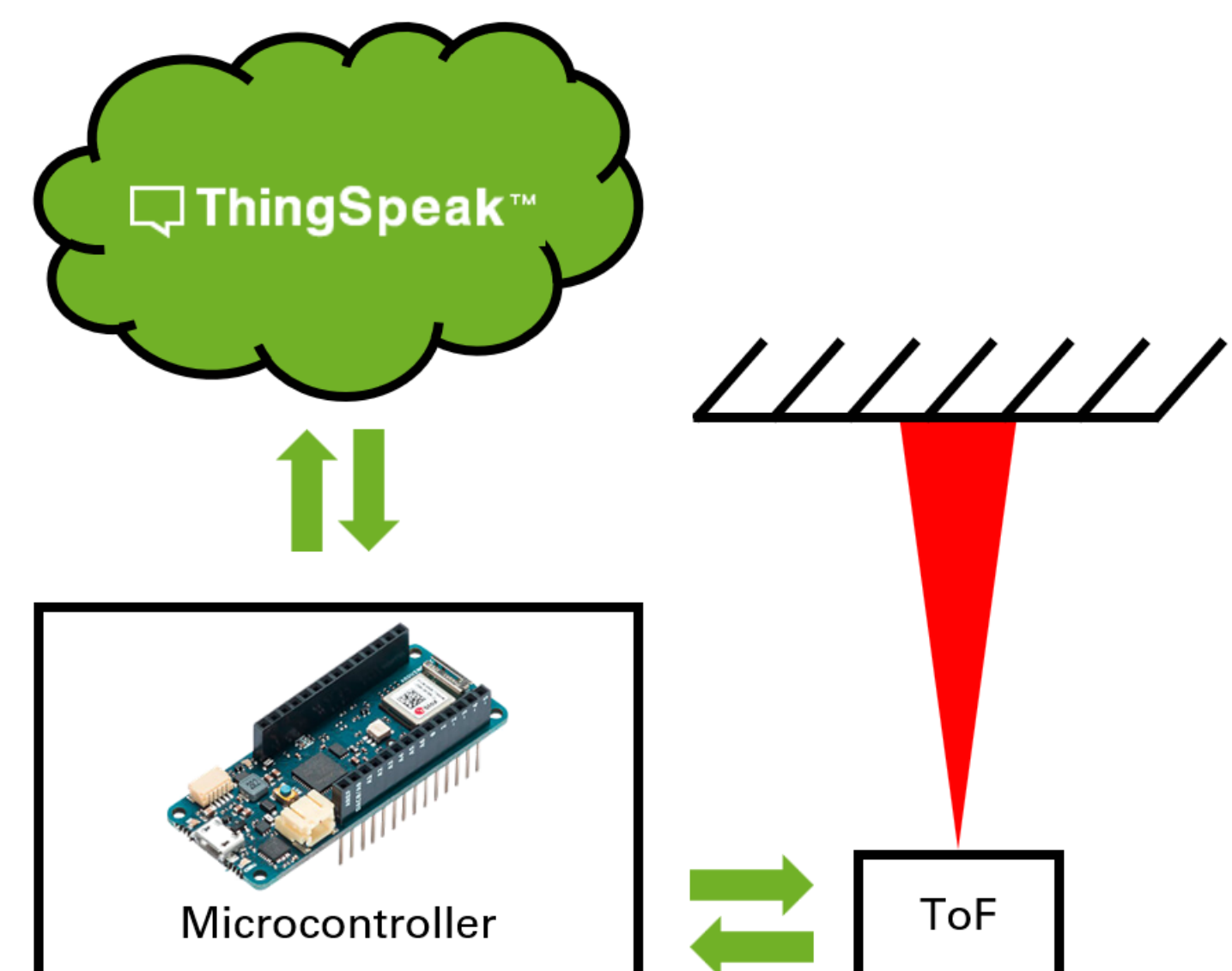


Abb. 2: Blocksaltbild des Sensorsystems [2], [3]



Abb. 3: Prüfaufbau im Labor der Fa. autoneum

Die Sensoren sind frei platzierbar und können passend im Prüfaufbau integriert werden. (Abbildung 3). Auf diese Weise lassen sich während der gesamten Prüfdauer die Bauteilverformung und die Umgebungsbedingungen beobachten. Mögliche Zusammenhänge werden bereits während der Prüfung in Echtzeit erkennbar (Abbildung 4). Die Messdaten lassen sich in gängigen Formaten exportieren und weiterverarbeiten. Auch längere Messzeiten über vier Wochen können mit diesem System problemlos aufgezeichnet werden.

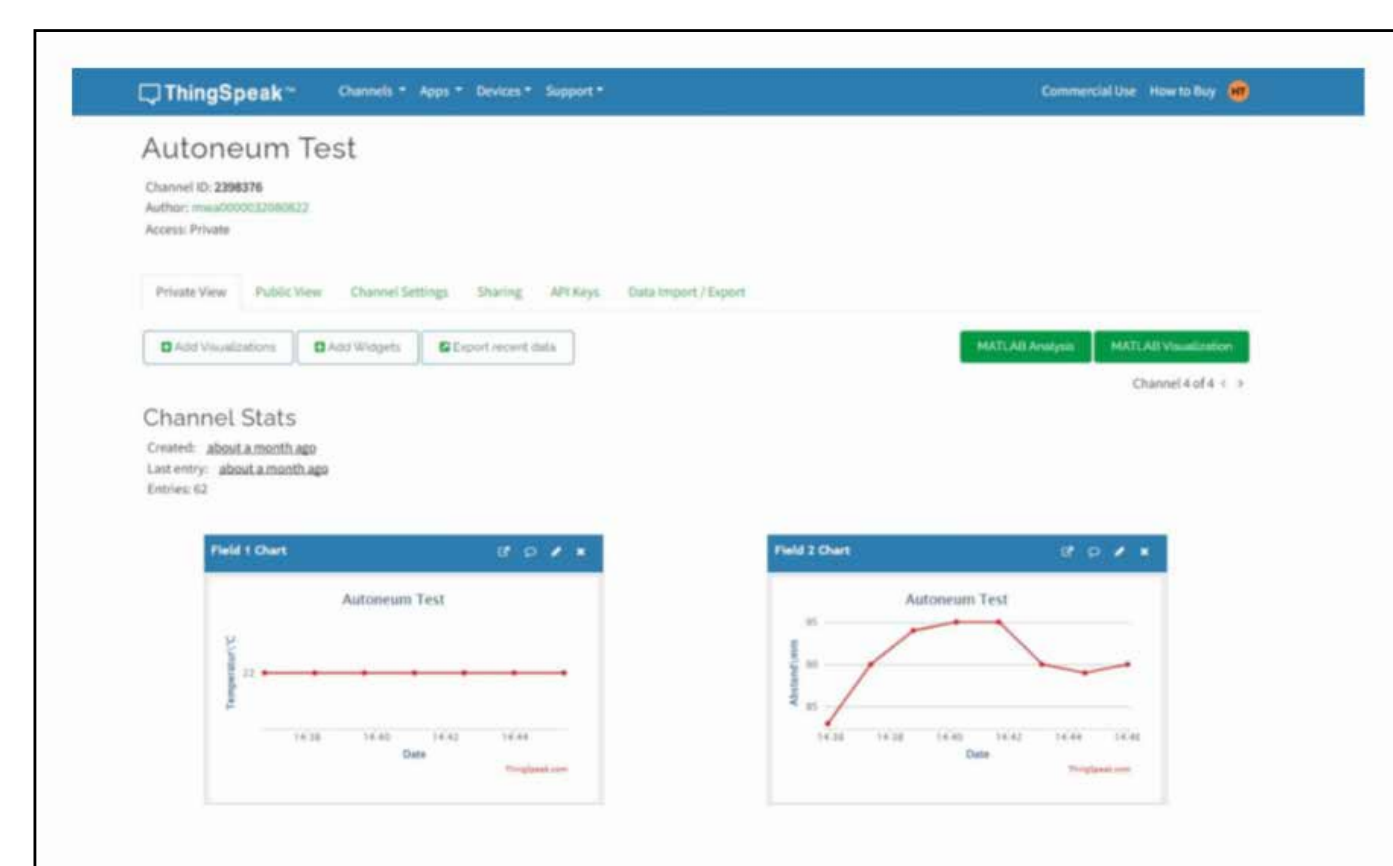


Abb. 4: Benutzeroberfläche auf ThinkSpeak.com. Im linken Diagramm wird die Temperatur, im rechten die Verformung bei Be- und Entlastung dargestellt.

Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass ein low-cost-Messsystem für den obigen Anwendungsfall aufgebaut werden kann. Das Projekt kann durch die Implementierung in den Firmenserver, sowie mit einem Sensor nach Industriestandards abgerundet werden. Abgesehen von der Abstandsmessung bei der Bauteilprüfung lassen sich weitere Fragestellungen umsetzen. Denkbar sind bspw. Luftfeuchte- und Temperaturmessung einer Klimazelle, Verlauf der Sonneneinstrahlung an einem Ort für Photovoltaik oder Gewichtsmessung beim Trocknen von Holz. Die Abtastrate, sowie die Verarbeitung der Daten kann an den entsprechenden Anwendungsfall angepasst werden.

Quellen

- [1] Autoneum Holding AG. URL.: <https://www.autoneum.com/de/> (Abrufdatum: 15.02.2024)
- [2] reichelt elektronik GmbH: ARD MKR1010 WH. URL: <https://www.reichelt.de/arduino-mkr1010-wifi-bt-samd21-cortex-m0-32-bit-arm-ard-mkr1010-wh-p289307.html> (Abrufdatum: 15.02.2024).
- [3] The MathWorks, Inc. (2024): URL: <https://thingspeak.com> (Abrufdatum: 15.02.2024).

Kontakt

Moses-Gereon Wullweber, M.Eng.
E-Mail: moses-gereon.wullweber@w-hs.de
Tel.: +49 2871 2155-963
Westfälisches Institut für Bionik
<https://www.bionik-institut.de/>

Prof. Dr. Horst Toonen
E-Mail: horst.toonen@w-hs.de
Tel.: +49 2871 2155-926
Mechatronik-Institut Bocholt
Fachbereich Maschinenbau Bocholt

Westfälische Hochschule
Standort Bocholt
Münsterstr. 265
46397 Bocholt
www.w-hs.de

AeroBlade

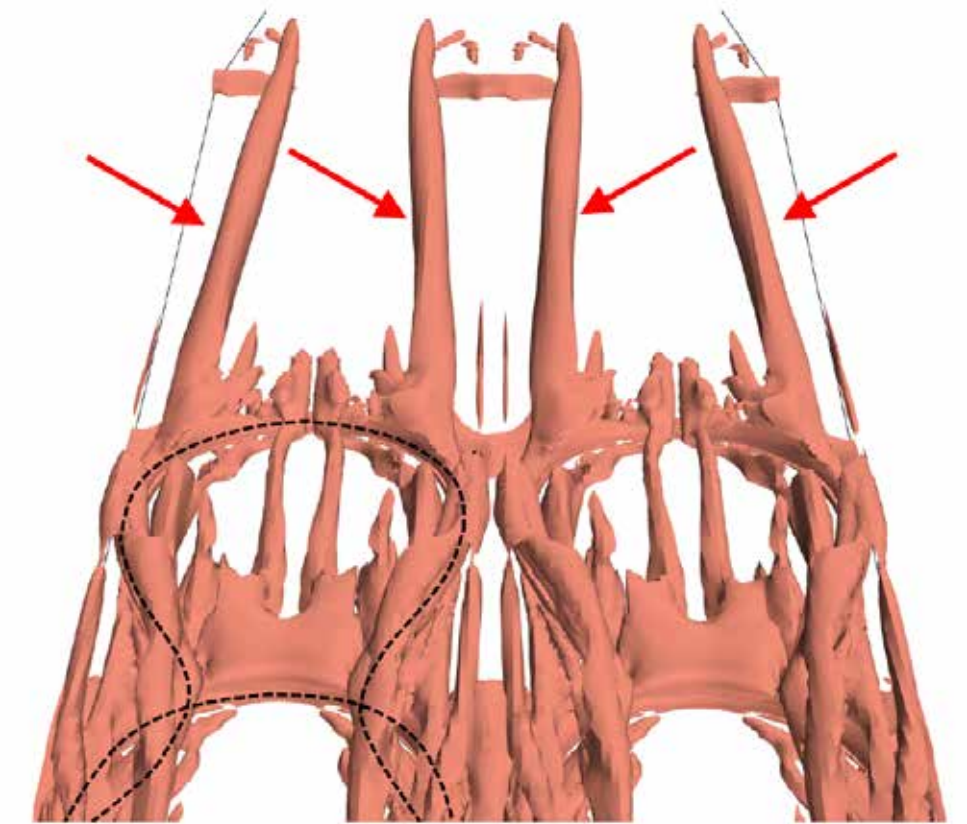
Numerische und experimentelle Untersuchungen von Drahtgestriken mit Hinblick auf die aerodynamische Optimierung der Blätter von Windenergieanlagen

Autoren: Jan Hauke Harmening, Franz-Josef Peitzmann

Das ZIM-geförderte Forschungsprojekt AeroBlade hat die Entwicklung neuartiger Bauelemente aus Drahtgestrick mittels einer spezifischen CFD-Modellierung zur Optimierung der aerodynamischen Eigenschaften von Rotorblättern und Leistungssteigerung von Windparks von bis zu 2% bis 5% zum Ziel.

Die aerodynamischen Effekte wurden in einer Detailbetrachtung numerisch untersucht. Die Simulationen zeigen, dass an den Drahtstrukturen lange Verwirbelungen generiert werden, die den Strömungsabriss an einer rückwärtsgerichteten Rampe deutlich reduzieren (Abbildung 1). Dieser Mechanismus ist vergleichbar mit dem von Vortexgeneratoren.

Abb. 1: Induzierte Wirbel am Drahtgestrick. Die roten Pfeile markieren die Wirbel, die die Reduktion des Strömungsabrisses bewirken.



Durch das vor der Rampe positionierte Gestrick wird der Strömungsabriss verzögert und eine Reduktion der Ablöseblase um 25,7% bewirkt (Abbildung 2).

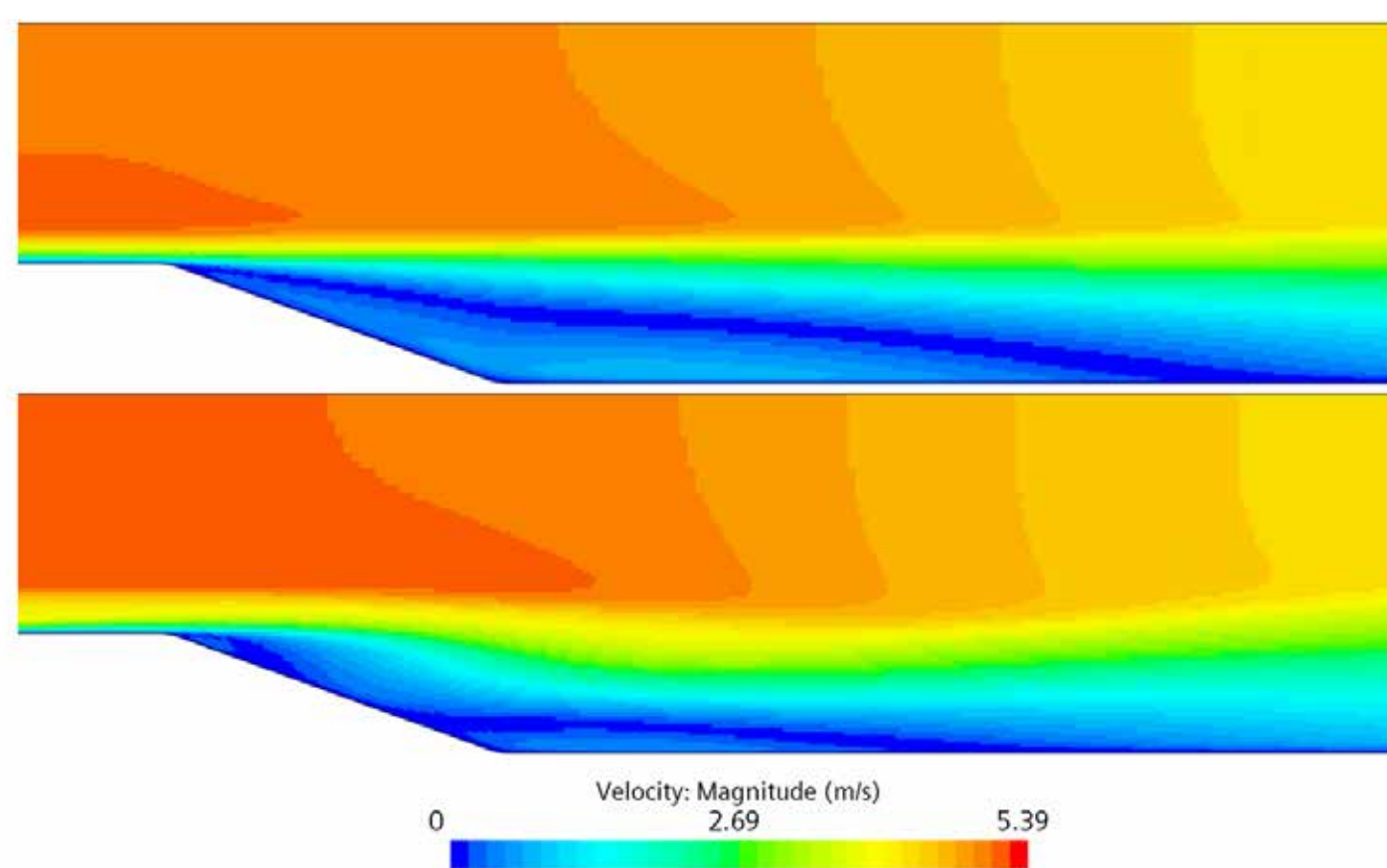


Abb. 2: Strömungsabriss an einer stromabwärts gerichteten Rampe. Oben: ohne Drahtgestrick, unten: mit Drahtgestrick links der Rampe.

Die aerodynamischen Effekte wurden mit Messungen im Windkanal untersucht. Hierfür wurden Gestrick-Varianten auf der Oberfläche eines Zylinders positioniert. Abb. 3 zeigt die Ergebnisse der Kraftmessungen. Insbesondere im Fall höherer Reynoldszahlen konnte eine signifikante Reduktion der Widerstandswerte erreicht werden (bis zu 16.5%).

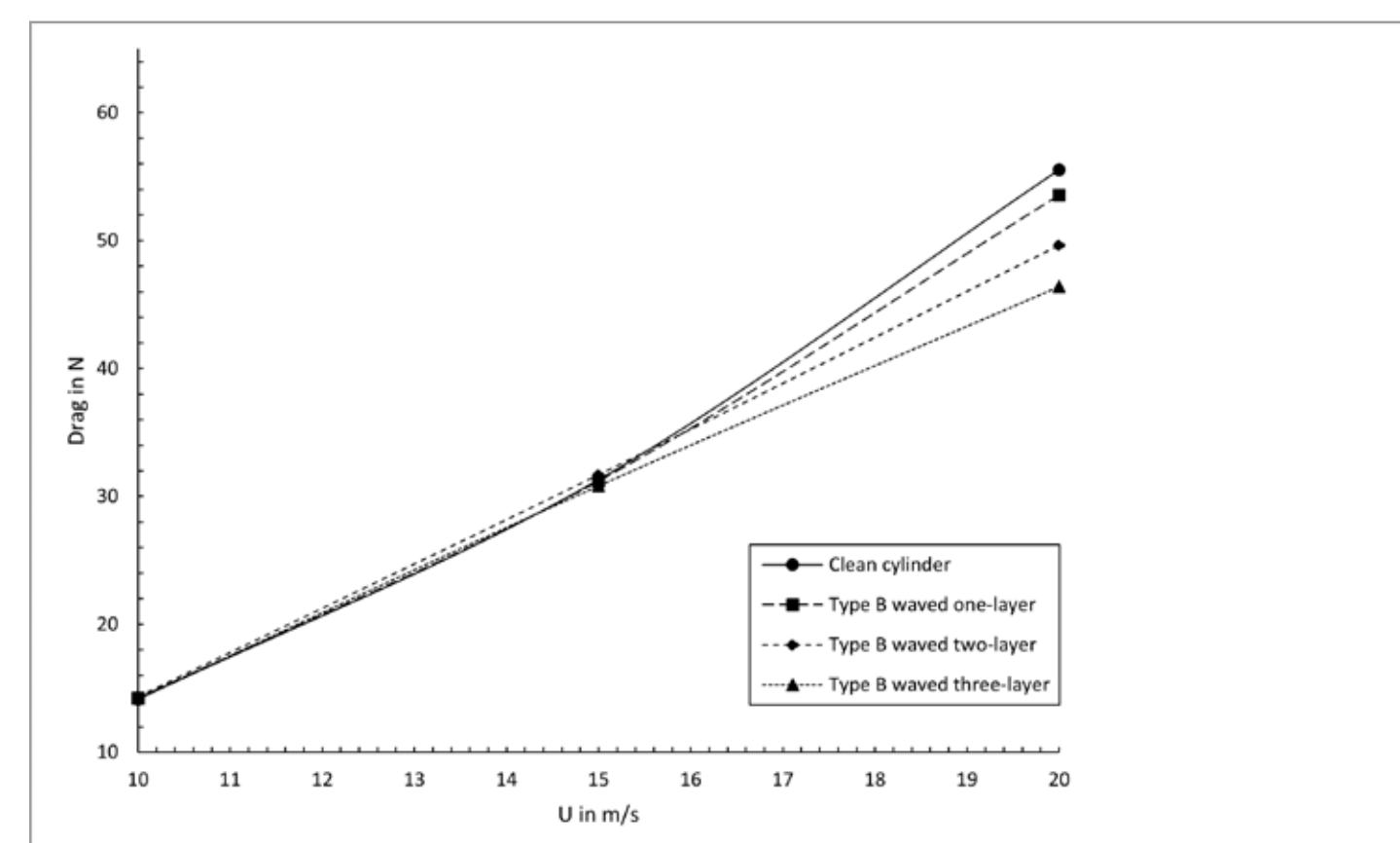


Abb. 3: Gemessene Widerstandskräfte des Zylinders für unterschiedlich viele Lagen Drahtgestrick auf der windabgewandten Seite.

Positive Effekte konnten ebenfalls im Nachlauf des Zylinders festgestellt werden. Abbildungen 4 und 5 zeigen die Messergebnisse im Nachlauf hinter dem Zylinder an zwei verschiedenen Höhen. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, konnte eine Reduktion des Geschwindigkeitsdefizits im Nachlauf festgestellt werden. Wie in Abbildung 5 dargestellt, konnte ebenfalls eine deutliche Reduktion von Turbulenzen im Nachlauf beobachtet werden.

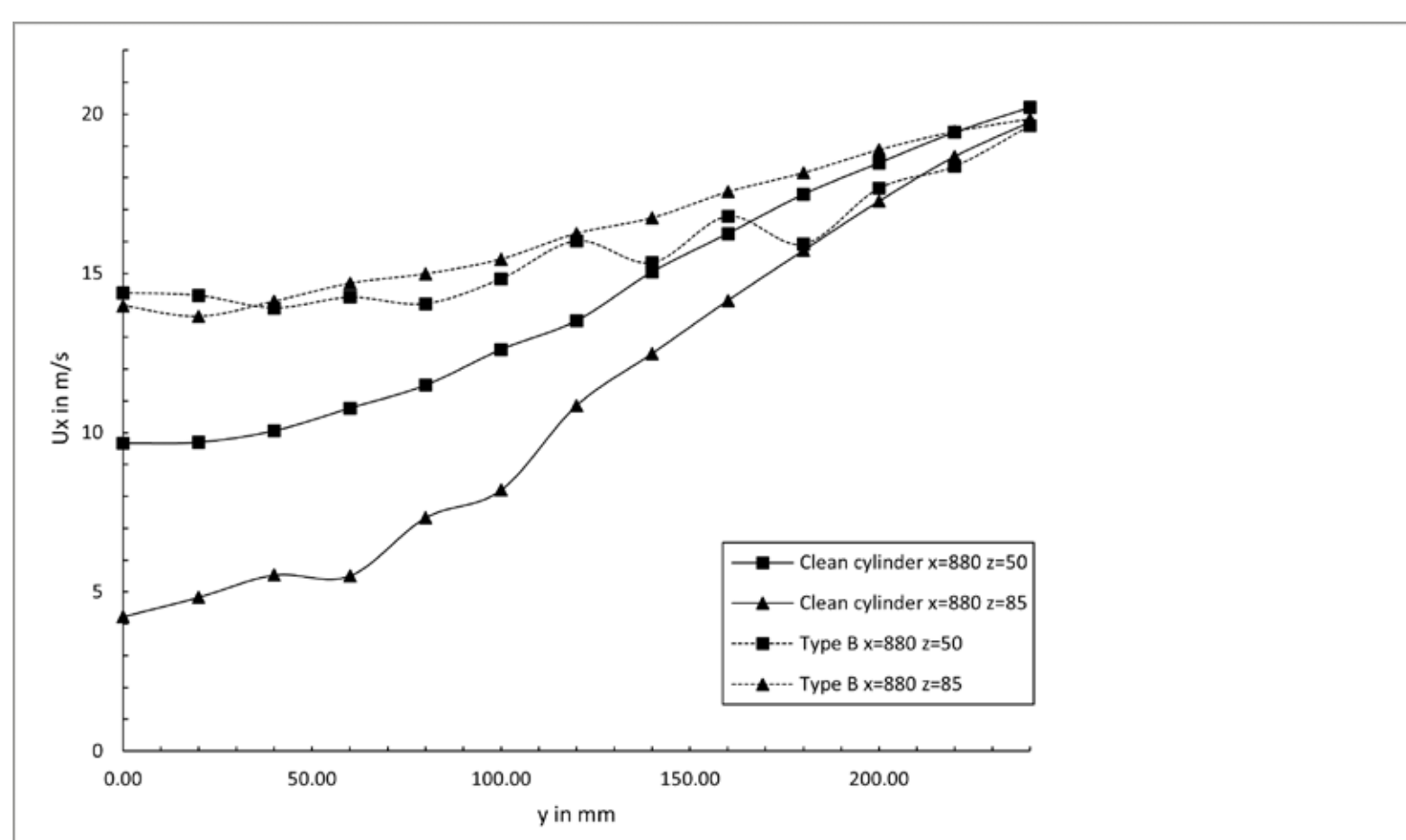


Abb. 4: Gemessene axiale Strömungsgeschwindigkeit im Nachlauf des Zylinders. Die Abbildung zeigt eine Hälfte des symmetrischen Nachlaufs.

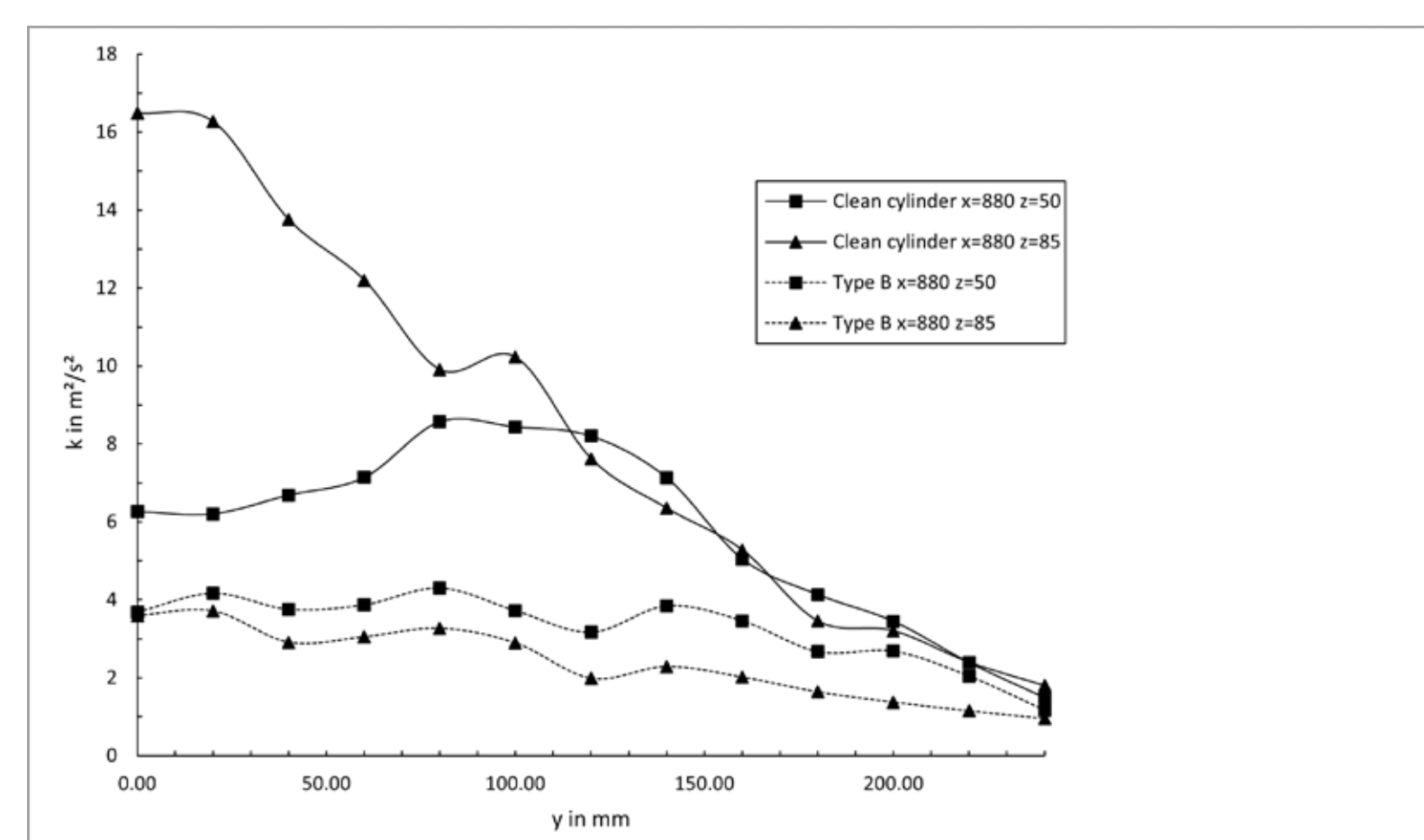


Abb. 5: Gemessene turbulente kinetische Energie im Nachlauf des Zylinders. Die Abbildung zeigt eine Hälfte des symmetrischen Nachlaufs.

Anwendungsmöglichkeiten

Die untersuchten Drahtstrukturen lassen sich zur Strömungskontrolle von abgelösten Strömungen und zur Reduktion von Turbulenzen verwenden, z. B. auf Tragflächen und in Kanälen oder Rohrleitungen. Außerdem lassen sich die erzeugten Wirbel zur Durchmischung von Fluiden einsetzen, z. B. zur Wärmeabfuhr.

Die ausführlichen Ergebnisse der Studie sind in dieser Publikation einsehbar:

Harmening, J.H.; Devananthan, H.; Peitzmann, F.-J.; el Moctar, B.O. Aerodynamic Effects of Knitted Wire Meshes—CFD Simulations of the Flow Field and Influence on the Flow Separation of a Backward-Facing Ramp. *Fluids* 2022, 7, 370.

Weitere Informationen hier:



Kontakt

Jan Hauke Harmening, M. Eng.
Westfälische Hochschule
Fachbereich Maschinenbau Bocholt
E-Mail: jan.harmening@w-hs.de

Prof. Dr. Franz-Josef Peitzmann
Mechatronik-Institut Bocholt
www.mechatronik-institut-bocholt.de
Tel.: +49 (0)2871 2155-916
E-Mail: franz-josef.peitzmann@w-hs.de

Westfälische Hochschule
Fachbereich Maschinenbau Bocholt
Münsterstraße 265
46395 Bocholt
www.w-hs.de

Forschungsgruppe Physics-Informed Neural Networks

Autoren: Franz-Josef Peitzmann, Marcel Seiler, Jan Hauke Harmening, Klaus Mecking, Dirk Fröhling, Christopher Colling, Chandra Narra

Die standortübergreifende Arbeitsgruppe erforscht die Methodik und den Einsatz von Physik-informierten neuronalen Netzen (PINNs). Zentrale Anwendungsgebiete sind strömungsdynamische sowie strukturmechanische Probleme.

Physik-informierte neuronale Netze werden darauf trainiert, die einem Problem zugrundeliegenden Gleichungen und Randbedingungen zu erfüllen. Sie lernen also nicht nur anhand von Beispielen, sondern kennen auch die Theorie. Dies unterscheidet Physik-informierte von gewöhnlichen neuronalen Netzen, die zum Training große Datenmengen benötigen. Diese Datensätze müssen die korrekte Ausgabe beinhalten, auf die das Netz trainiert wird. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau eines PINNs.

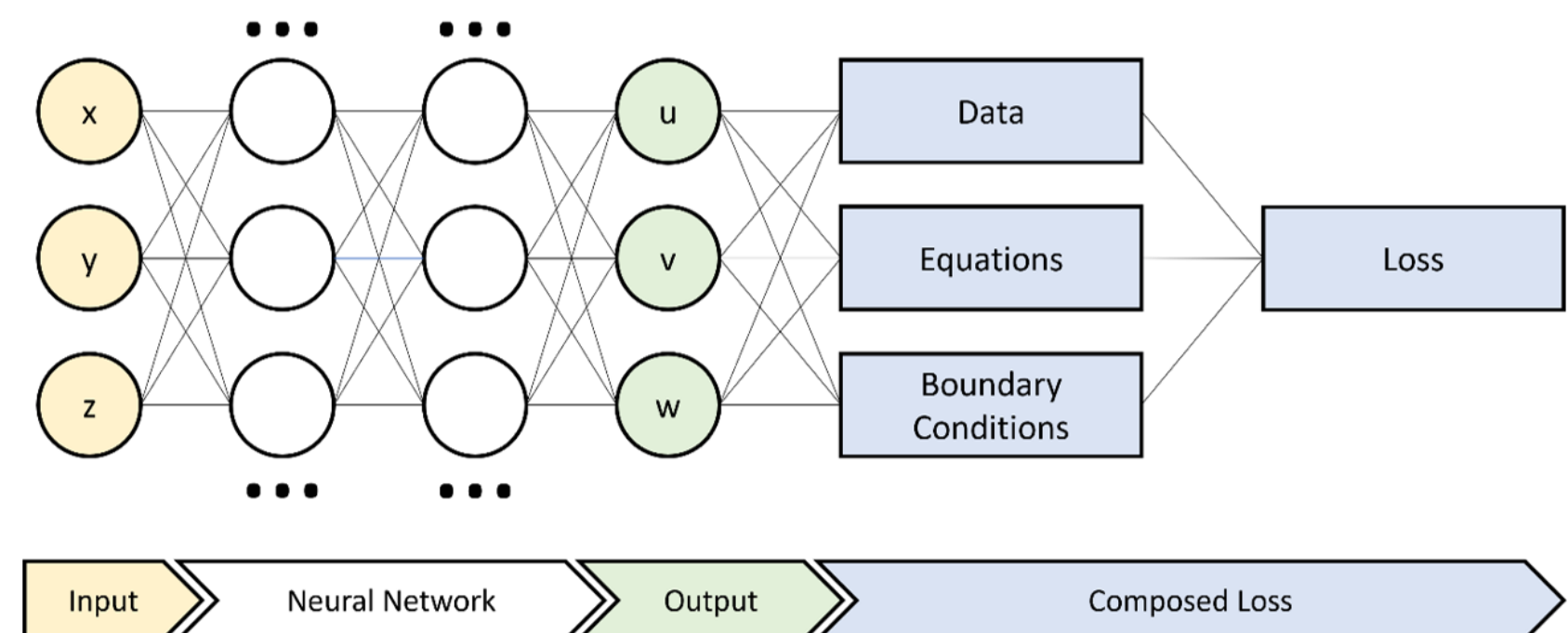


Abb. 1: Aufbau eines Physik-informierten neuronalen Netzes.

Durch die Verwendung von Physik-informiertem machine learning ergeben sich verschiedene Vorteile gegenüber regulären neuronalen Netzen:

- Geringere Abhängigkeit von Daten: PINNs können physikalische Prinzipien nutzen, um den Bedarf an Datensätzen und damit den Aufwand für Simulationen oder Messungen deutlich zu reduzieren.
- Interpolation und Extrapolation: PINNs können nicht nur im Bereich der Trainingsdaten gut funktionieren, sondern auch in Regionen jenseits der Trainingsdaten. Dies macht sie wertvoll für die Vorhersage von Ergebnissen in Szenarien, die sich von denen während des Trainings unterscheiden.
- Umgang mit Rauschen in den Daten: PINNs sind robust gegenüber Rauschen, Störungen und Ausreißern in den Daten, da sie während des Trainings physikalische Gesetze integrieren.

Am Mechatronik Institut Bocholt (MIB) werden bisher PINNs mit Anwendung auf strömungsdynamische Fragestellungen untersucht und entwickelt. Ein Beispiel hierfür ist die Strömung um das Profil eines Blattes einer Windkraftanlage, die das PINN ohne Vorgabe von Messwerten selbstständig lernt (siehe Abbildung 2).

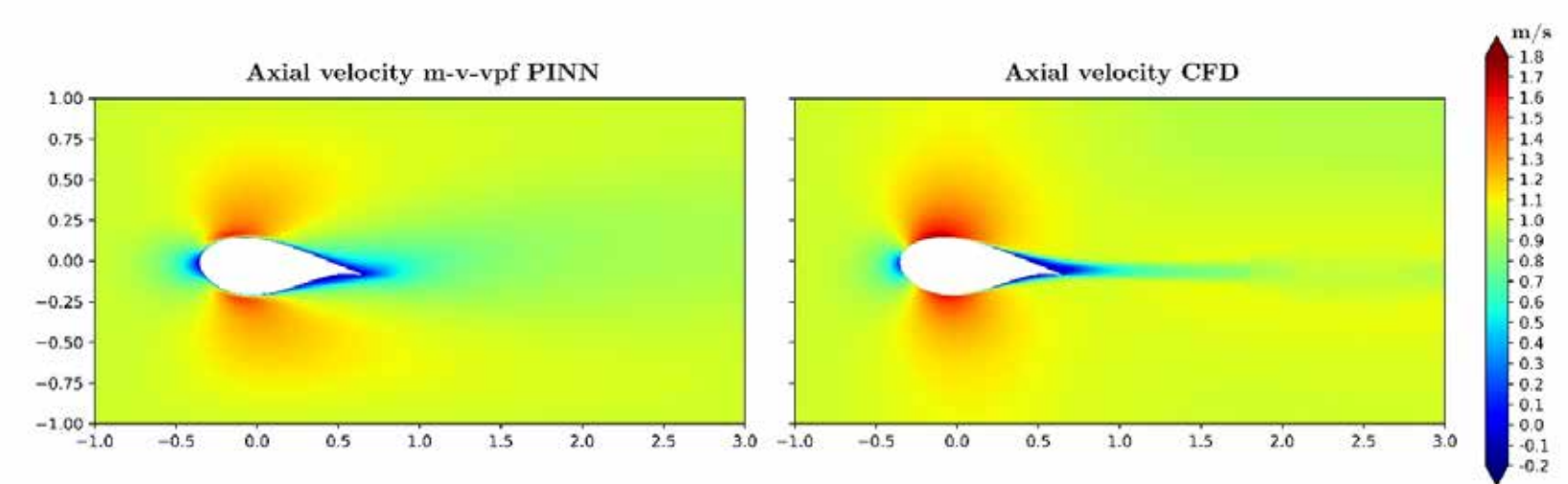


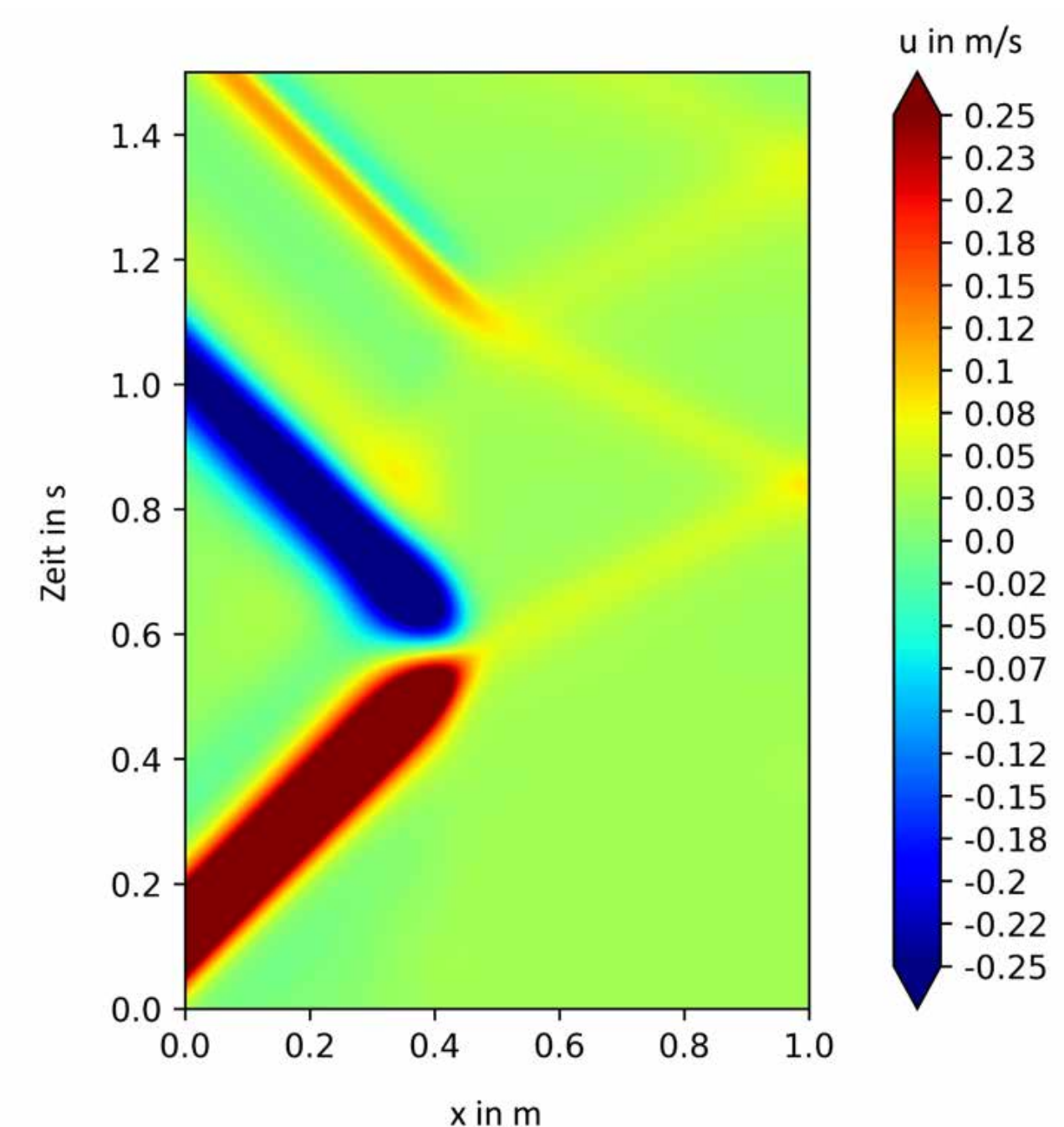
Abb. 2: Axiale Strömungsgeschwindigkeit um das Profil eines Blattes einer Windkraftanlage.

Links: Vorhersage der Strömung durch ein Physik-informiertes neuronales Netz, das zum Training keinerlei Daten erhalten hat.

Rechts: Referenz-Strömungsfeld einer numerischen Strömungsberechnung.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist der Einsatz von PINNs in strukturmechanische Berechnungen am Standort Gelsenkirchen. Hier sollen PINNs im Rahmen von Topologieoptimierungen eingesetzt werden, um den Rechenaufwand zu reduzieren. Außerdem untersucht die Arbeitsgruppe die Anwendung von PINNs auf die Ausbreitung und Reflexion von Schallwellen, die zum Beispiel für bildgebende Verfahren mittels Ultraschall Relevanz hat (siehe Abbildung 3).

Abb. 3: Vorhersage der Ausbreitung und Reflexion einer Welle mittels eines PINNs. Aufgrund einer Materialgrenze bei $x = 0.5$ m wird ein großer Teil der vom linken Rand eingehenden Welle reflektiert während sich ein kleiner Teil der Welle nach rechts ausbreitet und anschließend weitere Reflexionen durchläuft.



Anwendungsmöglichkeiten

Prinzipiell lassen sich PINNs auf alle Fragestellungen anwenden, die durch eine oder mehrere Gleichungen beschrieben werden. Eingesetzt werden können PINNs zur

- **Erzeugung von Surrogat-Modellen:** PINNs können für die Erzeugung von parametrisierten Metamodellen verwendet werden, um das physikalische Verhalten von Systemen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern ohne Einsatz von Simulationssoftware vorherzusagen. Das erfolgreich trainierte Modell besitzt Echtzeitfähigkeit und kann daher z.B. für Steuerungs- oder Optimierungsalgorithmen verwendet werden.
- **Integration mit Optimierung:** PINNs können in Verbindung mit Optimierungsalgorithmen verwendet werden, um Lösungen zu finden, die sowohl den physikalischen Gesetzen als auch spezifischen Optimierungszielen (Gleichungen) gerecht werden.
- **Rekonstruktion von Messergebnissen:** Oftmals sind Messdaten limitiert. PINNs können eingesetzt werden, um auf Basis der vorliegenden Messergebnisse Aussagen über nicht vermessene Positionen zu erhalten.