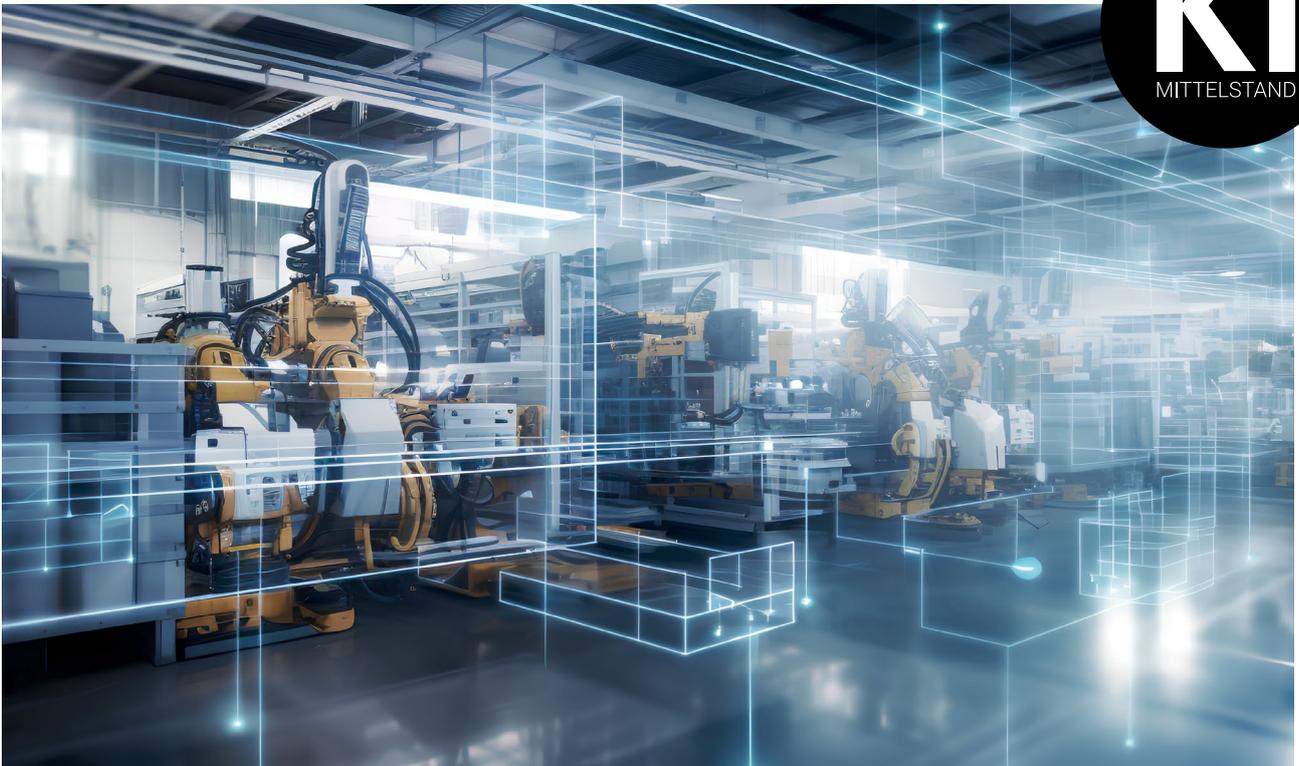




Mittelstand-Digital  
**Zentrum  
Hannover**

# Zukunft.Digital

**Digitalisierung  
von der Idee zur Umsetzung**  
**Ausgabe 01/2023**



## **Im Fokus**

**Künstliche Intelligenz  
in der Produktion**

Seite 08

## **Aus dem Zentrum**

**Neues Video-Format:  
Digi-Talk**

Seite 06

## **Aus der Forschung**

**Wettbewerbsfähig durch  
Retrofit alter Spindelpressen**

Seite 30



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 01/2023**

# Inhalt

## **Aus dem Zentrum**

### **Neues Video-Format: Digi-Talk**

Seite 06

## **Im Fokus:**

### **Künstliche Intelligenz in der Produktion Revolution für Unternehmen**

Seite 08

### **Entwicklung einer KI- und kamerabasierten Aussortierung von Mehlwürmern**

Seite 10

## **Interview:**

### **Auch für kleine Unternehmen kann KI-Implementierung sinnvoll sein**

Seite 14

### **ProKI-Hannover – Zentrum für KI in der Zerspanung**

Seite 18

### **KI-Readiness für KMU**

Seite 20

## **Aus der Praxis**

### **Mit geeigneten Ergonomiemaßnahmen die Mitarbeiterzufriedenheit gestalten**

Seite 22

### **Digitalisierungsstrategie zur Unterstützung von Menschen mit Behinderung**

Seite 26

## **Aus der Forschung**

### **Wettbewerbsfähig durch Retrofit alter Spindelpresen**

Seite 30

### **Multikriterielle Personaleinsatzplanung in der Produktion**

Seite 34



# Editorial



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

Ja, es gibt Herausforderungen, wenn es um die Implementierung von Künstlicher Intelligenz insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen geht. Die Kosten für die Einführung und Integration neuer Technologien können ein Hindernis darstellen. Außerdem müssen die Mitarbeitenden möglicherweise neue Fähigkeiten und Kenntnisse erwerben, um die KI-Systeme effektiv nutzen zu können. Dennoch, diese Hürden sollten Unternehmen nicht vor einer Einführung Künstlicher Intelligenz abschrecken.

„Ich muss heute nicht mehr unbedingt zu Fuß ein neuronales Netz programmieren. Wenn ich Daten verarbeiten möchte, kann ich vielfach schon Standardalgorithmen, Standardbibliotheken verwenden. Dafür gibt es Werkzeuge“, sagt mein Kollege Wolfgang Nejd, Professor für Informatik an der Leibniz Universität Hannover und geschäftsführender Direktor des Forschungszentrums zur Künstlichen Intelligenz L3S im Interview. Es gibt inzwischen bereits erschwingliche KI-Lösungen auf dem Markt und es gibt Unterstützungsangebote, wie beispielsweise von unserem

Zentrum. Wir bieten Firmengespräche, Schulungen und Projektbegleitungen an, um mittelständische Unternehmen bei der KI-Implementierung zu unterstützen.

Sie sehen schon, in dieser Ausgabe der Zukunft.Digital steht die „Künstliche Intelligenz in der Produktion“ im Fokus. Dass Künstliche Intelligenz einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten kann, zeigen wir Ihnen zum Beispiel in einem Projekt unseres Zentrums mit dem Start-up Lower Impact: KI hilft dabei, die Produktion von Mehlwürmern zu automatisieren und die Mehlwürmer-Larven als nachhaltige Proteinquelle zu etablieren.

Das Interview, die Projektberichte und weitere Beiträge zum Thema Künstliche Intelligenz finden Sie in diesem Magazin. Darüber hinaus haben wir unter den Rubriken „Aus dem Zentrum“, „Aus der Praxis“ und „Aus der Forschung“ interessante Beiträge für Sie zusammengestellt. Werfen Sie einfach einen Blick hinein.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

*Berend Denkena*





Wie gehe ich die Digitalisierung in meinem Unternehmen an? Worauf muss ich bei der Umsetzung achten? Zahlen sich meine Investitionen in Digitalisierungsmaßnahmen wirklich aus? Welche Fördermittel gibt es und wie beantrage ich sie? Diese Fragen stellen sich viele Unternehmen. Wir beantworten sie – in unserem Digi-Talk.

### Die Fakten zum Format

Seit Januar erscheint jeweils zum Monatsende ein neuer Digi-Talk auf unserem YouTube-Kanal. Das Format soll kleinen und mittleren Unternehmen zeigen, wie einfach sie Digitalisierung und Künstliche Intelligenz auch im eigenen Unternehmen umsetzen können. Die Talks finden in unterschiedlichen Settings statt und bieten Einblicke in Digitalisierungsprojekte verschiedener Branchen. Schwerpunkte der zehn- bis fünfzehnminütigen Videos sind außer-

dem: unter anderem Unterstützungsangebote der Industrie- und Handelskammern und die Beantragung von Fördermitteln.

### Digi-Talk soll Lust auf Digitalisierung machen

Mit diesem Format wollen wir zu einem besseren Verständnis für die vielfältigen Themenfelder und Einsatzbereiche der Digitalisierung beitragen. Wir wollen neugierig machen: Unternehmer\*innen sollen richtig Lust auf Digitalisierung bekommen. So viel Lust, dass sie geeignete Maßnahmen identifizieren und im eigenen Haus umsetzen und vorantreiben. Wie das geht, zeigen wir im lockeren Gespräch und anhand konkreter Beispiele aus der Praxis – in unseren Talks.

Was unsere Videos noch zeigen: Wie Unternehmen sogar in Bereichen passende

Lösungen finden, in denen man sich digitale Hilfsmittel nur schwer vorstellen kann. Mit der Firma Hedemann Technik GmbH konnten wir beispielsweise eine Bandsäge mittels Retrofitting digitalisieren. Dirk Leenderts, Geschäftsführer des Schweißfachbetriebs, sagt zum Projekt: „Der pragmatische Ansatz des Zentrums hat mir sehr gut gefallen. Und: Wir konnten mit dem Projekt Hemmnisse der Mitarbeitenden gegenüber Digitalisierungsmaßnahmen abbauen.“ In welchen Bereichen Herr Leenderts weitere digitale Lösungen umgesetzt hat, berichtet er in der vierten Folge unseres Digi-Talks auf YouTube.

### Im Gespräch mit Unternehmen und Fachleuten

In den Videos sprechen Unternehmer\*innen und Digitalisierungs-Expert\*innen, zum Beispiel aus Verbänden oder von

### Bild 1 und 2

Das Intro jeder Folge verrät Thema und Gesprächspartner.





Bild 3

Hinter den Kulissen:  
Zentrumsmitarbeiterin  
Athena van Renen im  
Gespräch mit Michael  
Wilkens, dem Sprecher  
Digitalisierung der IHK  
Niedersachsen

Alle Digi-Talk-Folgen  
finden Sie auf unserem  
[YouTube-Kanal:](#)



Wirtschaftsförderungen. Sie schildern interessante Use-Cases und teilen dabei ihre Erfahrungen, von denen wiederum andere Unternehmen profitieren können.

In der ersten Folge unseres Digi-Talks zeigt die LieblingsBar Hannover, wie sie mit einer digitalen Lernplattform Fachkräfte gewinnt und bindet. Chi Trung Khuu, Geschäftsführer der LieblingsBar, ist der Meinung: „Nur mit digitalen Tools können wir das Fachkräfteproblem lösen.“ Zusammen mit seinem Geschäftsführerkollegen Manuel Mauritz erzählt er vom Einstieg in die Digitalisierung. Dabei geht es auch um eine gute Work-Life-Balance, Mitarbeitermotivation und die Frage, ob sich ihre Investitionen in die Digitalisierung gelohnt haben.

### Unterstützungsangebote entdecken

Die Digitalisierung ist eine der größten Herausforderungen für Unternehmen – auch finanziell. Daher ist es wichtig zu wissen, welche Förderungen es für Digitalisierungsmaßnahmen gibt. Christin Tröger, Beraterin bei der NBank Lüneburg, stellt im dritten Digi-Talk das Förderprogramm Digitalbonus Niedersachsen vor. Das Programm ist nicht neu, wurde aufgrund der hohen Nachfrage aber neu aufgelegt. Es soll die Digitalisierung kleiner und mittlerer Unternehmen in Niedersachsen weiter vorantreiben. Im Video erklärt sie, wer bei welchen Vorhaben in welcher Höhe gefördert werden kann und wie die Beantragung abläuft.

Bei den Unternehmen besteht allerdings nicht nur finanzieller Unterstützungsbedarf. Das weiß auch Michael Wilkens, Sprecher Digitalisierung der IHK Lüneburg-Wolfsburg. In unserem zweiten Digi-Talk beleuchtet er, wie niedersächsische Betriebe das Thema Digitalisierung angehen. Fehlendes Know-how, beispielsweise in Sachen Cybersicherheit, spielt hier ebenfalls eine Rolle. Ein wichtiges Fazit aus dem Gespräch ist daher, dass Unternehmen schon beim Einstieg in die Digitalisierung kompetente Partner\*innen an ihrer Seite brauchen. Interessierte Unternehmen können sich online über regionale Angebote informieren: [www.ihk-n.de](http://www.ihk-n.de)

### Den ersten Schritt wagen

Dr.-Ing. Michael Rehe, Geschäftsführer unseres Zentrums, möchte Unternehmen ermutigen, den ersten Schritt in Richtung Digitalisierung zu gehen: „Die Digi-Talks sollen Unternehmen dazu motivieren, Kontakt zu uns aufzunehmen. So können wir Herausforderungen direkt vor Ort besprechen und Verbesserungspotenziale aufdecken. Unternehmen profitieren dabei nicht nur von unseren kostenfreien Angeboten, sondern auch von unserer breiten, unabhängigen Expertise.“

Alle Unternehmen, die mehr über die Angebote des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover erfahren wollen, können sich auf unserer Website informieren und einen Termin vereinbaren: [www.digitalzentrum-hannover.de/firmengespraech](http://www.digitalzentrum-hannover.de/firmengespraech)

### Autorin

**Doreen Schlesing**  
Mitarbeiterin der  
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit am  
Mittelstand-Digital  
Zentrum Hannover



# KI in der Produktion: Revolution für Unternehmen

„Ein gewaltiger Schritt Richtung Zukunft: Künstliche Intelligenz revolutioniert die Produktionslandschaft und eröffnet neue Horizonte für Unternehmen jeglicher Größe. Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten, die Produktionsprozesse effizienter zu gestalten und somit bedeutende Wettbewerbsvorteile zu erlangen.“

So lautet der Auszug eines Textes, der durch den KI-Textgenerator ChatGPT erstellt wurde. Die Aufgabe: Verfasse einen kurzen, einleitenden Beitrag zum Thema „Künstliche Intelligenz in der Produktion“, der insbesondere kleine und mittlere Unternehmen adressiert.

Dieses Beispiel stellt anschaulich dar, wie Anwendungen Künstlicher Intelligenz inzwischen unseren Alltag erreicht haben und, mit der richtigen Handhabung, bereichern können. Die rasanten Entwicklungen in diesem Bereich ermöglichen es auch mittelständischen Unternehmen, von den Vorteilen der Künstlichen Intelligenz zu profitieren. Die wachsende Verfügbarkeit erschwinglicher KI-Lösungen für unterschiedliche Anwendungsbereiche am Markt erleichtert zunehmend die Implementierung von Künstlicher Intelligenz in diesen Betrieben.

ChatGPT schließt seinen Beitrag mit folgenden Worten: „Die Zeiten, in denen Künstliche Intelligenz nur für große Konzerne reserviert war, sind vorbei. Unternehmen haben nun die Möglichkeit, von den Vorteilen der KI in der Produktion zu profitieren und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Die Zukunft der Produktion ist bereits da – und sie heißt Künstliche Intelligenz.“



**Bild 1**  
Lebendige Mehlwürmer

# Entwicklung einer KI- und kamerabasierten Aussortierung von Mehlwürmern

Projekt-Abschlussbericht von Anne Rathje und Torben Mente

Global betrachtet nimmt der Fleischkonsum stetig zu. Die Weltbevölkerung wächst, zugleich verändert der zunehmende Wohlstand in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern das Ernährungsverhalten, sodass in den nächsten Jahrzehnten mit einer deutlich höheren Nachfrage an Hauptproteinquellen (Fleisch, Fisch, Milch, Eier) zu rechnen ist. So wuchs laut der Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen die Fleischproduktion von 2000 bis 2020 um 45 % weltweit.

Die konventionelle Fleischproduktion ist mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch verbunden und trägt dadurch zur globalen Erwärmung bei. Konventionelle Tierhaltung benötigt große Mengen an Futter, Wasser und Land, um die Tiere zu füttern und aufzuziehen. Die Produktion von Futtermitteln wie Mais, Soja und Getreide erfordert große Mengen an Flächen, Wasser, Düngemittel und Pestiziden.

Insekten können eine vielversprechende alternative Proteinquelle sein, die im Vergleich zur herkömmlichen Fleischproduktion viele Vorteile bietet. Insekten haben einen hohen Proteingehalt, sind reich an Nährstoffen wie Eisen und Zink und besitzen ein ausgewogenes Aminosäureprofil sowie gesunde ungesättigte Fettsäuren. Zudem sind sie in der Aufzucht ressourcenschonender als Nutztiere. Sie benötigen weniger Fläche, verbrauchen weniger Wasser sowie Nahrungsmittel und produzieren weniger Abfall. Sie sind sogar in der Lage, Nährstoffe aus organischen Abfällen zu verwerten.

Um Insekten wie beispielsweise Mehlkäfer als Nahrungsquelle zu erschließen, müssen diese effizient gezüchtet und weiterverarbeitet werden. Während der Aufzucht durchlaufen Mehlkäfer verschiedene Lebensphasen vom Ei über den Mehlwurm bis hin zum ausgewachsenen Käfer. In der Phase des Mehlwurms können die Insekten für die Nahrungsmittelverarbeitung verwendet werden. Daher müssen diese während der Zucht sortiert werden. Um einen optimalen Ertrag zu erzielen, werden möglichst große Mehlwürmer für die Zucht weiterverwendet.

Um die Größe von Mehlwürmern effektiv zu bestimmen, bieten sich KI-basierte, bildverarbeitende Verfahren an. Mittels einer Kamera können die Mehlwürmer erfasst werden und über einen KI-Algorithmus automatisiert klassifiziert werden. Dies ermöglicht eine Sortierung der Mehlwürmer nach der Größe. So wird der Effizienz- und Ressourcenvorteil gegenüber der konventionellen Tierhaltung erheblich größer.

## Das Unternehmen

Lower Impact ist ein im Jahr 2022 gegründetes Start-up mit der Vision, Insektenproteine als Alternative für tierische Proteine für die breite Masse zugänglich zu machen. Dabei liegt der Fokus auf der Verwendung von Mehlwürmern als nachhaltige Proteinquelle, die sich ressourcenschonend produzieren und sowohl für die menschliche Ernährung als auch als Tierfutter verwenden lässt.

Das Ziel von Lower Impact ist die Entwicklung einer vollautomatisierten, skalierbaren Mehlwurmproduktion, in einer kontrollierten Umgebung, zur optimalen Züchtung von gesunden Mehlwürmern. Diese Mehlwurmproduktion soll dabei nicht nur bei Lower Impact zum Einsatz kommen, sondern die globale Mehlwurmproduktion revolutionieren.

## Projektüberblick

Die Nachfrage nach alternativen Proteinquellen steigt stetig. Damit geht ein steigender Bedarf an Wasser, Energie und Fläche einher. Um diesem Problem entgegenzuwirken, hat sich das Start-up Lower Impact zur Aufgabe gemacht, Insekten als Proteinquellen in der Ernährung zu etablieren. Insekten als alternative Proteinquellen weisen verglichen mit konventionellen tierischen Produkten eine wesentlich geringere Freisetzung an Treibhausgasen auf. Sie bieten somit einen Lösungsansatz, benötigte Ressourcen im Vergleich zur herkömmlichen Fleischproduktion zu senken und den Ausstoß von Treibhausemissionen zu reduzieren.

Innerhalb eines Digitalisierungsprojekts unterstützt das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover das Start-up in der Entwicklung einer Sortieranlage für die Mehlwurmzucht. Diese Anlage klassifiziert mittels KI-basierter Bildauswertung die Mehlwürmer nach ihrer Größe, um besonders große Mehlwürmer auszusortieren. Diese werden für eine langfristige Ertragsmaximierung verwendet.

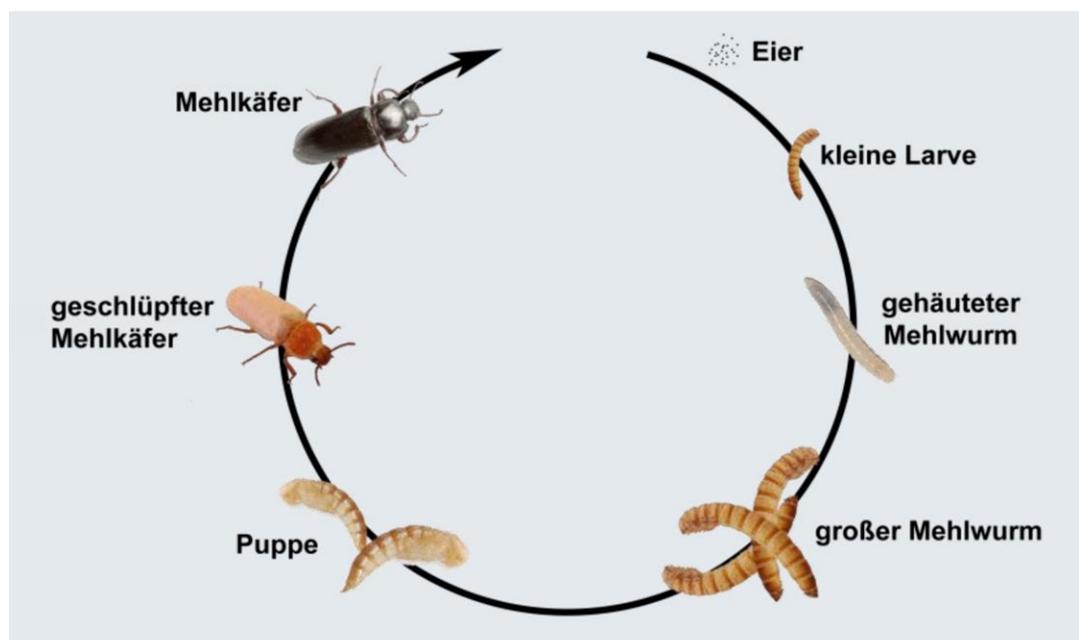


Bild 2  
Lebenszyklus  
des Mehlkäfers

## Herausforderung und Zielsetzung

Die Mehlwurmzucht beinhaltet verschiedene Schritte, von der Fütterung über das Entfernen von Kot und alten Futter-Resten bis hin zur Separierung von Käfern und Larven. Die manuelle Umsetzung ist daher sehr aufwändig und zeitintensiv. Damit sich die Mehlwurmzucht lohnt, soll die Aufzucht so weit wie möglich automatisiert werden. Lower Impact hat dazu ein vollumfängliches Konzept erarbeitet.

Das Sortieren von sogenannten Überperformern – Mehlwürmer mit einer überdurchschnittlichen Größe – stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Derzeit geschieht die Sortierung in Mehlwurmproduktionen mit Sieben, welche eine unterschiedliche Maschenweiten zum Sortieren unterschiedlicher Mehlwurmgrößen besitzen. Eine der Herausforderungen beim Sieben von Mehlwürmern ist ihre Größe und ihre Form. Mehlwürmer sind klein und haben eine längliche, zylindrische Form. Dies macht es schwierig, sie effektiv zu sortieren, da manche Würmer aufgrund der Lage im Sieb einfach stecken bleiben. Dies führt dazu, dass die Siebe in kurzen Abständen manuell gereinigt, also von fest-sitzenden Mehlwürmern befreit werden müssen. Mittels Sieben ist ein vollautomatischer Sortierprozess folglich nicht möglich.

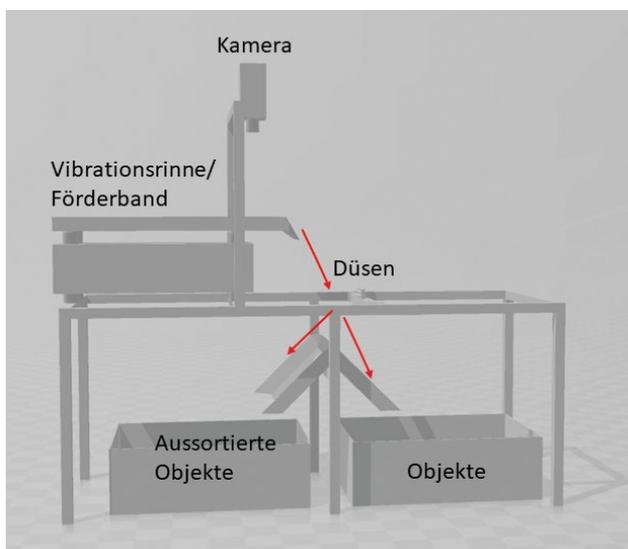
Daher ist das Ziel dieses Digitalisierungsprojekts die Entwicklung eines Konzepts für die Selektierung von Mehlwürmern, welches die Überperformer durch Bildauswertung mittels Druckluft aussortiert. Diese Überperformer können dann für die Zucht verwendet werden, um das Wachstum in den Mehlwurmgenerationen und somit die Effizienz der Mehlwurmproduktion zu steigern. Zudem können wichtige Produktionsdaten aufgenommen werden, um die Produktionsprozesse weiter zu optimieren. Zum Beispiel könnte man den Einfluss von verschiedenen Fütterungsmethoden auf die Größe der Mehlwurmpopulation ermitteln.

## Lösungsweg

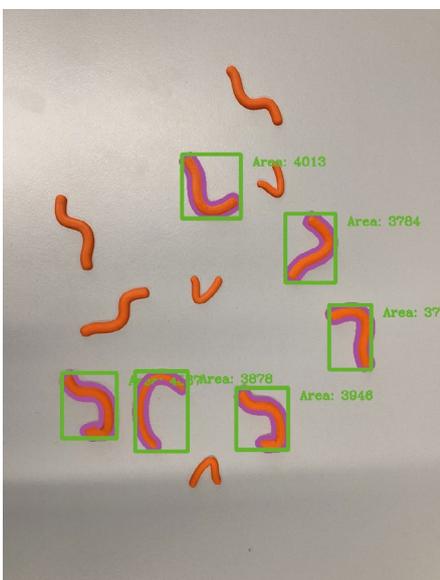
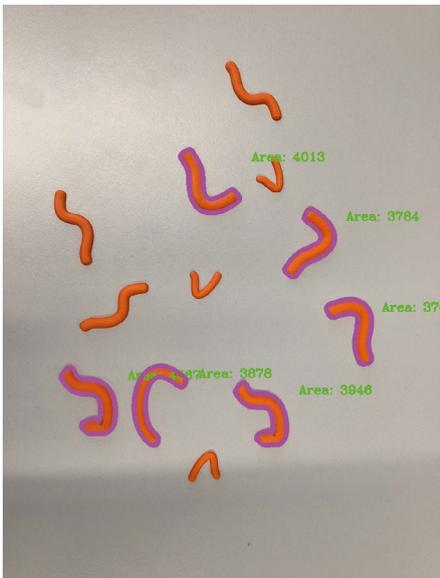
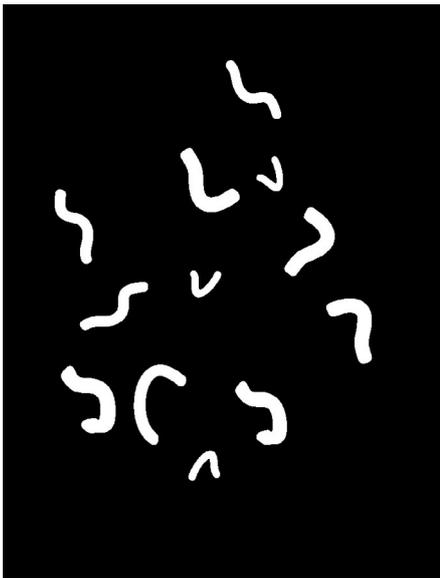
Für die Selektierung der Überperformer wurde im Digitalisierungsprojekt ein Konzept entwickelt, welches mittels Kameratechnik und KI-basierter Bildauswertung die Position der größten Mehlwürmer bestimmt und diese mittels Druckluft von den übrigen Mehlwürmern trennt.

Bei der Umsetzung der Bildauswertung und der Positionsbestimmung hat das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover Lower Impact unterstützt, indem Methoden und Algorithmen zum Sortieren der Mehlwürmer ausgesucht und implementiert wurden. Die Mehlwürmer werden auf einem Förderband transportiert, über welchem eine Kamera montiert ist. Diese erfasst in Echtzeit die Größe und Position der Würmer, sodass am Ende des Förderbands die korrekte Druckluftdüse zum Aussortieren der Überperformer eingeschaltet werden kann. Zur Größen- und Positionserkennung wurde auf die Open-Source Bibliothek OpenCV zurückgegriffen und ein Python-Skript umgesetzt.

Im Projekt wurde ein HSV-Filter eingesetzt. Dieser Filter wandelt ein Farbbild in ein binarisiertes Schwarzweißbild um. Das Farbbild wird in die Kanäle Farbe (Hue), Sättigung (Saturation) und Helligkeit (Value) aufgespalten. Mit dem HSV-Filter wurde das ursprüngliche Bild bearbeitet und konvertiert, um die exakte Größe der Mehlwürmer anhand der Anzahl der Pixel berechnen und die Position auf dem Förderband mithilfe der Pixelkoordinaten bestimmen zu können. Die Position wird an die Ventilsteuerung weitergegeben, sodass diese zeitverzögert eines der 16 vorhandenen Druckluftventile öffnet und die Überperformer herausbefördert. So werden die Würmer effizient und automatisiert voneinander getrennt und ein manuelles Sieben ist nicht mehr notwendig.



**Bild 3**  
Grobkonzept der Sortieranlage



**Bilder 4-6**  
Bildauswertung zur  
Separierung der Mehlwürmer

## Nutzen für den Mittelstand

Insekten stellen aufgrund des geringen Ressourcenverbrauchs verglichen zu konventionellen Fleischprodukten eine alternative Proteinquelle dar. Besonders Start-ups sowie kleine und mittlere Unternehmen erschließen den aufstrebenden Markt mit dem Ziel, eine nachhaltige und innovative Insektenzucht aufzubauen. Das Start-up Lower Impact ist dabei repräsentativ für viele kleine und mittelständische Unternehmen, die im Bereich der Insekten-Industrie tätig sind.

Mithilfe des Digitalisierungsprojekts durch das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover wird anhand eines Demonstrators gezeigt, dass eine automatisierte Mehlwurmsortierung möglich ist. Durch KI-basierte Bilderkennung kann die Größe von Mehlwürmern bestimmt werden und auf dieser Grundlage eine Aussortierung mit Druckluft stattfinden.

Das entwickelte Konzept ist auch auf Sortieranlagen für andere Insektenarten übertragbar. Dadurch wird ermöglicht, Überperformer – also besonders große Insekten – für die Insektenzucht zu verwenden, um die Zucht zu optimieren. Darüber hinaus können die Daten der Tiergrößen mit weiteren Produktionsdaten, wie z. B. die Futtermittel oder andere Umgebungseinflüssen verglichen werden, um so die optimalen Produktionsbedingungen zu ermitteln und dadurch die Produktivität zu erhöhen.

### Autor\*innen

#### Anne Rathje

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
am IPH - Institut für Integrierte  
Produktion Hannover gGmbH  
und KI-Expertin im Mittelstand-  
Digital Zentrum Hannover

#### Torben Mente

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
am IPH und KI-Experte im Mittel-  
stand-Digital Zentrum Hannover

# Auch für kleine Unternehmen kann **KI-Implementierung** sinnvoll sein

Das L3S ist ein deutsches Forschungszentrum, das international für seine Spitzenforschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz sowie für die Entwicklung anwendungsorientierter KI-Methoden, insbesondere in den Bereichen Medizin, Produktion, Mobilität, Wissenschaft und Bildung, bekannt ist. Es ist eine gemeinsame Einrichtung der Leibniz Universität Hannover und der Technischen Universität Braunschweig. Als Partner des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover gibt das L3S in Firmengesprächen, Workshops und Digitalisierungsprojekten Unternehmen Werkzeuge für die Implementierung von KI an die Hand.



**Bild 1**

Prof. Dr. Wolfgang Nejd ist geschäftsführender Direktor des Forschungszentrums L3S und forscht u. a. in den Bereichen Data Mining und Künstliche Intelligenz.

**Herr Professor Nejd, das L3S gehört national und international zu den führenden Forschungszentren, wenn es um Künstliche Intelligenz geht. Welche Themenschwerpunkte setzen Sie an Ihrem Zentrum?**

Wir betreiben sowohl Grundlagenforschung als auch anwendungsorientierte Forschung. Beide sind eng miteinander verzahnt: Wenn man keine exzellente Forschung macht, dann läuft man hinterher – auch in der anwendungsorientierten Forschung. Für mich ist es wichtig, die ganze Breite der KI an unserem Forschungszentrum abzubilden.

Aber wenn ich einen Themenschwerpunkt hervorheben soll, ist es aktuell sicher das Maschinelle Lernen in seinen unterschiedlichen Ausrichtungen. Je nachdem welche Daten Sie verarbeiten wollen oder können, kommen hier unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Bei Bild- und Videodaten brauche ich andere Ansätze als bei Textdaten oder Zeitreihendaten. Wir decken mit zahlreichen Projekten diese Bandbreite ab und sind hier mit spannenden Grundlagenprojekten unterwegs.

Um die Vielfaltigkeit unserer Grundlagenforschung zur KI aufzuzeigen, möchte ich zwei große europäische Forschungsvorhaben an dieser Stelle herausgreifen: Im AutoML-Projekt arbeiten wir daran, pas-

sende Machine Learning Algorithmen und Ansätze für Probleme automatisch auszuwählen und auch die Parameter dieser Algorithmen selbständig zu optimieren. Das kann einem KI-Experten viel Arbeit abnehmen, auch wenn das Duo „Experte plus AutoML“ die optimale Kombination ist. Mein Kollege Marius Lindauer hat zu diesem Thema ein ERC-Projekt über 1.5 Mio. Euro eingeworben, und nutzt diesen Ansatz auch dazu, im Projekt GreenAutoML an effizienteren KI-Algorithmen und nachhaltigen KI-Lösungen zu arbeiten.

Als zweites Projekt sei hier das DFG-Projekt OCO (Online convex optimisation) von meinem Kollegen Matthias Müller genannt. Ziel ist die Entwicklung und Untersuchung von Kontrollverfahren, die mit allgemeinen Kostenfunktionen und Einschränkungen umgehen können, die ohne restriktive Annahmen auskommen. Diese Algorithmen werden zur direkten Steuerung dynamischer Systeme eingesetzt und mit etablierten Steuerungsstrategien wie Referenzreglern und modellprädiktiver Steuerung kombiniert.

Auch diese Beispiele aus der Grundlagenforschung zeigen, dass wir nicht nur um des Forschens Willen forschen. Letztendlich wollen Informatikerinnen und Informatiker Algorithmen für reale Anwendungen entwerfen, und auch spannende Projekte mit Unternehmen durchführen.

**Anwendungsorientierte Forschung, das ist ein Stichwort, das ich gerne aufnehme. Welche Instrumente hat das L3S entwickelt, um KI-Anwendungen beziehungsweise den Wissenstransfer in die Unternehmen zu befördern?**

Als Partner im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover helfen wir kleinen und mittleren Unternehmen insbesondere in Niedersachsen KI-Anwendungen zu realisieren. Ganz wesentlich dabei ist, KI-Methoden in den Betrieben einzusetzen, um Innovationsgewinne einzufahren. Wichtig ist dabei für mittelständische Unternehmen, dass sie einen Ansprechpartner wie beispielsweise das Mittelstand-Digital Zentrum haben. Die Zentrumsangebote wie Vor-Ort-Gespräche in den Betrieben,

Weiterbildungsangebote für Mitarbeitende und Prototypprojekte sind Förderinstrumente, um KI in diesen Unternehmen voranzutreiben.

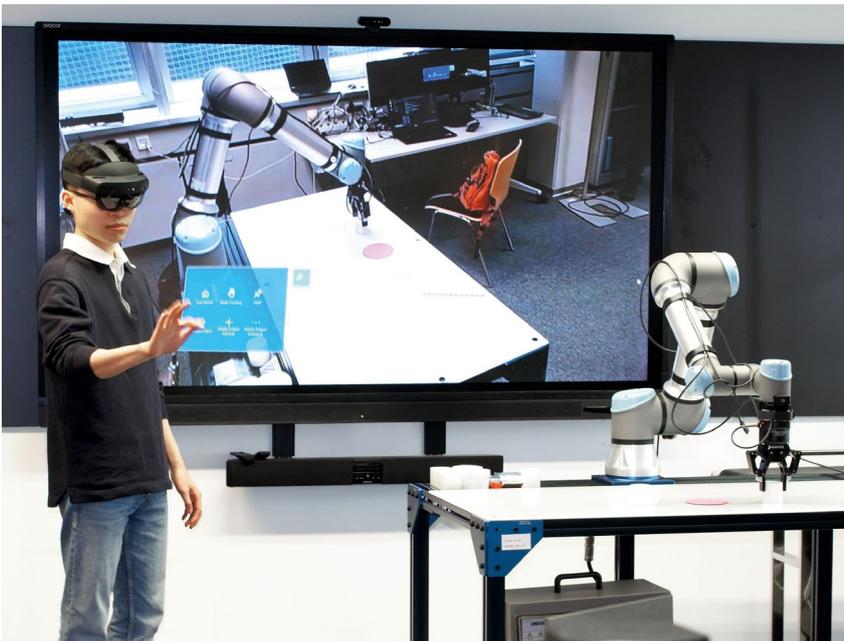
Ein großer Schwerpunkt der anwendungsorientierten Forschung am L3S ist die Intelligente Produktion. 2020 sind wir mit dem Projekt IIP-Ecosphere (Next Level for Intelligent Industrial Production) gestartet. In dem Projekt bringen wir Industrie und Forschung, Unternehmen sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammen. Das Ziel ist es, durch Selbstoptimierung der Produktion die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken. Wir entwickeln mit 18 Konsortial- und 57 assoziierten Partnern anwendungsorientierte KI-Methoden und innovative

Geschäftsmodelle für die nächste Generation der Industrie 4.0. Zahlreiche Projekte zeigen hierbei die breite Anwendbarkeit und die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche für KI-Methoden.

Um einige Beispiele zu nennen: Mit Volkswagen arbeiten wir an der Optimierung der Produktionsstraße für den T6. Hier gilt es, mittels KI viele unterschiedliche Daten laufend zu verarbeiten. Mit dem mittelständischen Unternehmen Sennheiser automatisieren wir die Testprozesse für seine Produkte. Hier geht es um die Analyse von Bildern und den Einsatz von Robotik-Testsystemen. Bei Gerresheimer, einem Unternehmen, das Primärverpackungen aus Glas, Spezialglas und Kunststoff für die Pharmaindustrie herstellt, optimieren wir



**Bild 2**  
Der Plattform-Demonstrator von IIP-Ecosphere: Das KI-basierte visuelle System erkennt frühzeitig Fehler an Werkstücken, etwa Kratzer oder Formabweichungen.

**Bild 3**

Robotik am L3S: Ein Mitarbeiter steuert den Roboter mit Handbewegungen so, dass er Objekte greifen und umsetzen kann.

die Prozesssteuerung. In einem Projekt mit dem Werkzeugmaschinenhersteller DMG Mori arbeiten wir daran, Werkzeugmaschinen intelligenter zu machen und entwickeln gemeinsam neue Geschäftsmodelle auf der Grundlage von KI-Services. Diese Vorhaben zeigen die Bandbreite von KI und auch, wie unterschiedlich ihr Einsatz sein kann.

All diese Projekte sind aus unseren Unterstützungsangeboten entstanden. Wenn es um Künstliche Intelligenz geht, bieten wir den Unternehmen ein vielfältiges Portfolio. Zwei Projekte sind besonders hervorzuheben: Mit der Errichtung eines deutschlandweiten Demonstrations- und Transfernetzwerks für Künstliche Intelligenz in der Produktion (ProKI-Netz) wollen wir die Nutzung von Künstlicher Intelligenz in kleinen und mittleren Unternehmen unterstützen. An der Leibniz Universität Hannover (LUH) entsteht eines von acht Zentren deutschlandweit. Das L3S, die Institute für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, für Mikroproduktionstechnik, für Fabrikanlagen und Logistik sowie für Innovationsmanagement sind daran beteiligt. Und: Mit dem European Digital Innovation Hub für KI und Cybersicherheit (DAISEC) unterstützen wir niedersächsische Unternehmen aus Produktion, Mobilität und Handwerk sowie dem öffentlichen Sektor bei der An-

wendung und Entwicklung von Technologien der Künstlichen Intelligenz und Cybersicherheit.

**Herr Professor Nejd, die Angebote rund um das Thema KI sind also insbesondere auch für kleine und mittlere Unternehmen vielfältig. Ist die Künstliche Intelligenz denn inzwischen auch bei diesen Unternehmen angekommen?**

Da gibt es sicherlich noch ganz viel Potenzial. Aber wir sehen in den vergangenen Jahren mehr und mehr Firmen, große, mittlere und kleine Unternehmen, die sich für das Thema interessieren und KI in Pilotprojekten oder teilweise auch schon real einsetzen. Aber wir sehen auch viel Bedarf an fachkundiger Unterstützung. Es ist noch Aufklärungsarbeit zu leisten. Zwar muss man nicht mehr erläutern, warum Künstliche Intelligenz interessant oder wichtig ist – die meisten Unternehmen haben da schon eine Vorstellung. Aber wie KI im Betrieb für einen bestimmten Zweck eingesetzt werden kann, ist eine Fragestellung, die vielen mittelständischen Unternehmen inzwischen unter den Nägeln brennt. Da ist Unterstützung notwendig.

Und: Die KI-Implementierung in den Betrieben ist sicherlich nicht schon morgen erledigt. Dies ist auch an der Förderdauer unserer KI-Transferpro-

jekte für Unternehmen ablesbar. Der DAISEC hat beispielsweise eine Förderdauer von sieben Jahren. Wir reden also schon über längere Zeiträume.

Großunternehmen haben heutzutage in der Regel bereits eigene KI-Abteilungen. Bosch, VW und viele andere Großunternehmen bauen derzeit große Kapazitäten in diesem Bereich auf. Sie sehen den Bedarf beispielsweise für das autonome Fahren und treiben die Entwicklungen voran. Im Gegensatz dazu muss ich mir als kleines Unternehmen mit einer eingeschränkten Produktpalette schon überlegen, ob der KI-Einsatz sich rechnet.

Aber auch für diese Unternehmen kann eine KI-Implementierung sinnvoll sein. Ein schönes Beispiel ist das von mir bereits genannte Projekt mit Sennheiser. Mittels KI bauen wir einen automatischen Teststand auf, um den Testprozess zu verbessern und effizienter zu machen.

**Gibt es KI-Lösungen, die sich auch in kleinen und mittleren Unternehmen schnell kostengünstig umsetzen lassen? Beziehungsweise gibt es Anwendungen für die Implementierung?**

Ja, ich muss heute nicht mehr unbedingt zu Fuß ein neuronales Netz programmieren. Wenn ich Daten verarbeiten möchte,

kann ich vielfach schon Standardalgorithmen, Standardbibliotheken verwenden. Dafür gibt es Werkzeuge. Hilfestellung benötigen die Unternehmen bei der Auswahl der Werkzeuge beziehungsweise, welche Werkzeuge sie für ihre Anforderungen nutzen können. Wenn die Prozesse jedoch komplexer sind, ist die Datengewinnung und -analyse weitaus schwieriger. Ich rate an dieser Stelle auf jeden Fall dazu, sich Unterstützung zu holen.

Dabei sind die Unternehmen gut bedient, wenn sie sich eine anbieterneutrale Expertise einholen. Diese Expertinnen und Experten haben nicht das Ziel, unbedingt eine bestimmte KI-Anwendung zu verkaufen und zeigen möglicherweise auch andere Lösungsszenarien auf. Denn Digitalisierung und KI-Anwendungen sind kein Allheilmittel. Sie sind nicht für jedes Problem die Lösung. Manchmal reicht ja schon eine Automatisierung aus, um Verbesserungen zu erzielen.

### **Welche Voraussetzungen braucht die Implementierung von KI?**

Das Wichtigste sind Daten. Ohne Daten keine KI. Die besten Lösungen, die für die meisten Unternehmen gerade in der Produktion interessant sind, basieren auf der Verarbeitung vorhandener Daten. Die erste Frage, die wir den Unternehmen stellen, ist: Welche Daten sind verfügbar? Im nächsten Schritt analysieren wir dann, ob diese Daten für die Anwendung von KI beispielsweise zur Prozessoptimierung ausreichen oder ob zusätzliche Daten erhoben werden müssen. Prototypprojekte, wie sie unter anderem vom Mittelstand-Digital Zentrum durchgeführt werden, sind an dieser Stelle eine gute Möglichkeit – zum Beispiel, um Maschinen Add-ons für die zusätzliche Datenerfassung zu installieren und zu testen.

Wenn es um vorausschauende Wartung oder Fehlererkennung geht, ist es ganz wichtig, Daten zu haben, die dokumentieren, wie das System richtig läuft. Denn in der Produktion sind heute inzwischen viele Maschinen schon so gut, dass nur wenige Fehler entstehen. Das heißt, die Fehlerdaten reichen oftmals nicht aus, um mit der KI aus diesen Daten Verbesserungen zu

erzielen. Hier kommen dann KI-Verfahren zur Anomalieerkennung zum Einsatz. Die KI erkennt anhand der Daten eines guten Prozesses Abweichungen von diesem und daher mögliche Fehler.

Wenn ich Digitalisierung und KI in der Firma erfolgreich implementieren möchte, ist es wichtig, dass die Mitarbeitenden mitgenommen werden. Schulungen, Workshops und Pilotprojekte, die wir durchführen, verfolgen auch immer das Ziel, das Wissen im Unternehmen weiterzuentwickeln, sodass zukünftig die zuständigen Mitarbeitenden Projekte auch alleine initiieren, vorantreiben und umsetzen können.

### **Herr Nejd, können Sie mir abschließend Ihre Einschätzungen geben, wo es mit der KI hingehet? In welchen Bereichen wird KI vermehrt eingesetzt werden? Und welche neuen Bereiche werden zukünftig für die KI erschlossen?**

Das sind gute Fragen, insbesondere, weil sich die KI so rasant weiterentwickelt. Bis jetzt sind ja viele KI-Lösungen anwendungs- beziehungsweise situationspezifisch. Man analysiert zuerst, was das Unternehmen braucht und welche Lösungen für das Unternehmen in Frage kommen. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass das Unternehmen eine maßgeschneiderte Lösung bekommt. Diese Lösungen sind jedoch nicht unbedingt kostengünstig.

Was derzeit sehr stark vorangetrieben wird, sind KI-Systeme, die weniger auf ein Anwendungsszenario zielen. Neue Systeme, die vielfach einsetzbar sind – beispielsweise bei der Bilderkennung. Mit dem neuen KI-Modell „Segment Anything“ kann ich in einem beliebigen Bild alles segmentieren. Das System ist sowohl orts- als auch anwendungsunabhängig einsetzbar.

Sehr spannend sind die Sprachmodelle, über die aktuell so viel berichtet wird. Sie sind deshalb besonders interessant, weil man diese Modelle eigentlich nicht mehr für bestimmte Aufgaben trainieren muss. Wenn Sie ein Sprachmodell haben, das fast alle publizierten Texte der Welt gelesen hat, ermöglicht dieses Modell die Beantwortung von Fragen in den unterschiedlichen Bereichen.

Wikipedia beispielsweise stellt nur vier Prozent der Trainingsdaten eines solchen Modells dar. Mittlerweile sind die besten Modelle schon in der Lage, Aufnahmeprüfungen zu bestehen. Das heißt, der Zugriff auf Informationen wird sich rasant verändern. Sprachmodelle lassen sich beispielsweise hervorragend in Call Center einsetzen. Der Vorteil ist, dass sie nicht wie Menschen unter Stress oder Zeitdruck stehen, und so ausführlicher auf Fragen der Kunden antworten können. Und auch bei der Suche können Sprachmodelle unterstützen, insbesondere in Bereichen, in denen der Suchende erst einen Überblick benötigt, um weitersuchen zu können.

### **Sind diese Entwicklungen tatsächlich in allen Lebensbereichen wünschenswert – beispielsweise wenn KI genutzt wird, um Prüfungen zu bestehen?**

Wir müssen uns, sowohl das Lehrpersonal an der Schule als auch an der Universität, darauf einstellen, dass es diese Werkzeuge gibt, so wie wir uns früher auf die Nutzung von Taschenrechnern eingestellt haben. Die Werkzeuge, die es heutzutage gibt, sind halt noch intelligenter und umfangreicher. Wichtig ist, zu überlegen, wie diese Werkzeuge sinnvoll eingesetzt werden können, um noch bessere Ergebnisse zu erzielen. Und: Die Abfrage von Wissen in Schulen, Hochschulen sowie in der Aus- und Weiterbildung muss sich so ändern, dass nicht einfach für die Beantwortung ein KI-Tool genutzt werden kann.

### **Macht die umfassende Einsetzbarkeit von KI nicht Angst?**

Nein, aber wir müssen uns Gedanken darüber machen, wie wir den Einsatz von KI-Systemen kontrollieren können. Nicht für alle Bereiche sind diese Systeme wünschenswert – beispielsweise für die Entwicklung und den Einsatz intelligenter Waffen. Letztendlich kann und wird es nicht darum gehen, die Künstliche Intelligenz zu verbieten. Vielmehr müssen ihre Einsatzbereiche definiert und bei Bedarf reguliert werden.

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

# ProKI-Hannover – Zentrum für KI in der Zerspanung

Mit der Errichtung eines deutschlandweiten Demonstrations- und Transfernetzwerks für Künstliche Intelligenz in der Produktion (ProKI-Netz) soll die Nutzung von Künstlicher Intelligenz in kleinen und mittleren Unternehmen unterstützt werden. An der Leibniz Universität Hannover (LUH) entsteht eines von acht Zentren deutschlandweit.

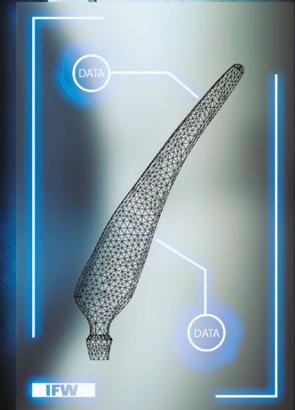


Bild 1

Prozesse optimieren mit KI

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bilden acht Hochschulen in Deutschland das Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (kurz: „ProKI-Netz“). Gemeinsam verfolgen sie das Ziel, Einsatzgebiete und Potenziale von Künstlicher Intelligenz (KI) für unterschiedliche Bereiche der Fertigungstechnik praxisnah und bedarfsorientiert aufzuzeigen.

Das ProKI-Zentrum in Hannover fokussiert dabei den Einsatz von KI im Kontext des Fertigungsverfahrens Trennen. Weitere ProKI-Zentren entstehen an den Hochschulen der Standorte Aachen, Berlin, Darmstadt, Dresden, Ilmenau, Karlsruhe und Nürnberg.

## Den Wissenstransfer vorantreiben

Der Technologie- und Wissenstransfer von der Forschung in die Industrie bildet den Kern des Projekts. Verschiedene Forschungsprojekte zeigen das Potenzial Künstlicher Intelligenz im Zusammenspiel mit einer vernetzten Produktion zur Steigerung von Qualität, Produktivität und Prozesssicherheit bereits auf. Auch produzierende Unternehmen beschäftigen sich zunehmend mit KI. Tatsächlich werden

KI-basierte Systeme in der Produktion bisher jedoch nur sehr selten eingesetzt. Hier setzt ProKI-Hannover an und unterstützt den Wissenstransfer durch vielfältige Angebote für kleine und mittlere Unternehmen. Das Angebot reicht von Schulungen zu KI-Grundlagen und KI-Anwendungsmöglichkeiten in der Zerspanung bis hin zu interaktiven Workshops, die individuell auf Unternehmen zugeschnitten wer-

den. Dabei werden neben KI-bezogenen Themen auch arbeitswissenschaftliche Aspekte, wie etwa das Change-Management, hervorgehoben. Die ergänzende Digitalisierungs-Expertise liefert das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover. Darüber hinaus besteht für KMU auch die Möglichkeit, mit ProKI-Hannover gemeinsame Projekte über eine Laufzeit von jeweils zwei Monaten durchzuführen.

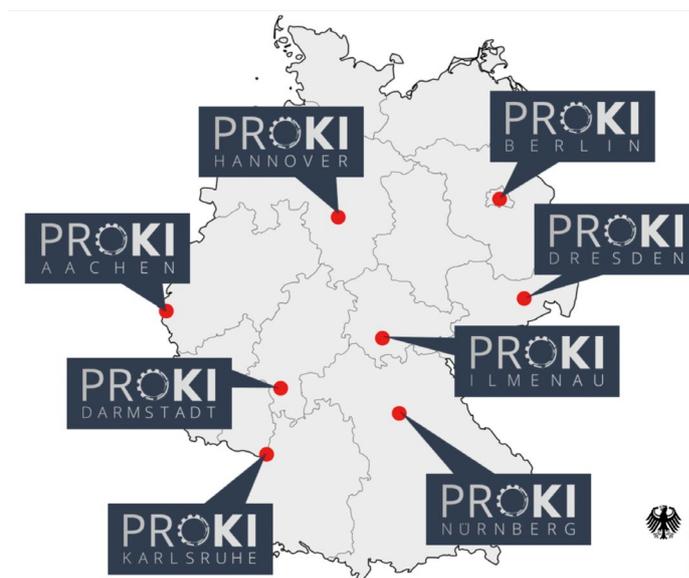


Bild 2

ProKI-Netz in  
Deutschland

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Bild 3 Angebote für Unternehmen

### KI-Demonstratoren zur praktischen Erprobung von KI

Neben den theoretischen Inhalten stehen bei ProKI-Hannover auch physische KI-Demonstratoren für praktische Vorführungen zur Verfügung. Im Rahmen des Projekts werden Unternehmen sechs KI-Demonstratoren mit Bezug zur Fertigungstechnik angeboten, an denen verschiedene KI-Ansätze erprobt werden können. So wird z. B. mit einem der sechs Demonstratoren eine automatisierte Qualitätskontrolle von geschliffenen Oberflächen mittels maschinellem Sehen (engl.: Machine Vision) gezeigt.

Dabei führt ein Roboterarm eine Kamera über das Bauteil. Für die Qualitätskontrolle wurden künstliche neuronale Netze darauf trainiert, die Qualität von Oberflächen prozessparallel zu analysieren und Beschädigungen automatisch zu detektieren. Durch das System wird so die Durchführung manueller und aufwendiger Sichtprüfungen von Bauteilen automatisierbar. Interessierte Unternehmen können diese Anwendung und weitere Demonstratoren am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) besichtigen.

Weiterhin besteht für Unternehmen die Möglichkeit, die Infrastruktur des IFW zur Erprobung von KI-Ansätzen oder zur Erhebung reeller Produktionsdaten zu nutzen. Neben Umsetzungsbeispielen von KI in der Zerspanung umfasst das Demonstrationsangebot auch Themen wie die Erhebung von relevanten Daten zur Umsetzung von KI-basierten Systemen.

Datenakquise, -verarbeitung und -speicherung erfordern aktuell noch immer tiefgreifende IT-Kenntnisse. Dabei sind insbesondere Daten eine Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von KI. Daher wurde, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT), dem Forschungszentrum L3S (Learning Lab Lower Saxony) und dem IFW, ein mobiler Demonstrator entwickelt, um bei und mit interessierten Unternehmen vor Ort Daten zu akquirieren. Unternehmen lernen so, mit welchen Methoden sie auf die Daten ihrer eigenen Anlagen zugreifen können und welche Grundvoraussetzungen dafür vorhanden sein müssen.

Für Unternehmen, die im Bereich der Datenerfassung bereits erfahren sind, bietet der mobile Demonstrator Einblicke zum Thema Retrofit sowie zur Aufbereitung und Visualisierung von Daten. Ein weiterer KI-Demonstrator entsteht am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA). Er zeigt, wie der Einsatz von KI die Personaleinsatzplanung unterstützen kann.

Alle Demonstrations- und Dienstleistungsangebote in ProKI sind für Unternehmen kostenlos und werden auf Grundlage aktueller Technologietrends stetig weiterentwickelt. Zudem haben Industrieunternehmen die Möglichkeit, ihre eigenen KI-spezifischen Anwendungsszenarien einzubringen und mit den Mitarbeitenden der ProKI-Initiative weiterzuentwickeln.



Weitere Infos unter [www.proki-hannover.de](http://www.proki-hannover.de)

### Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**  
 Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

**Dr.-Ing. Heinrich Klemme**  
 Bereichsleiter Maschinen und Steuerungen, IFW

**Aleks Arzer**  
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFW

# KI-Readiness für KMU

## Wie Unternehmen KI-Lösungen erfolgreich implementieren können

Seit einigen Jahren rückt das Thema Künstliche Intelligenz (KI) zunehmend in den Fokus der Gesellschaft. Auch viele mittelständische Unternehmen des produzierenden Gewerbes haben die Chancen und Potenziale von KI erkannt und als wesentlichen Faktor für ihre Zukunftsfähigkeit identifiziert. Durch unseren stetigen Austausch mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) haben wir festgestellt, dass die Einführung von KI eine neuartige Herausforderung darstellt und die oft komplex erscheinenden und vielseitigen KI-Lösungen am Markt überwältigen. Vielfach ist unklar, welche KI-Lösungen sinnvoll sind und mit welchen Aufwänden diese verbunden sind.

Um kleinen und mittleren Unternehmen bei der Auswahl geeigneter Einsatzmöglichkeiten von KI-Lösungen zu unterstützen, haben wir als Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ein kostenloses Angebot für die Erstellung einer individuellen KI-Roadmap entwickelt. Die KI-Roadmap ist eine gute Grundlage zu einer erfolgreichen Implementierung von KI-Lösungen in Unternehmen. Sie zeigt auf, welcher Nutzen durch Investitionen in Künstliche Intelligenz erzielt werden kann.

Sie wollen auch Ihr Unternehmen weiterentwickeln und suchen nach kreativen Impulsen? Dann informieren Sie sich online über unsere kostenlose und individuelle Unterstützung unter der Adresse [www.digitalzentrum-hannover.de](http://www.digitalzentrum-hannover.de) oder schreiben Sie uns eine E-Mail an [projekt@mitunsdigital.de](mailto:projekt@mitunsdigital.de).



## Phase I: Ideen generieren

Das Ziel der ersten Phase ist die umfassende Sammlung von neuen und vielseitigen Ideen für die Anwendung innovativer KI-Lösungen in Ihren Geschäfts- und Produktionsprozessen.

### Team Building

Ausgangspunkt ist die Zusammenstellung eines heterogenen Kernteams, welches die Expertise aus Produktion und produktionsnahen Abteilungen des Unternehmens bündelt und kombiniert. So kann sichergestellt werden, dass alle Bereiche und relevanten Aspekte berücksichtigt werden.

### Analyse vor Ort

Unsere KI-Expert\*innen analysieren gemeinsam mit Ihnen Ihre bestehenden Produktions- und Geschäftsprozesse, um anschließend zusammen mit dem Kernteam individuelle Handlungs- und Verbesserungspotenziale für KI-Lösungen zu identifizieren.

### Kreative Impulse

Um weitere kreative Ideen für KI-Lösungen zu erschließen, bieten wir Ihnen ein individuelles Programm aus Praxisbeispielen, Demonstrationen, digitalen Lerninhalten sowie ergänzenden fachlichen Austausch mit unseren Expert\*innen an. Dabei können auch Mitarbeitende außerhalb des Kernteams integriert werden. Somit werden Ihnen und Ihren Mitarbeitenden über den Tellerrand hinaus vielfältige Potenziale von KI-Lösungen für Ihr Unternehmen aufgezeigt.

## Phase II: Ideen selektieren

Das Ziel der zweiten Phase ist die Identifikation der Maßnahmen, die den größten Nutzen für Ihr Unternehmen versprechen. Die Konkretisierung wird durch das Kernteam vorgenommen.

### Ideen clustern

Für eine bessere Übersicht werden die Ideen zunächst entsprechend ihrer Umsetzbarkeit, den nötigen Voraussetzungen und den erwarteten Ergebnissen zusammengefasst. Diese Clusterbildung dient als Grundlage, um im Weiteren die Ideen detailliert zusammen mit unseren KI-Expert\*innen auszuarbeiten.

### Ideen bewerten

Im Anschluss werden die Ideen auf Basis von detaillierten Steckbriefen, insbesondere hinsichtlich des zu erwartenden Aufwandes und des Nutzens einschließlich der benötigten Dateninfrastruktur, ausgearbeitet. Eine darauffolgende Visualisierung der Ergebnisse durch eine Aufwand-Nutzen-Matrix bietet einen guten Überblick.

### Ideen priorisieren

Anhand der Aufwand-Nutzen-Matrix erfolgt eine Priorisierung der KI-Lösungen in Abhängigkeit von Ihrer individuellen Evaluation mit einer anschließenden Ableitung von Maßnahmen und Verantwortlichkeiten. Als Resultat erhalten Sie eine ausführliche KI-Roadmap, welche die Basis für eine systematischen Einführung von KI-Lösungen in Ihrem Unternehmen bildet.

### Autorin

**Leonie Hormig**  
Koordinatorin Digitalisierungsprojekt und Innovationsmanagerin am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

# Mit geeigneten Ergonomiemaßnahmen die **Mitarbeiterzufriedenheit** gestalten

Projekt-Abschlussbericht von Nils Doede und David Schellenberg

Die Ergonomie als Teil einer Prävention vor Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz gewinnt zunehmend eine wichtigere Rolle bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Das Arbeiten an ergonomisch optimierten Arbeitsplätzen bietet erhebliche wirtschaftliche und soziale Vorteile.

In Zeiten eines Arbeitnehmermarktes sind soziale Faktoren wie Mitarbeiterzufriedenheit und Motivation entscheidende Aspekte, um dem Fachkräftemangel zu begegnen. Eine älterwerdende Belegschaft und der demografische Wandel erfordern zusätzlich ergonomisch gestaltete sowie alters- und geschlechtsunabhängig optimierte Arbeitsplätze. Durch die nicht unmittelbar erkennbaren Auswirkungen einer ergonomischen Arbeitsplatzoptimierung wird in den Unternehmen das Thema Ergonomie gar nicht oder nur sporadisch betrachtet. Dabei bietet eine ergonomische Arbeitsplatzoptimierung viele wirtschaftliche Vorteile wie die Senkung des Krankenstandes oder die Steigerung der Produktivität.

## Bild 1

Ausschnitt einer Montagelinie der WISTRO Elektro-Mechanik GmbH



## Projektüberblick

Der Einsatz eines digitalen Tools zur Arbeitsplatzbewertung ermöglicht es, aufwandsarm Produktionsarbeitsplätze bezüglich ihrer Ergonomie zu dokumentieren und zu bewerten. Im Rahmen des Digitalisierungsprojekts wurde mithilfe eines digitalen Tools ein Konzept zur Optimierung der Arbeitsplatzergonomie entwickelt und in einen Maßnahmenkatalog umgewandelt. Das Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) hat als Partner des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover die WISTRO Elektro-Mechanik GmbH aus Langenhagen in einem Projekt dabei unterstützt, eine systematische Arbeitsplatzbewertung innerhalb eines digitalen Tools durchzuführen. Darüber hinaus wurden ergonomische Optimierungsmaßnahmen für einen Montagearbeitsplatz aufgezeigt und anhand einer individuellen Nutzwertanalyse bewertet.

Mit der Durchführung des Projekts konnten ein Bewusstsein und konkrete Maßnahmen für die Thematik der Ergonomie geschaffen werden und damit die Möglichkeiten zur Steigerung der Mitarbeitermotivation.

Als Partner des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover hat das Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) die WISTRO Elektro-Mechanik GmbH aus Langenhagen in einem Projekt dabei unterstützt, eine systematische Arbeitsplatzbewertung mithilfe eines digitalen Tools durchzuführen. Darüber hinaus wurden ergonomische Optimierungsmaßnahmen für einen Montagearbeitsplatz aufgezeigt und anhand einer individuellen Nutzwertanalyse bewertet. Mit der Durchführung des Projekts konnten ein Bewusstsein und konkrete Maßnahmen für die Thematik der Ergonomie geschaffen werden und damit die Möglichkeiten zur Steigerung der Mitarbeitermotivation.

## Unternehmen und Produkt

Die WISTRO Elektro-Mechanik GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen mit Sitz in Langenhagen. Mit seinen circa 40 Mitarbeitenden ist das Unternehmen auf die Produktion von Industrieventilatoren und Fremdbelüftungen für elektrische Antriebe spezialisiert. Zu den verschiedenen Produkten gehören z. B. Fremdlüfter für Asynchron- und Gleichstrommotoren sowie Fremdlüfter für Servomotoren. Die Lüfterflansche (Bild 1) werden am Produktionsstandort Langenhagen an verschiedenen Montagelinien montiert. Die so hergestellten Lüfterflansche werden mit einem kundenspezifischen Blechgehäuse komplettiert. Anwendung finden die Lüfter in der gesamten Antriebstechnik, unter anderem in der Lebensmittelindustrie, in Windkraftanlagen oder in der Logistik.

## Problemstellung und Zielsetzung

Das Unternehmen produziert gegenwärtig, primär händisch, an verschiedenen Montagelinien Fremdlüfter, also externe Geräte zur Belüftung von Elektromotoren. Aufgrund des deutschlandweiten Fachkräftemangels und der ergonomisch anspruchsvollen Montagetätigkeiten herrscht ein fortwährender Personalmangel in der Produktion. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass die Mitarbeiterzufriedenheit und -gesundheit durch vereinzelte körperlich anspruchsvolle Arbeitsschritte leidet. Die Identifikation der ergonomisch anspruchsvollen Arbeitsschritte kann gegenwärtig nur empirisch durchgeführt werden. Darüber hinaus variiert das Empfinden der Mitarbeitenden zum Schwierigkeitsgrad der durchgeführten Arbeit je nach Körperstatur. Somit sind unternehmensseitig eine objektive Arbeitsplatzbewertung und eine anschließende ergonomische Verbesserung nicht möglich.

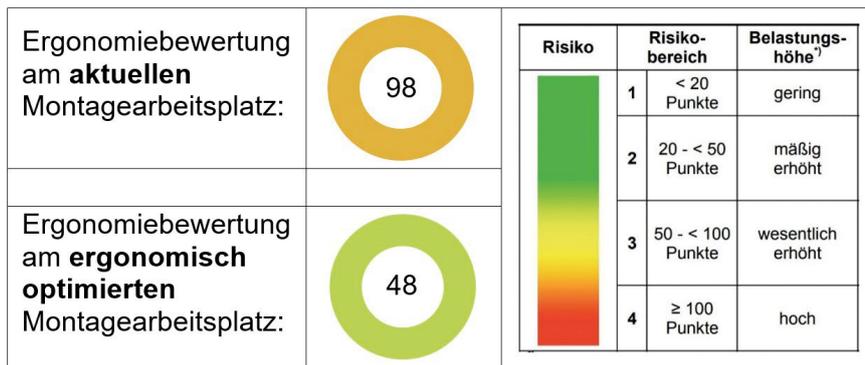
Ziel des Projekts ist daher die Entwicklung eines neuen Konzepts für die Produktion, unter Berücksichtigung ergonomischer Aspekte, zur Steigerung der Mitarbeiterakzeptanz. Mit Hilfe eines digitalen Tools zur aufwandsarmen Bewertung der Ergonomie, sollen Maßnahmen zur Ergonomieverbesserung gefunden und bewertet werden. Das Konzept soll einen Maßnahmenkatalog für ergonomische Optimierungen sowie einen individuellen Ansatz zur Umsetzung der Maßnahmen enthalten. Durch die Anwendung des digitalen Tools soll die Arbeitsplatzbewertung beschleunigt und objektiviert werden. Das Projekt wird exemplarisch an einer der Montagelinien des Unternehmens durchgeführt. Die Linie beinhaltet zwei Arbeitsplätze.

## Lösungsweg

### Schritt 1: Identifikation von Herausforderungen und Optimierungspotenzialen

Die Grundlage für eine erfolgreiche ergonomische Optimierung eines Arbeitsplatzes bildet eine systematische Bewertung. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen die Mitarbeitenden der Montagelinie interviewt. Zusätzlich konnten die Projektbearbeitenden durch eigenständiges Montieren einen Eindruck von der Anlage gewinnen. Für eine bessere Vergleichbarkeit und zur optischen Aufbereitung der Projektergebnisse wurden bei der Arbeitsplatzbewertung zwei Ergonomiebewertungsmethoden angewendet.

Als erste Bewertungsmethode der Montagetätigkeit wurde die Leitmerkalmethode (kurz LMM) für manuelle Arbeitsprozesse gewählt. Mithilfe eines digitalen Berechnungstools konnten verschiedene Handstellungen, Körperstellungen, Kraftaufwendungen und Durchführungsdauer eines Prozessschrittes als einen Ergonomiewert innerhalb der LMM ausgegeben werden. Der Ergonomiewert entspricht hierbei einem groben Ergonomie-Screening und ist geeignet, eine aufwandsarme Auswahl für eine Priorisierung der Optimierungsmaßnahmen treffen zu können. Allerdings betrachtet die LMM nicht den Arbeitsprozess im Ganzen. Aus diesem Grund wurde als zweite Bewertungsmethode das Ergonomic Assessment Worksheet (kurz EAWS) ausgewählt. Der EAWS-Wert kann innerhalb einer digitalen Simulation mithilfe der Software ema WorkDesigner der Fa. imk Industrial Intelligence GmbH ermittelt werden und ist geeignet, eine ausgewählte Optimierungsmaßnahme hierdurch genauer zu überprüfen.



**Bild 2**  
Ergonomiebewertung des aktuellen Montagearbeitsplatz im Vergleich zum ergonomisch optimierten Montagearbeitsplatz nach der Leitmerkalmethode

Die Auswertung der zwei Arbeitsplätze ergab ein Ergonomiewert von 98 an Arbeitsplatz 1 (Bild 2) und 92 an Arbeitsplatz 2. Dies bedeutet laut LMM-Risikobewertung, dass beide Arbeitsplätze wesentlich erhöhte Belastungen (Bild 2) aufweisen. In Summe konnten im Projekt neun wesentliche Belastungen aufgezeigt werden. Hierbei ist unter anderem die eingeschränkte Möglichkeit des Positionswechsels zu benennen.

Nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen besteht eine ausgewogene Belastung aus 60 % Sitzen, 30 % Stehen und 10 % Gehen. Gegenwärtig sind beide Arbeitsstationen als Steharbeitsplätze ausgelegt. An einem Arbeitsplatz entsteht eine zusätzliche Belastung durch das Einpressen eines Dichtungsringes mittels einer Kniehebelpresse. Die Belastung wird dadurch noch gesteigert, dass die Kniehebelpresse auf einer unergonomischen Arbeitshöhe angebracht ist (Bild 3).

**Bild 3**

Arbeitsposition der Einpressstation mit Kniehebelpresse (Bild nachbearbeitet)



### Schritt 2: Entwicklung von Ergonomieoptimierungsmaßnahmen

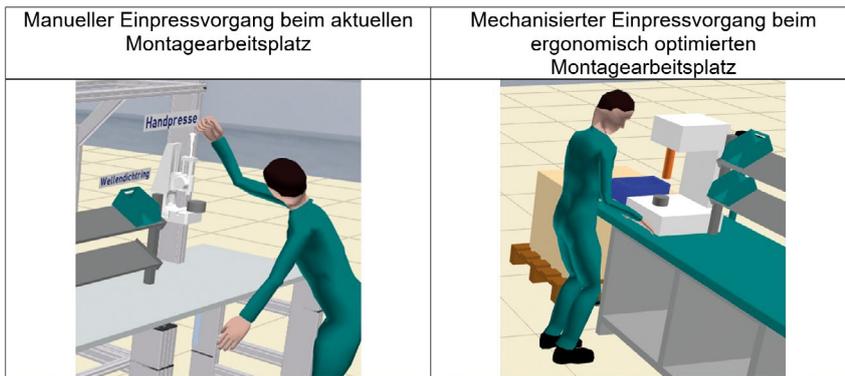
Entsprechend der neun erfassten, wesentlichen Herausforderungen wurde eine äquivalente Anzahl an Optimierungsmaßnahmen erarbeitet. Dabei wird nachfolgend auf die beiden unter Schritt 1 beschriebenen Belastungen, des Steharbeitsplatzes und der Kniehebelpresse, eingegangen. Für die zuvor beschriebene Maßnahme des Positionswechsels, um eine ausgewogene Belastung zu erreichen, bieten sich zwei Optionen. So besteht die Möglichkeit durch eine Stehhilfe den Sitzanteil während der Montage zu erhöhen.

Für Arbeitsstationen mit einem höheren Gehanteil ist der Einsatz eines Exoskeletts zur Entlastung der Gelenke sinnvoll. Die Optimierung der Arbeitsstation zum Einpressen des Dichtungsringes beinhaltet mehrere Maßnahmen. Es wird vorgesehen die beschriebene Station auszulagern, um so eine optimale Arbeitshöhe zu gewährleisten. Hierfür wird der Einsatz eines elektrisch höhenverstellbaren Montagetisches empfohlen. Darüber hinaus kann die manuelle Kniehebelpresse durch ein elektrisches oder pneumatisches Pendant substituiert werden.

### Schritt 3: Bewertung der Ergonomieoptimierungsmaßnahmen

Zur Bewertung der erarbeiteten Maßnahmen wurde in Kooperation mit WISTRO eine unternehmensindividuelle Gewichtung von Bewertungskriterien vorgenommen. Kriterien mit einer hohen Wichtung sind der ergonomische Nutzen, die Arbeitssicherheit und die Anwenderfreundlichkeit.

Zur Beurteilung des ergonomischen Nutzens wurde die unter Schritt 1 beschriebene Ergonomiebewertung (LMM) wiederholt und die entstandene Veränderung als Bewertungsgegenstand herangezogen. Durch An-



**Bild 4**  
Human-Simulation zur Ermittlung des EAWS-Werts für den Einpressvorgang am Montagearbeitsplatz

wendung der vorgeschlagenen Maßnahmen hat sich der Ergonomiewert der Arbeitsplatzergonomie nahezu halbiert. So beträgt der Ergonomiewert an Arbeitsplatz 1 den Wert 48 (Bild 2) und an Arbeitsplatz 2 den Wert 54.

Da die Arbeitsstation mit dem Einpressvorgang das höchste Potenzial bei der Verbesserung der Ergonomie aufgezeigt hat, wurde dieser Prozessschritt zusätzlich mithilfe des EAWS bewertet. Innerhalb einer Human-Simulation konnte evaluiert werden, dass die körperliche Belastung für diesen Arbeitsschritt um ca. 70 % verringert wurde. Der Einpressvorgang und die dazugehörigen Handhabungstätigkeiten beeinflussen dabei die Prozesszeit nicht negativ. (Bild 4)

**Schritt 4:**  
**Entwicklung eines Konzeptes zur Steigerung der Mitarbeiterakzeptanz**

Den Abschluss des Projekts bildet die Beschreibung der neuen Arbeitsplätze und die Empfehlung von Maßnahmen auf Grundlage der Nutzwertanalyse. Nach der Durchführung der Bewertung in Anlehnung an die technisch-wirtschaftliche Bewertung VDI 2225 entsprechen sechs der erarbeiteten Maßnahmen einer sehr guten oder guten Lösung und werden zur Umsetzung empfohlen. Das sind die neukonzipierte Einpressstation, die Anschaffung einer Stehhilfe, die Modernisierung der Anlagenbeleuchtung, die Einführung eines Winkelschraubers, die Einführung eines automatischen Etikettenspenders und die Optimierung der Griffbereiche.

**Nutzen für den Mittelstand**

Die WISTRO Elektro-Mechanik GmbH steht exemplarisch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die im Bereich der Produktion tätig sind und mit dem Fachkräftemangel und der sich verändernden Demografie kämpfen müssen. In vielen KMU hat die Ergonomie nur eine sekundäre Relevanz, da die Durchführung einer systematischen Arbeitsplatzbewertung ressourcenaufwändig und ein konkreter Nutzen nur vereinzelt unmittelbar erkennbar ist.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover konnte hierfür mithilfe digitaler Tools eine Lösung erstellen. Die Anwendung der Leitmerkalmethode an einem exemplarischen Montagearbeitsplatz zeigte erstmals innerhalb des Unternehmens die ergonomischen Bedingungen auf. Mit dem Aufzeigen ergonomischer Optimierungsmaßnahmen und der gleichzeitigen Gegenüberstellung mit dem vorherigen nicht-optimierten Montagearbeitsplatz kann langfristig die Mitarbeiterzufriedenheit gesteigert und dem Fachkräftemangel entgegengewirkt werden. Das Projekt mit der WISTRO Elektro-Mechanik GmbH hat gezeigt, dass sich die verwendeten digitalen Tools hervorragend eignen, um in KMU entsprechende Maßnahmen zu identifizieren und einzuleiten.

**Autoren**

**Nils Doede**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und Projektingenieur beim Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

**David Schellenberg**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPH und Experte für Prozesstechnik im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

# Digitalisierungsstrategie zur Unterstützung von Menschen mit Behinderung

Projekt-Abschlussbericht von Dr. Levke Walten

**Die allgemein herausfordernde Situation für Unternehmen stellt auch die Sozialwirtschaft vor eine große Bewährungsprobe. Beispielsweise sind die steigenden Energiepreise oder auch der Fachkräftemangel bei gleichzeitig immer stärkerer Fokussierung auf eine individuelle Betreuung und detaillierte Dokumentation der getätigten Arbeit aktuelle Herausforderungen für soziale Einrichtungen.**

**Auch das Christophorus-Werk Lingen e. V. sieht Handlungsbedarf und hat sich daher das Ziel gesetzt, mithilfe neuer Ansätze das gesamte Unternehmen dynamischer und digitaler aufzustellen.**

## Projektüberblick

Digitale Lösungen können die gesellschaftliche Teilhabe von Menschen mit Behinderung verbessern. Hierzu bedarf es innerhalb einer Organisation jedoch eines gemeinsamen digitalen Verständnisses und einer zielgerichteten Digitalisierungsstrategie. Vor diesem Hintergrund hat das Christophorus-Werk Lingen e. V. in Kooperation mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover eine ganzheitliche Digitalisierungsstrategie erarbeitet, welche die digitale Transformation in den unterschiedlichen Bereichen des Christophorus-Werks berücksichtigt.

Hierzu wurde zunächst der Status Quo in der Organisation erfasst, bevor die Anforderungen und Bedarfe der diversen Anspruchsgruppen ermittelt wurden. Diese Ergebnisse dienten anschließend als Grundlage für die Digitalisierungsstrategie, welche relevante Handlungsfelder sowie konkrete Maßnahmen für das Christophorus-Werk beinhaltet. Der sich daraus ergebende Maßnahmenplan dient dem Christophorus-Werk im Folgenden als Roadmap für die digitale Transformation.

Bild 1 und 2

Digitale Kompetenzen der Mitarbeitenden und die betriebsinterne Kommunikation sollen gefördert werden.





**Bild 3** Die multiprofessionellen Mitarbeitenden des Christophorus-Werks

## Unternehmen

Das Christophorus-Werk ist ein christlich orientiertes gemeinnütziges Sozialunternehmen mit Sitz in Lingen, das sich in der Behindertenhilfe, der beruflichen Rehabilitation und in der Kinder- und Jugendhilfe engagiert. Getreu dem Motto „Gemeinsam Vielfalt leben – mit Herz und Kopf“ bietet das Christophorus-Werk ein breites Angebot an Dienstleistungen und Einrichtungen zur Betreuung und Förderung von Menschen mit und ohne Behinderungen – in jedem Alter, in jeder Lebensphase. Ziel ist es, den zu betreuenden Menschen ein hohes Maß an Selbständigkeit und Teilhabe an der Gesellschaft zu ermöglichen. Zudem setzt sich das Christophorus-Werk mit innovativen Projekten für inklusive gesellschaftliche Entwicklungen ein.

## Problemstellung und Zielsetzung

Um die Lebens- und Arbeitswelt im Christophorus-Werk im Sinne der Menschen zu gestalten, stetig zu verbessern und den aktuellen Herausforderungen gestärkt gegenüberzutreten zu können, sollen die Vorteile und Möglichkeiten der Digitalisierung genutzt werden. Neben den allgemeinen Herausforderungen sozialer Einrichtungen wie steigenden Energiepreisen oder auch dem Fachkräftemangel, wurden im Christophorus-Werk zudem spezifischere Herausforderungen identifiziert. Dazu gehören die teilweise fehlende digitale Ausstattung, multiprofessionelle und daher sehr diverse Mitarbeitende sowie eine unterschiedlich stark ausgeprägte Affinität zur Digitalisierung.

Darüber hinaus ergeben sich im Bereich der Sozialwirtschaft verschiedene Aspekte der Digitalisierung, die Berücksichtigung in einer Digitalisierungsstrategie finden können. So können beispielsweise Verwaltungs- und Organisationsprozesse digitalisiert werden, um den Verwaltungsaufwand zu reduzieren und die Effizienz zu steigern. Durch die Einführung digitaler Kommunikations- und Informationskanäle können soziale Organisationen effektiver mit ihren Zielgruppen, Mitarbeitenden und Partner\*innen kommunizieren. Und auch der Einsatz digitaler sozialer Dienstleistungen ist denkbar, die beispielsweise den Zugang zu medizinischer Versorgung oder psychologischer Unterstützung verbessern.

Neben den unterschiedlichen Herausforderungen und Möglichkeiten müssen bei der Entwicklung einer ganzheitlichen Digitalisierungsstrategie für das Christophorus-Werk auch die vielfältigen Anspruchsgruppen in den verschiedenen Unternehmensbereichen berücksichtigt werden. Daher bedarf es für dieses Querschnittsthema zunächst ein gemeinsames Verständnis für die Digitalisierung sowie darauf aufbauend eine Digitalisierungsstrategie als Fahrplan für die Zukunft des Christophorus-Werks.

## Lösungsweg

Zunächst führte das Zentrumsteam zur Bestimmung der Ausgangslage mit verschiedenen Akteuren des Christophorus-Werks eine SWOT-Analyse durch. Eine SWOT-Analyse ermöglicht es Unternehmen und Organisationen, ihre internen Stärken und Schwächen zu identifizieren und mit den externen Chancen und Risiken abzugleichen.

Die Abkürzung SWOT steht für die englischen Begriffe Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Risiken). Dabei fokussiert sich die Analyse der Stärken und Schwächen eher auf das Unternehmen selbst, wohingegen die Chancen und Risiken die Unternehmensumwelt in den Fokus rücken. Die Ergebnisse der SWOT-Analyse helfen bei der Entwicklung strategischer Entscheidungen, der Identifizierung von Verbesserungspotenzialen, der Risikobewertung und der Ausnutzung von Wettbewerbsvorteilen.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Analyse wurden gemeinsam relevante Handlungsfelder des Christophorus-Werks identifiziert, in denen die Digitalisierung helfen kann, Stärken hervorzuheben, Schwächen zu vermindern und auf Chancen und Risiken reagieren zu können. Neben einer sicheren Infrastruktur und einer entsprechenden Ausstattung ergaben sich auch Felder wie „Digitale Dokumentation“ oder „Digitale Assistenz“. Diese Handlungsfelder der Digitalisierung tragen dazu bei, ein gemeinsames Verständnis zu schaffen, indem sie eine klare Struktur und einen Rah-

men schaffen, um die verschiedenen Aspekte und Dimensionen der Digitalisierung zu erfassen. Sie fördern die Zusammenarbeit, ermöglichen die Entwicklung gemeinsamer Ziele und verbessern die Kommunikation zwischen den Beteiligten. Dadurch wird die Digitalisierung zu einem gemeinsamen Anliegen, das von allen Parteien verstanden und unterstützt wird. Insbesondere das ganzheitliche Denken hinsichtlich der Digitalisierung war dem Christophorus-Werk wichtig, um zu vermeiden, dass die Digitalisierung auf rein technologische Aspekte reduziert wird.

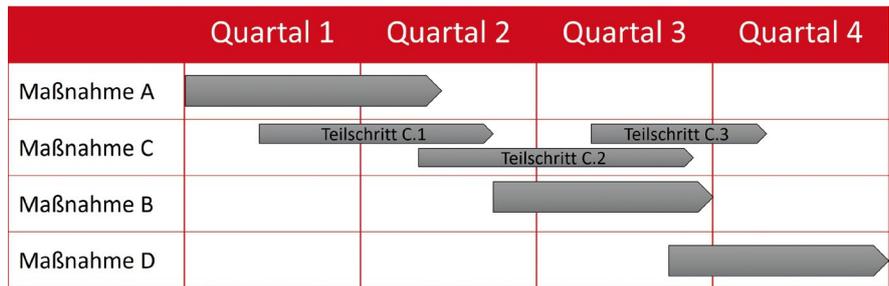
Innerhalb dieser Handlungsfelder erfasste das Christophorus-Werk anschließend die Bedarfe der unterschiedlichen Anspruchsgruppen und leitete konkrete Maßnahmen ab, welche die digitale Transformation maßgeblich vorantreiben sollen. Dabei konnten die Maßnahmen technologischer, organisatorischer, kultureller oder strategischer Natur sein.

Zudem sollten die Maßnahmen möglichst nach dem SMART-Prinzip festgehalten werden. Laut diesem Prinzip sollten Maßnahmen bzw. Ziele spezifisch, messbar, attraktiv, relevant und terminiert – kurz: SMART – formuliert werden. Um dies zu gewährleisten erarbeitete das Zentrum eine Vorlage zur Ableitung von konkreten Maßnahmen. Diese Vorlage beinhaltet das Vorhaben, die Zielgruppe, an die sich das Vorhaben richtet, den Nutzen bzw. Ziele, die sich aus dem Vorhaben ergeben, und notwendige Umsetzungsschritte. Außerdem werden die benötigten Ressour-



Bild 4

Vorlage für eine Maßnahme mit Erläuterungen



**Bild 5**  
Beispiel für einen Maßnahmenplan

cen (Budget, Personal, technische Infrastruktur) für jede Maßnahme festgehalten, um die Zuweisung von Zuständigkeiten für die Umsetzung der Maßnahmen sowie einen Zeitplan für die Umsetzung der Maßnahmen festhalten zu können, welcher Ressourcenverfügbarkeit und Abhängigkeiten berücksichtigt.

Bei der Bearbeitung einer solchen Vorlage, für die Erfassung von Maßnahmen, ist es wichtig zu beachten, dass die Vorlage an die spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten der Organisation angepasst werden sollte. Eine solche Vorlage dient als Leitfaden und strukturiert den Prozess der Maßnahmenableitung, um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden.

Die einzelnen Maßnahmen wurden anschließend in einen ganzheitlichen Maßnahmenplan übertragen, welcher die Maßnahmen in eine klare Struktur bringt und somit einen Fahrplan für die Umsetzung der Digitalisierungsstrategie vorgibt. Ein Maßnahmenplan als Teil der Digitalisierungsstrategie bietet eine sehr gute Möglichkeit für eine strukturierte, zielgerichtete und kontrollierte Umsetzung. Er trägt dazu bei, die Umsetzung effizient zu gestalten, Ressourcen optimal einzusetzen, den Fortschritt zu überwachen und den Erfolg der Digitalisierungsmaßnahmen zu messen.

Abschließend wurden die Handlungsfelder, der Maßnahmenplan sowie die detailliert ausformulierten Maßnahmen im Rahmen einer Digitalisierungsstrategie festgehalten, welche dem Christophorus-Werk als Fahrplan und Kontrollinstrument für die digitale Transformation in den kommenden Jahren dient.

### Nutzen für den Mittelstand

Das Projektbeispiel zeigt, dass auch Unternehmen oder Organisationen mit einem sehr vielfältigen Angebot und dem folgend sehr diversen Mitarbeitenden ein gemeinsames Verständnis für die Digitalisierung entwickeln und eine ganzheitliche Digitalisierungsstrategie für ihr Unternehmen entwickeln können.

Das dargelegte Vorgehen veranschaulicht, wie basierend auf der Analyse der Ausgangslage Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen für die digitale Transformationen abgeleitet werden können. An der hier dargestellten Vorlage für Maßnahmen (Bild 4) können sich Unternehmen orientieren, wenn auch sie strukturiert Maßnahmen ableiten wollen, welche die Digitalisierung vorantreiben.

### Autorin

**Dr. Levke Walten**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
am Institut für Marketing und  
Management (M2) der Leibniz  
Universität Hannover und  
Expertin für Marketing und  
Organisationsentwicklung im  
Mittelstand-Digital Zentrum  
Hannover

# Wettbewerbsfähig durch **Retrofit** alter Spindelpressen

Nils Doede

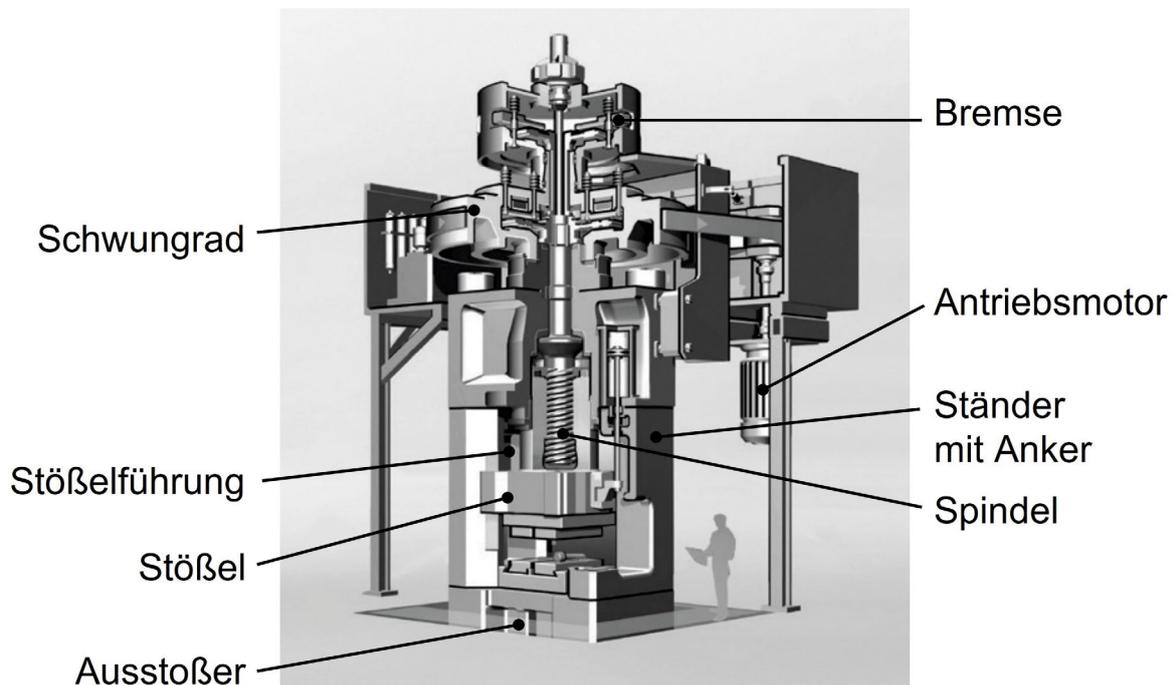


Bild 1 Schnittbild einer direktangetriebenen Spindelpresse

Ein elementarer Faktor zur Beeinflussung der Prozessqualität und des Energiebedarfs einer energiegebundenen Umformmaschine stellt das gespeicherte Arbeitsvermögen dar. Gegenwärtig erfolgt die Berechnung der Umformenergie über die Arbeitsenergie, die in das System eingebracht wird. Hierbei werden Faktoren wie die Spindelverdrehung oder Reibwiderstände nur überschlägig betrachtet.

Im Rahmen des durch die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) geförderten Forschungsprojekts „Entwicklung eines Nachrüstsystems für Reibspindelpressen zur Automatisierung und Minimierung der Einrichtzeit und Entwicklung eines Sensorarrays zur erstmaligen Erfassung elementarer Prozessgrößen wie der Umformkraft“ (AutoPress) streben das IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und die JOBOTEC GmbH eine automatisierte Prozessregelung von Spindelpressen an und liefern hierbei erste Erkenntnisse.

In der Umformtechnik lassen sich Pressen in Abhängigkeit von der Kraft- oder Energiebereitstellung in drei unterschiedliche Kategorien einteilen. Während bei einer kraftgebundenen oder einer weggebundenen Presse eine direkte Messung oder Berechnung der eingebrachten Kraft möglich ist, kann bei einer energiegebundenen Presse nur eine Abschätzung der Umformarbeit erfolgen. Das Wirkprinzip einer energiegebundenen Presse, zum Beispiel einer Spindelpresse, beruht darauf, dass das Arbeitsvermögen in einer rotierenden Masse gespeichert wird. Das gespeicherte Arbeitsvermögen kann durch Umwandlung der rotatorischen Bewegung in eine translatorische Bewegung in eine zum Umformen nutzbare Energieform gebracht werden. Dabei können zum Beispiel durch die Reibung der Spindel Prozessverluste auftreten, welche die exakte Bestimmung der eingebrachten Energie verhindern. Bild 1 zeigt eine direkt angetriebene Spindelpresse.

Gegenwärtig wird das in das System eingebrachte Arbeitsvermögen über die Masse und Winkelgeschwindigkeit des Schwungrades berechnet. Zusätzlich erfolgt eine Abschätzung der überschüssigen Energie durch Dehnmessstreifen in den Ankern der Standfüße. Durch die Umrechnung der rotatorischen Bewegung in eine translatorische Bewegung ergibt sich rechnerisch die verfügbare Nutzarbeit. Diese wird durch die Anwendung eines Reibwertes der tatsächlichen Nutzarbeit angenähert.

Da nur eine überschlägige Berechnung der Nutzarbeit möglich ist, wird in der Praxis der Einstellwert für das Arbeitsvermögen zu hoch eingestellt. Hierdurch kann die Prozesssicherheit gesteigert und der Ausschuss wegen nicht vollständiger Formfüllung reduziert werden. Daraus resultieren jedoch ein höherer Energieverbrauch und eine größere Pressenbelastung. Die vorangegangene Beschreibung zeigt den Zielkonflikt zwischen Prozesssicherheit und einer ressourcenschonenden Pressennutzung auf. Insofern sind eine vollständige Prozessüberwachung und anschließende Regelung sinnvolle Optimierungsansätze. Eine reale Prozessüberwachung ist auf Grundlage der zuvor erläuterten Berech-

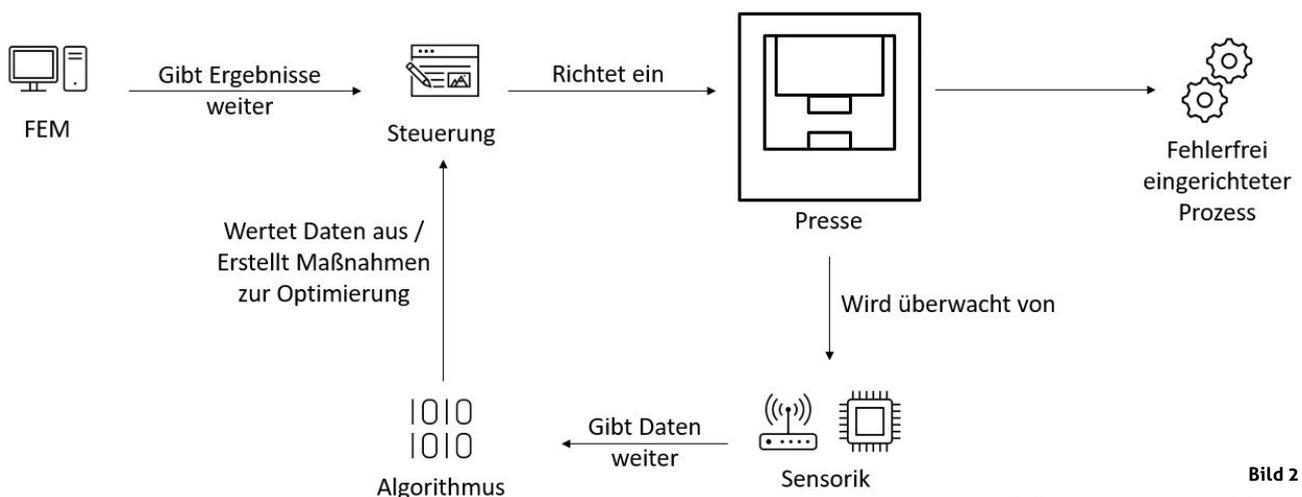
nungsmethode nicht möglich. So können zum Beispiel veränderte Temperaturen des Werkzeuges oder eine Abweichung des Reibwertes Abweichungen in der benötigten Energie bewirken. Zudem beschränkt sich die Prozessüberwachung einer alten Spindelpresse darauf, dass die Anzahl der Prellschläge gezählt wird.

Um die Wettbewerbsfähigkeit lokaler Schmieden zu erhalten, ist ein Retrofit alter Spindelpressen unerlässlich. Durch die sensorische Erfassung aller prozessrelevanter Parameter wie zum Beispiel Umformweg, Druckberührzeit oder der verfügbaren Nutzarbeit sollen sowohl der Pressenverschleiß als auch der benötigte Energieaufwand reduziert und im Laufe der Fertigung geregelt werden.

### Ansatz zur Prozessregelung und -überwachung von Spindelpressen

Neben dem Ziel der Prozessregelung zur Reduzierung der Pressenbelastung und des Energieverbrauchs wird auch ein vereinfachtes Einrichten innerhalb eines iterativen Tryout-Verfahrens angestrebt. Durch die umfängliche Integration von Sensorik und dem Übertrag der in einer Umformsimulation erstellten Prozessparameter auf den Realbetrieb soll die Zeit zum erstmaligen Einrichten eines neuen Werkzeuges deutlich reduziert werden. Bild 2 zeigt den Prozess des erstmaligen Einrichtens und einer Prozessregelung.

Der Projektablauf sieht vor, dass zunächst ein Sensorarray erarbeitet wird, welches alle relevanten Sensoren vereint. Diese werden anschließend in der am IPH befindlichen Spindelpresse verbaut, um eine Erforschung der Kausalitäten der Prozessparameter zu ermöglichen. Sind die Zusammenhänge der unterschiedlichen Parameter bekannt, folgt die Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus, welcher anhand von Datenmustern die Presse entsprechend der Anforderungen nachregelt. Das Ziel einer herstellerübergreifenden Nachrüstlösung wird durch die Betrachtung weiterer Spindelpressen gefördert und legt den Grundstein für eine anschließende Erstellung eines fertigen Prototyps.



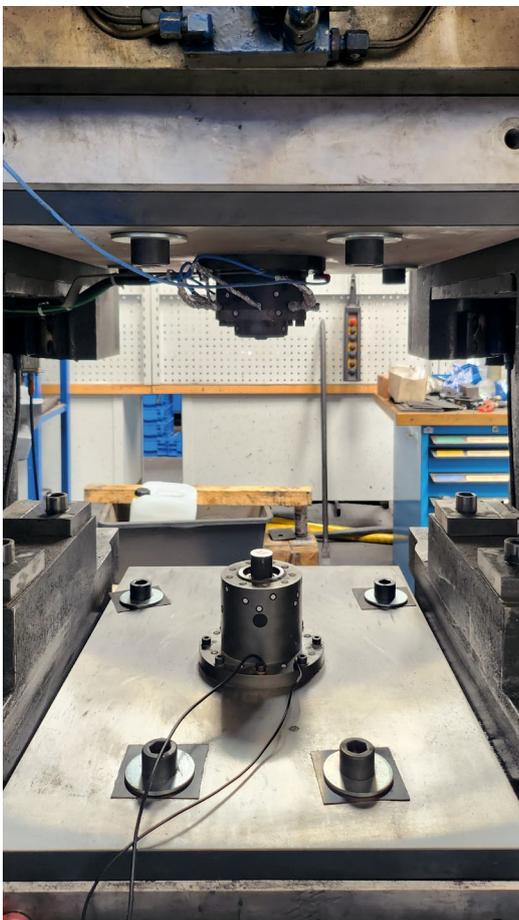
**Bild 2**  
Sollprozess zum automatisierten Einrichten und Regeln des Pressvorgangs

$$E_{Kin} = \frac{\omega_0^2 \times I_d}{2} + \frac{(m_S + m_W) \times v_0^2}{2}$$

$E_{Kin}$	in Nm	Kinetische Energie
$\omega_0$	in 1/s	Winkelgeschwindigkeit
$I_d$	in kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment
$m_S + m_W$	in kg	Masse
$v_0$	in m/s	Geschwindigkeit

**Bild 3**  
Kinetische Energie der Spindelpresse

**Bild 4**  
Presseninnenraum mit verbautem  
Werkzeug und Messsensorik



In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner wurden zunächst die relevanten Prozessparameter definiert. Dazu gehören unter anderem die Bauteiltemperatur, der Umformweg und die Nutzarbeit. Durch die Anbindung an die Speicherprogrammierbare Steuerung der gegenwärtigen Pressensteuerung kann unter anderem das Wegmesssignal der Spindelpresse abgegriffen werden. Einen weiteren auslesbaren Wert stellt die überschüssige Energie dar. Den Schwerpunkt der Forschung des Projekts stellt neben der Erstellung eines Algorithmus die Ermittlung der eingebrachten Nutzarbeit dar.

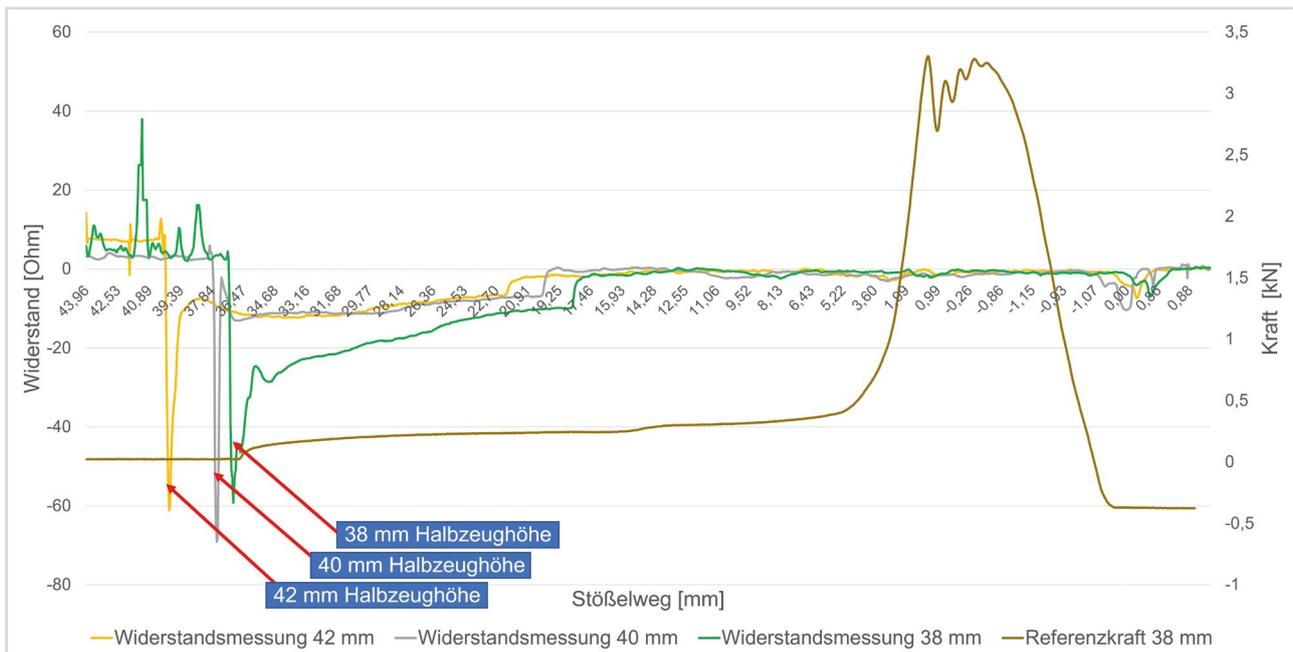
### Ermittlung der Nutzarbeit durch innovatives Sensorkonzept

Eine Herausforderung bei der Entwicklung eines Messsystems zur Messung der Umformkraft stellen die hohen Kräfte dar. So beträgt die Höchstkraft der am IPH befindlichen Spindelpresse 14.000 kN. Die direkte Messung der aufgebracht Kraft zur Korrelation mit den vorgegebenen Energiewerten ist möglich durch die Verwendung von Kraftaufnehmern. Diese messen einen elektrischen Widerstand, welcher sich unter Krafteinwirkung respektive einer elastischen Verformung verändert. Die Daten der kalibrierten Kraftaufnehmer lassen sich nun umrechnen, sodass eine Verformung und die dazu benötigte Kraft ausgewiesen werden können. Die Anwendung eines Kraftaufnehmers für einen dynamischen Belastungsfall und für einen begrenzten Bauraum ist in der Praxis nicht umsetzbar. Kraftaufnehmer für einen Messbereich bis 10.000 kN sind zu groß, um zusätzlich zu einem Werkzeug verbaut werden zu können. Ihr Durchmesser beträgt 750 mm und ihre Höhe 650 mm.

Als alternativen Ansatz zur Messung der in das System eingebrachten Kraft wird zunächst eine vereinfachte Energiebilanz aufgestellt. Die Umformenergie entspricht der kinetischen Energie abzüglich der Reibverluste und der überschüssigen Energie. Zur Berechnung der kinetischen Energie wird die in Bild 3 dargestellte Formel angewendet. Messbare Werte sind in der dargestellten Formel die Winkelgeschwindigkeit und Massenträgheit des Schwungrades und die Masse des Stempels inklusive des daran befestigten Werkzeuges. Unbekannt ist die exakte Geschwindigkeit vor dem Auftreffen.

Zur Ermittlung der Geschwindigkeit wird das bereits verbaute Wegmesssystem herangezogen. Als weitere Variable ist der Zeitpunkt unmittelbar vor der Umformung zu definieren. Sind beide Variablen bekannt, kann die Geschwindigkeit und daraus resultierend die Auftreffenergie bestimmt werden. Zur Bestimmung des Starts der Druckberührung wurde in den ersten Vorversuchen auf eine Widerstandsmessung innerhalb des Gesenkes zurückgegriffen. Durch die Isolation einer der Gesenhälften konnte das Obergesenk vom Untergesenk elektrisch entkoppelt werden (Bild 4).

Weiterhin werden zur Validierung der Widerstandsmessung Kraftmessdosen innerhalb des Obergesenkes verbaut. Die Kabel der Kraftmessdosen und die Schläuche der aktiven Druckluftkühlung lassen sich in Bild 4 am Obergesenk erkennen.



**Bild 5**  
Ergebnisse experimenteller Versuche für das Umformverhalten

Der Versuchsaufbau sieht vor, dass ein Zylinder mit einem 30 mm Durchmesser und einer Höhe von 40 mm entsprechend der Gesenkkontur umgeformt wird. Dabei beträgt die Halbzeughöhe etwa 1100 °C bei einem nicht vorgewärmten Gesenk. Die Ergebnisse der Widerstandsmessung bei einem Energiewert von 15 % lassen sich in Bild 5 erkennen.

Wie in Bild 5 erkennbar ist, zeigen die durchgeführten Widerstandsmessungen ein reproduzierbares Verhalten. Die Messwerte weisen drei evidente Bereiche auf, welche sich in Gegenüberstellung mit der verwendeten Kraftmessdose und der erstellten Umformsimulation begründen lassen. Werden die Verläufe der Kraftwerte (Sekundärachse) bei 38 mm Bauteilhöhe mit den Widerstandswerten verglichen, zeigt sich, dass zu Beginn der Umformung ein Ausschlag in den Widerstandswerten erkennbar ist. Dem gegenüber steht die sich aufbauende Kraft, welche sich anhand der Kraftwerte darstellt. Weiterhin kann auch das Öffnen des Gesenkes den Werten entnommen werden. Parallel zum Kraftabfall zeigen die Widerstandswerte einen kurzen Impuls an.

Ein weiterer wichtiger Parameter, der mithilfe der Widerstandsmessung detektiert werden kann, ist die Halbzeughöhe. Wie die ersten Vorversuche zeigen, ist eine qualitative Abschätzung der Halbzeughöhe über die variierenden Messauschläge zu Beginn möglich. Je früher die Berührung erfolgt, desto größer ist das Bauteil in der Regel. Ist der Zeitpunkt der ersten Druckberührung bekannt, kann im weiteren Schritt die Formel für die Auftreffenergie optimiert und effektiv angewendet werden. Darüber hinaus ist es geplant, einen Algorithmus zu programmieren, der für unterschiedlichste Gesenkformen Anwendung findet und zuverlässig die genaue Druckberührung ausgeben kann.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Im Rahmen des Projekts AutoPress wird ein innovatives Sensor-konzept zum Retrofit und einer Prozessregelung von Spindel-pressen erforscht. Dazu sind zunächst die relevanten Parameter zu bestimmen. Basierend auf der Sensorvorauswahl wurden erste Voruntersuchungen zur Ermittlung der Auftreffenergie durchgeführt. Diese zeigten vielversprechende Ergebnisse und bilden die Grundlage für weitere Forschungen.

Im weiteren Projektverlauf werden weitere Versuche zur Validierung der Sensoren durchgeführt. Anschließend erfolgt die Verknüpfung aller Daten und die Findung von Korrelationen. Auf Grundlage der Daten und Auswertungen kann anschließend ein Optimierungsalgorithmus zur Regelung der Prozessparameter programmiert werden.

**Autor**

**Nils Doede**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
am IPH - Institut für Integrierte  
Produktion Hannover gGmbH und  
Projektingenieur beim Mittel-  
stand-Digital Zentrum Hannover

# Multikriterielle Personaleinsatzplanung in der Produktion

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Dr.-Ing. Marcel Wichmann, Hendrik Voelker

**Für produzierende Unternehmen wird es unter den aktuellen Einflüssen zunehmend schwieriger eine valide Produktionsplanung durchzuführen. Insbesondere die Personaleinsatzplanung wird aufgrund des demografischen Wandels und Fachkräftemangels immer komplexer. Im Folgenden wird ein ganzheitlicher Ansatz beschrieben, der die Kriterien Personalkompetenz, -verfügbarkeit und Lernverhalten berücksichtigt.**

Aufgrund der dynamischen Auswirkungen eines zunehmend volatilen Umfelds globaler Märkte sowie steigender Anforderungen hinsichtlich der Produktindividualisierung stößt die aktuell starre Produktionsplanung an ihre Grenzen. Um anpassungsfähige und flexible Prozesse zu schaffen, müssen zukünftige Planungsmethoden in der Lage sein, die steigende Komplexität zu bewältigen. Zusätzlich müssen die Methoden innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens auf neue Ereignisse reagieren können. Aktuell werden zudem nur kurzfristige Entscheidungen und keine langfristigen Ziele berücksichtigt. Unbeachtet bleibt derzeit bei der Personaleinsatzplanung die Personalentwicklung, die Koordinierung der Anlernprozesse und die Erweiterung der Arbeitszeitsouveränität der Belegschaft.

Werden diese Aspekte berücksichtigt, besitzt die Personaleinsatzplanung das Potenzial, die Mitarbeiterzufriedenheit zu steigern und die Arbeitszeit im produzierenden Gewerbe zu flexibilisieren. In dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Grundlagenprojekt „Multikriterielle Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung der Robustheit von Produktionssystemen“ wird daher ein Ansatz entwickelt, der für die Planung die Kriterien Personalkompetenzen, Lernverhalten und Personalverfügbarkeit einbezieht. Bild 1 zeigt die Elemente, die diese Kriterien beschreiben. Im folgenden Abschnitt wird die Bedeutung der Elemente dargestellt.

**Tabelle 1**

Qualifikationsmatrix der Personalkompetenz von Mitarbeitenden

Beschreibung	Qualifikationsstufe
Bewusstsein	0
Neuling	1
Profi	2
Expert*in	3
Führende/r Expert*in	4

## Bewertung der Personalkompetenz

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden die personalbezogenen Einflussfaktoren mathematisch abbildbar gemacht. Die Personalkompetenz beschreibt dabei die Fertigkeit fachspezifischen Anforderungen gerecht zu werden. Um den Einfluss auf die Arbeitsleistung abzubilden, wird die Kennzahl „Performanz“ genutzt. Die Performanz beschreibt die Handlung sowie das Ergebnis einer Handlung und in der Folge die sichtbare Anwendung der Kompetenzen.

Für die Anwendung in der erforschten Methode können nur die objektiv zu bewertenden Kompetenzen



**Bild 1**  
Elemente der multikriteriellen Personaleinsatzplanung

betrachtet werden. Da die Motivation der Mitarbeitenden und die Legitimation eine Aufgabe durchführen zu dürfen von der subjektiven Wahrnehmung und der intrinsischen Einstellung abhängig sind, wird lediglich das „Können“ (Kompetenz eine fachspezifische Aufgabe erfüllen zu können) im Ansatz betrachtet.

Für die Ermittlung von Kompetenzausprägungen können Selbst- oder Fremdeinschätzungen vorgenommen werden. Aber auch eine Arbeitsprobe oder eine Leistungsmessung sind möglich. Die Kompetenz wird dabei in fünf Qualifikationsstufen beschrieben, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Somit ist es nun möglich die Kompetenz der Mitarbeitenden zu bewerten und in die Personalplanung mit einfließen zu lassen.

**Berücksichtigung des individuellen Lernverhaltens**

Das Lernverhalten beschreibt für diesen Ansatz die Fähigkeit, über einen definierten Zeitraum die eigenen Kompetenzen für eine fachspezifische Aufgabe durch Wiederholungen zu verbessern. Neben der Lernkurve wird auch eine Vergessenskurve berücksichtigt, die den Wissensverlust bei längerer Zeit, in der die Arbeitsaufgabe nicht durchgeführt wird, abbildet. In diesem Ansatz ist die Vergessenskurve gegenläufig zur Lernkurve und wird daher horizontal gespiegelt. Mit dieser mathematischen Beschreibung ist es möglich, die Personalkompetenzen der Mitarbeitenden auf Basis von durchgeführten Arbeiten anzupassen. Mit den neuen Personalkompetenzen kann anschließend eine neue Planung aufgestellt werden.

**Personalverfügbarkeit**

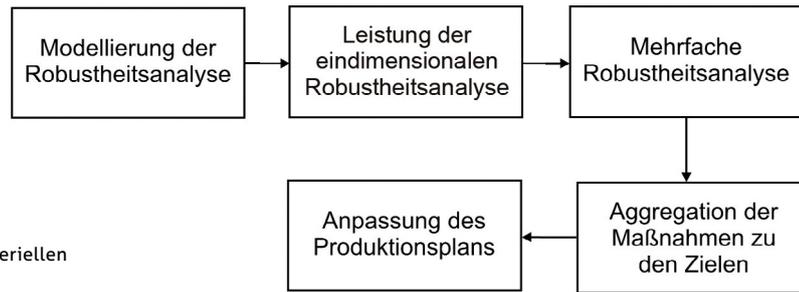
Neben der Personalkompetenz sowie dem Lernverhalten ist auch die Personalverfügbarkeit ein wichtiges Kriterium. Die Personalverfügbarkeit ist abhängig von dem eingesetzten Arbeitszeitmodell und kann je

nach Modell auch zu einer höheren Mitarbeiterzufriedenheit führen. Rechtlich ist die Arbeitszeit durch das Arbeitszeitgesetz (ArbZG), das Individualarbeitsrecht in Form von Arbeitsverträgen und das kollektive Arbeitsrecht in Form von Tarifverträgen und dem Tarifvertragsgesetz geregelt. Diese gesetzlichen Vorgaben werden als Restriktionen in dem Algorithmus zur Personalplanung hinterlegt. Sie begrenzen die Variation der Personalverfügbarkeit und des Besetzungsgrades.

Der Besetzungsgrad gibt an, wie das Verhältnis von Arbeitspersonen zu Arbeitsstationen ist. Die Reduktion der Verfügbarkeit durch Urlaub und Krankheit wird durch eine stochastische Variation der Anwesenheit von Beschäftigten eingeplant. Für die Implementierung werden Statistiken aus der Metall- und Elektroindustrie eingebunden. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Zeithorizonte kann neben der Arbeitszeitdauer auch die Variation der Arbeitszeitlage erfasst und verändert werden.

**Robuste Methode zur multikriteriellen Personaleinsatzplanung**

Dem Ansatz der multikriteriellen Personaleinsatzplanung stehen Bedenken gegenüber, da durch eine geänderte Fokussierung kurzfristig Produktivitätsziele verfehlt oder Prozessketten unterbrochen werden könnten. Aus diesem Grund wird in dem Forschungsprojekt die Robustheit des Fertigungssystems in der Planung beachtet. Es gibt jedoch bisher keine Methode, die standardisiert und für jedes Unternehmen übertragbar ist. Insbesondere gibt es keine Rückführung der Robustheitsergebnisse in die Planungsmethode, um die Verfolgung langfristiger Ziele zu erleichtern. In dem Forschungsprojekt wird die Robustheit als eine Eigenschaft definiert, die die maximale Abweichung vom Zielverhalten eines Fertigungssystems beschreibt, bei der es noch möglich ist, kurzfristige Produktionsziele zu erreichen.



**Bild 2**  
Ablaufdiagramm der multikriteriellen Personaleinsatzplanung

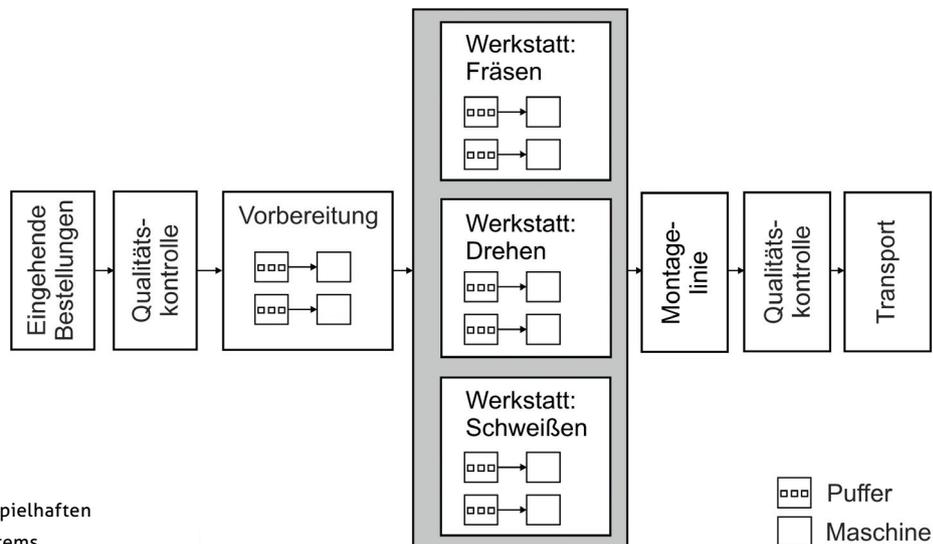
Im vorgestellten Ansatz werden sogenannte Robustheitsradien verwendet, um langfristige Ziele in die Produktionsplanung zu integrieren. Kurzfristige Ziele setzen Rahmenbedingungen für die Integration langfristiger Ziele. Hierfür wird der Einfluss der Kriterien auf die Fertigung untersucht. Vor jeder Planung wird daher eine multikriterielle Robustheitsanalyse durchgeführt, die anschließend von der Planung übernommen werden kann. Der Ablauf des neuen Ansatzes ist in Bild 2 dargestellt.

**Exemplarische Simulationsstudie**

Im Folgenden wird der neue Ansatz an einem konkreten Beispiel beschrieben. Hierfür wird ein prototypisches Modell einer Werkstattproduktion in der Umgebung Plant Simulation von Siemens AG aufgebaut. Das beispielhafte Produktionssystem besteht aus vier Werkstätten (einschließlich der Arbeitsvorbereitung), einer nachgeschalteten Montagelinie und vor- und nachgeschalteten Qualitätskontrollen. Das Layout ist in Bild 3 dargestellt. Insgesamt werden drei Auftragsvarianten erstellt. Die flexible Struktur des Systems wird durch eine variable Bearbeitungsfolge abgebildet. In jeder der Werkstätten sind zwei gleicharti-

ge Bearbeitungsstationen integriert. Das Ziel dieser Studie ist eine erste Validierung der Personaleinsatzplanung. Hierfür werden Kennzahlen folgender Elemente des Produktionssystems in der Machbarkeitsstudie überprüft: Die Werkstatt mit zwei gleichartigen Bearbeitungsstationen sowie ihre zugehörigen Puffer, die Montagelinie (mit einer Arbeitsstation), die Qualitätskontrollarbeitsstationen, die drei Auftragsvarianten und die flexiblen Bearbeitungsfolgen.

Für die Leistungskennzahlen werden die Ausgabe von Stückzahlen, der Bestand und die Vorlaufzeit identifiziert. Leistungskennzahlen wie das Leistungsniveau oder das Qualitätsniveau können auf diese Kennzahlen zurückgeführt werden. Die ausgewählten Kennzahlen können mit dem Zeitstempel der Ereignisse in der Simulation berechnet werden. Ein weiteres prototypisches langfristiges Ziel wird verwendet, um die Planungsmethode zu untersuchen. Als Anwendungsbeispiel werden die Möglichkeiten des Lernens am Arbeitsplatz untersucht. Das Lernen am Arbeitsplatz ist Teil des langfristigen Ziels der Weiterbildung. Wenn Mitarbeitende im Prozess geschult werden, führt dies zu längeren Bearbeitungszeiten. Diese werden als Störparameter für die Robustheitsanalyse ausgewählt.



**Bild 3**  
Aufbau des beispielhaften Produktionssystems

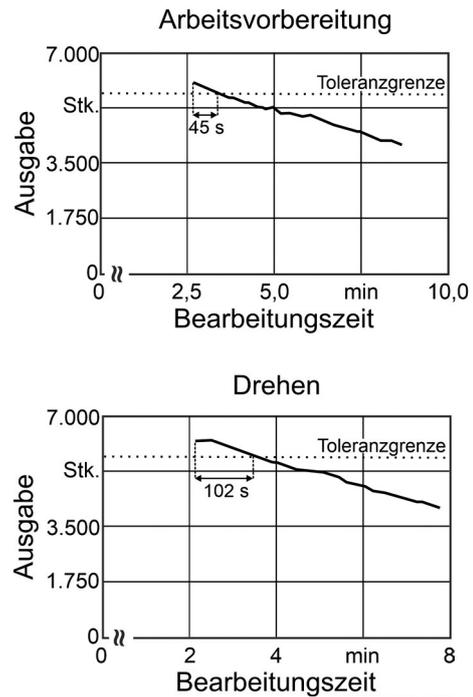
Bild 4 zeigt erste Ergebnisse der Robustheitsanalyse. Die Funktionen zeigen den Verlauf der Ausgabe von Stückzahlen als Funktion der betrachteten Bearbeitungszeit für zwei exemplarische Werkstätten. Sowohl für die Arbeitsvorbereitung als auch für das Drehen wurden über die Robustheitsanalyse die Zeiten identifiziert, die pro Station mehr benötigt werden dürfen, um noch das kurzfristige Ziel der Stückzahl zu erreichen. Für die Arbeitsvorbereitung beträgt diese 45 s und für das Drehen 102 s. Damit zeigt gerade die Arbeitsvorbereitung eine geringe Robustheit für das langfristige Ziel des Lernens auf. Aufgrund der geringen Robustheit können Mitarbeitende ohne Erfahrung dem Arbeitsplatz der Arbeitsvorbereitung nicht zugewiesen werden.

Im Vergleich zur Arbeitsvorbereitung können die Bearbeitungszeiten der anderen Werkstätten schwanken, ohne die Toleranzbereiche des kurzfristigen Leistungsindicators zu verlassen. Das System hat eine höhere Toleranz gegen Störungen an diesen Arbeitsplätzen und daher eine höhere Robustheit. Diese Toleranz kann für das langfristige Ziel der Mitarbeiterqualifikation genutzt werden. Langfristig verbessern die Mitarbeitenden ihre Leistung, kurzfristig erhöht ihr Einsatz die Bearbeitungszeit. Für die Übertragung in die Planung wird ein direkter Einfluss zwischen Leistungsniveau und Bearbeitungszeit angenommen. Wie lange ein/e Mitarbeiter\*in braucht, wird durch ihre/seine Leistung bestimmt. Bei einem niedrigeren Leistungsniveau wird sich somit die Bearbeitungszeit erhöhen.

**Fazit**

Zusammenfassend wurde in diesem Artikel ein Ansatz vorgestellt, um langfristige Ziele wie die Personalweiterbildung und -zufriedenheit in die Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren. Hiermit kann nun auf die wachsende Systemkomplexität und die dadurch entstehenden Umplanungen reagiert werden. Hierfür wird eine Robustheitsanalyse in die Planung integriert, um Kriterien wie das Lernverhalten und die Personalverfügbarkeit zu integrieren.

In der exemplarischen Studie konnte dies für eine vereinfachte Fertigung erfolgreich dargestellt werden. In Zukunft wird das Konzept der Planungsmethode weiterentwickelt und evaluiert. Hierfür werden evolutionäre Algorithmen, neuronale Netze und das Reinforcement Learning für die Optimierung validiert.



**Bild 4**  
 Funktionsabläufe der Ausgabe über die Bearbeitungszeiten der Werkstätten

**Autoren**

**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**  
 Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW),  
 Leibniz Universität Hannover

**Dr.-Ing. Marcel Wichmann**  
 Bereichsleiter  
 Produktionssysteme, IFW

**Hendrik Voelker**  
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFW

# Impressum

Schriftenreihe des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover  
Zukunft.Digital – Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung  
Ausgabe 01/2023

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 Datenver-  
arbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen Werkes  
oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© TEWISS – Technik und Wissen GmbH, Juli 2023  
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: TensorSpark/stock.adobe.com
- Seite 05, Seite 18 unten, 19, 34 – 37:  
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeug-  
maschinen (IFW)/Leibniz Universität Hannover
- Seite 06, 07, 28, 29:  
Mittelstand-Digital Zentrum Hannover
- Seite 10, Rückseite rechts oben:  
Tylwyth Eldar/commons.wikimedia.org
- Seite 11: Lower Impact GmbH
- Seite 12, 13, 22 – 25, 31 – 33, Rückseite rechts  
unten: IPH - Institut für Integrierte Produktion  
Hannover gGmbH
- Seite 14 – 17: Forschungszentrum L3S
- Seite 18 oben, Rückseite links:  
Nico Niemeyer/IFW Hannover
- Seite 20, 21, Rückseite rechts mittig:  
Tryfonov/stock.adobe.com
- Seite 26, 27: Christophorus-Werk Lingen e.V.
- Seite 30: SMS group

ISSN der Reihe Zukunft.Digital  
2941-3044

ISBN der gedruckten Ausgabe  
978-3-95900-833-4

ISBN der digitalen Ausgabe  
978-3-95900-834-1



Zukunft.Digital **online**  
digitalzentrum-hannover.de/downloads

