



Mittelstand-Digital  
**Zentrum  
Hannover**

# Zukunft.Digital

Digitalisierung  
von der Idee zur Umsetzung  
**Ausgabe 02/2022**



## **Im Fokus**

**Nachhaltigkeit: Ein Must-have  
für Unternehmen**

Seite 08

## **Aus der Praxis**

**Skalierende IT-Sicherheit  
für Start-ups**

Seite 32

## **Künstliche Intelligenz**

**Wie kommt die Künstliche  
Intelligenz ins Unternehmen?**

Seite 36



Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist Teil des Netzwerks Mittelstand-Digital. Das Netzwerk bietet mit den **Mittelstand-Digital Zentren**, der **Initiative IT-Sicherheit in der Wirtschaft** und **Digital Jetzt** umfassende Unterstützung bei der Digitalisierung. Kleine und mittlere Unternehmen profitieren von konkreten Praxisbeispielen und passgenauen, anbieterneutralen Angeboten zur Qualifikation und IT-Sicherheit. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz ermöglicht die kostenfreie Nutzung und stellt finanzielle Zuschüsse bereit.

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)

Mittelstand-  
Digital



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Zukunft.Digital

**Digitalisierung  
von der Idee zur Umsetzung**  
**Ausgabe 02/2022**

# Inhalt

## Aus dem Zentrum

**Ihr individueller Digitalisierungsplan**

Seite 06

## Im Fokus: Nachhaltigkeit in der Produktion

**Nachhaltigkeit: Ein Must-have für Unternehmen**

Seite 08

**Von den Anfängen der Nachhaltigkeit bis zu Ihrer Unternehmensverantwortung**

Seite 10

## Interview:

**Nachhaltigkeit ist eine Generationenaufgabe**

Seite 12

**Adaptive Kühlschmierstoffversorgung in Werkzeugmaschinen**

Seite 15

**Die Treppenmeister GmbH auf dem Weg zur Klimaneutralität**

Seite 18

**Energieinformationsmodell für einen aufwandsarmen Zugriff auf Energiedaten**

Seite 22

**Nachhaltig und digital**

Seite 26

## Aus der Praxis

**Der Digitale Zwilling in der Verwaltungsschale**

Seite 28

**Skalierende IT-Sicherheit für Start-ups**

Seite 32

**Digitale Anbieterpräsentation**

Seite 34

## Künstliche Intelligenz

**Wie kommt die Künstliche Intelligenz ins Unternehmen?**

Seite 36

**Integration von Künstlicher Intelligenz in Handwerksbetrieben**

Seite 38

**Der IIP-Ecosphere Lösungskatalog bringt KI-Lösungen auf den Punkt**

Seite 40

## Aus der Forschung

**Adaptive Entgratung unter Einfluss von Formfehlern**

Seite 42

**Diskrete-Elemente-Methode zur Vorhersage komplexer Schleifbelagsmischungen**

Seite 46

# Editorial



**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**  
Konsortialleiter des  
Mittelstand-Digital Zentrums  
Hannover

„Nachhaltige Entwicklung ist der Weg, bei dem die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen.“ Mein Kollege Christoph Herrmann, Professor für Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering an der Technischen Universität Braunschweig zitiert im Interview auf Seite 10 in dieser Magazinausgabe aus dem Brundtland Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ von 1987. Mit diesem Zitat bringt Professor Herrmann das Thema Nachhaltigkeit auf den Punkt. Die Brundtland Kommission, auch Weltkommission für Umwelt und Entwicklung genannt, veröffentlichte den Report, in dem erstmals das Konzept der nachhaltigen Entwicklung formuliert und definiert wurde. Der Bericht war Anstoß für einen weltweiten Diskurs und öffentliche Aufmerksamkeit für das Thema Nachhaltigkeit. Und ja, das Thema ist aktueller denn je!

Diese Ausgabe der Zukunft.Digital „fokussiert“ das Thema „Nachhaltigkeit in der Produktion“. Im Interview mit Professor Herrmann fragen wir unter anderem,

was sich hinter dem aktuell viel verwendeten Begriff Nachhaltigkeit verbirgt und welche Stellschrauben es für Unternehmen gibt, wenn es um Energie-, Material- und Ressourceneinsatz geht. Wie sich die Energiebilanz von Werkzeugmaschinen durch eine adaptive Kühlschmierstoffversorgung erheblich verbessern lässt, ist ein weiteres Thema dieses Magazins. Und: Mein Kollege Karl-Heinz Niemann, Professor im Fachbereich Prozessinformatik und Automatisierungstechnik an der Hochschule Hannover stellt mit seinem Mitarbeiter Maxim Runge ein Energieinformationsmodell für einen aufwandsarmen Zugriff auf Energiedaten vor, das insbesondere auch kleinen und mittleren Unternehmen bei der Optimierung der Energieeffizienz ihrer Produktionsanlagen hilft.

Darüber hinaus haben wir für Sie Praxisberichte, Forschungsberichte und Themen zur Künstlichen Intelligenz – beispielsweise wie sich KI in Handwerksbetrieben integrieren lässt – zusammengestellt.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

*Berend Denkena*

# Ihr individueller Digitalisierungsplan

Investitionen in Digitalisierung  
systematisch erschließen und bewerten



**Bild 1**

Die Analyse wird beim Unternehmen vor Ort durchgeführt

Viele mittelständische Unternehmen des produzierenden Gewerbes sehen sich angesichts der voranschreitenden digitalen Transformation vor der Herausforderung, ihre Zukunftsfähigkeit zu sichern. Aus einer Vielzahl von Gesprächen mit kleinen und mittleren Unternehmen konnten wir feststellen, dass ein Großteil der Betriebe sich bereits mit dem Thema auseinandersetzt. Dabei tauchen regelmäßig Fragen auf, die nicht ohne weiteres beantwortet werden können, aber grundlegende Voraussetzung für die Einführung digitaler Technologien sind.

- Was braucht mein Unternehmen?
- Welche Kosten und welchen Nutzen bringen Investitionen mit sich?

Wir als Mittelstand-Digital Zentrum Hannover wollen Unternehmen unterstützen, diese Fragen zu beantworten. Dazu haben wir ein passendes Angebot erarbeitet – ein Angebot, das mittelständischen Unternehmen einen schnellen Überblick darüber geben soll, wie sie Digitalisierungslösungen umsetzen können und welcher Nutzen darüber generiert werden kann.

## Phase I: Ideen generieren

In dieser Phase geht es darum, durch kreative Impulse neue Ideen für die Digitalisierung von Geschäfts- und Produktionsprozessen zu generieren.

### Teambuilding

Die Grundlage bildet ein abteilungsübergreifendes Kernteam. Mitarbeitende aus der Produktion und produktionsnahen Abteilungen, wie z. B. Arbeitsvorbereitung, Einkauf und die Geschäftsführung schließen sich zusammen.

### Analyse vor Ort

Wir erfassen gemeinsam mit Ihnen die aktuelle Situation in Ihrem Unternehmen, um ein umfassendes Bild von Ihren Produktions- und Geschäftsprozessen zu erhalten. Wir erarbeiten gemeinsame bestehende Handlungsfelder und leiten erste Verbesserungspotenziale mit dem Kernteam ab.

### Kreative Impulse

Auf Grundlage der Analyse vor Ort stellen wir ein vielschichtiges Programm aus Praxisbeispielen, Demonstrationen, fachlichem Austausch mit unseren Expert\*innen sowie digitalen Lerninhalten für Sie zusammen. Ziel ist es, Inspiration einem erweiterten Kreis von Mitarbeitenden über das Kernteam hinaus zu liefern und dadurch möglichst vielfältige Ideen zu generieren.

## Phase II: Ideen selektieren

In dieser Phase werden die gesammelten Ideen schrittweise durch das Kernteam konkretisiert. Hierdurch entsteht eine Auswahl an Maßnahmen, die für Ihr Unternehmen den größten Nutzen versprechen.

### Ideen clustern

Die Ideen aus der vorherigen Phase werden zunächst subjektiv nach Machbarkeit und Innovationsgrad geclustert. Ausgehend davon wird eine Vorauswahl an Ideen vorgenommen, die im nächsten Schritt weiter ausgearbeitet wird.

### Ideen bewerten

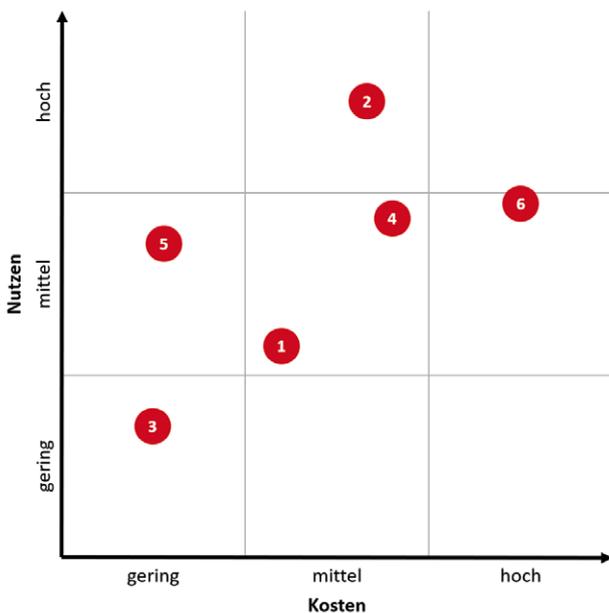
Die ausgewählten Ideen werden mithilfe von Steckbriefen detailliert. Dabei erfolgt insbesondere eine Einschätzung der zu erwartenden Kosten und des Nutzens. Hierzu wird ein Fragenkatalog bereitgestellt, der eine systematische Bewertung durch das Kernteam ermöglicht. Das Ergebnis wird in Form einer Kosten-Nutzen-Matrix visualisiert (Bild 2).

### Ideen priorisieren

Aufbauend auf der Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse in der Kosten-Nutzen-Matrix werden die Ideen abschließend priorisiert. Als Ergebnis steht Ihnen eine Roadmap zur Verfügung, die als Grundlage für zielgerichtete Digitalisierungsvorhaben genutzt werden kann.

Nach Abschluss des Projektes erfolgt ein Gespräch bezüglich weiterer Unterstützungsmöglichkeiten.

Auch Sie möchten Ihr Unternehmen weiterentwickeln und suchen nach kreativen Impulsen? Dann bewerben Sie sich kostenfrei für Ihren individuellen Digitalisierungsplan: entweder online unter [www.digitalzentrum-hannover.de/digitalisierungsplan](http://www.digitalzentrum-hannover.de/digitalisierungsplan) oder per E-Mail an [projekt@mitunsdigital.de](mailto:projekt@mitunsdigital.de).



**Bild 2**  
 Kosten-Nutzen-Matrix als Teilergebnis des Vorgehens  
 1 - 6 Beispielhafte Digitalisierungsmaßnahmen

### Autor

**Frank Offergeld**  
 Projektingenieur und Koordinator  
 Firmengespräche am Mittelstand-  
 Digital Zentrum Hannover



# Nachhaltigkeit: Ein Must-have für Unternehmen

Nachhaltigkeit ist weit mehr als eine Mode oder ein neuer Trend. Unternehmen stehen zunehmend in der Pflicht, Informationen zur Nachhaltigkeit offenzulegen. Nachhaltigkeit ist für die Betriebe zu einem Must-have geworden. Diese Pflicht muss nicht nur lästig sein. Denn ein stärkeres Engagement in Sachen Nachhaltigkeit bringt auch Vorteile: Ein geringerer Energie- und Ressourcenverbrauch senkt signifikant die Kosten von Unternehmen. Und die dafür eingesetzten Technologien schaffen ein enormes Potenzial für Innovationen.

Nachhaltigkeit ist ein Querschnittsthema, das sich auf viele Abteilungen eines Unternehmens auswirkt. Mit welchem Energieaufwand werden die Produkte hergestellt? Wie viel Abfall entsteht dabei? Auf welchen Wegen gelangen die Produkte zum Kunden? Welche Lieferanten sind mit im Boot? Wer kümmert sich darum, die Nachhaltigkeit in der eigenen Organisation zu verbessern? Dies sind Fragen, die beantwortet werden müssen.

Um die weltweit beschlossenen Klima- und Nachhaltigkeitsziele in den kommenden Jahren auch nur annähernd zu erreichen, braucht es vor allem auch technologische Innovationen. Dabei spielt die Digitalisierung eine zentrale Rolle. Sie ist Enabler für eine nachhaltige Produktion. Sie ermöglicht Transparenz in allen Schritten der Wertschöpfungskette. Die Digitalisierung und die Anwendungen Künstlicher Intelligenz sind wesentliche Faktoren, damit Unternehmen effizienter, schneller und intelligenter werden.

Alles in allem kann der Weg in eine nachhaltige Produktion für Betriebe Anlass sein, eigene Prozesse und Geschäftsmodelle zu hinterfragen und die Maßnahmen für eine nachhaltige Produktion als eine Chance wahrzunehmen, um sich autarker, resilienter und wirtschaftlicher aufzustellen.

# Von den Anfängen der Nachhaltigkeit bis zu Ihrer Unternehmensverantwortung

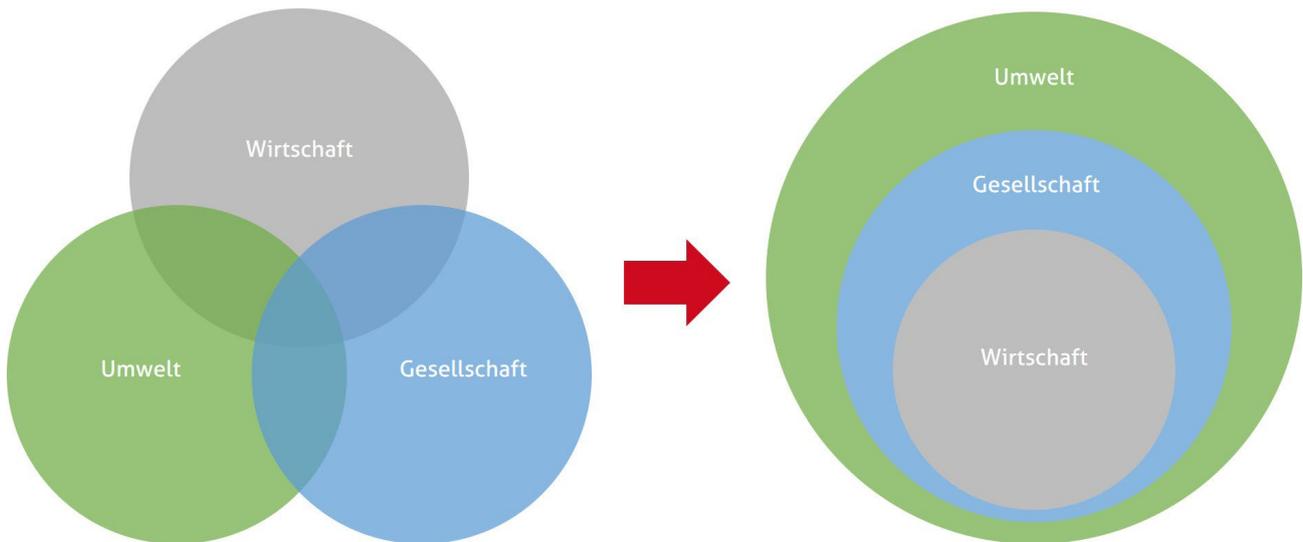


Bild 1 Von der „relativen Nachhaltigkeit“ (links) zur „absoluten Nachhaltigkeit“ (rechts), nach Hauschild et al. 2020

Der Druck auf und der Bedarf von Unternehmen nachhaltiger zu werden wächst stetig. Nachhaltigkeit ermöglicht es Unternehmen, durch z. B. Material- und Energieeinsparungen Kosten zu reduzieren, sich resilienter aufzustellen und gleichzeitig einen positiven Umweltbeitrag zu leisten.<sup>1</sup> Doch was verbirgt sich eigentlich hinter dem Begriff der Nachhaltigkeit und wie kann sie erreicht werden?

Historisch gesehen wurde der Begriff Nachhaltigkeit erstmals im Bereich der Forstwirtschaft im 18. Jahrhundert geprägt. Seither gibt es unterschiedliche Definitionen des Begriffs der Nachhaltigkeit.<sup>2</sup> Die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung stellte 1987 im Brundtland-Bericht eine der meist genutzten Definition auf. Sie definierte die nachhaltige Entwicklung, als „(...) eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“.<sup>3</sup>

Seit dieser Definition gab es viele (Weiter-)Entwicklungen von Nachhaltigkeitsansätzen. Der Begriff der Nachhaltigkeit wird häufig mithilfe des Drei-Säulen-Modells (engl. Triple Bottom Line) veranschaulicht. Die ökonomische Dimension wird um die gleichberechtigte ökologische und soziale Dimension erweitert.

Die Vergangenheit hat aber gezeigt, dass nahezu konsequent die Ökonomie gegenüber den anderen beiden Dimensionen bevorzugt wurde und wird. Daraus resultiert u. a., dass die jährliche Nachfrage selbst bei den nachwachsenden Rohstoffen die Reproduktionsmöglichkeiten der Erde übersteigt.<sup>4</sup>

Der Zeitpunkt, wann die jährlich nachwachsenden Rohstoffe aufgebraucht sind, wird auch als Earth Overshoot Day bezeichnet. Dieser Zeitpunkt hat sich in den letzten Jahren immer weiter nach vorne verschoben. Damit die jährliche Nachfrage an nachwachsenden Ressourcen gestillt

werden kann, müssten aktuell die Kapazitäten von ca. 1,75 Erden herangezogen werden.<sup>4</sup>

Deshalb häufen sich die kritischen Stimmen, die statt dieser „relativen Nachhaltigkeit“ eine konsequentere Priorisierung des ökologischen Faktors durch „absolute Nachhaltigkeit“ fordern. Anders als beim Triple-Bottom-Line-Ansatz ist bei der Betrachtung absoluter Nachhaltigkeit die Umwelt als Nachhaltigkeitsdimension den anderen beiden Dimensionen Gesellschaft und Wirtschaft übergeordnet, sodass planetare Grenzen eingehalten werden (vgl. Bild 1).<sup>5</sup>

In der Wissenschaft werden drei Strategien zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung gefordert: Effizienz-, Konsistenz- und Suffizienzstrategie. Die Effizienz- und Konsistenzstrategie fokussieren sich primär auf technische Innovationen, wohingegen die Suffizienzstrategie auf eine Verhaltensänderung abzielt.<sup>1</sup>

## Effizienzstrategie

Nach der Definition von „Effizienz“ nach DIN EN ISO 9000:2015-11 wird bei der Effizienz-Strategie das bestmögliche Verhältnis zwischen erreichtem Ergebnis und erzielten Ressourcen angestrebt. Hierfür werden insbesondere technische Innovationen benötigt, die weniger Ressourcen verbrauchen, weniger Abfälle erzeugen und einen möglichst hohen Output aufweisen. Diese Strategie ist bei Unternehmen beliebt, da sie sowohl ökonomisch als auch ökologisch vorteilhaft sein kann.<sup>6</sup> Kritisiert wird jedoch, dass es zu einer Problemverschiebung oder zu sogenannten „Rebound-Effekten“ kommen kann.<sup>7</sup> Argumentiert wird, dass beispielsweise bei einer ressourcenschonenderen und effizienteren Produktion, Produkte günstiger angeboten werden können und somit Kunden mehr kaufen: Die ursprüngliche Ressourcenersparnis wird durch die höheren Absatzmengen wieder kompensiert.<sup>6,7</sup>

## Konsistenzstrategie

Die Konsistenzstrategie befasst sich mit der Vereinbarkeit von Ökologie und Ökonomie: Ziel ist die Übereinstimmung von anthropogenen Stoff- und Energieströmen mit den Stoffwechselprodukten der Natur.<sup>1</sup> Diese Strategie setzt sich beispielsweise damit auseinander, wie stoffliche Ressourcen wiederverwendet werden können, um letztlich keine neuen Primärrohstoffe einzusetzen.<sup>8</sup> Eine Lösungsmöglichkeit ist die Schaffung einer Circular Economy, bei der Produkte so gestaltet werden, dass Stoffströme geschlossen im Kreislauf gehalten werden. Die Europäische Union hat sich aufgrund des hohen Potenzials und der zunehmenden negativen Umweltauswirkungen der menschlichen Aktivitäten zu einer Transformation hin zur Circular Economy bekannt.<sup>9</sup> Es zeigt sich aber, dass das ernsthafte Verfolgen der Konsistenzstrategie zu vielfältigen Herausforderungen führt. Von neuen Produktdesigns bis zu neuen Geschäftsmodellen erfordert die Konsistenzstrategie konsequente Standardisierungen von Komponenten und Materialien sowie die Reduktion der Materialvielfalt.<sup>8</sup>

## Suffizienzstrategie

Die Suffizienzstrategie basiert auf einer Verhaltensänderung, um einen positiven Beitrag für die Umwelt zu leisten.<sup>6</sup> Diese Strategie beinhaltet eine gesellschaftliche Fragestellung, die nicht privat gelöst werden kann:<sup>8</sup> Was wird wirklich benötigt und wie viel ist genug?<sup>6,8</sup> Danach muss sich die aktuelle Konsumgesellschaft in eine Gesellschaft ändern, die zu Gunsten der Umwelt einen suffizienteren, sparsameren Lebensstil aufweist. Dies bedeutet jedoch nicht, dass dadurch eine gesellschaftliche Unzufriedenheit zunehmen muss. Im Gegenteil: Dem World Happiness Report der UN zufolge sind Menschen in anderen Ländern mit weniger materiellen Wohlstand glücklicher als in Deutschland. Glück hängt also nicht unmittelbar vom materiellen Wohlstand und vom Konsum ab.<sup>6</sup>

Jede der zuvor genannten Strategien kann einen Beitrag zur Erreichung absoluter Nachhaltigkeit leisten. Daher ist es wichtig, dass sowohl die Gesellschaft als auch die Wirtschaft alle Strategien der Nachhaltigkeit (Effizienz, Konsistenz und Suffizienz) parallel verfolgen.<sup>6,10</sup>

## Literatur

- <sup>1</sup> Herrmann, C.: Herausforderungen und neue Anforderungen an Unternehmen. In: Herrmann, C. (Hrsg.): Ganzheitliches Life Cycle Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2010, S. 7–62
- <sup>2</sup> Geursen, E.: Nachhaltigkeit im Personalmanagement. In: Geursen, E. (Hrsg.): Nachhaltiges Personalmanagement als Schlüsselfaktor für erfolgreiches Wirtschaften. Dissertation. Open Access. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2021, S. 39–66
- <sup>3</sup> Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, 1987
- <sup>4</sup> Earth Overshoot Day: Past Earth Overshoot Days, 2022. <https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/>
- <sup>5</sup> Hauschild, M. Z., Kara, S. u. Røpke, I.: Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering. CIRP Annals 69 (2020) 2, S. 533–553
- <sup>6</sup> Kropp, A.: Strategien zur Umsetzung von Nachhaltiger Entwicklung. In: Kropp, A. (Hrsg.): Grundlagen der nachhaltigen Entwicklung. Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung. essentials. Wiesbaden: Springer Gabler 2019, S. 23–25
- <sup>7</sup> Schmale, I.: Nachhaltigkeit von und durch Genossenschaften. In: Blome-Drees, J., Göler von Ravensburg, N., Jungmeister, A., Schmale, I. u. Schulz-Nieswandt, F. (Hrsg.): Handbuch Genossenschaftswesen. Springer eBook Collection. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2019, S. 1–24
- <sup>8</sup> Landfester, A., Linow, S. u. van de Loo, F.: Maschinenbaustudium im Spannungsfeld von Ingenieurskompetenzen, Digitalisierung und Nachhaltiger Entwicklung. In: Leal Filho, W. (Hrsg.): Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Springer eBook Collection. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint Springer Spektrum 2021, S. 165–186
- <sup>9</sup> Europäische Kommission: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. 2020
- <sup>10</sup> Heyen, D. A., Fischer, C., Barth, R., Brunn, C., Griebhammer, R., Keimeyer, F. u. Wolff, F.: Mehr als nur weniger - Suffizienz: Notwendigkeit und Optionen politischer Gestaltung. Öko-Institut e.V. 2013

## Autoren

### Felix Niemeyer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF), TU Braunschweig und Nachhaltigkeitsexperte am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

### Dr.-Ing. Mark Mennenga

Stellv. Institutsleitung und Abteilungsleiter am IWF, TU Braunschweig

# Nachhaltigkeit ist eine **Generationenaufgabe**

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig forscht seit vielen Jahren zu den Themen Nachhaltigkeit, Material- und Ressourceneffizienz sowie Energieflexibilität und -transparenz in der Produktion. Als Partner des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover gibt das IWF in Firmengesprächen, Schulungen, Workshops und Digitalisierungsprojekten Unternehmen Werkzeuge für eine nachhaltige Entwicklung an die Hand.

Herr Professor Herrmann, Ihr Institut ist bundesweit eines der Spitzeninstitute, wenn es um die nachhaltige Entwicklung in der Produktion geht. Nachhaltigkeit ist ein Begriff, der inzwischen vielfach in Medien, Politik und Wirtschaft in den unterschiedlichsten Zusammenhängen verwendet wird. Für viele von uns ist der Begriff wenig greifbar. Was ist mit Nachhaltigkeit gemeint?

Nachhaltigkeit muss heute so verstanden werden, dass die Wirtschaft eingebettet ist in die Gesellschaft. Wirtschaft und Gesellschaft wiederum sind eingebettet in die Umwelt bzw. in ein komplexes System, welches Leben auf dieser einen Erde erst ermöglicht. Wissenschaftler\*innen haben neun planetare Grenzen identifiziert. Wird eine Grenze überschritten, kann dies bereits dazu führen, dass das Erdsystem instabil wird und im schlimmsten Fall kollabiert.

Eine solche Grenzüberschreitung droht unter anderem für den Klimawandel. Der Eintrag neuartiger chemischer Substanzen in Böden, Gewässer und Luft (ein Beispiel ist Mikroplastik in Gewässern) ist bereits im roten Bereich. Nachhaltigkeit bedeutet, dass wir die Umweltauswirkungen so minimieren müssen, dass die planetaren Grenzen nicht überschritten werden. Das erfordert global verbindliche Ziele, wie beispielsweise das 1,5-Grad-Ziel im Hinblick auf den Klimawandel. Unternehmen müssen entsprechend absolute Ziele, beispielsweise CO<sub>2</sub>-Neutralität bis zum Jahr 2045, definieren und konsequent durch



**Bild 1**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann ist Universitätsprofessor für Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

Maßnahmen verfolgen. Entsprechend ist auch der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ zu verstehen als der Weg zu einer absoluten Nachhaltigkeit. Bereits in den 80er-Jahren findet sich im UN-Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ die richtige Formulierung dazu: „Nachhaltige Entwicklung ist der Weg, bei dem die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen.“

## **Welche Themenschwerpunkte setzen Sie an Ihrem Institut?**

Zunächst einmal geht es um die Frage, wie Anforderungen aus einer absoluten Nachhaltigkeit in den Ingenieurwissenschaften allgemein und der Produktionstechnik im Besonderen analysier- und bewertbar verankert werden können. Unser Institut be-

fasst sich insbesondere mit drei zentralen Fragestellungen. Mit dem Fokus auf nachhaltige Produktion und Fabrikssysteme forschen wir zu Methoden und digitalen Werkzeugen, die es erlauben, alle Teilsysteme einer Fabrik (z. B. Produktionsmaschinen, technische Gebäudeausrüstung) mit ihren Energie- und Material- und Stoffflüssen sowohl in der Neu- als auch in der Umplanung zu erfassen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist das Life Cycle Engineering, das sich mit der systemischen Betrachtung technischer Systeme (z. B. Produkte oder Anlagen) über den gesamten Lebensweg von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling beschäftigt. Unter der Überschrift „System of Systems Engineering“ arbeiten wir zudem an der Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur systematischen Analyse, Bewertung und Gestaltung komplexer, unabhängiger aber miteinander verbundener Systeme. Im Fokus stehen hier insbesondere neuartige, datengetriebene Geschäftsmodelle, Produkt-Service-Systeme sowie innovative Formen der Zusammenarbeit im Sinne einer industriellen Symbiose. Ziel aller unserer Forschung ist es, Umweltauswirkungen, Risiken und Kosten zu minimieren sowie Problemverschiebungen auszuschließen.

**Was motiviert Unternehmen, sich mit dem Thema Nachhaltigkeit zu befassen?**

Eine Wirtschaft, die sich den resultierenden Herausforderungen nicht stellt, läuft Gefahr, die Legitimation in der Gesellschaft zu verlieren. Es wächst eine Generation heran, die ein umfassenderes und tiefergehendes Nachhaltigkeitsverständnis besitzt. Lange Zeit haben Unternehmen Umweltauforderungen aufgrund von Kosten nicht ausreichend beachtet. Ökologische Nachhaltigkeit muss jedoch als Chance verstanden werden, als ein Hinterfragen von Prozessen und Geschäftsmodellen, als einen Wettbewerb um ökologische Lösungen, als Innovationstreiber. Eine Vielzahl an Beispielen zeigt, dass sich hierdurch Unternehmen autarker, resilienter und wirtschaftlicher aufstellen konnten. Absolute Nachhaltigkeit muss Teil der Unternehmensvision und der Unternehmensziele werden. Das erfordert zum einen

unternehmerischen Mut aber zum anderen braucht es auch verlässliche politische Rahmenbedingungen und Anreize.

**Sie sprechen politische Rahmenbedingungen und Anreize an, können Sie Beispiele hierfür geben?**

Nachhaltigkeit ist eine Generationenaufgabe. Deshalb hat die Bundesregierung beispielsweise ein Klimaschutzgesetz geschaffen, mit dem Ziel die Bundesrepublik bis 2045 klimaneutral zu gestalten. Die aktuellen Krisen in der Welt zeigen, dass fossile Rohstoffe und Strom nicht immer und auch nicht zuverlässig zur Verfügung stehen. Unternehmen verstehen gerade jetzt im Zeichen der Energiekrise, dass der schonende Umgang mit Ressourcen nicht nur „nice to have“ ist, sondern dass es Unternehmen auch wettbewerbsfähiger macht. Mit den neuen politischen Rahmenbedingungen kommen gleichzeitig aber auch Hilfestellungen für Unternehmen, indem Förderprogramme (z. B. von der

BAFA „Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“) geschaffen werden.

**Vor dem Hintergrund steigender Energiekosten: Gibt es Themen, die die Unternehmen besonders interessieren beziehungsweise unter den Nägeln brennen?**

Durch die steigenden Energiekosten interessieren sich Unternehmen gerade wieder verstärkt für das Thema Energieeffizienz. Die Verantwortlichen im Unternehmen verstehen, dass Energieeffizienz dabei aus einer ganzheitlichen Fabrikperspektive heraus betrachtet werden muss. Das heißt, es müssen die Energiebedarfe von Maschinen und Anlagen in Abhängigkeit von den Energiebedarfen, die aus dem Wechselspiel mit der Technischen Gebäudeausrüstung und der Gebäudehülle resultieren, betrachtet werden. Darauf aufbauend können gezielt organisatorische und technische Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden. So können

**Bild 2**  
Nachhaltigkeit bedeutet auch, Wirtschaft und Umwelt aufeinander abzustimmen





**Bild 3**  
Batterieproduktion an der  
Technischen Universität  
Braunschweig

beispielsweise erhebliche Effizienzpotenziale in raumlufttechnischen Anlagen liegen. Ein weiteres Themenfeld ist die kurz- und mittelfristige Integration erneuerbarer Energien z. B. durch eigene PV-Anlagen. Hier stehen Unternehmen vor der Frage der richtigen Auslegung.

#### **Wie können Unternehmen den Hebel ansetzen, was sind die Stellschrauben?**

In Bezug auf Nachhaltigkeit muss nicht nur Energieeinsatz, sondern auch der Material- und Ressourceneinsatz insgesamt betrachtet werden. Wichtig ist zu verstehen, dass es zumeist nicht zielführend ist, einfach mit irgendwelchen Maßnahmen loszurennen. Oft laufen Unternehmen Gefahr, sich auf kleinere Stellhebel zu fokussieren oder sogar Probleme nur zu verschieben. Zu Beginn sollte die Frage stehen, in welchem Zeitraum messbare Ziele erreicht werden sollen oder müssen. Die Basis sollte eine Analyse und Bewertung der eigenen Umweltverantwortung sein, das heißt der direkten und indirekten Auswirkungen der unternehmerischen Tätigkeiten auf die Umwelt. Dann erfolgt die Identifikation von Hotspots und prioritären Handlungsfeldern sowie das Transpa-

rentmachen von Abhängigkeiten. Um die Stellhebel systematisch zu identifizieren und quantifizieren, fragen Unternehmen verstärkt unsere Expertise zur Ökobilanzierung von Prozessen und Produkten nach. Die Ökobilanzierung ist die systematische Analyse der Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenswegs „von der Wiege bis zur Bahre“, das heißt von der Rohstoffgewinnung, der Teilefertigung und Montage, der Nutzung bis hin zum Recycling.

#### **Welche neuen Entwicklungen sehen Sie in der Forschung, wenn es um Nachhaltigkeit geht? Welche Entwicklungen werden in Zukunft die Produktion maßgeblich beeinflussen?**

Die Forschungsfelder Energieeffizienz sowie die Substitution fossiler Energieträger und die Energieflexibilisierung der industriellen Produktion werden – gerade auch vor dem Hintergrund der Energiekrise und des Kriegs Russlands gegen die Ukraine – in den kommenden Jahren höchste Bedeutung haben. Eine Entwicklung, die rasant an Bedeutung und Fahrt aufgenommen hat, ist „grüner Wasserstoff“. In der Forschung geht es hier um effiziente Tech-

nologie zur Erzeugung von Wasserstoff mit erneuerbaren Energien, um Fragen der Speicherung und des Transportes von Wasserstoff sowie um die effiziente Nutzung beispielsweise über Brennstoffzellen. Hier etabliert sich der Wasserstoff Campus Salzgitter als industrielle Modellregion mit nationaler und internationaler Strahlkraft. Zusätzlich wird sich die Forschung zu resilienten und nachhaltigen Rohstofflieferketten intensivieren.

Dazu gehört auch das tatsächliche Schließen von Material- und Stoffkreisläufen und die Transformation von einer „Circular Economy“ zu einer „Circular Society“. Hier wird auch die Aus- und Weiterbildung zunehmend wichtiger. An der TU Braunschweig schaffen wir derzeit mit der Lernfabrik „Zirkuläre Batteriezellproduktion“ eine neue Lehr-/Lernumgebung, in der zukünftige Fach- und Führungskräfte sowie Wissenschaftler\*innen am Beispiel der Batterieproduktion lernen, wie geschlossene Stoffkreisläufe in der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Produktion integriert werden können.

**Vielen Dank für dieses Gespräch, Professor Herrmann.**

# Adaptive Kühlschmierstoffversorgung in Werkzeugmaschinen

## Die Energiebilanz von Werkzeugmaschinen

Die Entwicklung von Werkzeugmaschinen und Fertigungsverfahren zielt im Wesentlichen auf die Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit, der Produktivität und damit der Gesamtkosten pro Teil ab. Daher konzentrieren sich die meisten Forschungsarbeiten auf primäre Einflussfaktoren wie die Schneidwerkzeuge sowie die Prozess- oder Maschinendynamik. In den letzten Jahren hat die Erforschung der sekundären Einflussfaktoren auf die Kosteneffizienz einer Werkzeugmaschine ein wachsendes Interesse erfahren. Ein Grund dafür sind die kontinuierlich steigenden Energiekosten. Ihr Anteil an den Gesamtproduktionskosten beträgt mittlerweile bis zu 40 %. Aber nicht nur wirtschaftliche Aspekte, sondern auch Vorschriften über CO<sub>2</sub>-Emissionen und das Unternehmensimage stehen

zunehmend im Fokus der Hersteller und Anwender. Bislang lassen sich Energieeinsparungen durch sorgfältige Auswahl effizienter Teilsysteme erzielen. Beispiele dafür sind verlustarme Lager oder Motoren.

Um einen Einblick in die Energieverteilung von Werkzeugmaschinen zu bekommen, wurde am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover der Leistungsbedarf eines Bearbeitungszentrums des Herstellers DECKEL MAHO Pfronten GmbH untersucht. Während der Bearbeitung wurde die elektrische Leistungsaufnahme der einzelnen Maschinenkomponenten erfasst. Ihre Aufteilung ist im Diagramm auf der nächsten Seite dargestellt.



**Bild 1** Wendeschnidplattenbohrer mit angepasster Kühlschmierstoffzufuhr

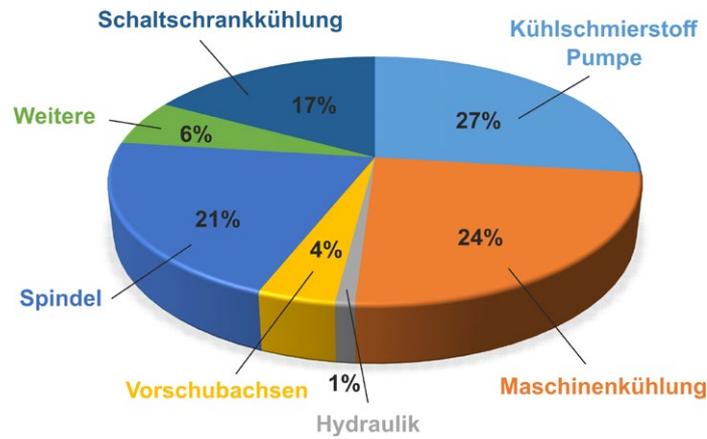


Bild 2 Verteilung des elektrischen Stroms

In diesem Fall ist die Motorspindel, welche essentiell für den eigentlichen Prozess ist, einer der Hauptverbraucher. Im Vergleich dazu verbrauchen die Antriebe der Vorschubachsen nur einen kleinen Teil.

Ein großer Teil der Energie wird für die Kühlung verschiedener Komponenten, wie Hauptspindeln, Vorschubachsen, Schaltschränke und Kühlschmierstoff aufgewendet. Insbesondere das Kühlschmierstoffaggregat macht 24 % aus, wobei der größte Teil auf die Hochdruckpumpe der inneren Kühlmittelzufuhr entfällt. Die Leistungsaufnahme des Hydraulikaggregats ist mit 1 % vergleichsweise gering. Diese Messungen zeigen einen Effekt, der prinzipiell für fast alle Werkzeugmaschinen gilt. Die Nebenaggregate, die vor allem für die Kühlschmierung des Bearbeitungsprozesses zuständig sind, beziehen einen großen Teil der Gesamtenergie. Die direkt wertschöpfenden Komponenten sind die Hauptspindel- und Vorschubantriebe. Sie verbrauchen in beiden Messungen nur etwa ein Drittel der Gesamtenergie.

**Drehzahlgeregelte KSS-Hochdruckpumpen und adaptive Volumenstromregelung**

Heutzutage sind die meisten Flüssigkeitspumpen gegen Aufpreis mit Frequenzumrichtern ausgestattet, damit sie mit variabler Drehzahl arbeiten können. Da diese somit gezielt an die Prozesse und den jeweiligen Bedarf der einzelnen Werkzeuge im Prozess angepasst werden können, bietet die adaptive Kühlschmierstoffversorgung das Potenzial für erhebliche Energieeinsparungen. Der Grund hierfür liegt in der Menge an Kühlschmierstoff, der durch das Werkzeug geleitet werden kann. Oftmals werden nicht frequenzgeregelte Pumpen verwendet und der bei kleineren Werkzeugen entstehende überschüssige Durchfluss zum Druckbegrenzungsventil umgeleitet. Hierdurch resultiert ein geringer Wirkungsgrad der Hochleistungspumpe. Zu-

dem führt die hohe Komprimierung der Flüssigkeit zu einer Erwärmung der Pumpe und des Kühlschmierstoffes, welcher für eine präzise Bearbeitung wiederum heruntergekühlt werden muss.

Derzeit bestehen Bestrebungen als Regelgröße nicht mehr den Druck, sondern den Durchfluss zu definieren, da dies die relevante physikalische Einheit ist, um die drei Hauptaufgaben Kühlen, Schmieren und Abführen von Spänen zu erfüllen. Diese Änderung bietet somit großes Potenzial, den umwelttechnischen und energetischen Belangen der modernen Industrie gerecht zu werden. Besonders ist hierbei, dass der Volumenstrom für verschiedenste Werkstück- und Werkstoffkombinationen sowie dem zerspannten Volumen angepasst werden kann.

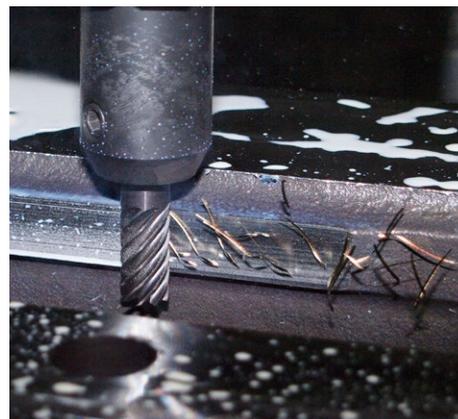


Bild 3

Fräsen einer Luftfahrttitanlegierung mit Jet-Cooling

In ersten Effizienzanalysen zeigt sich, das bedeutende Einsparpotenzial von 41 % der Gesamtenergie mit adaptiver Kühlschmierstoffversorgung im Referenz-

prozess. Derzeit strebt das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen nach Kooperationen mit Maschinen- und Werkzeugherstellern, um ein breiteres Bewusstsein für das große Potenzial einer prozessangepassten Kühlschmierung zu schaffen.

Die Vision ist die Verfügbarkeit von Werkzeugmaschinen mit adaptiver Volumenstromregelung sowie das Erweitern des Portfolios der Werkzeughersteller mit Volumenstromrichtwerten für bestimmte Anwendungen. So kann auch kleineren Betrieben die praktikable Umsetzung eines solchen Tools zur Verfügung gestellt werden.

**Jonas Matthies**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover



## Nachgefragt!

**Herr Matthies, in Ihrer Forschung adressieren Sie neuartige Methoden zu Kühlschmierstoffregelung. Gibt es denn heute schon Möglichkeiten, die Kühlschmierung effizienter und ressourcenschonender zu gestalten und somit Kosten zu reduzieren?**

Mitunter ja, in vielen Unternehmen, insbesondere in kleineren Firmen, wird beim Einsatz verschiedener Werkzeuge zumeist auf Vorgaben der Werkzugersteller zurückgegriffen. Aus mangelnder Erfahrung wird hier zumeist die Strategie „viel hilft viel“ gefahren. Schon bei einer geringen Reduzierung der anliegenden Kühlschmierstoffdrücke lässt sich bei einer Pumpe mit Frequenzregelung eine enorme Einsparung im Verbrauch erzielen. Hier kann ich nur ermutigen, etwas an den Stellgrößen zu manipulieren und zu beobachten, wie sich die Prozesse verhalten.

**Das heißt, in vielen Fällen wird gar nicht so viel Kühlschmiermittel gebraucht wie angenommen?**

Genau, in vielen Anwendungsbereichen ist heutzutage sogar eine trockene Zerspanung zielführender als eine Zerspanung unter Kühlschmierstoff. Kühlschmierstoff wird hierbei nicht verwendet, da eine höhere Temperatur die mechanische Belastung auf das Werkzeug herabsenken kann. Viele Werkzugersteller bieten inzwischen eine gute Bandbreite an Werkzeugen an, die bei höherer Temperatur verwendet werden können. Bei ganzheitlicher Prozessbetrachtung rechnen sich die höheren Kosten dieser Werkzeuge. Durch ihren Einsatz kann die Zufuhr von Kühlschmierstoff verringert beziehungsweise ganz auf Kühlschmiermittel verzichtet werden. Die Unternehmen können so die Energiekosten erheblich reduzieren.

**Die trockene Zerspanung oder die Zerspanung mit geringerem Kühlschmierstoff scheint vielversprechend also zu sein. Haben Sie ein Beispiel für solche Anwendung?**

Tatsächlich ja, am Institut erforschen wir derzeit das Recycling von Titanspänen aus der Luftfahrtindustrie. Das Recycling wird insbesondere durch anhaftende Kohlenstoffverbindungen aus dem Kühlschmierstoff verhindert, die während der Zerspanung in die Randzone der Späne diffundieren und so oftmals die zulässigen mechanischen Eigenschaften nicht mehr erreichbar machen. Es hat sich gezeigt, dass mit bestimmten Werkzeugen eine trockene Zerspanung möglich ist. Und: Nicht nur die Späne lassen sich mit dieser Anwendung recyceln. Wir haben festgestellt, dass sogar Werkzeugstandzeiten und Bauteiloberflächeneigenschaften positiv beeinflusst werden.

**Wenn es um Nachhaltigkeit in der Produktion geht, was können Sie den Unternehmen mitgeben?**

Ich möchte insbesondere kleine und mittlere Unternehmen dazu ermutigen, mit uns oder auch Werkzeug- und Maschinenherstellern in Verbindung zu treten. Ein Blick von außen hilft, um die eigenen Potenziale zu erschließen. Das Thema ressourceneffiziente Produktion erfährt derzeit einen enormen Aufschwung. Neuartige Werkzeuge, Maschinen und Prozesse sind Kennzeichen dieser dynamischen Entwicklung. Alles in allem lohnt es sich also durchaus für spezifische Anwendungen zum Telefon zu greifen. Auch das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist ein guter Ansprechpartner für Fragen rund um das Thema Nachhaltigkeit in der Produktion.

# Die Treppenmeister GmbH auf dem Weg zur Klimaneutralität

Projekt-Abschlussbericht von Felix Niemeyer, Malte Schäfer, Mark Mennenga

Die verschwindende Artenvielfalt, die Verschmutzung der Meere sowie der zunehmende Klimawandel haben UN Generalsekretär António Guterres im Jahr 2020 im „World Leads Forum“ in einer Ansprache dazu bewegt, den Zustand der Erde mit den ernststen Worten zusammenzufassen: „To put it simply: The state of our planet is broken“. Die (inter-)nationalen Richtlinien und Regularien zur Verbesserung des Klimaschutzes setzen Unternehmen zunehmend auch wirtschaftlich unter Druck. Deutschland hat im Klimaschutzgesetz die Klimaschutzvorgaben mit dem Ziel, bis 2045 klimaneutral zu sein, weiter verschärft.

Ein wesentlicher Beitrag, um Klimaneutralität zu erzielen, besteht in der Senkung von Treibhausgasemissionen. Die Treibhausgase (z. B. CO<sub>2</sub>: Kohlenstoffdioxid, CH<sub>4</sub>: Methan) können nach dem weltweit anerkannten Standard des „Greenhouse Gas Protocol“ (folgend: GHG-Protokoll) bilanziert und somit anschließend reduziert bzw. kompensiert werden. Das GHG Protokoll unterscheidet drei Bereiche, sogenannte Scopes (Bild 2).

Die Treppenmeister GmbH hat sich seit dem Gründungsjahr 1975 zum größten Franchise-Unternehmen im Bereich Treppenbau in Europa entwickelt. Mit über 100 Handwerksunternehmen in Deutschland und den angrenzenden Staaten werden jährlich etwa 25.000 Treppen gefertigt. Das Unternehmen ist sich der Verantwortung für eine nachhaltige, klimaneutrale Welt bewusst und möchte deshalb Maßnahmen ergreifen, um „echte“ Klimaneutralität bei sich und gemeinsam mit den Partnerbetrieben bis zum Jahr 2030 zu erzielen.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat Treppenmeister auf diesem Weg unterstützt, indem in einem gemeinsamen Projekt eine Strategie Richtung Klimaneutralität und ein Werkzeug zur Erfassung sowie Auswertung von Treibhausgasen in Anlehnung an das GHG-Protokoll entwickelt wurden.

## Hinweis

Die hier veröffentlichten Daten wurden im Sinne des Unternehmens abgeändert.

**Bild 1** Zentrale der Treppenmeister GmbH in Jettingen



## Problemstellung und Zielsetzung

Das Unternehmen hat bereits erste Treibhausgasbilanzen anfertigen lassen. Gemäß der vorliegenden Ergebnisse verursacht Treppenmeister Emissionen in Höhe von ca. 7500 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr. Seit Anfang des Jahres 2021 kompensiert Treppenmeister die Menge an Treibhausgasen, welche sie noch nicht vermeiden bzw. reduzieren konnten. Das Unternehmen steht vor der Herausforderung, die Fragen zu beantworten, wie der Treibhausgasausstoß in den Scopes 1 bis 3 des GHG-Protokolls weiter reduziert werden kann und welche Möglichkeiten es gibt, in den kommenden Jahren „echte Klimaneutralität“ mit möglichst wenig Kompensation zu erreichen.

Eine weitere Herausforderung der Bilanzierung besteht in der bisher fehlenden Transparenz über Verbrauchswerte aller Partnerbetriebe, was eine Abschätzung der Gesamtemissionen für den Treppenmeister-Betriebsverbund erforderlich macht.

Im Rahmen des Projekts wurde vor diesem Hintergrund eine Strategie zur Erreichung von Klimaneutralität aufbauend auf den bestehenden Treibhausgasbilanzen entworfen. Außerdem wurde ein Werkzeug entwickelt, welches es auf Basis von realen und geschätzten Verbrauchswerten der einzelnen Partnerbetriebe ermöglicht, die Treibhausgasemissionen abzuschätzen.

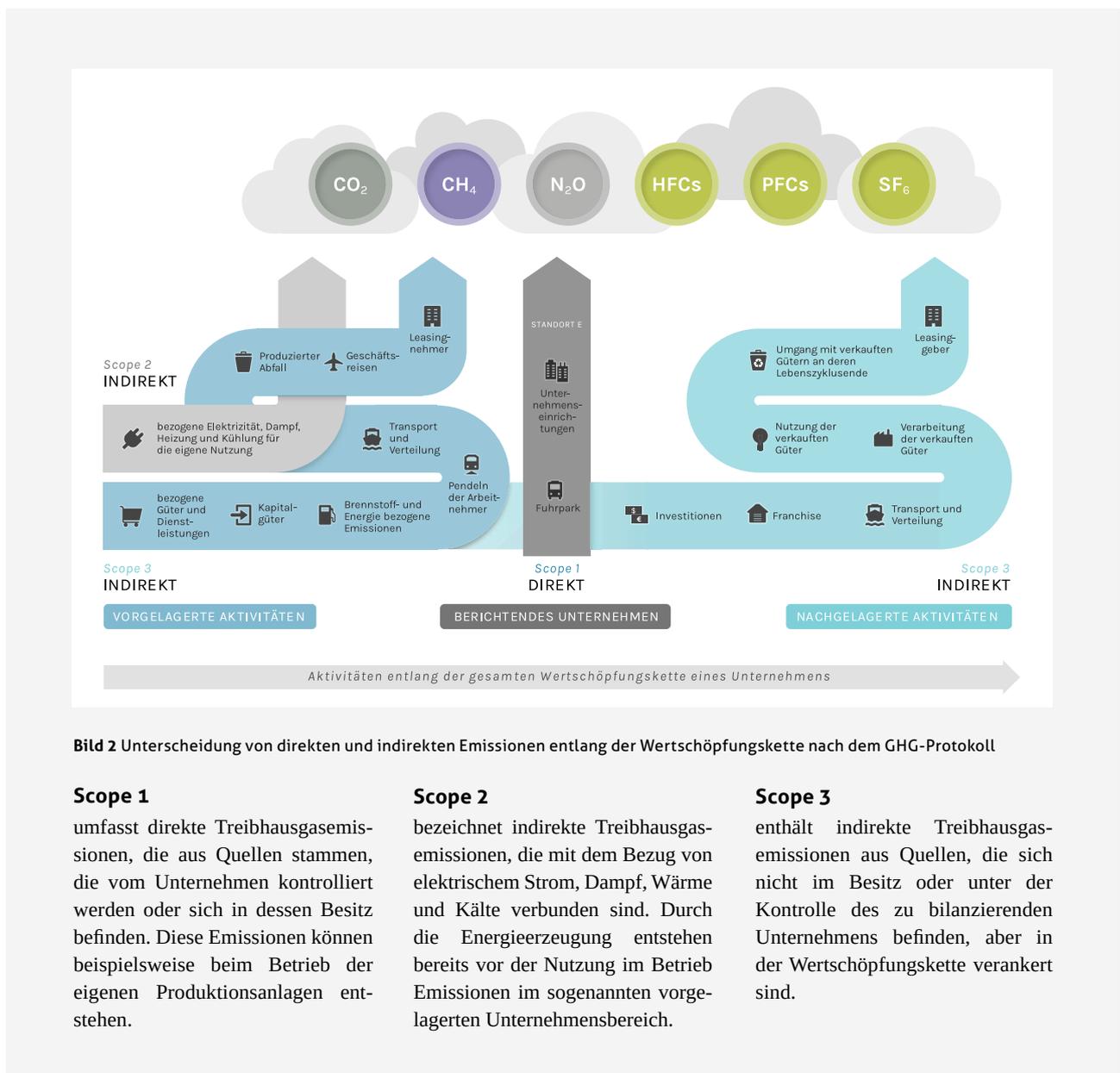


Bild 2 Unterscheidung von direkten und indirekten Emissionen entlang der Wertschöpfungskette nach dem GHG-Protokoll

### Scope 1

umfasst direkte Treibhausgasemissionen, die aus Quellen stammen, die vom Unternehmen kontrolliert werden oder sich in dessen Besitz befinden. Diese Emissionen können beispielsweise beim Betrieb der eigenen Produktionsanlagen entstehen.

### Scope 2

bezeichnet indirekte Treibhausgasemissionen, die mit dem Bezug von elektrischem Strom, Dampf, Wärme und Kälte verbunden sind. Durch die Energieerzeugung entstehen bereits vor der Nutzung im Betrieb Emissionen im sogenannten vorgelagerten Unternehmensbereich.

### Scope 3

enthält indirekte Treibhausgasemissionen aus Quellen, die sich nicht im Besitz oder unter der Kontrolle des zu bilanzierenden Unternehmens befinden, aber in der Wertschöpfungskette verankert sind.

## Lösungsweg

### Schritt 1

#### Zieldefinition und Meilensteinplanung

Für eine erfolgreiche Projektzusammenarbeit ist es wichtig, direkt am Anfang ein einheitliches Verständnis bezüglich des Projektziels sowie -vorgehens zu schaffen und Meilensteine zur Terminplanung festzulegen. Hierzu wurde ein Kick-Off-Workshop gemeinsam mit dem Franchise-Unternehmen Treppenmeister und einem repräsentativen Partnerbetrieb durchgeführt. Darüber hinaus wurden alle für das Projekt erforderlichen Dokumente, wie die bestehenden Emissionsbilanzen, an die Projektbeteiligten übergeben.

### Schritt 2

#### Analyse bestehender Emissionsbilanzen

Auch wenn für die Aufstellung von Treibhausgasbilanzen nach dem GHG-Protokoll Standards definiert sind, können die Ergebnisse der Bilanzierungen desselben Objekts von unterschiedlichen Personen unterschiedlich ausfallen. Dies resultiert u. a. aus unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Festlegung von Systemgrenzen, oder nicht verfügbaren Primärdaten.

Im Projekt wurde daher ein gemeinsames Verständnis für die bereits bestehenden Bilanzen entwickelt. Wichtige Fragestellungen waren hier u. a.: „Sind alle Scope 1 bis Scope 3 Emissionen nach GHG-Protokoll berücksichtigt worden?“ oder „Welche Annahmen wurden in der Treibhausgasbilanzierung getroffen?“. Weiterhin wurden die bestehenden Emissionen von Treppenmeister ausgewertet. Dazu wurden die Gesamtemissionen berechnet, die Emissionen nach Scope 1 bis 3 unterteilt und die Emissionen den Quellen „Zentrale“, „Lieferanten“ und „Partner“ zugeordnet. Danach wurde analysiert, welche bestehenden Maßnahmen bereits in welchem Maße zur Emissionsminderung beitragen. Dazu wurden die Bilanzen mit den jeweiligen Partnerbetrieben gegenübergestellt und ein Mittelwert gebildet.

### Schritt 3

#### Definition Emissionsziele und Emissionspfad

Im dritten Schritt wurde definiert, bis wann Treppenmeister als Unternehmen klimaneutral sein möchte. Die definierten Emissionsziele basieren auf der anerkannten Richtlinie des Net Zero Standard der Science Based Target Initiative (SBTi). Diese Ziele stehen im Einklang mit den globalen Bestrebungen, die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu beschränken. Die Richtlinie schreibt die Formulierung von Kurz- und Langfristzielen vor. Kurzfristige Ziele sollen eine signifikante Emissionsreduzierung innerhalb von 5-10 Jahren herbeiführen. Langfristige Ziele sollen bis spätestens 2050 eine Reduzierung von Emissionen in Scope 1 und Scope 2 von 95 % und in Scope 3 von 90 % erzielen. Im Rahmen des Projekts wurde eine Emissionsreduzierung von 95 % bis 2030 als Ziel definiert, was 12 % Emissionsreduzierung pro Jahr entspricht.

### Schritt 4

#### Priorisierung von Emissionsreduzierungsmaßnahmen

Nicht jede Emissionsquelle ist für Unternehmen wesentlich oder beeinflussbar. Auch kleine Quellen können für Unternehmen wichtig sein, wenn Stakeholder Auskünfte über diese wünschen. Eine Bewertung und Priorisierung von Emissionsquellen zur Reduzierung ist deshalb sinnvoll. Im Rahmen des Projekts wurde sich darauf geeinigt, die Emissionsquellen zu priorisieren, bei denen die Emissionen einen hohen Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen und deren Beeinflussbarkeit hoch ist (Bild 3).

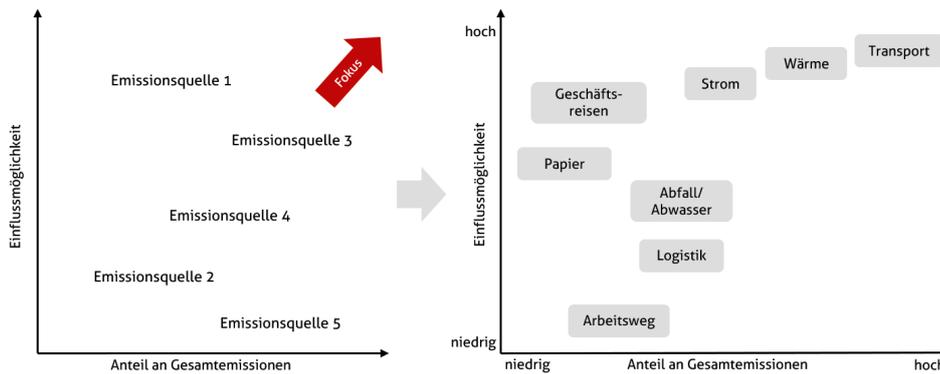
Für die Emissionsquellen „Transport“, „Wärme“ und „Strom“ wurden in einem ersten Schritt Maßnahmen zur Reduzierung abgeleitet:

- Transport: Umstellung auf emissionsarme Fahrzeuge, Reduktion der Transportdistanzen, Erhöhung der Fahrzeugauslastung sowie energieeffizientere Fahrweise
- Wärme: Umstellung auf emissionsarme Wärmequellen (z. B. Wärmepumpe, Biomasse), Wärmedämmung der Gebäude und Wärmerückgewinnung aus Abwärme
- Strom: Installation von Dachflächen-Photovoltaikanlagen, Externe Beschaffung von Ökostrom und Reduzierung des Stromverbrauchs

Der Beitrag einzelner Maßnahmen zur Schließung der Emissionslücke war innerhalb der Projektlaufzeit nur schwer zu quantifizieren. Grundsätzlich werden diejenigen Maßnahmen, die einen großen Hebel adressieren (z. B. Wärme), auch einen großen Beitrag leisten. Für eine Abschätzung, wie zwei Maßnahmen zu vergleichen sind, die einen Hebel adressieren (z. B. Wärmedämmung und -rückgewinnung), wäre eine nähere Betrachtung der Gegebenheiten vor Ort notwendig.

Weiterhin wurde anhand einer qualitativen Analyse festgestellt, dass diejenigen Maßnahmen, die tiefergreifende Änderungen erfordern, auch größere Potenziale zur Emissionsenkung aufweisen. Daher sind größere Effekte bei den mittel- bis langfristigen Maßnahmen im Vergleich zu den kurzfristigen Maßnahmen zu erwarten. Es wird angenommen, dass aufgrund des hohen Gesamtemissionsanteils der Emissionsquellen „Transport“, „Wärme“ und „Strom“ kurz- bis mittelfristig ein signifikanter Anteil an Emissionen (über 70 %) eingespart werden kann. Nach der anschließenden Reduzierung der weiteren Emissionen können die unvermeidbaren Treibhausgasemissionen kompensiert werden.





**Bild 3**

Je höher die Einflussmöglichkeit als auch der Anteil an den Gesamtemissionen ist, je größer das Potenzial zur Treibhausgasreduzierung.

**Schritt 5**

**TREBA: Treibhausgasberechnungs- und -abschätzungswerkzeug**

Das im Folgenden vorgestellte Excel-Werkzeug wurde unter Berücksichtigung der Herausforderungen der Firma Treppenmeister GmbH entwickelt. Es ermöglicht die Berechnung der Treibhausgasemissionen (auch für einzelne Betriebe) basierend auf der Eingabe von Verbrauchswerten (z. B. Strom, Diesel). Weiterhin kann es eine Abschätzung der Gesamtemissionen durchführen. Dies beinhaltet auch diejenigen Betriebe, für die keine Verbrauchswerte vorliegen. Die Abschätzung erfolgt auf Basis der Daten der Betriebe, für die Verbrauchswerte vorliegen, sowie der Anzahl der Mitarbeitenden und der produzierten Produkte pro Betrieb.

Im ersten Schritt geben die Nutzer\*innen des Tools für alle Partnerbetriebe, für die bereits Verbrauchswerte vorliegen, diese in die vorgesehenen Felder ein. Anschließend wird über Emissionsfaktoren (z. B. CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kWh Strom) berechnet, wie hoch die Emissionen für die jeweiligen Partnerbetriebe sind. Weiterhin wird abgeschätzt, wie die Emissionshöhe für Betriebe ist, für die keine Verbrauchsdaten vorliegen. Die Abschätzung basiert auf Basis von zwei linearen Regressionsmodellen, die zu gleichen Anteilen gewichtet werden. Das eine Modell schätzt die Emissionen auf Basis der Anzahl der Mitarbeitenden eines Betriebes ab, das andere Modell auf Basis der Produktionsmenge (hergestellte Treppen pro Jahr). Die Emissionswerte für alle Betriebe (mit und ohne Verbrauchsdaten) werden dann addiert, woraus die Gesamtemissionen der Treppenmeister Partnergemeinschaft resultieren. Die Ergebnisse können nach Scopes und nach einzelnen Bereichen (Mobilität, Strom etc.) aufgeschlüsselt werden. Je mehr Verbrauchsdaten erhoben werden, desto genauer wird die Abschätzung des Modells.

Der Verbrauch ist nur ein Hebel von zweien. Der andere Hebel ist der Emissionsfaktor. Darüber hinaus sind eine Vielzahl von Strategien möglich, um das Emissionsziel zu erreichen, die alle unterschiedliche Verbrauchswerte beinhalten. Beispiel: Wärmeerzeugung komplett auf Holzhackschnitzel umstellen oder doch auf Wärmepumpen setzen? Durch das bereitgestellte Excel-Tool (TREBA) können diese Varianten miteinander verglichen werden.

**Nutzen für den Mittelstand**

Klimaneutralität wird auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) immer wichtiger und es bedarf einer frühzeitigen Strategieentwicklung. Das im Rahmen des Projekts entwickelte Treibhausgasberechnungs- und -abschätzungswerkzeug sowie das Vorgehen zur Erreichung von Klimaneutralität kann grundsätzlich auf weitere KMU auch anderer Branchen übertragen werden. Entsprechend leistet das Projekt einen Beitrag, um Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu machen. Unternehmen können – falls sie keine Expertise im Bereich der Treibhausgasbilanzierung haben – Unterstützung für den Transformationsprozess in Richtung Klimaneutralität einholen. Neben Förderprogrammen, wie das BAFA Modul 5, unterstützt Sie Ihr Mittelstand-Digital Zentrum in Ihrem Bundesland gerne kostenlos.

**Autoren**

**Felix Niemeyer**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF), TU Braunschweig und Nachhaltigkeitsexperte am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

**Malte Schäfer**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF, TU Braunschweig

**Dr.-Ing. Mark Mennenga**

Stellv. Institutsleitung und Abteilungsleiter am IWF, TU Braunschweig

# Energieinformationsmodell für einen aufwandsarmen Zugriff auf Energiedaten

**Bei der Einführung eines Energiemanagementsystems in einem industriellen Produktionsbetrieb entsteht ein hoher, kostenintensiver Engineering-Aufwand. Energie-Monitoring-Daten oder Lastmanagement-Befehle liegen in unterschiedlichen Semantiken vor und müssen identifiziert, im Datentyp angepasst oder skaliert werden, um im Energiemanagementsystem Anwendung zu finden. In dem Forschungsprojekt „IoT\_EnRG“ wird ein Konzept zur Minimierung des beschriebenen Aufwands entwickelt und umgesetzt.**

Viele Unternehmen, auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU), streben eine Optimierung der Energieeffizienz ihrer Produktionsanlagen an. Eine sukzessive Optimierung der Energieeffizienz kann mit der Einführung eines Energiemanagementsystems (EnMS) nach ISO 50001 realisiert werden. Damit ein EnMS betrieben werden kann, werden neben der Organisation der erforderlichen Abläufe auch Soft- und Hardwarekomponenten benötigt, die es ermöglichen, Energieinformationen zwischen der Feld- und der Betriebsleitebene für Energie-Monitoring- und Lastmanagementzwecke zu übermitteln. Bei der Übertragung dieser Energieinformationen, ausgehend von einer heterogenen Feldebene, liegen unterschiedliche Semantiken vor, da in der Praxis verschiedene Kommunikationssysteme und Protokolle (z. B. PROFINET, Sercos III, CIP) zum Einsatz kommen. Auf der Betriebsleitebene können diese Daten nur dann zu Energieinformationen für das Energiemanagement umgewandelt werden, sofern der erforderliche Engineering-Aufwand zur Interpretation der Energiedaten aufgebracht wird.

Im Forschungsprojekt „Entwicklung von Energiemanagementschnittstellen für IoT-Technologien“ (IoT\_EnRG) wurde ein Lösungsansatz erarbeitet, der die Entwicklung eines universellen Energieinformationsmodells (UEIM) beinhaltet. Der Einsatz des UEIM gewährleistet eine einheitliche Semantik der Energiemanagement-Informationen (EnMi), unabhängig vom unterlagerten System, erleichtert eine aufwandsarme Einbindung in das EnMS und reduziert so den Engineering-Aufwand.

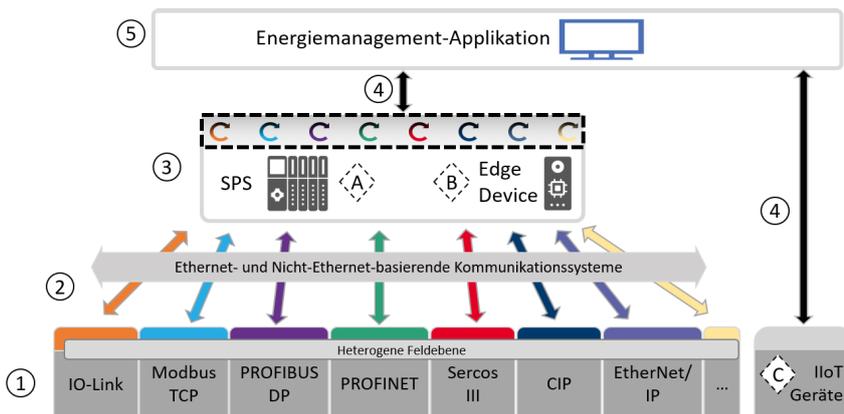
## **Ablauf der Kommunikation von EnMi in der Automatisierungshierarchie**

In der Energiemanagement-Applikation, die in der Betriebsleitebene lokalisiert ist,

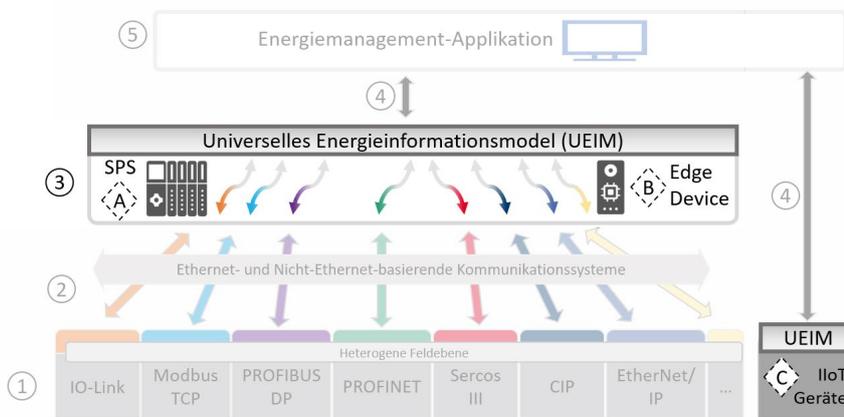
müssen alle Energiemanagement-Informationen interpretiert und in einen Kontext gebracht werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen und Energie-Monitoring oder Lastmanagement-Aufgaben realisieren zu können, müssen die EnMi aufbereitet werden. Die Aufbereitung und Übertragung von EnMi kann dabei auf verschiedenen Ebenen der Automatisierungshierarchie durchgeführt werden.

In Bild 1 ist die bidirektionale Kommunikation von EnMi von der Feld- über die Steuerungs- bis in die Betriebsleitebene dargestellt. Die heterogene Feldebene ① bietet verschiedene Quellen für EnMi und ist durch unterschiedliche Kommunikationsprotokolle und Semantiken charakterisiert. Die Aufnahme von Energie-spezifischen Messinformationen kann sowohl über separate Messgeräte wie Energiezähler als auch über integrierte Messfunktionen eines Verbrauchers (z. B. Frequenzumrichter mit integriertem Energiezähler) erfolgen. Die aufgezeichneten Messinformationen werden aus der Feldebene ② an die Steuerungsebene ③ übertragen.

Die eingesetzten Ethernet-basierenden und nicht-Ethernet-basierenden Kommunikationssysteme (z. B. PROFINET oder IO-Link) der Feldebene stellen die EnMi in unterschiedlichen Semantiken bereit, da diese teils auf proprietären Vorgaben oder auf unterschiedlichen Standards, sogenannten Energieprofilen (z. B. PROFIenergy), basieren. Auf speicherprogrammierbaren Steuerungen <A> oder Edge Devices <B> müssen die eingehenden, Geräte-spezifischen Rohdaten im Datentyp angepasst, skaliert und über eine geeignete Kommunikationsschnittstelle ④ (z. B. OPC UA) der Betriebsleitebene bereitgestellt werden. Die Semantik des ursprünglichen Quellgerätes bleibt, z. B. bei der Anwendung von Energieprofil-spezifischen OPC UA



**Bild 1**  
Bereitstellung von EnMi



**Bild 2**  
Universelles  
Energieinformationsmodell

Companion Specifications, bei der Bereitstellung bestehen. IIoT-Geräte <C> sind für eine direkte Bereitstellung von EnMi in Geräte-spezifischer Semantik geeignet und über Kommunikationssysteme, z. B. basierend auf OPC UA oder MQTT, angebunden. Auf der Betriebsleitebene werden die EnMi in Energiemanagement-Applikationen ⑤ gespeichert, weiterverarbeitet, ausgewertet und dargestellt. Die Übermittlung von Lastmanagement-Befehlen findet in umgekehrter Wirkrichtung in Richtung der Verbraucher der Feldebene statt.

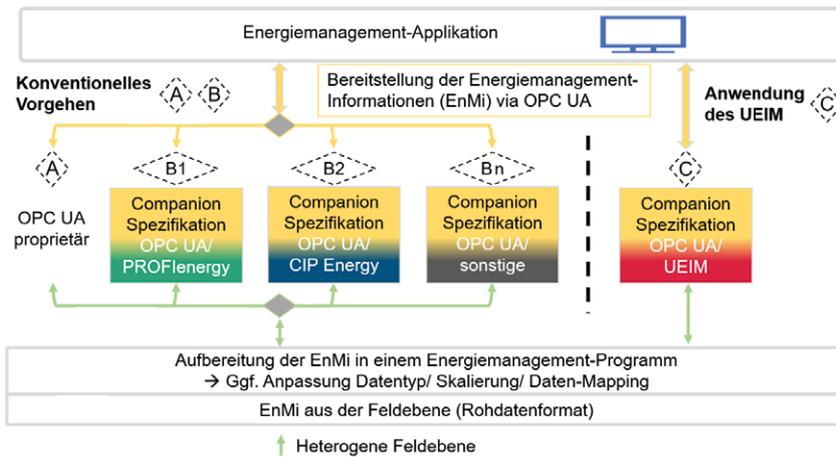
**Das universelle Energieinformationsmodell (UEIM)**

Das UEIM wurde zur strukturierten Abbildung der EnMi der heterogenen Feldebene entwickelt. Die EnMi aus der Feldebene werden aufgenommen und in der einheitlichen Semantik des UEIM bereitgestellt. Bild 2 zeigt, wo das UEIM in der Automatisierungshierarchie lokalisiert ist. Das UEIM wird entwickelt, um eine semantisch eindeutige Standardisierung von

EnMi zu realisieren. Das UEIM ist technologieunabhängig, da bei der Entwicklung die parallel existierenden Standards und Energieprofile berücksichtigt wurden, so dass eine Kompatibilität gewährleistet ist.

Die EnMi werden von der heterogenen Feldebene ① in den Geräte-spezifischen Semantiken bereitgestellt ② und auf der Steuerungsebene ③ <A> / ③ <B> aufbereitet, in die Semantik des UEIM überführt und an die Energiemanagement-Applikation ⑤ bereitgestellt. Das UEIM sorgt also dafür, dass Energiedaten, die in heterogener Syntax und Semantik aus dem Feld eintreffen, in eine einheitliche Syntax und Semantik umgewandelt werden. Beim Einsatz von IIoT-Geräten <C> kann eine direkte Bereitstellung der EnMi in der einheitlichen Semantik des UEIM an die Energiemanagement-Applikation erfolgen.

Der Energiemanagement-Applikation stehen somit alle Energiedaten in einem einheitlichen Format zur Verfügung, egal wie der Bereitstellungsweg aussieht.



**Bild 3**  
Vergleich des konventionellen Vorgehens mit der Anwendung des UEIM

**Reduzierung des Engineering-Aufwands beim Einsatz des UEIM mit OPC UA**

Zur Aufbereitung der EnMi auf der Steuerungsebene müssen Energie-SPS- und Edge Device-Programme entwickelt werden. Bei der Programmentwicklung und Einrichtung der OPC UA-Schnittstelle kann das UEIM zur Anwendung kommen. In Bild 3 werden die Unterschiede des Engineering-Aufwands bei Anwendung des UEIM <C> mit dem konventionellen Vorgehen <A> <B> verdeutlicht.

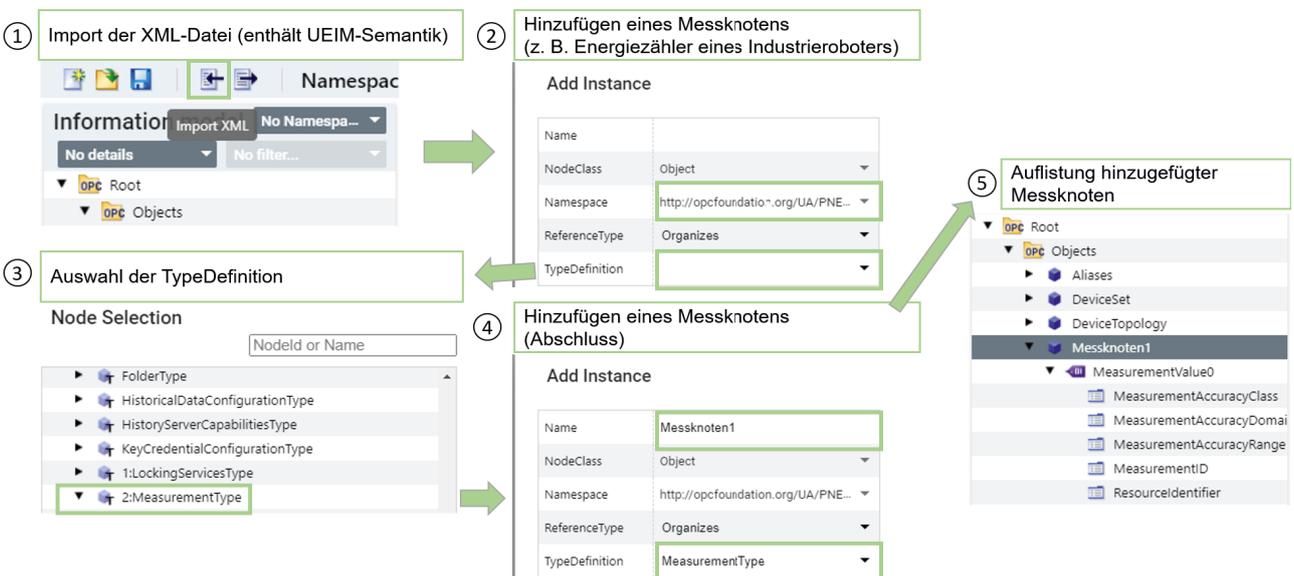
Die EnMi aus der Feldebene werden auf der Steuerungsebene bereitgestellt und lie-

gen im Rohdatenformat vor. In einem ersten Verarbeitungsschritt müssen die EnMi mittels eines Energiemanagement-Programms ggf. im Datenformat angepasst und skaliert werden. Im Rahmen eines erforderlichen Daten-Mappings können die EnMi auf Variablenstrukturen übertragen werden, die auf eine geeignete Kommunikationsschnittstelle, wie eine OPC UA-Schnittstelle, abgebildet werden.

Beim konventionellen Vorgehen der Programmerstellung <A> <B1...Bn> können unterschiedliche Konzepte bezüglich der semantischen Aufbereitung der EnMi verfolgt werden. In Konzept <A> werden manuell OPC UA-Variablen an-

gelegt, die zur Bereitstellung der EnMi genutzt werden. Die Variablenbezeichnungen sowie zugeordneten Datentypen können beispielsweise einem firmeninternen Standard oder den individuellen Vorgaben der programmerstellenden Person folgen. Der Einfachheit halber wird die proprietäre Semantik des Quellgeräts beibehalten. Konzept <B1...Bn> sieht die Nutzung sogenannter OPC UA Companion Spezifikationen vor. Mittels Import eines sogenannten OPC UA XML-Node-Schemas werden zum Anlegen von OPC UA-Variablen, Klassenstrukturen bereitgestellt. Mit der Instanzierung dieser Klassenstrukturen werden automatisch OPC-UA-Variablen angelegt, die z. B. Be-

**Bild 4**  
Anwendung der UEIM OPC UA Companion Specification in SiOME



zeichnungen und Datentypen der Variablen für die Darstellung eines Energiemesspunkts festlegen. Für jeden Messknoten muss ein individuelles auf die Geräte-spezifischen EnMi zugeschnittenes Programm entwickelt werden. Für EnMi, die nach einem Energieprofil bereitgestellt wurde, müssen einzeln die zugehörigen OPC UA Companion Specifications importiert werden und spezifische OPC UA-Variablen müssen erzeugt werden.

Beim Konzept <C> kommt eine standardisierte Semantik nach dem UEIM zur Anwendung. Bei diesem Konzept ist die Anwendung von lediglich einer OPC UA Companion Specification erforderlich, da eine Kompatibilität zu den EnMi der heterogenen Feldebene sichergestellt ist.

Für die Erstellung von OPC UA-Variablen in den Entwicklungsumgebungen für SPSen und Edge Devices sind steuerungsspezifische Tools vorhanden. Bild 4 zeigt das schrittweise Vorgehen in einer solchen Beispielanwendung „SiOME“. In Schritt 1 ist der Import einer OPC UA Companion Specification-spezifischen XML-Datei erforderlich (siehe grün eingerahmtes Symbol), die die semantischen Informationen des zugehörigen Standards beinhaltet. In Schritt 2 wird ein Messknoten unter dem Ordnersymbol *Objects* eingefügt (Rechts-

klick *Objects Add instance*). Zur Konfiguration eines hinzuzufügenden Messknotens wird der dem UEIM zugehörige *Namespace* ausgewählt und die *TypeDefinition* ausgewählt, die zur Abbildung eines Messknotens geeignet ist (siehe Schritt 3 *MeasurementType*). In Schritt 4 wird der Messknoten mit einem eindeutigen Namen versehen, sodass die EnMi einem Gerät zuzuordnen sind. Zu diesem Zweck kann dem Namen z. B. eine assoziierte Betriebsmittelkennzeichnung angehängt werden.

Nach dem Hinzufügen des Messknotens wird dieser in Schritt 5 unter *Objects* aufgelistet. Die nach dem UEIM standardisierten, hierarchisch untergeordneten Eigenschaften müssen folgend auf Variablen eines Energiemanagement-Programms abgebildet werden. Dieser Vorgang kann ebenfalls in dem Softwaretool vorgenommen werden und die Übereinstimmung der Datentypen wird automatisch auf Plausibilität überprüft. Eine weitere Reduzierung des Engineering-Aufwands kann erzielt werden, wenn Codegeneratoren eingesetzt werden, die auf die UEIM-spezifische OPC UA Companion Specification ausgerichtet ist.

Der Vergleich der Anwendung des UEIM-Konzeptes mit dem konventionellen Vor-

gehen bei der Erstellung von Energiemanagement-Programmen mit OPC UA-Schnittstellen hat gezeigt, dass mit dem UEIM-Konzept eine aufwandsärmere Einrichtung und Konfiguration der Kommunikationsschnittstelle möglich ist. Der Import nur einer OPC UA Companion Specification ist erforderlich und das Mapping der EnMi auf entsprechende OPC UA-Variablen kann entsprechend der einheitlichen Semantik des UEIM erfolgen. Die einheitliche Semantik der EnMi der Steuerungsebene ermöglicht eine vereinfachte Einbindung in eine Energiemanagement-Applikation, da die OPC UA-Variablen-Strukturen nur einem Standard folgen. Zum Beispiel werden Energiezähler in der immer identischen Weise dargestellt.

EnMi sind somit schnell zu identifizieren und zu interpretieren und können in den Kontext der entsprechenden Applikation eingebracht werden. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sowie die Entwicklung des UEIM werden derzeit im Rahmen des Arbeitskreises der OPC Foundation eingebracht, weiterentwickelt und in Form einer OPC UA Companion Specification aufbereitet.

## Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann**  
Professor im Fachbereich Prozess-informatik und Automatisierungstechnik (PIA) an der Hochschule Hannover

**Maxim Runge**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
an der Hochschule Hannover und  
Experte für das Themengebiet  
Energiemanagement und Semantik von Energiedaten

Das Forschungsprojekt der IGF „Entwicklung von Energiemanagementschnittstellen für IoT-Technologien – IoT\_EnRG“ wird durch das BMWK aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages als IGF Vorhaben Nr.: 21329 N gefördert. Die teilnehmenden Forschungseinrichtungen bedanken sich bei der IGF für die finanzielle Unterstützung der Forschung.

# Nachhaltig und digital

mit den vielfältigen Angeboten aus dem Netzwerk „Mittelstand-Digital“



Nachhaltigkeit ist für den Mittelstand längst ein wichtiger Wettbewerbsfaktor. Immer mehr Verbraucher\*innen verlangen nachhaltige Produkte und Dienstleistungen. Digitale Technologien unterstützen bzw. ergänzen das Nachhaltigkeitsmanagement – ebenso wie die Zentren im Netzwerk „Mittelstand-Digital“. Im Folgenden finden Sie eine Auswahl an Angeboten bei „Mittelstand-Digital“, welche kleine und mittlere Unternehmen bei Nachhaltigkeitsmaßnahmen unterstützen.

## Mittelstand-Digital Themenheft „Nachhaltigkeit“

Nachhaltigkeit ist zweifellos das Wort der Stunde. Werden heutzutage Strategien entwickelt, Pläne entworfen oder Programme auf den Weg gebracht, steht nahezu immer die Nachhaltigkeit als Leitprinzip dahinter. Der Begriff ist jedoch weit mehr als eine bloße Mode. In einer Zeit der Umbrüche, des Wandels und der Transformationen gibt das Prinzip der Nachhaltigkeit eine klare Richtung vor. Nachhaltigkeit ist wie ein Kompass, an den sich Gesellschaft, Politik und Wirtschaft halten können, um Wege in eine bessere Zukunft zu finden.

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit ist demnach nicht nur an eigenen, kurzfristigen Interessen auszurichten, sondern stets mit den Zielen zu verschränken, dabei auch ökologisch verantwortlich und sozial gerecht zu handeln. Nachhaltiges Handeln bewahrt nicht nur die natürlichen Lebensgrundlagen für uns und kommende Generationen, sondern ermöglicht auch allen Menschen eine Teilhabe am Wohlstand. Im [Mittelstand-Digital Themenheft](#) finden Sie einige Anregungen sowie ermutigende Beispiele für nachhaltiges Handeln im Mittelstand.

## WISSENSCHAFT TRIFFT PRAXIS – Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Mit der Digitalisierung bieten sich zunehmend neue Innovations- und Entwicklungsmöglichkeiten für Unternehmen. Eine dieser Möglichkeiten ist die Implementierung und der Ausbau von unternehmerischen Nachhaltigkeitsmaßnahmen. Wichtig ist hierbei eine ganzheitliche Betrachtung von Nachhaltigkeit, in all ihren Dimensionen: Ökologisch, ökonomisch und sozial. Die Beiträge der [14. Ausgabe des Mittelstand-Digital Magazins](#) gehen auf das theoretische Fundament und praktische Anwendungsbeispiele von Nachhaltigkeitsmaßnahmen und ihrer digitalen Unterstützung ein. Dabei werden die Themen Kreislaufwirtschaft, nachhaltige Geschäftsmodelle, nachhaltige Unternehmenskultur und branchenübergreifende Praxisbeispiele durch die Brille der kleinen und mittleren Unternehmen beleuchtet – sie inspirieren zur Nachahmung.

## WISSENSCHAFT TRIFFT PRAXIS - Sonderausgabe Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Diese [Sonderausgabe](#) ist ein schönes Beispiel dafür, wie wichtig und vielseitig Nachhaltigkeit im Mittelstand ist – insbesondere, wenn digitale Technologien zur Unterstützung herangezogen werden können. Hier wird ebenfalls anhand vieler Anwendungsbeispiele deutlich, wie sinnvoll und gewinnbringend es ist, Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmen zusammen zu denken. Neben einer nachhaltigen und digitalen Produktion werden auch Ideen für den Tourismus sowie die digitale Nachhaltigkeit in der Lieferkette und Ökobilanzierung vorgestellt.

### eBook: Nachhaltige Unternehmensführung

In dieser Publikation stellt das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards vor, wie Purpose, Führung und Innovation kleine und mittelständische Unternehmen für die Zukunft wappnen. Denn: Prozesse und Strukturen im unternehmerischen Kontext wandeln sich durch Digitalisierung und Nachhaltigkeit zunehmend – was wiederum Auswirkungen auf die Art der (Zusammen-)Arbeit hat. Um bei diesem Paradigmenwechsel besser zu unterstützen, stellt das Kompetenzzentrum eStandards in diesem [eBook](#) Wissenswertes zu Purpose und modernen Führungsmodellen vor. Anhand der Design-Thinking-Methode werden Möglichkeiten aufgezeigt, um mittels Innovationen die nötigen Veränderungen zu bewältigen: ein guter Einstieg in die nachhaltige Unternehmensführung und eine gute Grundlage zur Bewältigung dieses wichtigen Zukunftstrends.

### Interaktiv: Vielfältige Angebote zu Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Klimaschonender wirtschaften, nachhaltiger agieren: Dabei ist die Digitalisierung ein wichtiges Werkzeug. Der Einsatz digitaler Technologien beschleunigt Innovationen und hilft so, eine nachhaltige Entwicklung voranzutreiben. Oftmals sehen sich kleine und mittlere Unternehmen bei der Entwicklung und Umsetzung einer nachhaltigen Strategie jedoch vor großen

Herausforderungen. Es fehlt an nötigem Wissen, wie solche Strategien umsetzbar sind und an den zeitlichen Kapazitäten, um sich intensiv mit der Thematik auseinander zu setzen. Dabei bieten digital unterstützte Nachhaltigkeitsmaßnahmen im Unternehmen viele Vorteile: angefangen bei Energie- und Ressourceneffizienz, über Corporate Digital Identity bis hin zu klimaneutraler Produktion. Hier setzt der [Online-Kurs](#) des Mittelstand-Digital Zentrums Kaiserslautern an. Auf der Lern- und Aktionsplattform LEA lernen Interessierte, was Nachhaltigkeit grundsätzlich bedeutet und auf welchen drei Säulen sie aufbaut. Außerdem wird gezeigt, welche Potenziale sich für Unternehmen ergeben, wenn sie in nachhaltige Technologien und Strategien investieren.

Neben Workshops, Webinaren und Lernnuggets erleben Besucherinnen und Besucher in der [Lernfabrik „Nachhaltigkeit und Energieeffizienz“](#) des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover praxisnah, wie Digitalisierung und ökologische Bewertung in einem Produktionssystem aufeinander abgestimmt werden können.

Die vorgestellten Angebote stellen nur eine kleine Auswahl an Unterstützungsmöglichkeiten dar, welche die deutschlandweit vertretenen Zentren im Netzwerk „Mittelstand-Digital“ kleinen und mittleren Unternehmen beim Einstieg und dem Ausbau von Nachhaltigkeitsmaßnahmen anbieten.

Noch mehr Publikationen, Studien, Veranstaltungen und Hilfsangebote finden Sie unter [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)

### Autorin

**Lisa Schrade-Grytsenko**  
Begleitforschung im Förderschwerpunkt „Mittelstand-Digital“, zuständig für Öffentlichkeitsarbeit und u. a. für das Schnittmengenthema Digitalisierung und Nachhaltigkeit

# Der Digitale Zwilling in der **Verwaltungsschale**

Projekt-Abschlussbericht von Dr.-Ing. Michael Rehe, Dr.-Ing. Thomas Lepper und Anja Simon

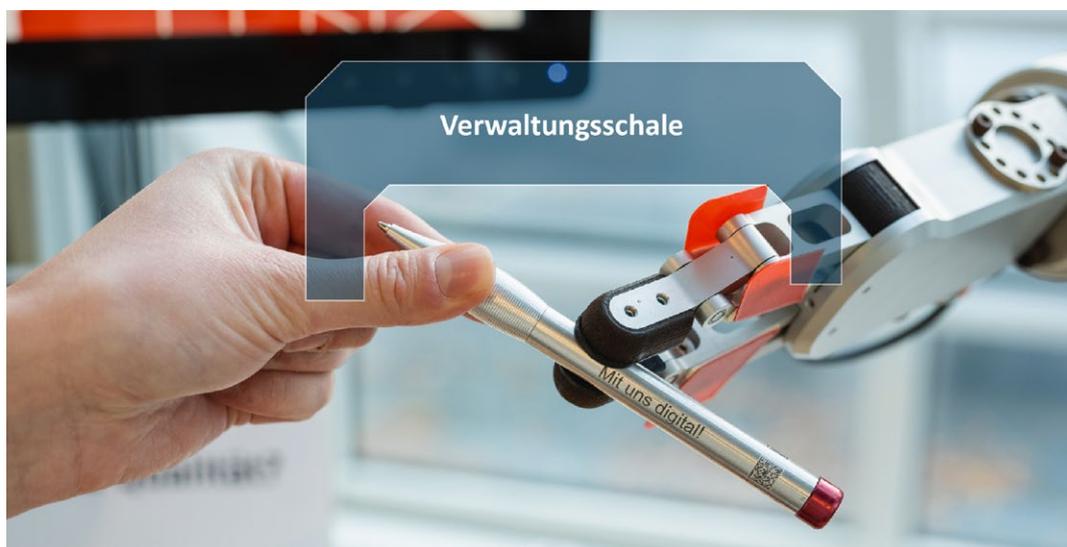
Im Rahmen von Industrie 4.0 werden Gegenstände digital abgebildet und vernetzt. Ein digitales Abbild (Digitaler Zwilling) kann durch eine Verwaltungsschale (VWS) – englisch Asset Administration Shell – erfolgen. In der VWS sind sämtliche Informationen und Funktionalitäten der Gegenstände (Assets) beschrieben. Diese Gegenstände können Anlagen, Maschinen, Produkte oder auch ganze Firmen sein.

Die VWS bietet als übergreifendes Meta-Daten-Informationsmodell zahlreiche Vorteile für Digitale Zwillinge. Durch einheitliche Datenstrukturen, eindeutige Identifikation, einheitliche Semantik und die Nutzungsmöglichkeiten von nicht-proprietären Kommunikationsstandards werden Digitale Zwillinge mit der VWS zur herstellerübergreifenden Interoperabilität befähigt. Die VWS ist damit die Grundlage für vielfältige innovative Anwendungsfälle und 4.0-Geschäftsmodelle, wie z. B. für herstellerübergreifende Condition-Monitoring-Anwendungen oder den KI-basierten Business Excellence-Support. Das Wissen über die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie ist jedoch nicht weit verbreitet.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist Partner im Testbed des Labs Network Industrie 4.0 e.V.

(LNI 4.0) und führt seit August 2021 ein kooperatives Digitalisierungsprojekt durch, welches die Zukunftstechnologie VWS thematisiert und die Implementierung praktisch erprobt. Das Ziel des Projektes ist es, den konkreten Nutzen der VWS aufzuzeigen und somit zur industriellen Verbreitung dieser Technologie beizutragen. Hierzu haben die beteiligten Projektpartner einen Demonstrator aufgebaut, der auf bestehende Brownfield-Anlagen zurückgreift. Dies ist insbesondere in der Produktionstechnik wichtig, da der Anteil an Bestandsanlagen und -maschinen aufgrund der hohen Lebensdauer sehr groß ist.

Am Testbed beteiligen sich die Geschäftsführung und Vertretende von kleinen und mittleren Unternehmen sowie diverse Fachkräfte aus der Plattform Industrie 4.0, der Industrial Digital Twin Assoziation (IDTA), Technologiegremien und anderen VWS-Projekten sowie aus der LNI 4.0-Community. Zum Projektkonsortium zählen die Allisa Software GmbH, XITASO GmbH, VISION Lasertechnik GmbH, WITTENSTEIN alpha GmbH, Fraunhofer IESE. Zusätzlich wurde das Projekt fachlich durch die Otto v. G. Universität, Plattform Industrie 4.0, IDTA, Sennheiser, micronex, ESR Pollmeier, Hitachi Europe, Siemens und natürlich auch durch LNI 4.0 unterstützt.



**Bild 1** Die Verwaltungsschale wird am Beispiel der Fertigung eines Kugelschreibers demonstriert

## Hintergrund

Um den Nutzen der Technologie Verwaltungsschale zu zeigen, wurde als Anwendungsfall die Laserbeschriftung eines individuell konfigurierten Kugelschreibers herangezogen. Dieser Prozessschritt kann grundsätzlich von unterschiedlichen Lasermaschinen ausgeführt werden. Dabei sind sowohl die Eigenschaften der Beschriftung als auch die Verfügbarkeit der Maschinen ausschlaggebend für die Zuteilung des Prozessschrittes.

Ziel des Projektes war daher, die Vergabe der Laserbeschriftung über die Technologie Verwaltungsschale in einem Ausschreibungsprozess automatisiert ablaufen zu lassen. Auf diese Weise können mehrere Laserbeschriftungsanlagen an der Fertigung teilhaben und eine Maschine ausgewählt werden, die am besten für die Ausführung der Laserbeschriftung geeignet ist.

Der Demonstrator ist dabei Teil der Prozesskette in der Lernfabrik des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover.



Bild 2 Die Verwaltungsschale auf der Hannover Messe 2022

## Lösungsweg

### Implementierung der Verwaltungsschale

Für die Umsetzung der Verwaltungsschale wurde die Komponenten-Suite des Projekts Eclipse Basyx vom Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) eingesetzt. Diese verwendet die von der Plattform Industrie 4.0 definierte Architektur und bietet mithilfe von Docker Containern einen komfortablen Einstieg in die Umsetzung. Um die Verwaltungsschalen dauerhaft zu speichern, wurde eine Datenbank (MongoDB) verknüpft.

Bei der Umsetzung haben sich Herausforderungen ergeben, die das Aufrufen der Verwaltungsschale über eine eindeutige Asset-ID verhindert haben. Eine Anpassung der Schnittstelle zum Aufrufen der Verwaltungsschale hat die Firma XITASO GmbH mit dem Produkt Mnestix umgesetzt. Diese basiert ebenfalls auf Basyx und bietet darüber hinaus auch einen Viewer zum grafischen Betrachten der Verwaltungsschale über eine Webseite. Das Erstellen und Beschreiben der VWS erfolgt über eine REST-Schnittstelle mithilfe der Programmiersprache Python und über eine Implementierung in der Allisa Plattform. Die Allisa Plattform ist eine LowCode Plattform, mit der Logiken abgebildet und Userinteraktionen eingebunden werden können. Sie bildet den zentralen Steuerpunkt der Fertigung und überwacht die Fertigungsschritte.

### Funktionsweise des Demonstrators

Der schematische Aufbau dieses spezifischen Demonstrators ist in Bild 3 dargestellt. Er beinhaltet alle Schritte von der Konfiguration, über die Ausschreibung der Fertigung bis zum fertigen Produkt. Die Ausschreibung erfolgt zwischen den beiden Laserbeschriftungsanlagen, die während der Hannover Messe 2022 auf zwei unterschiedlichen Messeständen platziert waren. Nach der Messe findet die Ausschreibung zwischen der Lasermaschine in der Lernfabrik des Zentrums und virtuellen Maschinen statt.

Für den Datenaustausch zwischen den Maschinen (M2M) wird ein einheitliches Informationsmodell (hier OPC UA) genutzt, welches plattform- und herstellerunabhängig ist und über integrierte Sicherheitsmaßnahmen verfügt.

Im Hintergrund arbeitet eine Low-Code-Digitalisierungssoftware, die die Funktion eines Regel-Designers und eines Prozess-Überwachungssystems übernimmt. Die verwendete Plattform Allisa erlaubt es, Prozesse und fachliche Regelwerke zu definieren und abzubilden.

**Schritt 1:**

**Konfiguration des Kugelschreibers**

Am Konfigurator wird der individuelle Kugelschreiber erstellt. Dieser besteht unter anderem aus einer Mine in vier verschiedenen Schreibfarben, einem persönlich gestalteten Griffstück sowie einer mittels Lasergravur individualisierbaren Kugelschreiberhülse. Nach der erfolgreichen Konfiguration des Kugelschreibers wird für diesen eine Produkt-Verwaltungsschale erzeugt.

**Schritt 2**

**Erzeugung der VWS für das Produkt**

Die VWS des Produktes enthält mehrere Teilmodelle. Hierzu zählen unter anderem das Digital Name Plate (DNP) und der Digital Product Passport (DPP). Diese enthalten alle relevanten Informationen über das Produkt. Für den Kugelschreiber sind dies beispielsweise die persönliche Gravur, die Schreib- und Endstückfarbe und die Form von Spitze und Griffstück. Perspektivisch sollen die Verwaltungsschalen noch um weitere relevante Produktinformationen angereichert werden. Diese befinden sich derzeit noch in der Entwicklung und werden anschließend in die Lernfabrik integriert und praktisch erprobt.

**Schritt 3**

**Start des Ausschreibungsprozesses**

Bereits nach der Konfiguration wird ein QR-Code erzeugt, welcher die Asset-ID der Produkt-VWS enthält. Dieser QR-Code kann z. B. mit einem Smartphone eingescannt werden und somit auf den Digitalen Zwilling zugegriffen werden. Der Ausschreibungsprozess für die individuelle Lasergravur wird nach der Konfiguration über die Allisa Plattform gestartet.

**Schritt 4**

**Ausschreibung**

Über seine VWS kann ein Produkt selbstständig den nächsten Produktionsschritt ausschreiben. Dafür werden festgelegte Merkmale aus der Konfiguration des Produktes herangezogen (z. B. koreanische oder lateinische Schriftzeichen). Anschließend erfolgt ein Abgleich mit dem „Fähigkeiten-Angebot“ sowie der Verfügbarkeit aus den VWS der Maschinen. Sollte es einen positiven Match geben, kann der Auftrag für die Ausführung des angefragten Produktionsschrittes direkt vom Produkt an die entsprechende Maschine gegeben werden. Alternativ wird der Auftrag basierend auf einer finalen, menschlichen Entscheidung erteilt.

**Schritt 5**

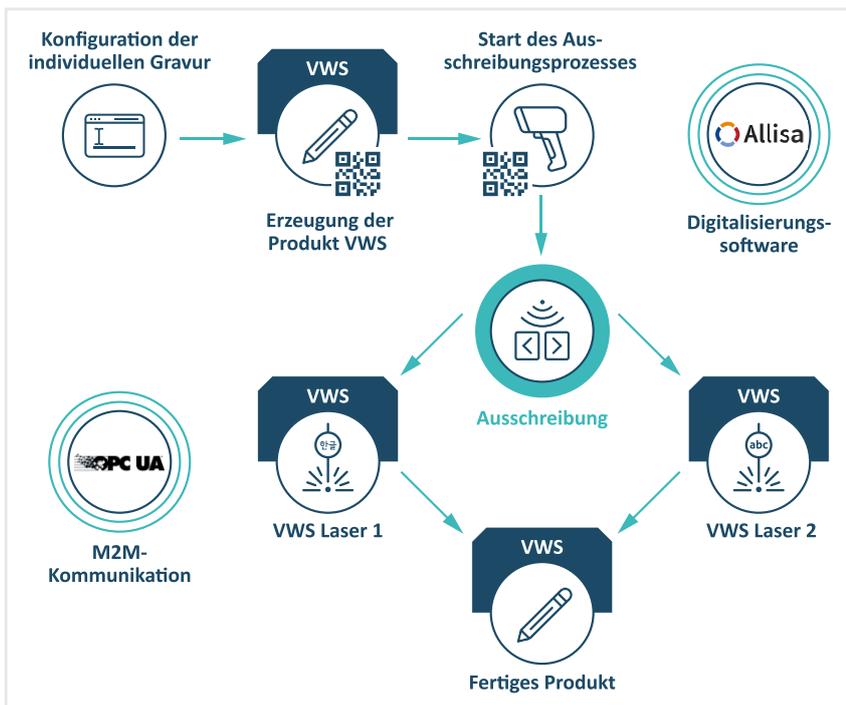
**VWS der Lasermaschine**

Die Lasermaschinen verfügen jeweils über eine eigene Verwaltungsschale. Diese können ebenfalls mehrere Submodelle enthalten, mindestens aber immer ein digitales Typenschild. Dieses enthält alle relevanten Informationen über die Maschine, zum Beispiel Hersteller, Bezeichnung, Seriennummer und Baujahr. Weitere Submodelle können zusätzliche Informationen über die Maschine enthalten, die wichtig für die Fertigung oder die Ausschreibung sind, zum Beispiel generelle Funktionalitäten, Laserleistung und Schriftarten.

**Schritt 6**

**Fertiges Produkt**

Je nach Ergebnis der Ausschreibung wird die Lasergravur mit dem Laser 1 oder dem Laser 2 durchgeführt. Die Anmeldung des Auftrags erfolgt mittels des vom Konfigurator erzeugten QR-Codes. Diese enthält die Verknüpfung zur Produkt-VWS über die der zu gravierende Text bereitgestellt wird. Die Auftragsdaten werden über eine Middleware und die OPC UA Schnittstelle an die Lasermaschine übermittelt. Nach der Gravur erfolgt die Endmontage des Kugelschreibers.



**Bild 3**  
Schematischer Aufbau des Demonstrators

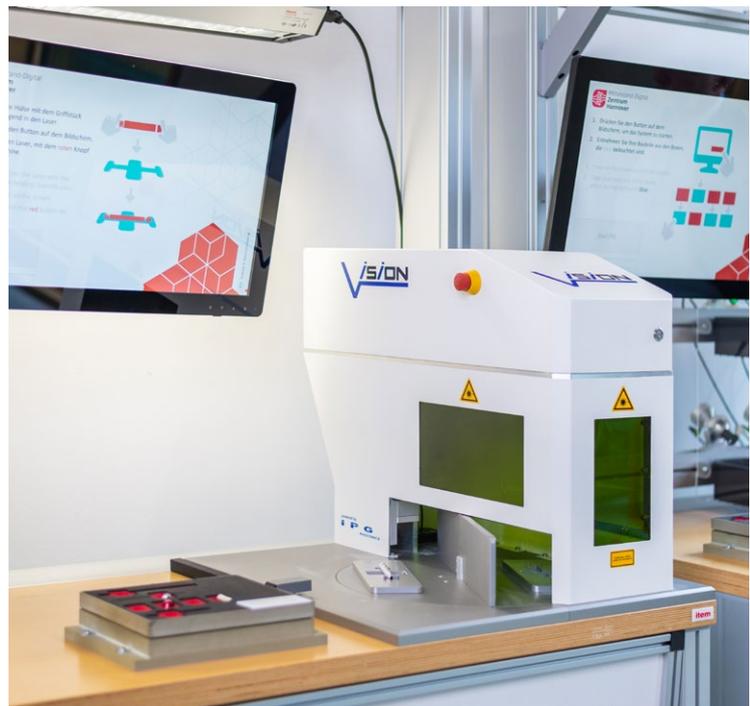
## Nutzen für den Mittelstand

Die VWS ist mehr als ein nächstes Tool, welches in eine existierende Produktionslinie oder in ein ganzes Unternehmen hinzugefügt wird. Sie stellt vor allem einen Einstieg in die Welt der Industrie 4.0 dar. Die wesentlichen Vorteile sind die hersteller- und firmenüberschreitende Vernetzung auf einer Meta-Daten-Ebene und damit der Einstieg in zukünftige digitale Geschäftsmodelle zwischen den Maschinen.

Das Konzept der Verwaltungsschale ist global, also unternehmens-, branchen- und länderübergreifend. Die Idee und das Konzept der VWS werden von den internationalen Treibern der Digitalisierung (z. B. vom amerikanischen und vom asiatischen Kontinent) aufmerksam beobachtet und darüber hinaus auch bereits praktisch getestet, weil das Konzept der VWS eine internationale Interoperabilität nicht nur zwischen Assets, sondern auch zwischen ganzen Fertigungslinien an unterschiedlichen Standorten ermöglicht.

Grundlage des Konzeptes der VWS sind eine einheitliche Kennzeichnung der Assets (IEC 61406), ein einheitliches Informationsmodell (IEC 63278-1), die Verwendung einer einheitlichen Semantik (IEC 61360-x, Bibliothek ECLASS / CDD) und die Anwendung bekannter und erprobter Techniken der Cybersicherheit (OpenID Connect).

Die VWS befindet sich noch in einem frühen Umsetzungsstadium. Insbesondere für den großflächigen Einsatz in der Industrie fehlen noch kommerzialisierte Tools für eine einfache Plug&Play-Umsetzung ohne tiefe Informatik-Fachkenntnisse oder Programmiererfahrungen. Daher entwickeln bereits einige Unternehmen entsprechende Tools, um die VWS anwendungsfreundlicher zu gestalten. Neben den Grundfunktionen sind standardisierte Teilmodelle mit weiteren Informationen zum Digitalen Zwilling wichtig. Diese befinden sich wie beispielsweise das Teilmodell zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Produktes (Product Carbon Footprint) aktuell noch in der Standardisierung und sollen anschließend auch in die Lernfabrik Digitale Produktion integriert werden.



**Bild 4**  
Teildemonstrator zur  
Laserbeschriftung

### Autor\*innen

#### **Dr.-Ing. Michael Rehe**

Geschäftsführer des Mittelstand-Digital Zentrums  
Hannover

#### **Dr.-Ing. Thomas Lepper**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für  
Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der  
Leibniz Universität Hannover und Koordinator  
Digitalisierungsprojekte am Mittelstand-Digital  
Zentrum Hannover

#### **Anja Simon**

CEO Geschäftsführung für LNI 4.0 (Labs Network  
for Industrie 4.0) und Digitalisierungs-Program-  
manager bei der Siemens AG

# Skalierende IT-Sicherheit für Start-ups

## Wie die IT-Sicherheit mit dem Unternehmen wächst

Die cellumation GmbH ist ein innovatives High-Tech-Start-up-Unternehmen aus Bremen, welches modulare und flexible Materialflusssysteme für die Produktions- und Logistikbranche entwickelt und selbst vertreibt. Stellvertretend für viele Start-ups in Deutschland steht das kontinuierlich wachsende Unternehmen vor der Herausforderung, dass zusätzliche Büroflächen an verschiedenen Standorten zu erschließen sind oder das gesamte Unternehmen einen Standortwechsel durchführen muss. Mit jeder Erweiterung und jedem Standortwechsel gehen Herausforderungen einher. Konkret ist beispielsweise bei jedem Standortwechsel die IT-Infrastruktur auf die neuen Räumlichkeiten anzupassen. In diesem Kontext gilt es, das Thema IT-Sicherheit nicht zu vernachlässigen.



**Bild 1**

Sortiermaschine der cellumation GmbH

### Vorgehen und Projektziel

Vor diesem Hintergrund hat die cellumation GmbH in Kooperation mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ein Konzept für eine skalierbare Netzwerksegmentierung entwickelt, das auf beliebige Unternehmensgrößen und Erweiterungen anwendbar ist und die IT-Sicherheit in Bezug auf die sich stetig wandelnde IT-Infrastruktur erhöht. Neben der Analyse des Istzustands im Unternehmen wird zunächst der Stand der Technik in Bezug auf die Netzwerksegmentierung ermittelt. Anschließend wird auf dieser Basis das Konzept entwickelt, welches bei Erweiterungen und Standortwechseln im Unternehmen zur Anwendung kommt.

### Konzept für eine skalierbare Netzwerksegmentierung

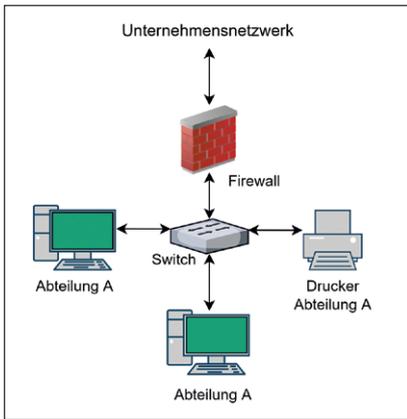
Bei der Netzwerksegmentierung handelt es sich um eine technische Schutzmaßnahme, mit der ein Unternehmensnetzwerk in mehrere kleinere Netzwerke, sogenannte Segmente, unterteilt wird. Jedes Segment

besteht aus unterschiedlichen Komponenten wie beispielsweise Clients, Servern, Telefonen, Kameras oder Druckern. Durch die Segmentierung können Clients beispielsweise je nach Abteilungszugehörigkeit bestimmten Segmenten wie z. B. Entwicklung, Personal, Finanzen, etc. zugeordnet werden. Sinn der Netzwerksegmentierung und der damit verbundenen Aufteilung der Netzwerkinfrastruktur ist es, eine zusätzliche Sicherheitsschicht im Unternehmen zu etablieren. Wird beispielsweise der Client eines Mitarbeitenden durch eine Schadsoftware kompromittiert, kann die Schadsoftware, zum Beispiel ein Verschlüsselungstrojaner, nur weitere Geräte desselben Segments kompromittieren. Um Geräte anderer Segmente zu kompromittieren, bedarf es in der Regel eines größeren Aufwandes.

Die Netzwerksegmentierung kann mithilfe von unterschiedlichen Maßnahmen

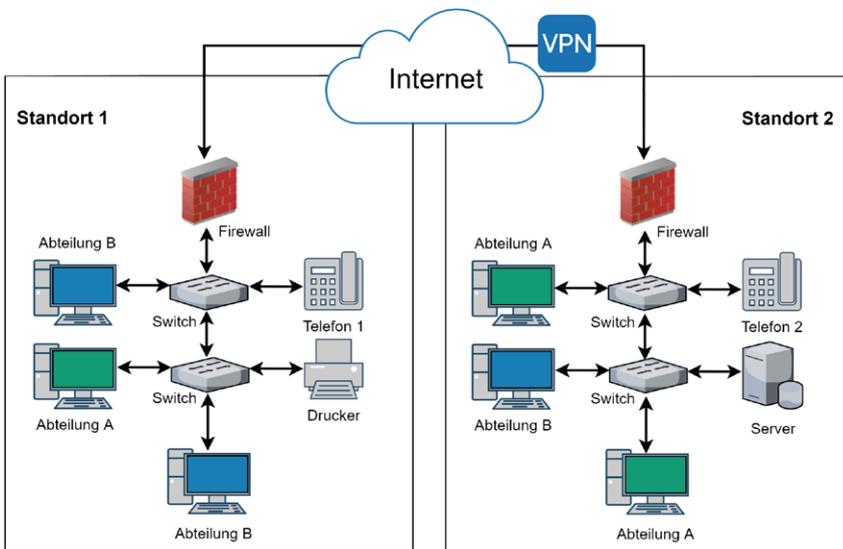
erreicht werden. Zum einen gibt es die physische Segmentierung. Hierbei werden lokale Netzwerke aufgebaut, die räumlich an einen Standort gebunden sind und jeweils mithilfe einer Firewall an das restliche Unternehmensnetzwerk angebunden sind. Die Firewall kontrolliert hierbei den ein- und ausgehenden Datenverkehr des angeschlossenen Segmentes. Die Netzwerktopologie ist hierbei festgelegt, so dass Clients derselben Abteilung an das gleiche physische Segment anzuschließen sind (Bild 2, Abteilung A). Der Vorteil dieser Segmentierungsart liegt in der Einfachheit der Umsetzung. Hiermit ist es allerdings beispielsweise nicht möglich, standortübergreifende Abteilungen zusammenzufassen und in einem Segment zu bündeln.

Zum anderen gibt es die logische Segmentierung. Hierbei verwenden unterschiedliche Segmente dieselbe Netz-



**Bild 2 (links)**  
Beispiel Physische Segmentierung

**Bild 3 (unten)**  
Beispiel Logische Segmentierung



werkinfrastruktur. Die Umsetzung erfolgt mithilfe von Virtual Local Area Networks (VLANs) und Subnetzen. Dies ermöglicht, dass eine Abteilung standortübergreifend eingerichtet werden kann und trotzdem im selben Netzwerksegment arbeitet.

Bild 3 zeigt die standortübergreifenden Segmente Abteilung A, Abteilung B, Telefone, Drucker und Server. Die vorhandenen Segmente können nur miteinander kommunizieren, wenn eine kontrollierende Instanz wie beispielsweise eine Firewall dies freigibt. Diese entscheidet auf Basis von Richtlinien. Wenn Richtlinien eine gewünschte Kommunikation nicht erlauben, wird diese durch die Firewall geblockt. Beispielsweise ist eine Richtlinie dafür verantwortlich, dass definierte Kommunikation zwischen dem Client-Segment (Abteilung A) und dem Server-Segment zugelassen wird. Die zugelassene Kommunikation beschränkt sich hierbei aller-

dings immer auf definierte Protokolle und Ports. Wird versucht mithilfe nicht zugelassener Protokolle und Ports eine Verbindung aufzubauen, wird dieses durch die kontrollierende Instanz blockiert.

Auf Basis der speziellen Anforderungen eines Start-ups wurde die logische Segmentierung als umzusetzende Maßnahme für das Konzept ermittelt, wobei sich am Baustein NET.1.1: Netzarchitektur und -design des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) orientiert wurde. Zwar geht hiermit ein kontinuierlicher Konfigurationsaufwand der überprüfenden Instanzen einher, die bei Anpassungen wie beispielsweise dem Hinzufügen neuer Hardware umzusetzen sind, allerdings werden die speziellen Anforderungen eines Start-ups wie mobiles Arbeiten und die Flexibilität, in Bezug auf den Unternehmensstandort, vollumfänglich berücksichtigt.

## Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann**  
Professor im Fachbereich Prozessinformatik und Automatisierungstechnik (PIA) an der Hochschule Hannover

**Jan-Niklas Puls**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Hannover und Experte für IT-Sicherheit im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

# Digitale Anbieterpräsentation

## Herausforderungen bei der Softwareauswahl

**Bei der Auswahl einer neuen Businesssoftware werden vorausgewählte Anbieter üblicherweise zu Präsentationsterminen in Präsenz eingeladen. Dies ist wichtig, um die Auswahlentscheidung neben inhaltlichen Aspekten auch auf persönlichen Eindrücken zu fußen.**

**Pandemiebedingt und durch die fortschreitende Digitalisierung finden solche Termine vermehrt online statt. In einem ERP-Auswahlprojekt eines Start-ups aus der Papierindustrie wurden Herausforderungen und Potenziale digitaler Anbieterpräsentationen untersucht.**

Anhand eines ERP-Auswahlprojektes (Enterprise Resource Planning) für ein im Jahr 2020 gegründetes Start-up der Papierindustrie wurde untersucht, welche Herausforderungen bei der Durchführung digitaler Anbieterpräsentationen bestehen. Das Unternehmen hat sich auf die Produktion nachhaltiger Luftpolsterfolie aus 100 % Recyclingpapier spezialisiert, die mittels eines zum Patent angemeldeten Produktionsprozesses hergestellt wird.

Da das Unternehmen erst vor ca. zwei Jahren gegründet wurde, hatte es bisher noch kein ERP-System im Einsatz, welches die Unternehmensressourcen und die unternehmensinternen Prozesse verwaltet. Insofern fand die ERP-Auswahl auf einem „Greenfield“ statt, das heißt, es mussten keinerlei Altlasten bzw. Daten aus einem bestehenden System übertragen werden.

Um sich für ein neues System zu entscheiden, welches den speziellen Anforderungen (z. B. Skalierbarkeit des Systems) des Start-ups gerecht wird, wurden zunächst von dem Unternehmen vier potenziell geeignete Anbieter vorausgewählt. Diese bekamen die Möglichkeit, ihr Unternehmen und ihre Softwarelösung in einer Anbieterpräsentation vorzustellen.

In der Vergangenheit fanden solche Termine üblicherweise vor Ort beim auswählenden Unternehmen statt. Doch auch beschleunigt durch die Corona-Pandemie werden mittlerweile immer mehr Anbieterpräsentatio-

nen in rein digitaler Form durchgeführt. Im Projekt mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover wurde daher untersucht, wie Anbieterpräsentationen erfolgreich digital vorbereitet und durchgeführt werden können, um zu gewährleisten, dass sowohl inhaltliche Aspekte als auch persönliche Eindrücke möglichst gut vermittelt werden können. Das Ziel war es zudem, Herausforderungen und Potenziale von digitalen Anbieterpräsentationen zu identifizieren und mit denen von Präsenzterminen zu vergleichen.

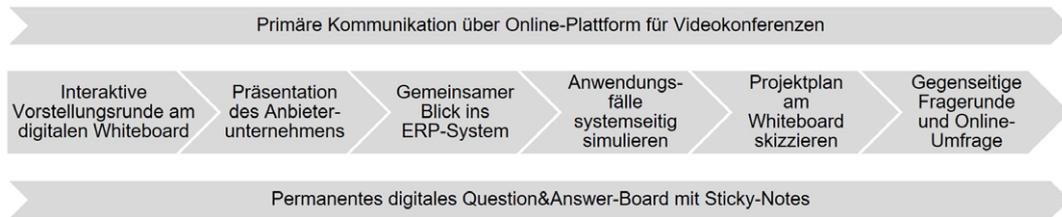
Gemeinsam mit dem Start-up entwickelte das Zentrumsteam ein Konzept zur Durchführung einer digitalen Anbieterpräsentation (Bild 2), welches mit allen ausgewählten Anbietern digital umgesetzt wurde, um eine Vergleichbarkeit der Kandidaten zu gewährleisten.

Die hauptsächliche Kommunikation zwischen den Mitarbeitenden des Start-ups, des Anbieterunternehmens und des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover

### Bild 1

Luftpolsterfolie aus Recyclingpapier, das Hauptprodukt des Start-ups





**Bild 2** Entwickeltes Konzept zur Durchführung digitaler Anbieterpräsentationen

lief über eine Online-Plattform für Videokonferenzen, die Besprechungen, Chat, Notizen und Anhänge in einem Produkt vereint. Über diese Plattform wurde zu Anfang eines jeden Termins zunächst das Schnellläuferprojekt des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover vorgestellt und das geplante Vorgehen erläutert. Dies umfasste anfänglich jeweils eine interaktive Vorstellungsrunde aller Beteiligten durch den Einsatz eines digitalen Whiteboards, welches zur Strukturierung der Kurzvorstellungen bereits im Vorfeld mit einigen Kategorien versehen wurde. Alle Teilnehmenden hatten dann zeitgleich die Möglichkeit ihre Felder des Whiteboards mit entsprechenden Informationen zu befüllen. Dies erwies sich als interaktive und effiziente Vorgehensweise, mit der Möglichkeit, die Vorstellungsrunde in vorab festgelegte thematische Richtungen zu lenken. Dabei war es den Teilnehmenden wichtig, auch persönliche Aspekte einzubringen, die in Präsenzterminen normalerweise bei einem Smalltalk in den Kaffeepausen oder ähnlichem ausgetauscht werden. Mit Statements z. B. zu „Mein perfekter Start in den Tag“ konnte so eine lockerere und persönlichere Ebene zwischen allen Teilnehmenden geschaffen werden.

Im darauffolgenden Hauptteil, der Präsentation des Anbieterunternehmens sowie der ERP-Software, nutzten alle Anbieter die Möglichkeit, ihre eigenen Präsen-

tationsunterlagen per Bildschirmübertragung mit allen Beteiligten zu teilen. Als weiteres Hilfsmittel wurde bereits im Vorfeld eines jeden Termins ein digitales Question&Answer-Board mit Sticky-Notes vorbereitet (Bild 3). Dies ermöglichte es den Teilnehmenden, jederzeit aufkommende Fragen und Antworten zu notieren und diese direkt für alle einsehbar zentral zu dokumentieren. So konnten beispielsweise die gestellten Fragen direkt in die Präsentation eingebaut werden.

Abschließend wurden alle Beteiligten darum gebeten, an einer Online-Umfrage teilzunehmen, welche Feedback-Fragen zum Online-Termin enthielt und digitale und analoge Anbieterpräsentationen miteinander verglich. Eine Auswertung der Umfrage ergab, dass insbesondere die interaktive und simultane Zusammenarbeit am digitalen Whiteboard z. B. bei der persönlichen Vorstellung oder als permanentes Question&Answer-Board viel Anklang gefunden hat.

Die Online-Umfrage ergab zudem, dass die überwiegende Anzahl der Teilnehmenden empfand, dass sowohl die Inhalte als auch die persönlichen Eindrücke genauso gut vermittelt werden konnten, wie in einer Präsenzveranstaltung. Demnach war es auch im digitalen Format sehr gut möglich, die jeweilige Software kennenzulernen bzw. vorzustellen.



**Bild 3** Question&Answer-Board

**Autor\*innen**

**Maren Müller**  
 Abteilungsleiterin der Logistik und Projektingenieurin am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover, einem An-Institut der Leibniz Universität Hannover

**Philipp Harder**  
 Projektingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Logistik am IPH

# Wie kommt die **Künstliche Intelligenz** ins Unternehmen?



Das Thema Künstliche Intelligenz ist oft schwer zu fassen. Umso besser, dass es Orientierungshilfen für die Intergration in den Betrieb gibt.

Lernende Software und intelligente Maschinen; Künstliche Intelligenz (KI) kann in vielen Unternehmensbereichen sinnvoll eingesetzt werden. Ob in der Kundenkommunikation, der Ressourcenplanung oder in der Fertigung – KI bringt einen Mehrwert und entlastet die Mitarbeitenden. Doch in einigen Branchen, wie zum Beispiel dem Handwerk, ist KI noch nicht sehr verbreitet. Oft scheitert es am fehlenden Fachwissen oder an der vorhandenen IT-Struktur. Damit

den Betrieben die Scheu vor Veränderung genommen wird und sie sich wieder mehr auf ihre Kernkompetenzen fokussieren können, hat das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover einen Leitfaden zur Integration von Künstlicher Intelligenz in Handwerksbetrieben entwickelt. **Wie dieser aufgebaut ist, lesen Sie auf der folgenden Seite.**

Ist die Entscheidung bereits getroffen, dass KI im Unternehmen eingesetzt werden soll,

stellt sich die Frage, wie die Einführung umgesetzt werden kann, denn mittlerweile gibt es auf dem Markt eine Fülle von Anbietern. IIP-Ecosphere hat einen Lösungskatalog für das produzierende Gewerbe entwickelt, der einen Überblick über die bereits existierenden KI-Lösungen gibt. Der Katalog fungiert gleichzeitig als eine Art Matchmaker: Anbieter und Suchende finden gezielt zueinander. **Mehr dazu gibt's auf Seite 40.**





# Integration von Künstlicher Intelligenz in Handwerksbetrieben

Die fortschreitende Digitalisierung und neue Technologien haben die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz (KI) in den letzten Jahren stark beeinflusst. Besonders für Unternehmen aus dem Bereich des Handwerks nimmt der Faktor Zeit aufgrund von verändertem Kundenverhalten, komplexer und anspruchsvoller werdenden Aufgaben und anderen Herausforderungen eine immer entscheidendere Rolle ein.

Vor diesem Hintergrund gewinnen intelligente, KI-basierte Unterstützungssysteme immer mehr an Bedeutung. Entscheidend für eine erfolgreiche Bewältigung dieser Herausforderungen ist der effiziente Einsatz von geeigneten KI-Lösungen, die in die täglichen Prozesse im Unternehmen integriert werden können. Handwerksunternehmen können beispielsweise entlastet werden durch:

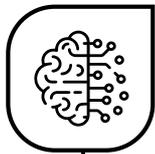
- eine Bilderkennung im Rechnungswesen,
- die Optimierung der Sachbearbeitung, intelligente Lagerhaltung und Überwachung im Servicefahrzeug (SHK-Handwerk),
- die Zusammenarbeit von kollaborativen Robotern und Menschen im produzierenden Handwerk,
- Entlastung der Kundenkommunikation durch Chatbots, um den Kundenservice zu automatisieren,
- KI-Software für die Absatz- und Ressourcenplanung, um weniger überschüssige Waren zu produzieren (Lebensmittelhandwerk),
- Reparaturbetriebe, die auf Grundlage von vorliegenden Schadensbildern und Kalkulationen eine Schadenskalkulation erstellen (Kfz-Handwerk) oder
- eine automatisierte Angebotserstellung.

Häufig führt die Integration geeigneter KI-Lösungen bei Handwerksbetrieben jedoch zu Problemen, weil in den Unternehmen die technischen Komponenten, die interne IT-Strukturen und das nötige Fachwissen fehlen. Dabei ergeben sich durch den gezielten Einsatz von KI zahlreiche Möglichkeiten für das Handwerk, um sich auf die Kernkompetenzen zu fokussieren, die Produktivität zu erhöhen und dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Ein möglicher Ansatz, um diesen Problemen zu begegnen, ist es, den Unternehmen weiterführende Informationen und eine Unterstützungshilfe für die Einführung von KI zu geben.

Darum hat das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover einen praxisorientierten Handlungsleitfaden entwickelt, mit dem die Hemmnisse der KI-Einführung in solchen Unternehmen gemindert werden können. Der Leitfaden kann den Unternehmen als eine leicht verständliche Umsetzungshilfe dienen und spricht somit auch solche Unternehmen an, die bisher mit dem Themengebiet KI noch keine Berührungspunkte hatten.

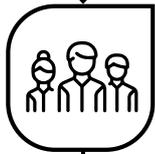
Den Anwender\*innen wird im Leitfaden zuerst eine Einführung in das Themengebiet KI gegeben. Anschließend werden die Potenziale und Chancen der Technologie sowie die möglichen Anwendungsbereiche aufgezeigt. Es werden die Möglichkeiten für Unternehmen dargelegt, wie eine geeignete KI-Lösung identifiziert werden kann und wie sich der Prozess der Beschaffung, Entwicklung, Einführung sowie des späteren Betriebs der KI gestaltet. Im Handlungsleitfaden werden die Anwender\*innen mit verständlichen Leitfragen, die als Checkliste zur Verständnisüberprüfung dienen, begleitet. Die Struktur des Leitfadens sowie eine Erläuterung der einzelnen Handlungsfelder ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

## Handlungsfelder des Leitfadens



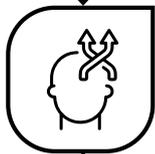
### Warum KI?

KI stellt eine Schlüsseltechnologie für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) dar, um in der Zukunft wettbewerbsfähig zu bleiben. Wir schlüsseln Ihnen die Motivation für die KI-Nutzung auf.



### Wer ist zuständig für die Einführung?

In unterschiedlichen Phasen der Einführung sind verschiedene Mitarbeitende mit festgelegten Kompetenzen zuständig. Anhand des Leitfadens können Sie lernen wer, wann, für was zuständig sein sollte.



### Wie wecke ich das Interesse meiner Mitarbeitenden?

Im Rahmen des Change Managements können Sie das Interesse Ihrer Mitarbeitenden für die neuen Technologien wecken und sich ihre Unterstützung sichern. Wir geben Ihnen die Werkzeuge dafür an die Hand.



### Ist mein Unternehmen bereit für KI?

Mit dem KI-Readiness-Check ermitteln Sie, ob Ihr Unternehmen bereit ist für die Einführung von KI-Technologien. Sie erfahren auch, welche Schritte noch vorgenommen werden müssen, um eine Einführung zu ermöglichen.



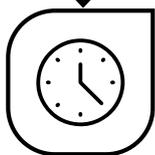
### Wo kann ich KI einsetzen?

Anhand der vorgestellten Methoden können Sie Bereiche identifizieren, in welchen KI-Lösungen sinnvoll sind.



### Woher bekomme ich meine KI-Lösung?

Eine geeignete KI-Lösung kann bereits am Markt vorhanden sein – es kann aber auch sein, dass Ihr Anwendungsfall sehr spezifisch ist. Wir zeigen Ihnen, welche Möglichkeiten der Beschaffung es gibt und wie Sie die richtige Lösung auswählen.



### Meine KI-Lösung ist erstellt. Bin ich fertig?

Wir gratulieren! Sie haben erfolgreich eine KI-Lösung eingeführt. Was Sie jetzt zu beachten haben, um die Anwendung auch in Zukunft wertbringend einzusetzen, zeigen wir Ihnen im letzten Schritt des Leitfadens.

## Autor\*innen

### Paulina Merkel

KI-Trainerin und Koordinatorin am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover und Projektingenieurin am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover

### Tom Strating

KI-Trainer am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover und Projektingenieur am IPH

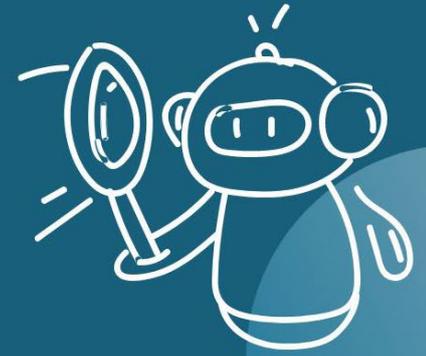
### Claudia Lutowski

Master-Absolventin am IPH

Auf unserer Website stellen wir Ihnen den gesamten Leitfaden zum Lesen oder zum Download bereit. Scannen Sie dazu einfach den QR-Code oder schauen Sie online unter [www.digitalzentrum-hannover.de/mediathek](http://www.digitalzentrum-hannover.de/mediathek)



# Der IIP-Ecosphere Lösungskatalog bringt KI-Lösungen auf den Punkt



Künstliche Intelligenz (KI) hat in der Produktion unumstritten ein großes Potenzial, um beispielsweise die Produktivität und Flexibilität zu steigern und die Menschen in der Fabrik zu entlasten. Häufig fällt der Einstieg jedoch schwer, denn bei der Suche nach geeigneten KI-Lösungen für die meist sehr spezifischen Anwendungsfälle stehen viele Unternehmen vor einem Problem: Wer ist der richtige Partner? Denn das Angebot ist nicht nur vielfältig, sondern auch unübersichtlich.

Der von IIP-Ecosphere entwickelte Lösungskatalog für die industrielle Produktion schafft Abhilfe und bietet einen Überblick über existierende KI-Lösungen.

Mithilfe einer detaillierten Such- und Vergleichsfunktion können sich produzierende Unternehmen über branchenspezifische KI-Lösungen informieren und direkt die für sie passenden Angebote finden. Zudem können Interessierte mithilfe des Katalogs Inspiration für geeignete Anwendungsfelder in der Produktion erhalten und Optimierungspotenziale in den eigenen Produktionsumgebungen aufdecken. Wer Fragen oder Anmerkungen zu den KI-Lösungen hat, kann die Anbieter entweder direkt oder über die Kommentarfunktion kontaktieren.

Doch nicht nur KI-Anwender profitieren vom IIP-Lösungskatalog. Entwickler von KI-Lösungen für die industrielle Produktion können sich kostenfrei eintragen und erhöhen zielgerichtet ihre Sichtbarkeit bei den relevanten Zielgruppen. Der Katalog wurde gemeinsam mit Industriepartnern im Projekt IIP-Ecosphere entwickelt. Dabei wurde besonderen Wert auf das Beschreibungsschema gelegt (Bild 1). Dieses dient dazu, KI-Lösungen definiert

**Bild 1**  
Screenshot der  
KI-Lösungsübersicht  
(Auszug)

The screenshot shows the 'KI Lösungskatalog' interface. At the top, there is a search bar with the placeholder text 'Katalog durchsuchen'. Below the search bar, two solution cards are displayed side-by-side.

**RapidMiner Studio**  
RapidMiner GmbH  
TRL

Führende Data Science Lösung für individuelle Prozess Design für Datenverarbeitung, KI und maschinelles Lernen.

**Aufgaben**

- Datenanalyse
- Vorhersagen und Predictive Analytics
- Predictive Maintenance/Condition Monitoring
- Intelligente Automatisierung
- Data Management

**Prozess**

- Produktionsplanung und -steuerung
- Qualitätssicherung
- Produktionsinstandhaltung
- Produktionentwicklung

Entdecken

**MLnext Framework**  
Phoenix Contact GmbH & Co. KG  
TRL

If you are a Python developer who wants to get in touch with machine learning, the MLnext Framework provides functions for data handling, visualization, and pre-processing as well as neural network evaluations and monitoring.

The MLnext Framework is an open-source framework for hardware independent execution of machine learning using Python and Docker. It also provides machine learning utilities for TensorFlow and Keras. The corresponding Python package is called mlnext.

**Aufgaben**

- Predictive Maintenance/Condition Monitoring
- Vorhersagen und Predictive Analytics
- Intelligente Automatisierung
- Datenanalyse

**Prozess**

- Fertigungs- und Montagevorbereitung
- Produktionsplanung und -steuerung
- Teillefertigung
- Produktionsinstandhaltung

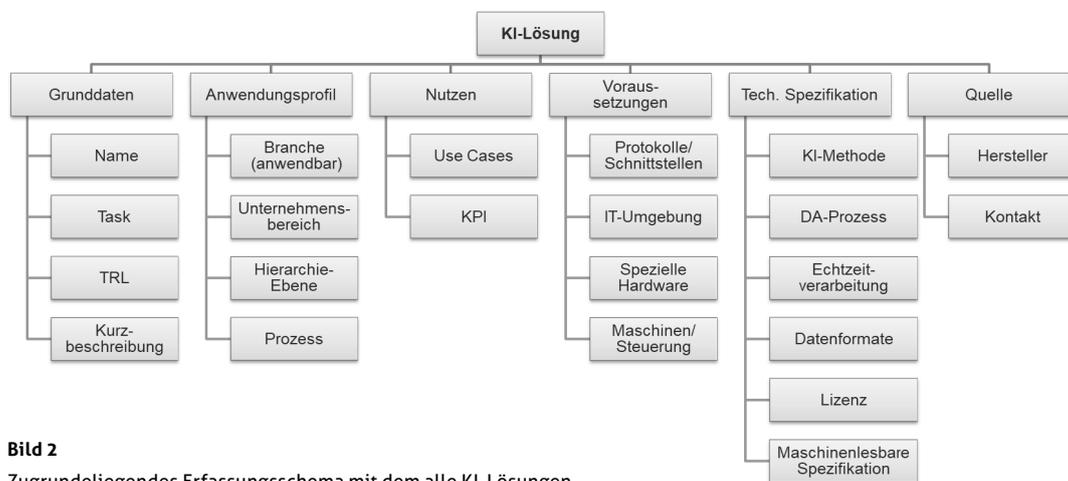
Entdecken

Den IIP-Lösungskatalog  
finden Sie unter  
<https://katalog.iip-ecosphere.de>



## Über IIP-Ecosphere

Das 2020 gestartete Projekt IIP-Ecosphere (Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production) vernetzt Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft in einem Ökosystem der intelligenten Produktion und entwickelt anwendungsorientierte KI-Methoden und innovative Geschäftsmodelle für die nächste Generation der Industrie 4.0. Das Ziel ist die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit durch Selbstoptimierung der Produktion. Das Ökosystem mit 18 Konsortial- und 57 assoziierten Partnern entwickelt unter anderem einen KI-Lösungskatalog und eine virtuelle Plattform zur Erhöhung der Herstellerunabhängigkeit und experimentiert damit verstärkt im industriellen Umfeld. Zudem werden rechtliche, organisatorische und technische Rahmenbedingungen erarbeitet, damit Daten einfacher und sicherer zur Verbesserung und Entwicklung neuer Dienste geteilt werden können.



**Bild 2**  
Zugrundeliegendes Erfassungsschema mit dem alle KI-Lösungen beschreiben werden

und einheitlich zu beschreiben und sie gleichzeitig hinsichtlich der eigenen Anforderungen filtern zu können. Zu jeder KI-Lösung werden Grunddaten wie Name und Technology-Readiness-Level (TRL) erfasst und dadurch der jeweilige Entwicklungsstand dargestellt. So sehen Anwender sofort, ob es sich um eine ausgereifte Lösung oder um eine Neuentwicklung für die industrielle Produktion handelt – und können sich bei Interesse durch die Zusammenarbeit mit den Entwicklern an den innovativen Ideen beteiligen.

Auch das Anwendungsprofil hinsichtlich der Branche und Fertigungsprozesse wird detailliert beschrieben. Mit Feldern im Bereich Nutzen kann gezielt nach Lösungen gesucht werden, die beispielsweise Qualität oder Fertigungszeit verbessern sollen. Ist eine geeignete Lösung gefunden, können mithilfe der Katalogfunktionen auch ihre Einsatzvoraussetzungen geprüft werden, wie beispielsweise die Anforderungen an Schnittstellen, Lizenzen oder die Echtzeitverarbeitung.

Interessierte KI-Anbieter können sich kostenlos in den Katalog eintragen. Die Weiterführung und Weiterentwicklung ist auch nach Ende des Projektes IIP-Ecosphere fest eingeplant.

### Autor

**Per Schreiber**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
am Institut für Fertigungstechnik  
und Werkzeugmaschinen (IFW)

# Adaptive Entgratung unter Einfluss von Formfehlern

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena,  
Marcel Wichmann, René Räker

Spanende Fertigungsprozesse werden in vielen Fällen durch eine Gratentstehung negativ beeinflusst, die im späteren Verlauf zu erheblichen Problemen führt. Gegenwärtig erfolgt die Entgratung häufig manuell und ist daher kostenintensiv. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Adaptive Prozessplanung für das Entgraten von Strukturbauteilen“ (AdaPES) streben das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) sowie die SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH eine Prozessautomatisierung an und liefern hierbei erste Erkenntnisse.

Während der Fertigung von Bauteilen durch spanende Fertigungsprozesse wie Drehen, Bohren oder Fräsen können Formfehler und Maßabweichungen auftreten. Diese Abweichungen können zu Unterschieden zwischen dem gefertigten Werkstück und dem geplanten CAD-Modell führen. Die Entstehung von Grat an den Werkstückkanten während des Fertigungsprozesses beschreibt einen solchen Anwendungsfall. Die Ursachen für die Gratentstehung sind vielfältig: Zum Beispiel kann durch instabile Prozesse, verschlissene Werkzeuge, lange Bearbeitungszeiten, Hochleistungsbearbeitung oder spröde Werkstoffe eine Gratentstehung auftreten, die in vielen Fällen unvermeidbar ist. Bild 1 zeigt ein Beispiel für ein komplexes gratbehaftetes Bauteil.

Aus der Gratbildung resultiert ein Verletzungsrisiko für das Bearbeitungspersonal. Ebenso ist die Werkstückfunktionalität durch gratbehaftete Kanten nicht mehr gewährleistet, wenn die Kanten eines Bauteils Berührungspunkte zu anderen Bauteilen oder Normteilen aufweisen. Zusätzlich besteht ein Risiko der Bauteilbeschädigung im weiteren Verlauf, beispielsweise bei gratbehafteten Kreuzbohrungen. Insofern ist eine Entfernung des Grats mittels eines Entgratungsprozesses zwingend erforderlich. Gegenwärtig erfolgt die Entgratung von Bauteilen zumeist manuell. Andere Ansätze für die Entgratung sind der Einsatz separater

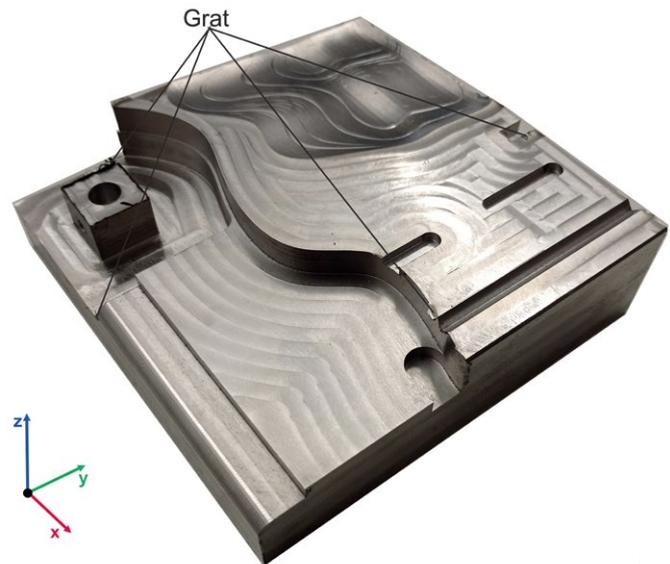


Bild 1

Gratbehaftetes Referenzbauteil im Projekt AdaPES

Entgratungsmaschinen oder eines seriellen Roboters, der mit einem Entgratwerkzeug ausgestattet ist. Allerdings sind diese Entgratungsansätze zeit- sowie kostenintensiv und können bis zu 30 % der Fertigungszeit beanspruchen. Weiterhin können diese Ansätze die Entgratungsqualität nicht immer gewährleisten und verfügen über eine nicht ausreichende Prozessstabilität. Eine besondere Herausforderung stellen Bauteile dar, welche nicht nur über gratbehaftete Kanten verfügen, sondern auch eine Lageabweichung infolge thermischer Verformung oder aufgrund vorheriger Prozessschritte aufweisen. Derartige Lageabweichungen treten vor allem bei Gussbauteilen oder dünnwandigen Spanten im Flugzeugbau auf. Gegenwärtig erfolgt die maschinelle Entgratung dieser Bauteile nur auf Basis der Sollkontur, das heißt der CAD-Datei. Werkstückverschiebungen und -rotationen bleiben daher unberücksichtigt. In diesem Zuge ergibt sich auch das Risiko einer Bauteilbeschädigung, indem die Entgratungsoperationen aufgrund von Kantenabweichungen falsch geplant werden.

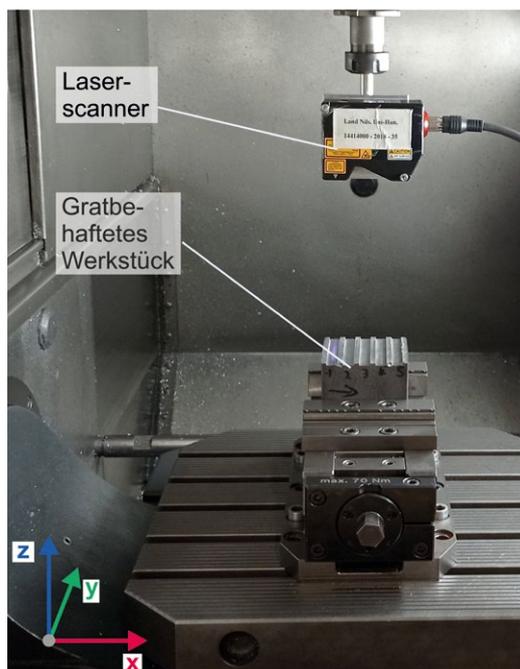
Um die real vorliegende Bauteilgeometrie zu berücksichtigen, ist eine optische Erfassung der Kanten- und Gratgeometrie unerlässlich. Eine Rückführung dieser Größen in die Planungsphase für den Entgratungsprozess ermöglicht eine adaptive Entgratung, basierend auf den realen Anwendungs- und Gratfall. Diese Ziel-

setzung haben sich im Projekt AdaPES – „Adaptive Prozessplanung für das Entgraten von Strukturbauteilen“ das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) Hannover und die SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH gestellt.

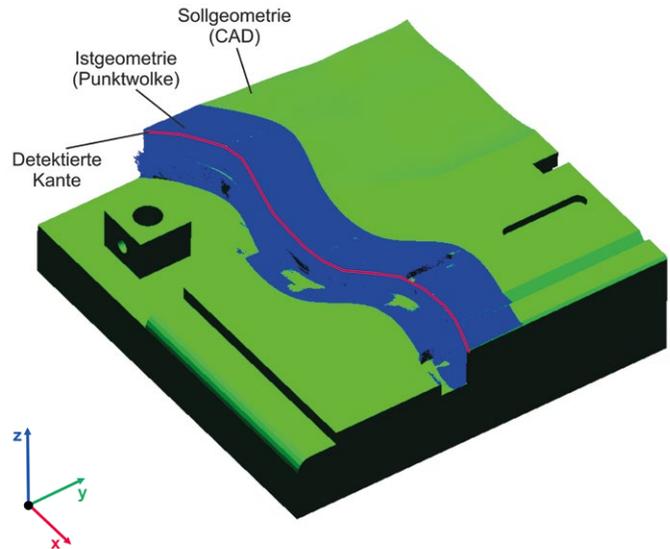
**Innovative Ansätze zur Grat- und Kantenerkennung für die adaptive Prozessplanung**

Für die Erfassung der realen Grat- und Kantengeometrie werden optische Sensoren im Projekt AdaPES eingesetzt. Ein Ansatz beschreibt dabei den Einsatz eines Keyence LJ-V7080 Laserscanners, welcher über einen Messbereich von  $\pm 23$  mm sowie einer Linearität von  $\pm 0,1$  % des Messbereichs verfügt. Dieser Laserscanner ist in einer DMG MORI HSC55 Linear CNC-Maschine integriert (Bild 2) und ermöglicht eine dreidimensionale Erfassung von Messobjekten. Dies wird durch die Kopplung der Maschinenachsdaten mit den Sensordaten gewährleistet. Dabei werden in einem Zyklus von etwa 7 ms die Achsdaten aus einer Heidenhain iTNC 530 Steuerung mittels eines C#-Softwaretools automatisiert ausgelesen und mit den Messdaten des Sensors verrechnet. Durch diesen CNC-basierten Laserscanner können individuelle Strukturen wie einzelne Kanten selektiv und optimiert gemessen werden. Durch Kippung des Maschinentisches können Messobjekte auch aus verschiedenen Perspektiven erfasst werden, um den negativen Einfluss durch mögliche

**Bild 2**  
CNC-gesteuerter Laserscanner im Rahmen des Projektes AdaPES



**Bild 3**  
Kantendetektion basierend auf der Punktwolke eines komplexen Analogiebauteils



Verschattungen und Hinterschneidungen vorzubeugen. Über eine CAD/CAM-Planung mittels Siemens NX können Messwege für den CNC-basierten Laserscanner automatisiert und individuell als NC-Code generiert werden. Im Anschluss wird über den NC-Code der Messvorgang für den Laserscanner ausgelöst.

Durch die Messung der Gratstrukturen mittels des Laserscanners werden dreidimensionale Punktwolken generiert. Die Auswertung dieser Punktwolken ist komplex, da auch Störelemente, wie Reflexionen, Verschattungen oder redundante Informationen auftreten können. Daher werden von der SWMS Systemtechnik intelligente Algorithmen zur Grat- und Kantenerkennung entwickelt. Dabei werden die Konturen und Abweichungen zwischen der Soll- und Istkontur der Kante miteinander verglichen. Bild 3 stellt exemplarisch die Kantendetektion mittels des Kantenerkennungsalgorithmus dar. Hierbei wird auf Basis einer Punktwolke und CAD-Geometrie eine splineförmige Kante erkannt.

Mögliche Abweichungen werden für eine spätere Prozessadaption, bei der die Werkzeugbahn für die Entgratung an den realen Anwendungsfall angepasst wird, erfasst. Gleichzeitig soll eine Gratklassifikation basierend auf der Krümmung der Bauteiloberfläche erfolgen, um dem zukünftigen Anwender geeignete Werkzeuge und Anstellwinkel für die Entgratung vorzuschlagen.

### Einfluss von Anstellwinkel und Prozessstellgrößen auf die Entgratungsqualität

Das maschinelle Entgraten und das Messen der Grat- und Kantenstrukturen erfolgen innerhalb der CNC-Maschine. Für die Entgratung werden die Werkstoffe 42CrMo4 sowie Al7075 fortlaufend experimentell untersucht. Dabei wird der Einfluss von u. a. verschiedenen Werkzeugen, Anstellwinkeln und Prozessstellgrößen ( $f_z$ ,  $v_c$ ) auf die Entgratungsqualität untersucht.

Bild 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse von Entgratungsuntersuchungen mit dem Werkstoff Al7075 auf. Dabei wurden gratbehafte Taschengeometrien maschinell mittels einer 5-Achs-Entgratungsoperation mit einem Kugelkopffräser (Gühring 5584) gefertigt. Für die Planung dieses komplizierten Entgratungsprozesses wurde ein eigens von der SWMS Systemtechnik entwickeltes Operationstool in Siemens NX eingesetzt. Mittels dieses Tools können auch komplexe Kantengeometrien selektiv per Teach-In-Funktion mithilfe einer 5-Achs-Simultan-Operation entgratet werden. Einstellbar sind dabei z. B. Anstellwinkel, Start- und Endpunkt der Entgratung, die Kantengeometrie oder die Fasenbreite nach der Entgratung.

Für die experimentellen Versuchsreihen wurden der Zahnvorschub  $f_z$ , die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  sowie der Anstellwinkel  $\alpha$  für einen Kugelkopffräser dreistufig variiert. Um eine statistische Absicherung der Versuche zu gewährleisten, wurden drei Versuchsreihen durchgeführt. Nach der Entgratung wurden mittels Mikroskopaufnahmen die Restgratbreiten an den Kantenstrukturen der Taschengeometrien gemessen.

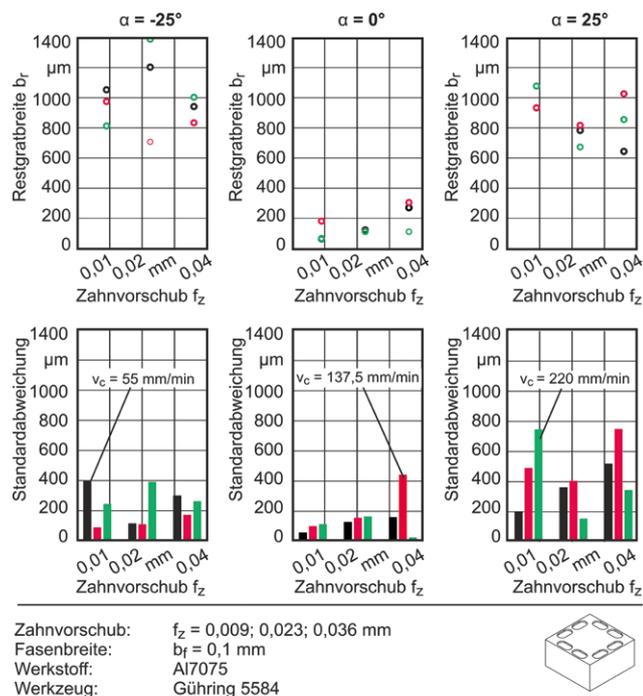
Ein signifikanter Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Entgratungsqualität ist in diesen Versuchsreihen in den gewählten Intervallen nicht zu beobachten. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass insbesondere der Anstellwinkel einen wesentlichen Einfluss auf die Entgratungsqualität hat. Die Restgratbreiten sind bei einem Anstellwinkel von  $0^\circ$  am geringsten ausgeprägt. Dies kann in der 5-Achs-Operation begründet liegen, da die Linearachsen über höhere Beschleunigungen

als die Rotationsachsen verfügen und sich somit geringere Fertigungsgenauigkeiten ausprägen als für 3-Achs-Operationen. Aber auch die jeweilige Gratkrümmung kann im Zusammenhang mit dem jeweiligen Anstellwinkel stehen. Die Ergebnisse zeigen zudem auf, dass der Entgratungsprozess mit Anstellwinkel zu erheblichen Streuungen bei den Restgratbreiten führt. Beispielsweise beträgt die Standardabweichung bei einem Anstellwinkel von  $25^\circ$  bis zu ca.  $750 \mu\text{m}$  im Rahmen dieser drei Versuchsreihen.

Neben den tatsächlichen Abweichungen der Restgratbreiten durch den jeweiligen Entgratungsprozess können auch Streuungen durch die Messungen der Restgratbreiten mittels Mikroskopaufnahmen auftreten. Während dieser Versuchsreihen konnte durch wiederholte Messungen von Gratstrukturen nachgewiesen werden, dass die Messwerte durch eine Mikroskopmessung um bis zu 7 % um den Mittelwert streuen. Aus diesem Grund wird im weiteren Projektverlauf eine automatisierte Qualitätsprüfung mittels des CNC-basierten Laserscanners angestrebt.

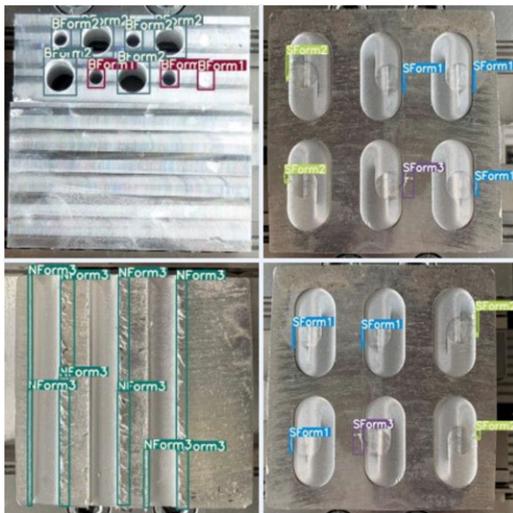
### Bildbasierte Graterkennung mittels KI-Technologien

In Ergänzung zur laserscanbasierten Graterkennung wird im weiteren Verlauf des Projektes der Einsatz



**Bild 4**

Ergebnisse experimenteller Versuchsreihen für das Entgraten von Al7075



**Bild 5**  
Bildbasierte Graterkennung mittels  
vortrainierter neuronaler Netze

eines Kamerasystems zur unterstützenden Grat- und Kantenerkennung angestrebt. Dies soll zu einer verkürzten Messzeit, einer robusteren Erkennung sowie einer verbesserten Vorhersagekraft einzelner Gratklassen führen. Denn insbesondere für filigrane Gratstrukturen, welche zumeist bei duktilen Materialien wie Aluminium auftreten, ist eine laserscanbasierte Graterkennung erschwert. Diese Gratstrukturen sind in vielen Fällen so filigran, dass diese von einem Laserscanner nicht erfasst werden können, da in diesen Fällen die Dicke einer Laserscanlinie kleiner als die vorliegende Gratdicke ist. Erste Untersuchungen von Bildaufnahmen mittels einer 12 Megapixel-Kamera und einem CMOS-Sensor mit einer Sensorfläche von 0,58 cm<sup>2</sup> konnten aufzeigen, dass eine bildbasierte Graterkennung möglich ist (Bild 5).

Dazu wurden vortrainierte neuronale Netze mittels Bildaufnahmen von unterschiedlichen Gratgeometrien, Gratformen und Materialien angeleitet. Eine Machbarkeitsstudie zeigte auf, dass trotz geringem Datenbestand neun unterschiedliche Gratformen mit einer Genauigkeit von 64 % vorhergesagt werden konnten. Die Sensitivität wurde mit 78 % bemessen. Weiterhin soll der Datenbestand kontinuierlich erweitert werden, um eine robustere und genauere Graterkennung zu gewährleisten.

### Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projektes AdaPES wird eine innovative Methode zur adaptiven Planung und Selbstoptimierung des Entgratungsprozesses erforscht. Dazu wird ein CNC-basierter Laserscanner für eine optische Grat- und Kantendetektion verwendet. Basierend auf einem Datenbestand, welcher kontinuierlich erweitert wird, sollen so beliebige Gratgeometrien anhand einer adaptiven Prozessplanung entgratet werden. Erste Untersuchungen konnten aufzeigen, dass die maschinelle Entgratung maßgeblich durch den Anstellwinkel des Kugelkopffräasers während der Entgratung beeinflusst wird. Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass eine bildbasierte Graterkennung möglich ist.

Im weiteren Projektverlauf wird die Ausweitung des Ansatzes auf komplexere Grat- und Kantenstrukturen angestrebt. Zudem wird die Implementierung eines Kamerasystems und die Möglichkeit einer automatisierten Qualitätsprüfung fokussiert. In dem Zuge soll eine Qualitätsdatenrückführung und Selbstoptimierung auf Basis einer Datenbank erzielt werden. Dabei soll weiteres Wissen mittels experimenteller Entgratungsversuche generiert werden, indem weitere Werkzeuge, Planungsstrategien sowie zusätzliche Intervalle für Prozessstellgrößen untersucht werden.

### Autoren

#### Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

#### Marcel Wichmann

Bereichsleiter Produktionssysteme, IFW

#### René Räker

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFW

# Diskrete-Elemente-Methode zur Vorhersage komplexer Schleifbelagsmischungen

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Dr.-Ing. Benjamin Bergmann, Thomas Geschwind

**Die anforderungsgerechte Auslegung von Schleifwerkzeugen ist ein aufwändiges und iteratives Verfahren. Die Auslegung der einzelnen Prozessschritte, wie das Mischen, erfolgt derzeit auf Basis der Erfahrungen von Prozessexperten. Für eine wissensbasierte Auslegung bieten sich Simulationen an. Mithilfe der Simulation mittels Diskreter-Elemente-Methode lassen sich komplexe Mischungen vorhersagen sowie Erkenntnisse für eine gezielte Parametrierung des Mischprozesses ableiten.**

Die Herstellung von Schleifwerkzeugen besteht grundsätzlich aus den Fertigungsschritten Mischen, Einformen, Sintern und Profilieren. Gerade das Mischen hat als erster Fertigungsschritt einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Werkzeuge. Liegen die Schleifkörner einer Schleifbelagsmischung nur unzureichend gemischt vor, kann dies in den nachfolgenden Fertigungsschritten nicht mehr korrigiert werden. Die Leistungsfähigkeit des Werkzeugs ist beeinträchtigt. Die Optimierung der Schleifwerkzeuge erfolgt häufig auf Basis der Entwicklung neuer Bindungen, die beispielsweise den Verschleiß reduzieren oder die Wärmeleitfähigkeit erhöhen sollen.

Der Entwicklungsprozess neuer Bindungen geht mit vielen Herausforderungen einher und ist zeit- und ressourcenintensiv. Dieser wird aktuell in aufwändigen Versuchsreihen untersucht und von Prozessexperten bewertet. Jede neue oder geänderte Mischung muss mit einer neuen Versuchs-

reihe untersucht werden. Ressourcenschonender und aufwandsärmer sind simulative Ansätze. Allerdings werden Simulationen des Mischprozesses meist nur für größere Partikelgrößen  $> 1$  mm angewendet, bedingt durch die hohe Rechendauer. Inwieweit Abweichungen der simulierten zu realen Kennwerten von Schleifbelagspulvern einen Unterschied in den resultierenden Mischgütern haben, ist derzeit nicht bekannt. Auch existiert kein adäquates Simulationsmodell für Schleifbelagsmischungen.

Die nachfolgend vorgestellten Untersuchungen zeigen einen Ansatz auf, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Es wird ein Simulationsmodell entwickelt und analysiert. Anschließend werden gezielt Optimierungen durchgeführt, um die eingesetzten Partikelgrößen und -formen besser abbilden zu können. Ein Vergleich mit tatsächlich durchgeführten Versuchen zeigt das Potential dieses Modells.

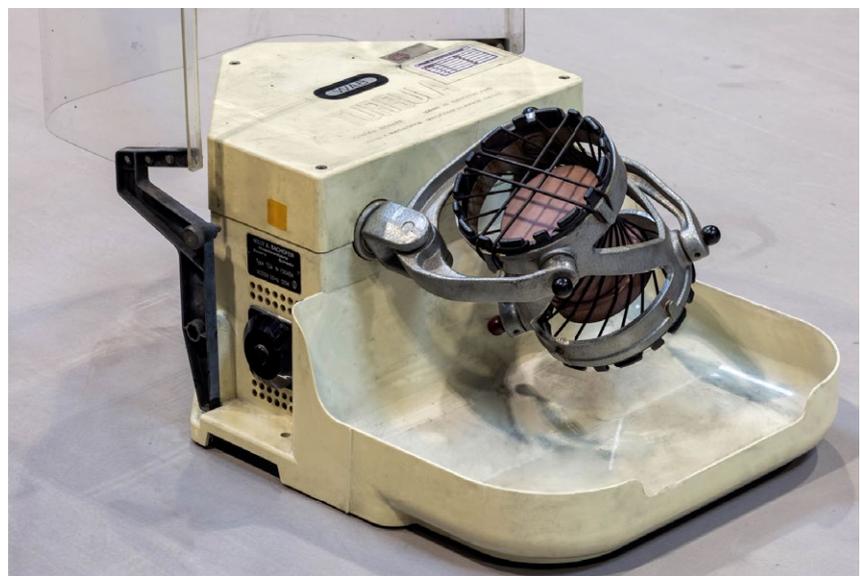
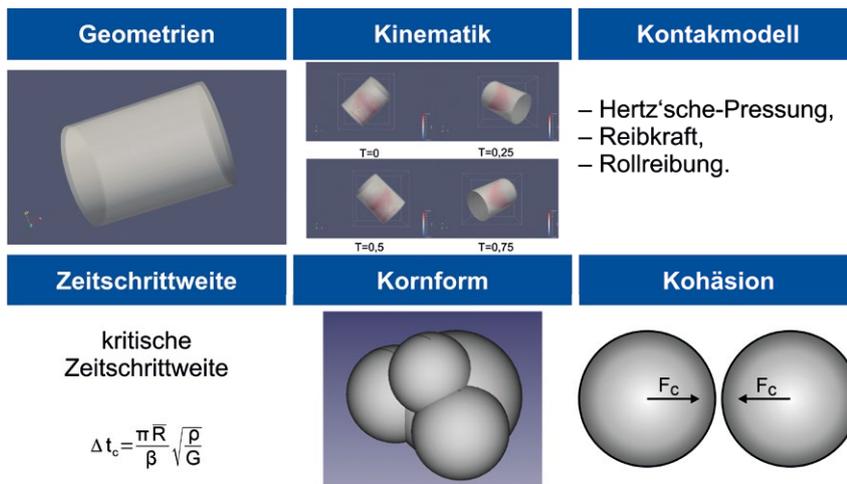


Bild 1

Turbula®-Mischer mit Mischbehälter



**Bild 2**  
 Untersuchungsschwerpunkte der Mischsimulation

**Entwicklung eines Simulationsmodells für Schleifbelagsmischungen**

Der erste Schritt dieser Untersuchungen war die Entwicklung eines Simulationsmodells, welches für die simulative Mischung komplexer Schleifbelagsbindung eingesetzt werden kann. Genutzt wird dazu die Open-Source-Software LIGGGHTS®. Diese basiert auf der erweiterten Diskreten-Elemente-Methode (XDEM) und ist speziell für die Anwendung bei Granulaten entwickelt worden. Die XDEM ist eine numerische Methode mit der einzelne, diskrete Elemente simuliert und deren Bewegung und Interaktion mit anderen Elementen berechnet werden. Die größten Herausforderungen bei der Entwicklung eines Simulationsmodells wurden zuerst identifiziert und sind in Bild 2 dargestellt.

Als erstes wurde die Geometrie des Mischbehälters aus den verwendeten Behältern abgeleitet und in den Simulationsraum geladen. Als zweites wurde die Kinematik des in der Praxis verwendeten Turbula®-Mischers (Bild 1) modelliert. Ein Vergleich der Videoaufnahme des realen Mischers mit seinem digitalen Abbild zeigt eine gute Übereinstimmung der Bewegung. Damit die Partikel untereinander, aber auch mit dem Mischbehälter, interagieren, stehen in der Simulation Kontaktmodelle zur Verfügung. Diese basieren auf der Hertz'schen-Pressung, die für die auftretenden Stoßkräfte angewendet wird. Weiterhin werden Roll- und Haft- sowie Gleitreibung berücksichtigt. Kennwerte

dafür sind in der Literatur nicht vorhanden. Mithilfe von Voruntersuchungen konnten die Kennwerte annähernd für die einzelnen Kontaktpartner bestimmt werden.

Die eingestellte Zeitschrittweite der Simulation ist abhängig von der simulierten Korngröße. Je geringer diese eingestellt wird, desto länger dauert die Simulation. Mit steigenden Partikelgrößen kann die Simulationszeit reduziert werden. In den Simulationen werden die Partikel als Kugeln approximiert. Die tatsächlichen Pulver weisen jedoch teilweise stark unterschiedliche Kornformen auf. Diese können länglich sein oder scharfe Kanten besitzen. Für die untersuchten Mischsimulationen zeigte sich jedoch kein signifikanter Einfluss der Kornform auf das Mischergebnis. Lediglich die Simulationszeit stieg proportional an.

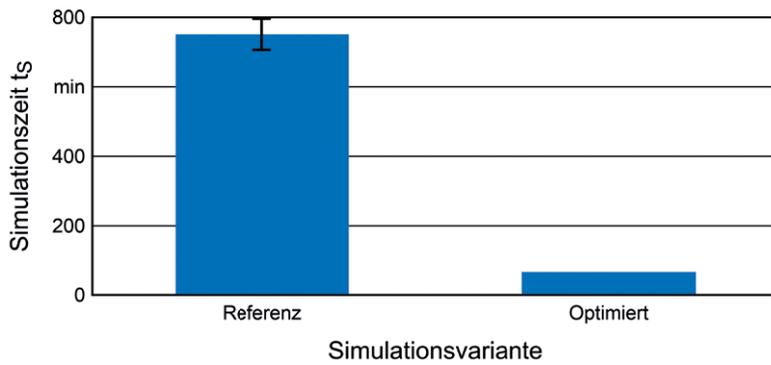
**Optimierung zur Reduzierung der Simulationszeit**

Mit dem entwickelten Simulationsmodell lassen sich Mischsimulationen von Schleifbelägen simulieren. Jedoch sind die Abweichungen der Kennwerte, wie beispielsweise die Partikelgröße, noch zu weit von der Realität entfernt. Es wurden deshalb Untersuchungen zur Optimierung der Simulation durchgeführt. Der Fokus lag dabei zuerst auf der Rechengeschwindigkeit der Simulationsrechner. Es wurde die Anzahl, der an der Berechnung beteiligten Prozessoren, verändert. Die verwendete Software LIGGGHTS® ist speziell für die Multiprozessorberechnung entwickelt.

Der Simulationsraum wird dazu in kleine Räume aufgeteilt und die Berechnung der Partikel dann auf die Prozessoren verteilt. Je kleiner nun ein solcher Raum ist, bzw. je mehr Prozessoren an der Berechnung teilnehmen, desto weniger Zeit wird für die Simulation benötigt. Eine für die Industrie sinnvolle Anzahl an Prozessoren konnte mit 32 Stück ermittelt werden. Dies entspricht einer Zeitreduktion von 40 %, im Vergleich zu 4 Prozessoren, wie sie in üblichen Office-PCs verbaut sind.

Neben der Parallelisierung der Berechnung wurden außerdem Untersuchungen zur Reduzierung des Rechenaufwands durchgeführt. Ein Aspekt ist die Berechnung der Kontakte zwischen den Partikeln untereinander und den Partikeln mit dem Mischbehälter. Welche Partikel bzw. ob der Mischbehälter berücksichtigt wird, wird über einen Nachbarschaftsabstand definiert. Je größer dieser ist, desto mehr Partikel werden in die Betrachtung einbezogen. Die Simulationszeit steigt dadurch exponentiell an. Wird dieser Abstand jedoch zu klein gewählt, werden nicht alle Kontakte berücksichtigt und die Simulation wird ungenau.

Das Optimum dieses Abstands ist außerdem abhängig von der gewählten Partikelgröße. Hier konnte ein Faktor von ≈ 1,5-facher Partikelgröße als Optimum identifiziert werden. Der so geänderte Abstand konnte den Rechenaufwand um 60 %, zum Vergleich der Standardeinstellung, reduzieren, ohne das Ergebnis zu beeinflussen.



**Bild 3**  
Vergleich der Simulationsdauern der originalen und optimierten Simulation

**Simulationsparameter**

| Referenz               |             | Optimiert              |               |
|------------------------|-------------|------------------------|---------------|
| CPU-Architektur        | Haswell     | CPU-Architektur        | Haswell       |
| CPU-Anzahl $n_{CPU}$   | = 4         | CPU-Anzahl $n_{CPU}$   | = 16          |
| Neighbor-Abstand $l_n$ | = 2 $\mu m$ | Neighbor-Abstand $l_n$ | = 0,5 $\mu m$ |
| Facettenanzahl $n_F$   | = 3176      | Facettenanzahl $n_F$   | = 26          |



Um weitere Rechenzeit zu sparen, wurden die zu berechneten Facetten des Mischbehälters reduziert. Dieser wird in der Simulation aus einzelnen Dreiecken, den sogenannten Facetten, dargestellt. Je genauer diese Darstellung ist, desto mehr Facetten werden zur Abbildung verwendet. Reduziert sich diese Anzahl wird der Mischbehälter nicht mehr in seiner ursprünglichen Form dargestellt. Identifiziert werden konnte eine Mindestanzahl von 20 Facetten. Durch diese Reduzierung konnte 50 % der Simulationszeit eingespart werden. Untersuchungen mit additiv hergestellten Mischbehältern in zylindrischer und reduzierter Form zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen den resultierenden Mischergebnissen.

kommt. Gerade bei kleinen mittelständischen Unternehmen kann so, ohne größere Rechenzentren und -cluster, ein digitaler Versuchsbetrieb etabliert werden.

**Anwendung auf komplexe Mischungen mit Erfolg**

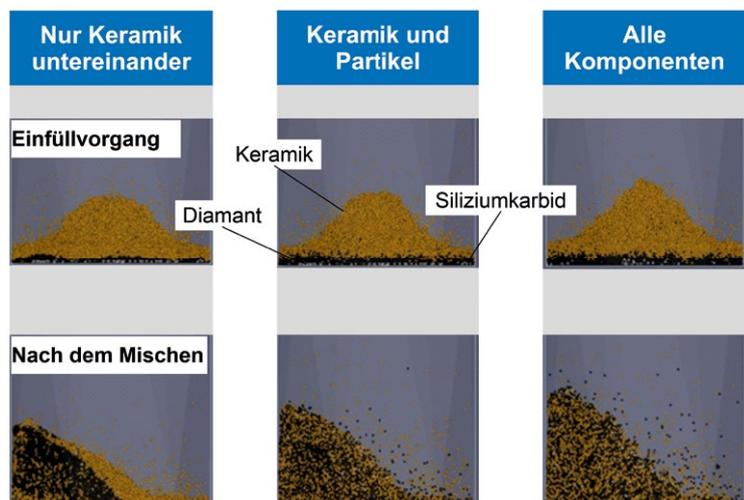
Das optimierte Simulationsmodell wurde im Anschluss eingesetzt, um die Simulationsparameter zu kalibrieren, die nicht gemessen werden können. Einer davon ist die Kohäsion, die als Kohäsionsenergiedichte angegeben werden kann. Bisher konnte eine Grenze von  $< 10^6 J/m^2$  identifiziert werden, über dieser die Simulation ungenau wird oder abbricht. Wird nun den

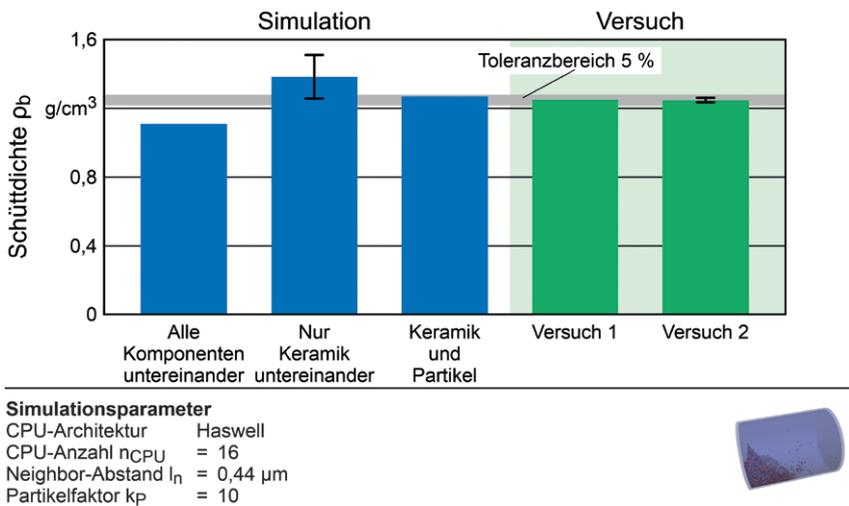
einzelnen Komponenten ein Wert zugewiesen und eine Mischsimulation durchgeführt, ändern sich die resultierenden Schüttdichten.

Für den Einfüllvorgang der Komponenten und die Durchmischung nach 1 min Mischzeit sind die Ergebnisse der Simulation in Bild 4 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass sich der Böschungswinkel beim Einfüllen, also der sich einstellende Winkel des Schütthaufens, ändert, wenn mehr Partikel eine Kohäsion aufweisen (Bild 4, oben). Besonders interessant ist das Ergebnis der Mischsimulation (Bild 4, unten). Es lässt sich eine Trennung der Keramikpartikel von den anderen erkennen,

Werden nun alle Maßnahmen zur Reduzierung der Simulationszeit angewendet, dann kann diese um mehr als 90 % verringert werden (Bild 3). Als Referenz dient hierbei das entwickelte Simulationsmodell für das Mischen komplexer Schleifbeläge. Aufgrund der Optimierung konnten dann Simulationsparameter näher an die tatsächlichen Größen herangeführt werden. So reduzierte sich der Partikelgrößenfaktor von 30 auf 10. Gleichzeitig konnten mehrstufige Partikelgrößenverteilungen realisiert werden. Es ist weiterhin möglich die Anzahl der verwendeten Komponenten zu erhöhen. Mit den Ergebnissen steht also ein Simulationsmodell für Schleifbelagsmischungen zur Verfügung, dass ein Minimum an Hardware benötigt und in wirtschaftlicher Zeit zu einem Ergebnis

**Bild 4**  
Ergebnisse der Mischsimulationen verschiedener Kohäsionsenergiedichten





**Bild 5**  
Resultierende Schüttdichte verschiedener Kohäsionsparameter

wenn diese eine Kohäsion nur untereinander aufweisen. Daraus lässt sich ableiten, dass in einem solchen Fall die Mischzeit von 1 min nicht ausreichend ist. Je mehr Komponenten eine Kohäsion aufweisen, desto geringer wird die Schüttdichte. Gut zu erkennen daran, dass die gleichen Partikel mehr Raum einnehmen. Es konnte außerdem eine bessere Durchmischung in kürzerer Zeit identifiziert werden.

Neben der Betrachtung der Simulationsergebnisse wurden zusätzlich Kennwerte, wie die Schüttdichte, gemessen und mit realen Mischungen verglichen. Weisen alle Komponenten untereinander eine Kohäsion auf, also auch die Komponenten bei de-

nen dies nicht beobachtet werden konnte, dann sinkt die Schüttdichte auf ein Minimum. Werden nur die Keramikpartikel untereinander mit einer Kohäsion simuliert, dann steigt die Schüttdichte. Die anderen eingesetzten Partikel setzen sich dann in die vorhandenen Lücken. Erst wenn die Kohäsion zwischen den Keramikpartikeln untereinander und den anderen Komponenten eingestellt wird, dann stellt sich eine Schüttdichte ein, die weniger als 5 % von den tatsächlichen Versuchen abweicht. Zu erkennen ist das in Bild 5.

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, die Schüttdichte komplexer Schleifbelagsmischungen mittels Simulation vor-

herzusagen. Damit steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem aufwändige Versuche eingespart und Zeit und Kosten reduziert werden können. Weitere Untersuchungen zur Simulation von Einformen, Kaltpressen und Sintern dieses Mischguts könnten zukünftig die Versuche auf ein Minimum reduzieren.



### Autoren

**Prof. Dr.-Ing.**

**Berend Denkena**

Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

**Dr.-Ing. Benjamin**

**Bergmann**

Bereichsleiter  
Fertigungsverfahren,  
IFW

**Thomas Geschwind**

Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter, IFW

# Impressum

Schriftenreihe des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover  
Zukunft.Digital – Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung  
Ausgabe 02/2022

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen  
der Leibniz Universität Hannover  
An der Universität 2, 30823 Garbsen

Herausgeber: Prof. Dr. Ing. Berend Denkena  
Redaktion: Gerold Kuiper  
Satz und Layout: Sofie Bauer

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind online unter <http://dnb-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen Werkes oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© TEWISS – Technik und Wissen GmbH, November 2022  
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
Telefon: 0511 762 19434. Mail: [info@tewiss-verlag.de](mailto:info@tewiss-verlag.de)  
[www.tewiss-verlag.de](http://www.tewiss-verlag.de)

**Konsortialführung**  
des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover:



## Bildnachweis

- Titel, Seite 08: Miha Creative/shutterstock.com
- Seite 05, 15, 16, 17, 42-49, Rückseite oben: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)/Leibniz Universität Hannover
- Seite 06, Rückseite links: westend61/www.elements.envato.com
- Seite 07, 28, 29, 30, 31: Mittelstand-Digital Zentrum Hannover
- Seite 10, 12, 21: IWF/TU Braunschweig
- Seite 13, Rückseite mittig: rushay1977/elements.envato.com
- Seite 14: Marisol Glasserman/TU Braunschweig
- Seite 18: Treppenmeister GmbH
- Seite 19: WWF/CPD (2014): Vom Emissionsbericht zur Klimastrategie. WWF Deutschland und Carbon Disclosure Project (CDP)
- Seite 23: L.-T. Reiche; M. Runge; A. Fay; K.-H. Niemann, KommA 2022 in Lemgo
- Seite 24: Hochschule Hannover unter Verwendung von Screenshots aus der Software Siemens SiOME
- Seite 26: www.freepik.com
- Seite 31: BMWK
- Seite 32: cellumation GmbH
- Seite 33: Hochschule Hannover
- Seite 34: Papair GmbH
- Seite 35: IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover
- Seite 36/37, Rückseite unten: Yurchanka Siarhei/shutterstock.com
- Seite 38: HaveanicedayPhoto/shutterstock.com
- Seite 40/41: IFW/Leibniz Universität Hannover unter Verwendung von Screenshots der Website <https://katalog.iip-ecosphere.de/>

gedruckte Ausgabe  
ISBN 978-3-95900-754-2

digitale Ausgabe  
ISBN 978-3-95900-755-9



Zukunft.Digital online  
digitalzentrum-hannover.de/mediathek



Mittelstand-Digital  
**Zentrum**  
**Hannover**