

Mit KI zu mehr

Ressourceneffizienz

Green-AI Hub Mittelstand: Learnings aus

KI-Pilotprojekten und Praxisbeispielen



Eine KI-Initiative des



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Koordiniert durch die



Zukunft
Umwelt
Gesellschaft

Überblick

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sind ein wichtiger Motor des Wirtschaftswachstums. Dieses Wachstum nachhaltig zu gestalten ist ein relevantes Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Dafür leisten immer mehr auch digitalen Technologien einen wertvollen Beitrag. Mit dem **Green-AI Hub Mittelstand** leistet das **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)** einen Beitrag dazu, dass Unternehmen moderne Lösungen für Künstliche Intelligenz (KI) nutzen. Denn der Einsatz von KI bietet ihnen neue Wege, die Ressourceneffizienz zu steigern. Durch eine effizientere Verwendung von Material und Energie können Treibhausgasemissionen reduziert und Kosten eingespart werden.

» Dieses Hintergrundpapier beleuchtet die grundlegenden Kernprinzipien von **Green AI** und zeigt auf, wie durch den gezielten Einsatz von KI-Technologien eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen in mittelständischen Betrieben ermöglicht werden kann. → [Kapitel 2 Grundlagen ressourceneffizienter Digitalisierung](#)

» Tauchen Sie ein in die Vielfalt von **Anwendungsfeldern**, in denen Unternehmen bereits erfolgreiche KI-Projekte umgesetzt haben. → [Kapitel 3 Anwendungsfelder für Green AI](#)

» Lernen Sie aus unseren **KI-Pilotprojekten** und ihre Effekte auf beteiligte Unternehmen und Industriezweige. Von der Einführung von Energieeffizienz-Tools bis hin zur Optimierung von Produktionsprozessen – die Vielfalt der umgesetzten Lösungen illustriert das Potenzial von Green AI für eine

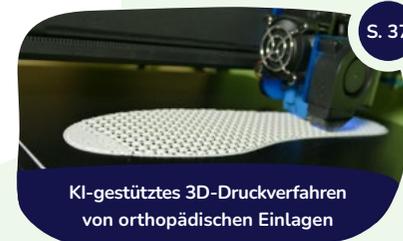
nachhaltige Wirtschaftsentwicklung. → [Kapitel 3 Anwendungsfelder für Green AI](#)

» Neugierig geworden? Finden Sie [hier Antworten](#) auf die Frage, mit wie viel (oder wenig) Aufwand Sie selbst Ihr erstes KI-Pilotprojekt umsetzen können.



Inhalt

1 Green-AI Hub Mittelstand	6
» Unsere Mission	
» Meilensteine der KI-Initiative	
» Unsere Angebote	
2 Grundlagen ressourceneffizienter Digitalisierung	12
» Digitale Transformation als Schlüssel zur Kreislaufwirtschaft	
» Künstliche Intelligenz	
» Chancen für mittelständische Unternehmen	
» Ressourcenschonende Gestaltung und Nutzung von KI	
» Handlungsempfehlungen für eine ganzheitliche KI-Betrachtung	
» Die Bedeutung von Open-Source-KI	
3 Anwendungsfelder für Green AI	19
» Erfolgsfaktoren für den KI-Einsatz	
» Optimierungspotenziale entlang der Wertschöpfungskette	
» Green-AI Hub Pilotprojekte	
» Nachgefragt: Lars Windels, SWMS	
4 Lessons Learned	43
Literatur	44
Impressum	45
Anhang	46



Grußworte



© ZUG / Hoffotografen

Liebe Leserinnen und Leser,

mit dem Green-AI Hub Mittelstand haben wir im Auftrag des Bundesumweltministeriums erfolgreich eine Initiative für Künstliche Intelligenz (KI) zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Mittelstand entwickelt und implementiert.

Die digitale Transformation ist längst im deutschen Mittelstand angekommen. Doch während Unternehmen verstärkt auf KI setzen, stellt sich die Frage, wie dieser Fortschritt auch im Einklang mit ökologischen Zielen erfolgen kann. Dazu werden nachhaltige KI-Anwendungen unter Berücksichtigung aktueller KI-Methoden vom Green-AI Hub Mittelstand aufbereitet und in Pilotprojekten direkt in Unternehmen gebracht.

Der Green-AI Hub Mittelstand unterstützt dabei die Unternehmen, dass sie KI so nutzen, dass sie nicht nur Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit steigern, sondern auch den ökologischen Fußabdruck minimieren. Die bereits erfolgreich abgeschlossenen Pilotprojekte bekräftigen diese Ausrichtung und bestätigen den Erfolg.

Wir haben in diesem Paper die Erkenntnisse und ausgewählte Pilotprojekte unserer Initiative für Sie aufbereitet. Wir wünschen Ihnen beim Lesen spannende Einblicke in die Welt nachhaltiger KI für mehr Ressourceneffizienz!

Dr. Constanze Haug

Geschäftsführerin der Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH

Liebe Leserinnen und Leser,

in einer Zeit, in der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit von entscheidender Bedeutung sind, hat sich der Green-AI Hub zum Ziel gesetzt, KMU und Mittelstand bei der Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) zur Ressourceneinsparung zu unterstützen. Unser Ansatz basiert auf der Überzeugung, dass KI nicht nur ein Werkzeug zur Effizienzsteigerung ist, sondern auch selbst effizient und sparsam eingesetzt werden sollte. Mit unseren KI-Pilotprojekten konnten wir eindrucksvoll demonstrieren, dass dieser Ansatz in der Praxis funktioniert. Es ist erfreulich zu sehen, dass KI im Mittelstand angekommen ist und durch unsere Projekte zunehmend als Instrument zur Ressourcenschonung wahrgenommen wird.

Eine zentrale Herausforderung ist nun die Frage, wie wir diese vielversprechenden Ergebnisse generalisieren und auf weitere Unternehmen übertragen können. Aus unseren Projekten haben wir wertvolles Wissen für die Umsetzung von KI in Unternehmen generiert und konnten ermitteln, welche KI-Technologien für spezifische Anwendungsfelder am besten geeignet sind. Ein besonders spannendes

Konzept, das wir verfolgen, ist die Cross-Innovation, also die Übertragung von KI-Lösungen von einer Branche auf eine andere. Dieser Ansatz ist gerade für den Mittelstand von großem Interesse, da hier Innovationen beispielsweise aus dem Produktionsbereich in den Dienstleistungssektor und umgekehrt übertragen werden können. Da nicht nur die aktuell viel diskutierten Sprachmodelle, sondern KI-Modelle im Allgemeinen sehr hohe Effizienzsteigerungsraten aufweisen, eröffnet sich ein immenses Potenzial für Material- und Ressourceneinsparungen.

Genau hier setzen wir als Green-AI Hub Mittelstand an: Gemeinsam mit KMU und KI-Entwickler*innen arbeiten wir daran, die Ressourceneffizienz im Mittelstand auf ein neues Niveau zu heben. Lassen Sie uns gemeinsam die Chancen der KI für eine nachhaltigere Zukunft nutzen!

Prof. Dr. Oliver Thomas

*Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz (DFKI),
Sprecher des Green-AI Hub Mittelstand*



© Aileen Rogge

1 Green-AI Hub Mittelstand

- » Unsere Mission
- » Meilensteine der KI-Initiative
- » Unsere Angebote

1 Green-AI Hub Mittelstand

Der Green-AI-Hub Mittelstand ist eine der vier KI-Initiativen des BMUV. Als Teil der KI-Strategie der Bundesregierung fördert das Umweltressort die nachhaltige Gestaltung von KI und die Nutzung ihrer Chancen zugunsten von Klima und Umwelt. Mehr unter [bmu.de/kuenstliche-intelligenz](https://www.bmu.de/kuenstliche-intelligenz).



KI-Leuchttürme für
Umwelt, Klima, Natur
und Ressourcen

Green-AI Hub
Mittelstand

KI-Ideenwerkstatt für
Umweltschutz

Anwendungslabor
für KI und Big Data
am Umweltbundesamt

Unsere Mission

Der Green-AI Hub Mittelstand ist Wegbereiter für die Nutzung von KI für Ressourceneffizienz und Materialeinsparung. Er richtet sich an mittelständische Unternehmen, insbesondere an KMU: praxisnah, lösungsorientiert und direkt vor Ort. Die KI-Initiative entwickelt und implementiert ressourcensparende KI-Technologien. Durch die Unterstützung KI-basierter Ansätze zur Optimierung von Produktentwicklung, Produktionsprozessen und Materialflüssen hilft der Green-AI Hub Mittelstand, Stoffkreisläufe zu schließen

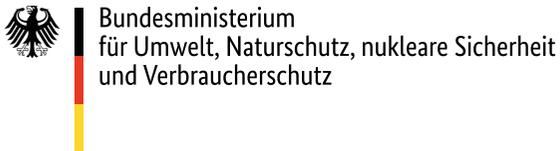
und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Damit leistet die Initiative einen Beitrag zur Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS).

Gemeinsam mit den Unternehmen werden praxisnahe KI-Anwendungen für verschiedene betriebliche Herausforderungen entwickelt, wie die Optimierung von Prozessen, Wareneinsatz oder die Wartung von Anlagen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Integration von KI in reale betriebliche Abläufe,

um nachhaltige Lösungen effizient zu testen und zu implementieren.

Die Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH setzt die Initiative administrativ und fachlich im Auftrag des BMUV um. Als Auftragnehmer*innen der ZUG übernehmen das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), das Wuppertal Institut und das VDI Technologiezentrum den Aufbau und den Betrieb des Green-AI Hub Mittelstand.

Eine KI-Initiative des



Koordiniert durch die



Umgesetzt durch



Meilensteine der KI-Initiative

Das BMUV startete den Green-AI Hub Mittelstand im März 2023. Seitdem wurden zahlreiche Workshops und Veranstaltungen abgehalten, um Wissen zu vermitteln und einen breiten Erfahrungsaustausch zu ermöglichen. Parallel dazu wurden [innovative Webtools](#) wie der Green-AI Hub Check und der Green-AI Hub Navigator entwickelt, um Unternehmen bei der Implementierung von Green AI zu unterstützen.

Ein Meilenstein war die Umsetzung der ersten KI-Pilotprojekte, die als Herzstück der Initiative fungieren und die praktische Umsetzung von KI für mehr

Ressourceneffizienz demonstrieren (à Kapitel 3). Auf dem Green-AI Hub Forum 2024 boten Verantwortliche der ersten zehn Pilotprojekte Einblicke in die Praxis der KI-Entwicklung und -Anwendung im Betrieb. Sie präsentierten, wie Unternehmen KI ressourcenschonend und gewinnbringend einsetzen können. Die Pilotprojekte dienen als wegweisende Beispiele für die Anwendung von umweltfreundlichen KI-Technologien im Mittelstand. Derzeit werden weitere Projekte durchgeführt.



Startschuss für das Green-AI Hub Mobil, © BMUV / Photothek GbR



Pilotprojekte beim Green-AI Hub Forum 2024, © BMUV / Photothek

Erfolgreich war der Start des Green-AI Hub Mobil. Mit ihm besuchen unsere Expert*innen bundesweit zahlreiche Veranstaltungen und Unternehmen. Die mobilen Demonstratoren an Bord des Mobils zeigen das Spektrum an Möglichkeiten von KI zum Einsatz in Produktion, Lagerung und Qualitätsmanagement für mehr Ressourceneffizienz.

Mit dem Green-AI Hub Mobil, den KI-Demonstratoren und Pilotprojekten war der Green-AI Hub Mittelstand auf zahlreichen Messen und Veranstaltungen vertreten. Die Fachleute der Initiative haben sich immer

wieder mit Vertreter*innen aus dem Mittelstand und der KI-Community zum Thema Green AI ausgetauscht und so das Thema weiter in die Breite getragen.

Auf green-ai-hub.de informieren wir regelmäßig über alle aktuellen Entwicklungen rund um den Green-AI Hub Mittelstand und seine Angebote (➔ [Unsere Angebote](#)). Über unsere Workshop-Plattform, den Newsletter und den LinkedIn-Kanal können Sie sich über neue Projekte, Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich Green AI auf dem Laufenden halten. Über Open-Source-Angebote werden erarbeitete KI-Lösungen anderen Unternehmen zur Verfügung gestellt.



Green-AI Hub Mittelstand auf der AI Conference 2024, © ZUG / Toni Kretschmer



Panel auf der Transfer Week Berlin Brandenburg 2024, © Konstantin Gastmann / Eventfotografen Berlin

Unsere Angebote

Green-AI Hub Pilotprojekte

Der zentrale Baustein der Initiative sind die KI-Pilotprojekte, die der Green-AI Hub Mittelstand gemeinsam mit KMU aus ganz Deutschland umsetzt. Über sechs Monate begleiten zwei KI-Expert*innen das jeweilige Unternehmen kostenlos, um KI-Lösungen für das Unternehmen zu entwickeln, zu implementieren und Ressourcen einzusparen.

Green-AI Hub Mobil

Mit dem Green-AI Hub Mobil bringen wir KI-Technologien zum Anfassen und Ausprobieren direkt zu KMU und auf Veranstaltungen in ganz Deutschland. Mobile KI-Demonstratoren zeigen, welche Potenziale KI für ressourceneffiziente Prozesse bietet.

Green-AI Hub Veranstaltungen

Mit dem Green-AI Hub Forum bieten wir ein regelmäßiges Konferenzformat, auf der sich KI-Praxisbeispiele vorstellen und Mittelständler, KI-Entwickler*innen und politische Vertreter*innen zusammenkommen und sich vernetzen und Trends im Bereich Green AI diskutieren. Unsere Onlineworkshops vermitteln Wissen rund um KI und Ressourceneffizienz.

Green-AI Hub Wissen

Über unsere Webseite, LinkedIn und Newsletter berichten wir regelmäßig über die Praxisanwendung von KI, teilen aktuelle Entwicklungen und informieren über unsere Angebote rund um nachhaltige digitale Technologien.

Green-AI Hub Tools

Unsere Tools bieten KMU kostenfreie Unterstützung: Der Green-AI Hub Check hilft KMU, den KI-Reifegrad des Unternehmens einzuschätzen. Der Green-AI Hub Navigator zeigt Potenziale von KI entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf.

Green-AI Hub Open Source

Für die weitere Verbreitung grüner KI-Technologien werden die im Rahmen der Pilotprojekte entwickelten KI-Lösungen und KI-Standardanwendungen sowie KI-Demonstratoren als Open-Source Modelle auf [GitHub](#) veröffentlicht und stehen weiteren Unternehmen kostenfrei zur Verfügung.



2 Grundlagen ressourceneffizienter Digitalisierung

- » Digitale Transformation als Schlüssel zur Kreislaufwirtschaft
- » Künstliche Intelligenz
- » Chancen für mittelständische Unternehmen
- » Ressourcenschonende Gestaltung und Nutzung von KI
- » Handlungsempfehlungen für eine ganzheitliche KI-Betrachtung
- » Die Bedeutung von Open-Source-KI

Digitale Transformation als Schlüssel zur Kreislaufwirtschaft

Die Integration von digitalen Technologien – insbesondere Künstlicher Intelligenz (KI) – bietet eine vielversprechende Perspektive für nachhaltige Innovationen - insbesondere im Hinblick auf einen effizienten Ressourceneinsatz.

Die lineare Wirtschaftsweise, in der Rohstoffe entnommen, Produkte hergestellt und nach Gebrauch entsorgt werden, stößt zunehmend an ihre Grenzen. Klimabedingte Veränderungen, wie häufigere Wetterextreme verdeutlichen die Notwendigkeit, bestehende Wirtschaftsstrukturen zu überdenken. Sowohl der Green Deal der Europäischen Union als auch das Klimaschutzgesetz der Bundesregierung formulieren klare Ziele. Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um mindestens 65 Prozent im Vergleich zu 1990 gesenkt werden. Bis spätestens 2045 strebt Deutschland die Treibhausgasneutralität an [1].

Die Kreislaufwirtschaft bietet einen vielversprechenden Ansatz, um diesen Zielen gerecht zu werden. Ihr Fokus liegt darauf, den Wert von Produkten, Maschinen und Anlagen nicht nur zu bewahren, sondern gezielt zu steigern. Mithilfe der sogenannten R-Strategien wird darauf abgezielt, Ressourcen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg optimal zu nutzen, ihre Lebensdauer zu verlängern und den Einsatz neuer Rohstoffe signifikant zu reduzieren. Die Kreislaufwirtschaft bietet einen vielversprechenden Ansatz, um diesen Zielen gerecht zu werden. Ihr Fokus liegt darauf, den Wert von Produkten, Maschinen und Anlagen nicht

nur zu bewahren, sondern gezielt zu steigern. Mithilfe der sogenannten R-Strategien wird darauf abgezielt, Ressourcen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg optimal zu nutzen, ihre Lebensdauer zu verlängern und den Einsatz neuer Rohstoffe signifikant zu reduzieren.

Für eine erfolgreiche Implementierung dieser Strategien ist eine belastbare Datengrundlage unerlässlich. Daten schaffen Transparenz über den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Ressourcen und ermöglichen es, fundierte Entscheidungen zu treffen. Durch gezielte Datenanalysen können Optimierungspotenziale in den Produktionsprozessen identifiziert, Abfallströme reduziert und die Ressourceneffizienz verbessert werden. Präzise Vorhersagen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle, insbesondere in Bezug auf die vorausschauende Planung und Wartung. Die R-Strategien wie Repair (Reparatur) oder Re-Use (Wiederverwendung) profitieren von datenbasierten Ansätzen, da sie helfen, Produkte und Geschäftsmodelle neu zu überdenken. Im Kontext von ReThink (Umdenken) können beispielsweise digitale Zwillinge und Datenanalysen genutzt werden, um alternative Nutzungskonzepte oder effizientere Designs zu entwickeln, die Ressourcen von Beginn an schonen. Gleichzeitig ermöglicht das Pilotprojekt „System 180“ im



R-Strategien in der Kreislaufwirtschaft © VDI Zentrum Ressourceneffizienz

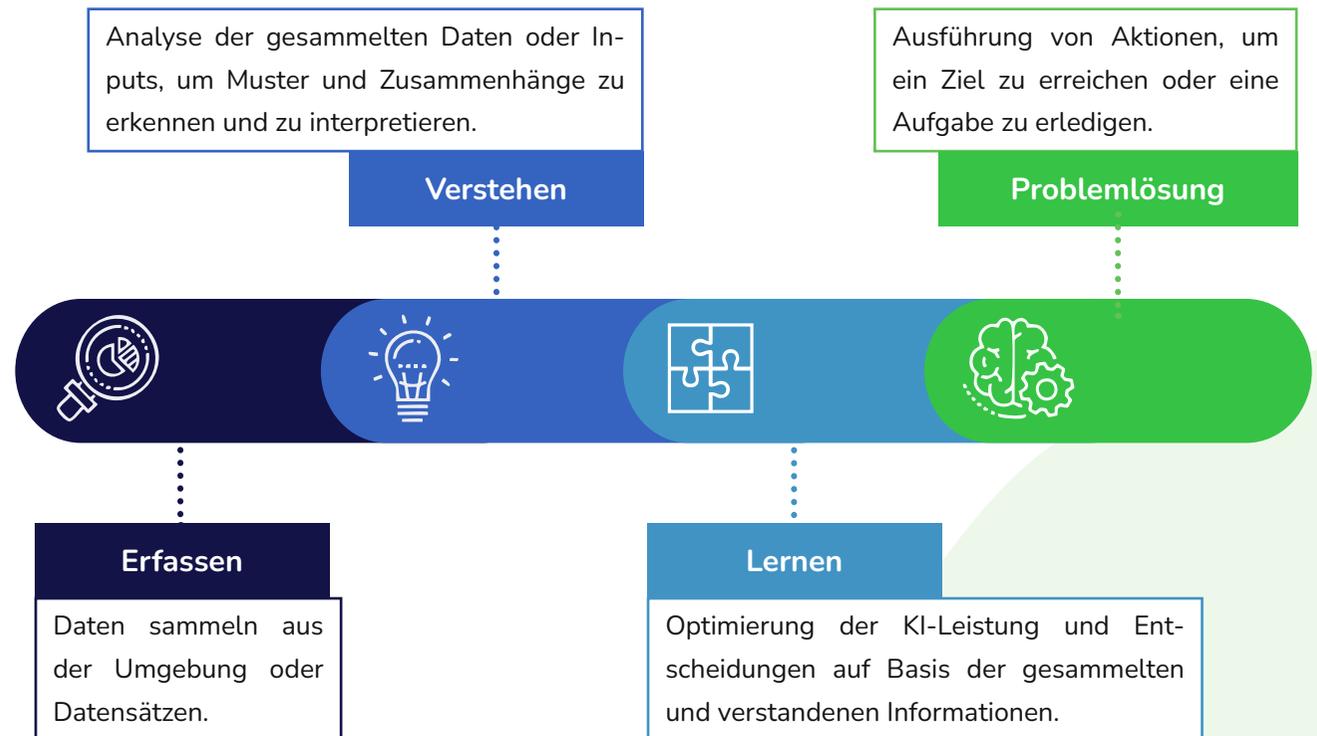
Rahmen von Re-Use die Rückführung modularer Bauteile durch die gezielte Analyse ihres Zustands und ihrer Wiederverwendbarkeit [2]. Präzise Vorhersagen können dabei eine wichtige Rolle spielen, insbesondere in Bezug auf die Planung und Optimierung industrieller Prozesse. Mithilfe von Echtzeit-Daten können diese flexibel gesteuert und optimiert werden. Dies zeigt sich beispielsweise im Pilotprojekt von SWMS, bei dem Echtzeitdaten genutzt werden, um wesentliche Druckparameter im 3D-Druckprozess zu überwachen und Fehldrucke frühzeitig zu erkennen (➔ [KI-Pilotprojekt SWMS](#)).

Künstliche Intelligenz

KI ist ein Bereich der Informatik und erweitert menschliche Fähigkeiten, indem sie lernt, Muster erkennt, Probleme löst und spezifische Aufgaben übernimmt – präzise, effizient und anpassungsfähig in verschiedensten Anwendungen.

Künstliche Intelligenz beschreibt Software, die in der Lage ist, komplexe Aufgaben eigenständig zu lösen. Dazu zählen Fähigkeiten wie das Lernen aus Erfahrungen, die Analyse und Lösung anspruchsvoller Probleme, die Interpretation von Sprache sowie das Treffen fundierter Entscheidungen. Im industriellen Kontext handelt es sich dabei in der Regel um spezialisierte KI-Systeme, die auf bestimmte Anwendungen ausgerichtet sind, im Gegensatz zu allgemein einsetzbaren KI-Lösungen.

Zentrale Konzepte im Bereich der KI sind maschinelles Lernen (ML) und Large Language Models (LLMs). Beim maschinellen Lernen liegt der Fokus auf Algorithmen, die Muster und Zusammenhänge in Daten erkennen und nutzen, um Vorhersagen zu treffen oder Entscheidungen zu ermöglichen. LLMs hingegen sind darauf spezialisiert, Texte zu generieren. Sie basieren auf großen neuronalen Netzwerken und werden mit umfangreichen Datensätzen trainiert, um die Struktur und den Stil menschlicher Sprache zu erlernen und nachzubilden.



Fähigkeiten der Künstlichen Intelligenz

Chancen für mittelständische Unternehmen

KI ermöglicht dem Mittelstand durch die Analyse großer Datenmengen, präzise Vorhersagen zu treffen, Prozesse zu automatisieren und so signifikante Effizienzsteigerungen im gesamten Betrieb zu realisieren.

Die Bedeutung der KI für den deutschen Mittelstand erstreckt sich weit über die Grenzen technologischer Innovation hinaus. Die Einführung von KI-Technologie erfolgt in erstem Schritt aus betrieblichen Gründen wie Zeitersparnis und Effizienzsteigerung im Produktionsablauf. Neben der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit nimmt KI auch eine transformative Rolle ein als Werkzeug für ein nachhaltiges Wirtschaften. Das ist besonders relevant vor dem Hintergrund von Gesetzen und Verordnungen, wie beispielsweise dem Lieferkettengesetz, der Batterieverordnung, oder der steigenden CO₂-Bepreisung.

KI kann dabei helfen den Ressourcenverbrauch zu optimieren, indem Prozesse effizienter gestaltet werden

oder Verschwendung reduziert wird. KI kann zudem genutzt werden, um die Transparenz in Lieferketten zu erhöhen. Dies geschieht beispielsweise durch die Aufdeckung potenzieller Engpässe oder Risiken in den Lieferketten, aber auch indem KI die Nachverfolgbarkeit einzelner Produkte unterstützt. Dabei spielt der digitale Produktpass eine große Rolle, welcher unter anderem in der Textilbranche (bis spätestens 2023) und Batteriebranche (ab Februar 2027) verpflichtend wird.

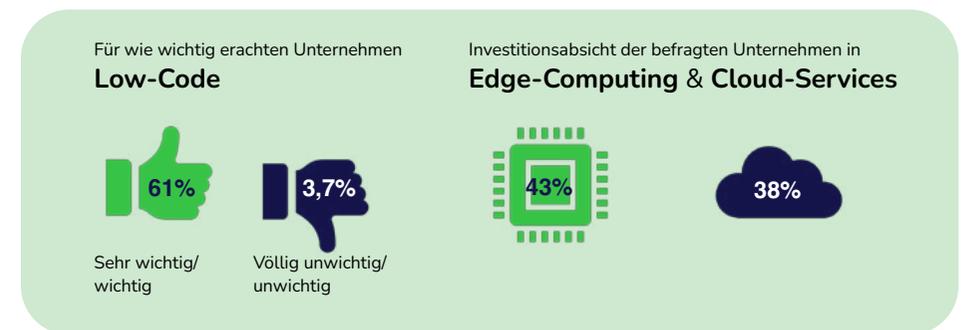
KI-basierte Design- und Entwicklungsprozesse ermöglichen eine nachhaltigere Produktgestaltung durch datengestützte Empfehlungen für Geometrieadjustierungen, die Materialverbrauch und Produktionsaufwand optimieren. Zudem unter-

stützt KI die Entwicklung langlebigerer Produkte, indem sie frühzeitig Schwachstellen identifiziert und Verbesserungsvorschläge liefert. Dies fördert einen effizienteren Ressourceneinsatz und reduziert den ökologischen Fußabdruck, wodurch eine ressourcenbewusste Produktentwicklung gestärkt wird.

Um diese Vorteile effektiv zu nutzen, müssen Unternehmensstrukturen flexibel und anpassungsfähig sein. KI erfordert Offenheit für organisatorische Veränderungen und schnelle Integration neuer Prozesse. Unterstützende Technologien wie Low-Code, Edge Computing und Cloud-Services erleichtern und beschleunigen die Einführung von KI, wodurch deren Nutzen maximiert wird. [5]

Personal	Prozesse	Geschäftsmodelle
<ul style="list-style-type: none">» Vermeidet menschliche Fehler» Liefert Expertenwissen, das man sonst nicht hätte» Beschäftigte können sich auf andere Aufgaben konzentrieren	<ul style="list-style-type: none">» Schnellere und präzisere Problemanalysen» Beschleunigt Prozesse» Reduziert den Ressourcenverbrauch» Spart Kosten	<ul style="list-style-type: none">» Stärkt die Wettbewerbsfähigkeit» Ermöglicht Verbesserungen von Produkten und Dienstleistungen» Ermöglicht völlig neue Produkte und Dienstleistungen

Vorteile von KI für Unternehmen [3, 4]



Relevanz von KI-Technologien für den Mittelstand [5]

Ressourcenschonende Gestaltung und Nutzung von KI

In einer Welt, die zunehmend von ökologischen Herausforderungen geprägt ist, eröffnet die Integration von KI-Lösungen eine vielversprechende Perspektive für umweltbewusstes Handeln. Ein wesentlicher Faktor dabei sind die Herausforderungen des hohen Energie- und Ressourcenverbrauchs der KI.

KI hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht und bietet vielversprechende Möglichkeiten, globale Herausforderungen in verschiedenen Bereichen effizienter und nachhaltiger zu bewältigen. Gleichzeitig ist dieser technologische Wandel mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch verbunden, der sorgfältig bewertet werden muss, um negative Umweltauswirkungen zu minimieren. Ein Beispiel ist der Stromverbrauch von Rechenzentren, die KI-Anwendungen betreiben und große Datenmengen verarbeiten. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) lag ihr Anteil am globalen Stromverbrauch 2022 zwischen 1 und 1,3 Prozent und wird bis 2026 voraussichtlich auf 1,5 bis 3 Prozent ansteigen [6].

Grüne KI

Angesichts des hohen Energie- und Ressourcenverbrauchs, der mit KI-Technologien verbunden ist, wird eine ressourcenschonende Gestaltung und Anwendung von KI also immer wichtiger. Ziel der Grünen KI (Green AI) ist es, durch optimierte Software, energieeffiziente Hardware und schlanke Datenprozesse den ökologischen Fußabdruck über alle Lebenszyklusphasen hinweg zu minimieren.

Eine ressourceneffiziente Entwicklung eines KI-Systems umfasst Maßnahmen wie die Reduktion redundanter Datenhaltung, den Einsatz von schlanken KI-Modellen und die Nutzung energieeffizienter Trainingsmethoden. Auch die Hardware spielt eine zentrale Rolle: Der Bezug energieeffizienter und zertifizierter Geräte sowie die Nutzung nachhaltiger Rechenzentren tragen dazu bei, den Energieverbrauch zu reduzieren. Ebenso wichtig ist die Berücksichtigung des Lebensendes der Hardware durch Recycling oder Wiederverwendung.

Grün durch KI

Grün durch KI hingegen fokussiert auf den Einsatz der Technologie zur Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit. Beispiele sind die Förderung der Ressourceneffizienz, die Reduktion von CO₂-Emissionen oder die Unterstützung der Kreislaufwirtschaft. KI-basierte Anwendungen können etwa durch optimierte Produktionsprozesse, längere Produktlebenszyklen und eine gesteigerte Produktqualität nachhaltige Vorteile schaffen und gleichzeitig ökonomische Mehrwerte bieten.

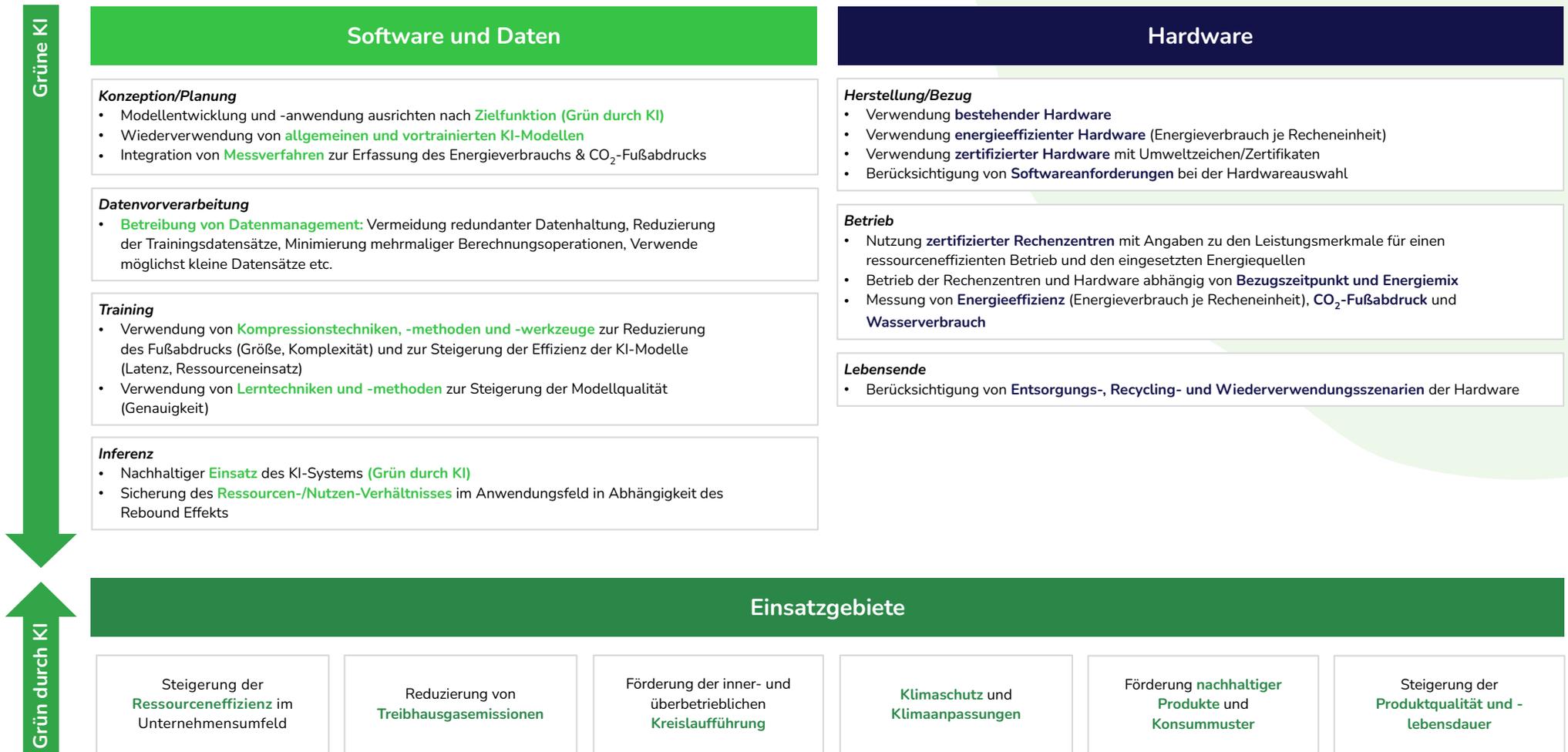
Rebound-Effekt

Effizienzsteigerungen durch KI können paradoxerweise zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch führen, dem sogenannten Rebound-Effekt. Um diesen Effekt zu minimieren, ist eine frühzeitige und ganzheitliche Planung erforderlich, die den Einsatz und die Auswirkungen der KI-Technologien sorgfältig abwägt.



© Pikatron GmbH

Handlungsempfehlungen für eine ganzheitliche KI-Betrachtung



Rebound-Effekt: Der Einsatz von KI-Technologien und die damit erzielten Effizienzgewinne können zu einem höheren Gesamtenergieverbrauch führen als vor Einführung der KI-Lösung.

Grüne KI und Grün durch KI: eine Definition

Die Bedeutung von Open-Source-KI

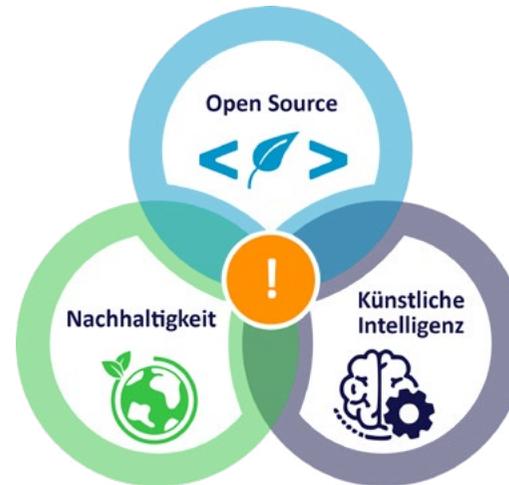
Open-Source-KI-Lösungen sind für den deutschen Mittelstand sehr relevant und berücksichtigen verschiedene Aspekte, die sich auch als entscheidend für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft mittelständischer Unternehmen zeigen.

Im Mittelpunkt stehen beim Open-Source-Konzept vier grundlegenden Freiheiten, die eine Software erfüllen muss, um als frei und offen zu gelten [7]:

- » **Zweckungebundene Nutzung:** unabhängig von Lizenz- oder geografischen Einschränkungen
- » **Einsicht und Analyse:** Quellcode kann ohne Geheimhaltung eingesehen und geprüft werden.
- » **Kostenfreie Weitergabe:** beliebige Vervielfältigung und Weiterverteilung möglich
- » **Anpassung und Verbesserung:** Modifikationen sind uneingeschränkt erlaubt und können geteilt werden.

Ein zentraler Punkt liegt dabei in der Kostenersparnis im Einsatz. Open-Source-KI-Lösungen bieten mittelständischen Unternehmen eine kostengünstige Alternative zu proprietären Systemen. [8] Durch den Zugriff auf diverse Open-Source-Frameworks und -Tools können KI-Anwendungen ohne hohe Lizenzgebühren entwickelt und implementiert werden.

Durch die Transparenz und Flexibilität des offenen Quellcodes von Open-Source-Plattformen erhalten Unternehmen detaillierte Einblicke in den Aufbau und die Funktionsweise von KI-Lösungen. Diese Offenheit ermöglicht nicht nur ein tieferes Verständnis, sondern auch



Nachhaltige KI durch Open Source: Ein integrativer Ansatz

gezielte Anpassungen, um die Lösungen exakt auf die eigenen Bedürfnisse zuzuschneiden. Mittelständische Unternehmen können ihre KI-Anwendungen somit flexibel an individuelle Geschäftsprozesse anpassen – ein Vorteil, der bei proprietären Lösungen oft fehlt. Einige Unternehmen äußern jedoch Bedenken hinsichtlich der Sicherheit des offenen Quellcodes, der Haftung und der langfristigen Verfügbarkeit von Open-Source-Lösungen. Hier bietet die globale Entwickler*innen-Community einen entscheidenden Vorteil: Sie sorgt durch regelmäßige Sicherheitsupdates und schnelle Behebung von Schwachstellen für eine kontinuierliche Weiter-

Green-AI Hub Open Source

Der Green-AI Hub Mittelstand stellt sämtliche KI-Anwendungen als Open Source auf GitHub bereit – einer Plattform für kollaborative Softwareentwicklung. Dort finden sich Codebasen, Tools und Ressourcen aus Pilotprojekten und anderen Lösungen, die Entwickler*innen für eigene Zwecke nutzen und anpassen können. [Mehr erfahren](#)

entwicklung und Verlässlichkeit. Gleichzeitig profitieren Unternehmen von schnellem Zugang zu neuen Funktionen und Innovationen, ohne vollständig auf interne Ressourcen angewiesen zu sein. Für den Mittelstand sind Zusammenarbeit und Wissensaustausch besonders wertvoll, da sie den Zugang zu Fachwissen und Ressourcen erleichtern.

Dass Open Source für Unternehmen attraktiv ist, belegen aktuelle Studien. Laut einer IDG-Studie setzen 50 Prozent der befragten Unternehmen Open-Source-KI-Modelle ein, und 28,3 Prozent nutzen bereits eine breite Palette solcher Lösungen [5]. Ergänzend zeigt der Open-Source-Monitor von Bitkom, dass 59 Prozent der Unternehmen Open-Source-Software innerhalb ihrer Organisation einsetzen, ohne den Quellcode anzupassen, während 34 Prozent den Quellcode individuell modifizieren [8].



3 Anwendungsfelder für Green AI

- » Erfolgsfaktoren für den KI-Einsatz
- » Optimierungspotenziale entlang der Wertschöpfungskette
- » Green-AI Hub Pilotprojekte
- » Nachgefragt: Lars Windels, SWMS



Erfolgsfaktoren für den KI-Einsatz

KI-Anwendungsfelder erstrecken sich über die gesamte Wertschöpfungskette und verschiedenste Branchen. Von der Wahrnehmung und Analyse über die Optimierung von Prozessen bis zur Generierung neuer Inhalte unterstützt KI die ressourcenschonende Gestaltung von Produkten, verschlankt Abläufe und senkt den Material- sowie Energieverbrauch.

Im Mittelstand eröffnen KI-Lösungen vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung und Automatisierung von Prozessen, die von der Bilderkennung und Sprachverarbeitung bis hin zu maschinellem Lernen, Predictive Analytics und Robotik reichen. Diese Technologien werden in verschiedenen Branchen eingesetzt, um spezifische Probleme zu lösen, Entscheidungsprozesse zu verbessern, Kosten zu reduzieren und Innovationen zu fördern. Dadurch können mittelständische Unternehmen nicht nur ihre Effizienz steigern, sondern auch neue Geschäftsmöglichkeiten erschließen und ihre Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig sichern.



Erfolgsfaktoren für die Anwendung von KI-Lösungen:

» **Skalierbarkeit & Anpassungsfähigkeit:** Bei entsprechender Nutzung bieten KI-Technologien nicht nur Lösungen für aktuelle Herausforderungen, sondern sind auch skalierbar und anpassbar an künftige Bedürfnisse mittelständischer Unternehmen.

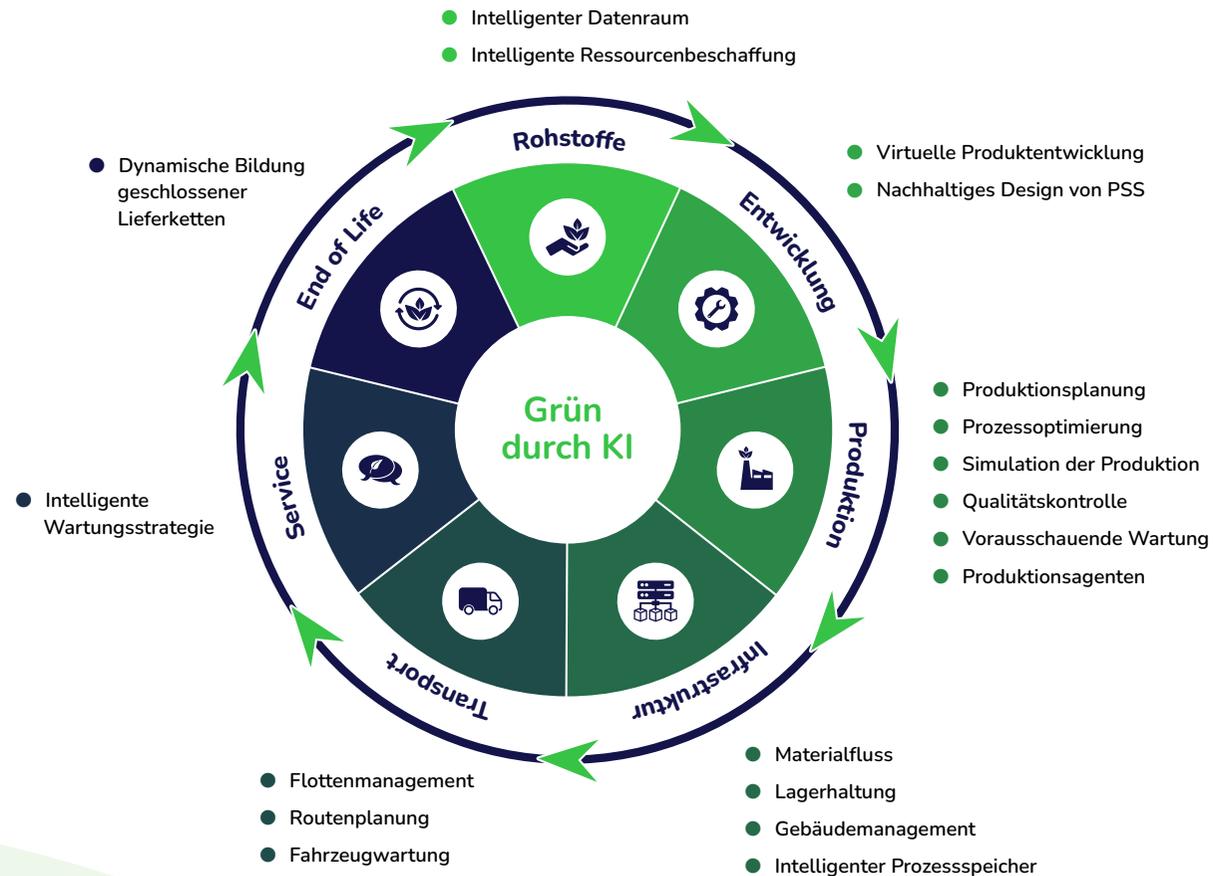
» **Kosten-Nutzen-Verhältnis:** Für mittelständische Unternehmen ist es besonders wichtig, dass die Investitionen in KI-Anwendungen einen klaren, messbaren Mehrwert bieten. Das bedeutet, dass die Implementierungs- und Betriebskosten im Verhältnis zu den erzielten Vorteilen stehen müssen wie z. B. Kosteneinsparungen, Effizienzsteigerungen.

» **Interoperabilität:** KI-Systeme müssen mit bestehenden Technologien im Unternehmen interagieren können (Soft- und Hardware). Interoperabilität erleichtert die Implementierung und reduziert den Aufwand für die Anpassung oder den Austausch bestehender Systeme.

Optimierungspotenziale entlang der Wertschöpfungskette

Die Grafik zeigt, wie Künstliche Intelligenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur Optimierung von Prozessen und zur Steigerung der Ressourceneffizienz beiträgt. Dabei wird deutlich, dass KI weit mehr ist als nur Anwendungen wie ChatGPT. KI-Technologien reichen von der Unterstützung bei Designentscheidungen über die Echtzeit-Optimierung von Produktionsprozessen bis hin zur Automatisierung von Wartungs- und Recyclingprozessen.

Bereits in der Rohstoffbeschaffung unterstützt KI nachhaltigere Entscheidungen durch intelligente Datenanalysen. In der Produktentwicklung ermöglichen generative KI-Modelle ressourcenschonende Designs, während Simulationen den Materialverbrauch minimieren. In der Produktion optimiert KI durch Prozesssimulationen, vorausschauende Wartung und Qualitätskontrolle die Effizienz und reduziert Ausschuss. Auch in der Infrastruktur zeigt sich das Potenzial: KI verbessert den Materialfluss, optimiert Lagerhaltung und steigert die Energieeffizienz von Gebäuden. Im Transportwesen ermöglicht KI eine präzisere Routenplanung und Flottensteuerung, wodurch der Kraftstoffverbrauch gesenkt wird. Schließlich trägt KI am Ende des Produktlebenszyklus zur Kreislaufwirtschaft bei, indem sie Recyclingprozesse optimiert und Wiederverwertungspotenziale maximiert.



Mit KI Ressourcen sparen – Anwendungsfelder im Überblick



Rohstoffe

Ein effizienter Umgang mit begrenzten Materialien ist essenziell für nachhaltige Lieferketten. KI optimiert die Ressourcennutzung durch intelligente Datenanalyse, automatisierte Beschaffung und digitale Plattformen, wodurch Materialkreisläufe gestärkt, Umweltbelastungen reduziert und Prozesse effizienter gestaltet werden.

Intelligente Datenräume

Intelligente Datenräume bilden die Grundlage für einen sicheren und vertrauensvollen Datenaustausch zwischen Unternehmen. Sie spielen eine zentrale Rolle im Lieferkettenmanagement und der Einhaltung rechtlicher Vorgaben, wie Lieferkettengesetzen oder digitalen Produktpässen. Unternehmen behalten dabei die Kontrolle über ihre Daten und können Zugriffsrechte flexibel gestalten. KI unterstützt beispielsweise bei der Validierung und Interpretation geteilter Daten oder beim Matchmaking auf digitalen Marktplätzen.

Intelligente Ressourcenbeschaffung

Die intelligente Ressourcenbeschaffung nutzt Technologien wie KI und Big Data, um Materialien, Dienstleistungen und Technologien gezielt zu identifizieren, bewerten und auszuwählen. Unternehmen können so ihre Beschaffungsprozesse strategisch optimieren und auf aktuelle Marktbedingungen reagieren.

Potenziale: Ein umfassender Austausch von Produkt-, Produktions- und Nutzungsdaten ermöglicht eine verbesserte Transparenz entlang der gesamten

Wertschöpfungskette. Durch die Nutzung intelligenter Datenräume und Ressourcenbeschaffungstechnologien können Unternehmen die Dokumentation von Lieferketten optimieren, was die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben zu Nachhaltigkeits- und Umweltschutzstandards erleichtert. Gleichzeitig wird die Integration der Lieferkette verbessert, wodurch sich Ineffizienzen reduzieren und Abläufe effizienter gestalten lassen.

Der Einsatz von KI ermöglicht es, relevante Daten automatisiert zu analysieren und spezifische Informationen, wie Demontage- oder Reparaturanleitungen, Materialeigenschaften oder Gefahrenhinweise, gezielt bereitzustellen. Dies unterstützt sowohl die Optimierung von Recycling- und Reparaturprozessen als auch eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen. Darüber hinaus bietet die intelligente Ressourcenbeschaffung präzisere Bewertungen von Lieferanten hinsichtlich ihrer Umwelt- und Sozialpraktiken, wodurch eine ressourcenschonendere und nachhaltigere Lieferkette gefördert wird.

KI-gestütztes Re-Use Szenario

Der Re-Use Demonstrator des Green-AI Hub Mittelstandes zeigt die KI-basierte Qualitätsprüfung eines gebrauchten Modell-LKWs, die die Grundlage für eine Entscheidung über die Wiederverwendung der Komponenten bildet. Im Rahmen der Shared Production ist sowohl die Wiederverwendung von Komponenten als auch der Neukauf von Bauteilen bei der Bestellung eines Modell-LKWs möglich. Dies ist ein Beispiel dafür, wie Wiederverwendungsdienstleister an einem Datenraum teilnehmen können. Alle Produkte können über Verwaltungsschalen identifiziert und angesprochen werden. So können Kunden bei der Konfiguration eines LKW einfach auf gebrauchte Komponenten von Re-Use-Anbietern zugreifen und Material, Energie und CO₂ einsparen. Jede wiederverwendbare Komponente enthält einen Produktpass, der Informationen über den aktuellen Zustand, die Nutzungshistorie und den CO₂-Fußabdruck enthält. [Mehr erfahren](#)



Entwicklung

In der Entwicklungsphase treffen Unternehmen Entscheidungen über neue Produkte, Dienstleistungen, Projekte oder Technologien. Die KI-Anwendungen eine entscheidende Rolle bei der Optimierung von Prozessen und der Schaffung nachhaltiger Lösungen und bilden die Grundlage für die Betrachtung aller weiteren Wertschöpfungsphasen.

Virtuelle Produktentwicklung

Die virtuelle Produktentwicklung nutzt KI, um den Entwurfs- und Entwicklungsprozess von Produkten und Komponenten zu optimieren. Durch den Einsatz von Algorithmen und Simulationen können Ingenieur*innen virtuelle Modelle erstellen und diese iterativ verbessern, ohne physische Prototypen herstellen zu müssen. Dies reduziert nicht nur den Material- und Energieverbrauch während des Entwicklungsprozesses, sondern ermöglicht es auch, Produkte mit optimierten Eigenschaften und Leistungsmerkmalen zu gestalten.

KI-gestützte Produktentwicklung: Nachhaltiges Design durch evolutionäre Algorithmen

IANUS Simulation GmbH und BBM Maschinenbau GmbH nutzten einen evolutionären Algorithmus, um den Rezyklatanteil in einem Fass für die chemische Industrie zu erhöhen. Der Algorithmus generierte und testete verschiedene Material- und Designvarianten, die nach dem Prinzip „Survival of the Fittest“ optimiert wurden. Dadurch konnte der Rezyklatanteil des Fasses auf 85 Prozent gesteigert werden, ohne die Festigkeit zu beeinträchtigen. Dieses Projekt zeigt, wie KI und Simulation die Nachhaltigkeit und Effizienz in der Produktentwicklung verbessern können. [Mehr erfahren](#)

Nachhaltiges Design von PSS

Die Gestaltungsphase ist entscheidend für den Lebenszyklus von Produkt-Service-Systemen (PSS), da hier die Weichen für den Ressourcenverbrauch gestellt werden. Informationen über den gesamten Lebenszyklus und Nutzungsweisen von Produkten können in diese Phase einfließen, um den Ressourcenverbrauch zu optimieren. Verschiedene „Design for X“-Strategien, wie Nutzungseffizienz oder Recyclingfähigkeit, können durch KI unterstützt werden. Dies erfordert differenzierte Daten über den Lebenszyklus, die beispielsweise durch digitale Produkt- und Prozesspässe bereitgestellt werden. Zusätzlich müssen zirkuläre Geschäftsmodelle entwickelt werden, um eine faire Ertragsverteilung entlang der Wertschöpfungskette zu gewährleisten.

Potenziale: KI ermöglicht die Optimierung von Material- und Energieverbrauch durch virtuelle Prototypen und 3D-Druckverfahren (→ [Pilotprojekt SWMS](#)), die physische Modelle überflüssig machen. Zudem unterstützt KI nachhaltiges Design durch „Design for X“-Strategien, wie Topologieoptimierung und generatives Design, was zu signifikanten Materialeinsparungen führt. Weiterhin beschleunigt KI Lebenszyklusanalysen und verbessert Recycling- und Reparierfähigkeit, wodurch die Nachhaltigkeit und Lebensdauer von Produkten deutlich erhöht werden.

KI-basiertes Recommender-System für das zirkuläre Bauen

Das Concular-Pilotprojekt gemeinsam mit Circular Structural Design aus Berlin setzt auf ein KI-gestütztes Empfehlungssystem zur Integration gebrauchter Bauteile in neue Gebäudeentwürfe. Die KI filtert das verfügbare Materialangebot gezielt für Bauingenieur*innen und schlägt passende Bauteile basierend auf Tragfähigkeit, Toleranzen und Anpassungsmöglichkeiten vor. Durch eine Gesamtgebäudebetrachtung optimiert das System die Anzahl der wiederverwendeten Bauteile und maximiert Ressourceneinsparungen. So ermöglicht die KI eine präzisere Planung und unterstützt eine effizientere Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. [Mehr erfahren](#)



Produktion

Der Baustein Produktion umfasst alle Prozesse zur Herstellung von Gütern. KI optimiert Abläufe, indem sie Qualitätsabweichungen früh erkennt und Ressourcen gezielt einsetzt. So lassen sich Ausschuss reduzieren, Energie sparen und Produktionskosten senken.

Produktionsplanung

Die Produktionsplanung steuert operative Fertigungsaufträge, indem sie Produkte und Mengen definiert sowie Materialien, Maschinen und Personal koordiniert. Sie stellt sicher, dass benötigte Ressourcen wie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe rechtzeitig verfügbar sind, und optimiert gleichzeitig die Auslastung von Kapazitäten. KI ermöglicht durch die Analyse von ERP-, APS- und MES-Daten eine präzisere Planung, reduziert Engpässe und steigert die Effizienz. Besonders in komplexen Branchen wie der Lebensmittelindustrie sorgt KI für optimierte Prozesse, die Flexibilität und Nachhaltigkeit fördern.

Prozessoptimierung

Unternehmen verfolgen in der Produktion drei zentrale Ziele: Wirtschaftlichkeit maximieren, Durchlaufzeiten minimieren und Qualitätsstandards einhalten. Produktionsprozesse in Industriebetrieben folgen standardisierten Methoden, um Rohstoffe effizient in verwertbare Güter zu verwandeln. Prozessoptimierungen adressieren diese Ziele, indem sie bestehende Abläufe analysieren und verbessern.

KI spielt dabei eine Schlüsselrolle. Sie verarbeitet große Datenmengen, identifiziert Optimierungspotenziale und unterstützt sowohl manuelle als auch technologische Anpassungen. So schafft KI die Grundlage für fundierte Entscheidungen und trägt zu einer ressourcenschonenden Produktion bei.

KI-gestützte Bedarfsprognose für Lebensmittelproduktion

Brammibal's Donuts und FoodTracks setzen in ihrem gemeinsamen Pilotprojekt auf neue Deep-Learning-Technologien zur präzisen Bedarfsprognose. Die KI analysiert Verkaufszahlen, Wetterdaten und weitere Faktoren, um Überproduktion und Lebensmittelverschwendung zu reduzieren. Durch die Kombination mit intelligenten Designschnittstellen wird das Vertrauen und Verständnis der Filialleiter*innen für die KI-Modelle gestärkt, sodass sie ihre täglichen Bestellungen effizienter steuern können **Mehr erfahren**

Potenziale: Die Kombination aus KI-gestützter Prozessoptimierung und Produktionsplanung eröffnet erhebliche Potenziale für Effizienz und Ressourcenschonung. Echtzeitanalysen ermöglichen dynamische Anpassungen, die Materialverschwendung reduzieren und Energie optimal einsetzen. Durch frühzeitige Anomalieerkennung lassen sich Ausschuss und Nachbearbeitungskosten senken. Gleichzeitig fördern präzisere Planungen die Termintreue und eröffnen Möglichkeiten für CO₂-arme Logistikkösungen. Insbesondere in Branchen mit hohen Anforderungen an Zeit und Ressourcen trägt KI zu einer flexiblen, nachhaltigen und wirtschaftlichen Produktion bei.



Simulation der Produktion

Simulationsmodelle spielen eine zentrale Rolle in der Optimierung von Produktionsprozessen, sowohl in der Planungsphase als auch im laufenden Betrieb. Sie erlauben "Was-wäre-wenn"-Analysen, mit denen Anpassungen an Produktionsparametern oder Abläufen simuliert und bewertet werden können. Von der Modellierung einzelner Abläufe bis hin zur Visualisierung komplexer Fabrikprozesse bieten Simulationsmodelle wertvolle Einblicke. KI unterstützt, indem sie Simulationen schneller erstellt, Datensätze analysiert und fundierte Erkenntnisse liefert. Simulationsmodelle reduzieren die Abhängigkeit von physischen Prototypen und machen Entwicklungsprozesse effizienter.

KI-gestützte Überwachung von Galvanikbädern

Der Demonstrator zeigt, wie KI und Sensorik galvanische Beschichtungsverfahren effizienter und ressourcenschonender gestalten. Durch die Echtzeitüberwachung von Parametern wie Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit werden Prozessabweichungen frühzeitig erkannt und Badzusammensetzungen automatisch angepasst. Dies reduziert Chemikalienverbrauch, minimiert Abfall und verbessert die Prozessstabilität. Die Open-Source-Architektur ermöglicht eine flexible Anpassung und Weiterentwicklung der Technologie für verschiedene Anwendungen in der Galvanik. [Mehr erfahren](#)

Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle sichert die Produktqualität durch präzise Soll-Ist-Vergleiche und die Erkennung von Abweichungen. Mithilfe von KI können Daten aus Bildverarbeitung und Sensorik in Echtzeit analysiert werden, um Fehler frühzeitig zu identifizieren. Betroffene Produkte werden automatisiert aussortiert oder zur Nachbearbeitung weitergeleitet. KI-gestützte Systeme ermöglichen nicht nur die Optimierung von Anlagenparametern, sondern liefern auch wichtige Einblicke, um künftige Fehler zu vermeiden. Dadurch wird der Ausschuss reduziert, die Produktionsqualität erhöht und die Ressourceneffizienz gesteigert. Voraussetzung hierfür ist eine hohe Datenqualität

KI-basierte optische Qualitätssicherung

Das Köstler-Pilotprojekt setzt KI zur automatisierten Qualitätsprüfung textiler Netze ein, die in Airbag-Scharnieren verwendet werden. Eine KI-gestützte Prüfstation analysiert die Materialien mithilfe von Bildverarbeitung und maschinellem Lernen, sortiert fehlerhafte Teile aus und reduziert so Ausschuss. Durch die kontinuierliche Überwachung erkennt die KI Fehlertrends frühzeitig, wodurch Korrekturen direkt in den Schneidprozess einfließen. Zusätzlich verringert sich der Bedarf an Prüfwerkzeugen um 50 Prozent, während Platz- und Energieverbrauch in der Produktion sinken. [Mehr erfahren](#)

sowie eine nahtlose Integration der Qualitätskontrolle mit Produktions- und Prozessdaten.

Potenziale: Simulationen reduzieren Entwicklungszeit, Kosten und Ressourcenverbrauch, indem physische Tests durch digitale Modelle ersetzt werden. Sie unterstützen die Optimierung von Abläufen durch Szenarienplanung und Datenanalyse. Die Qualitätskontrolle profitiert von KI durch präzise Fehlererkennung, geringeren Ausschuss und niedrigere Nachbearbeitungskosten. Zudem wird die Produktionszeit verkürzt, indem fehlerfreie Prozesse und optimierte Parameter etabliert werden.



Vorausschauende Wartung

Vorausschauende Wartung, auch bekannt als Predictive Maintenance, ist eine Methode der Instandhaltung von Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen, die darauf abzielt, Wartungen genau zum richtigen Zeitpunkt durchzuführen – weder zu früh noch zu spät. Anstatt Wartungen in festen Intervallen oder erst im Notfall bei Ausfällen durchzuführen, basiert Predictive Maintenance auf der kontinuierlichen Zustandsüberwachung (Condition Monitoring). Hierbei erfassen in die Anlagen integrierte Sensoren Daten wie Leistung, Temperatur, Auslastung und Akustik. Diese Daten werden analysiert, um den aktuellen Betriebszustand zu überwachen und bevorstehende Fehler frühzeitig zu erkennen. Algorithmen bewerten und klassifizieren diese Informationen, sodass Unternehmen rechtzeitig eingreifen können, um kritische Ereignisse zu vermeiden.

Produktionsagenten

Produktionsagenten unterstützen mit vielfältigen Aufgaben den Produktionsprozess. Je nach Tätigkeitsfeld werden Aufgaben wie z.B. die Montage, die Vorbereitung von Materialien oder Prozessschritten, die Bedienung und Reinigung von Maschinen und Anlagen, die Qualitätskontrolle, Transportarbeiten oder Sortier- und Verpackungsarbeiten durchgeführt. Die Interaktion zwischen Mensch und Technik findet über verschiedene Schnittstellen statt. Die KI kann Produktionsmitarbeitende auf verschiedene Weisen unterstützen. Beispielsweise liefern KI-basierte Assistenzsysteme

Vorausschauende Wartung mithilfe von Akustiksignalen

INDIA-DREUSICKE Berlin hat eine KI-basierte Lösung entwickelt, die mithilfe von Akustiksignalen den Zustand von Spritzgussmaschinen überwacht. Die Technologie ermöglicht eine vorausschauende Wartung, indem sie frühzeitig Anzeichen für mögliche Ausfälle erkennt und den optimalen Wartungszeitpunkt bestimmt. Dadurch werden ungeplante Stillstände minimiert, die Lebensdauer der Maschinen verlängert und Wartungskosten reduziert. Dies verbessert nicht nur die Effizienz der Maschinen, sondern sorgt auch für eine reibungslosere Produktion.

[Mehr erfahren](#)

den Produktionsmitarbeitenden bei Bedarf Informationen oder führen Aktionen auf Anfrage durch. Die KI-basierten Assistenzsysteme können Menschen bei der Aufgabenbearbeitung anleiten oder Aufgaben abnehmen, die der Mensch in einer solchen Quantität und Qualität nicht leisten könnte.

Potenziale: Durch die gezielte Planung von Wartungsarbeiten basierend auf tatsächlichem Verschleiß werden unnötige Wartungen vermieden, was den Ressourcenverbrauch für Ersatzteile und Materialien senkt. Zudem verlängert die frühzeitige Behebung potenzieller Probleme die Lebensdauer von Maschinen und

KI-basierte Prozessdatenanalyse in der Präzisionsrohrherstellung

Das MPG-Pilotprojekt setzt KI ein, um Qualitätsschwankungen und Ausschuss im Gießprozess zu reduzieren. KI-Modelle analysieren Maschinendaten, um optimale Einstellungen für Parameter wie Temperatur und Gießzeit zu bestimmen. Mithilfe statistischer Versuchsplanung und maschinellem Lernen werden Empfehlungen für Mitarbeitende generiert oder Maschinenparameter automatisch angepasst. Dadurch wird der Prozess stabiler, der Materialeinsatz effizienter und der Energieverbrauch gezielt gesteuert. Die Lösung gleicht Erfahrungsverluste durch Fachkräftemangel aus, senkt Produktionskosten und schafft eine Grundlage für nachhaltige, automatisierte Fertigungsprozesse. [Mehr erfahren](#)

Komponenten, da sie nur dann ersetzt werden, wenn es nötig ist. Dies reduziert Materialverbrauch und Kosten. Gleichzeitig minimiert die Vermeidung ungeplanter Ausfälle den Energie- und Arbeitsaufwand, da Produktionsunterbrechungen vermieden werden. KI-basierte Assistenzsysteme verbessern zudem die Aufgabebearbeitung, indem sie Fehler reduzieren und fundierte Entscheidungen ermöglichen. Dadurch werden Material, Energie, Zeit und Kosten gespart, während gleichzeitig die Qualität gesichert wird.



Infrastruktur

Der Baustein Infrastruktur umfasst alle unterstützenden Aktivitäten und Prozesse in Unternehmen. In diesem Fall bezieht sich die Infrastruktur auf Gebäudemanagement, Intralogistik und Materialfluss sowie die zugrundeliegende IT-Infrastruktur.

Materialfluss

Der Materialfluss beschreibt innerbetriebliche Prozesse, die sich auf die Bewegung von Gütern wie Rohstoffen und Bauteilen vom Wareneingang bis hin zur Verladung im Warenausgang beziehen. KI spielt eine entscheidende Rolle, wenn die Intralogistik komplex ist, etwa bei einer hohen Anzahl unterschiedlicher Güter oder dem Einsatz von Robotik und fahrerlosen Transportsystemen. Durch den Einsatz von KI lassen sich Energie sparen, Lagerflächen und Verpackungen reduzieren sowie Transportwege optimieren. Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration von KI sind gut aufbereitete Daten und eine robuste IT-Infrastruktur. Trotz mittlerer Verbreitung schrecken hohe Investitionskosten kleinere Unternehmen ab, doch benutzerfreundlichere Lösungen könnten dies ändern.

Lagerhaltung

KI revolutioniert die Lagerhaltung, indem sie Lagerbestände optimiert, Verluste reduziert und Lagerplatz effizient verwaltet. Sie analysiert historische Verkaufsdaten, erstellt präzise Nachfragevorhersagen und löst automatisch Bestellungen aus, sobald Bestände unter

ein definiertes Niveau fallen. Gleichzeitig unterstützt sie eine optimale Lagerplatznutzung, indem sie Faktoren wie Produktabmessungen und Nachfragehäufigkeiten analysiert, um den Lagerraum effizient zu gestalten. Zusätzlich optimiert KI die Lieferkettenprozesse, indem sie Lieferzeiten, Transportkosten und Lagerbestände berücksichtigt. Saisonale Trends und Nachfrageschwankungen werden ebenfalls erkannt, um Bestände flexibel anzupassen. Das führt zu geringeren Lagerhaltungskosten, verbesserter Ressourcenauslastung und minimiertem Ausschuss, was zu einer insgesamt effizienteren Logistik führt.

Potenziale: KI optimiert den Materialfluss, indem sie komplexe Logistikprozesse automatisiert und datenbasierte Entscheidungen trifft. Sie reduziert Transportwege, spart Energie und optimiert Lagerflächen. In der Lagerhaltung unterstützt KI durch präzise Nachfrageprognosen und die Überwachung von Lagerbeständen in Echtzeit, was Überbestände vermeidet und gleichzeitig Engpässe minimiert. Die Technologie optimiert die Lagerplatznutzung durch Analyse von Produktabmes-

sungen und Nachfragehäufigkeiten. Auch Lieferketten werden durch KI effizienter gestaltet, indem Lieferzeiten, Kosten und Bestände optimiert werden. Beide Bereiche profitieren von Kostensenkung, Ressourcenersparnis und einer nachhaltigeren Prozesssteuerung.

Vollautomatisches Warehouse-Management

Die Blechwarenfabrik Limburg GmbH, Hersteller von Stahlverpackungen, löste ihre logistischen Herausforderungen durch den Bau eines neuen Standorts und den Einsatz eines intelligenten fahrerlosen Transportsystems (FTS). Dieses System ersetzt Gabelstapler und manuelle Lager, indem es Rohmaterialien automatisch zu den Produktionslinien transportiert. Am Ende der Produktionslinien palettieren Roboter die Fertigwaren, die anschließend vom FTS zum Warenausgang oder ins Hochregallager gebracht werden. Dies optimiert den Materialfluss, reduziert Fehler und erhöht die Effizienz des Produktionsprozesses erheblich. [Mehr erfahren](#)

Gebäudemanagement

Das Gebäudemanagement im Unternehmen umfasst alle Aufgaben, die sich mit der Bewirtschaftung von Gebäuden beschäftigen. Dazu gehören unter anderem die Bereiche Energie- und Umweltmanagement, Temperaturmanagement, Sanitärtechnik sowie weitere infrastrukturelle Themen. Die zunehmende Digitalisierung und der Einsatz von KI bieten hierbei erhebliche Vorteile. KI kann insbesondere bei der intelligenten Gebäudesteuerung unterstützen, indem sie durch die Auswertung von Daten die Effizienz und Nachhaltigkeit von Gebäudemanagementprozessen verbessert.

Optimierung der Statikberechnung für Aluminiumdächer durch KI

Das Kalzip-Pilotprojekt nutzt KI, um statische Berechnungen für Aluminiumdächer effizienter zu gestalten. Ein KI-basierter Optimierer analysiert Konstruktionsdaten und schlägt automatisch optimale Parameter wie Trägerabstände und Materialdicke vor. Dadurch wird der Materialeinsatz reduziert, ohne die Stabilität zu beeinträchtigen. Die Berechnungen erfolgen ressourcenschonend und lassen sich schnell in bestehende Prozesse integrieren. Zudem erleichtert die Automatisierung die Arbeit der Statiker*innen und gleicht den Fachkräftemangel aus. [Mehr erfahren](#)

Intelligenter Prozessspeicher

Ein intelligenter Energieprozessspeicher ist ein fortschrittliches System zur Speicherung von elektrischer Energie, das KI und maschinelles Lernen nutzt, um den verfügbaren Strom effizient zu verteilen und den Eigenverbrauch zu optimieren. Diese Systeme sind in der Lage, die Stromerzeugung und den Stromverbrauch dynamisch auszugleichen, wodurch sie nicht nur zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen, sondern auch eine effiziente Nutzung von Energie innerhalb eines Betriebs oder Haushalts ermöglichen. Besonders in Zeiten stark schwankender Preise für erneuerbare Energien spielt der intelligente Prozessspeicher eine entscheidende Rolle.



Potenziale: KI-basierte Gebäudemanagementlösungen bieten vielfältige Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Kostensenkung. Durch intelligentes Energie- und Temperaturmanagement kann der Energieverbrauch in Gebäuden deutlich reduziert werden, indem Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage bedarfsorientiert gesteuert werden (→ [Pilotprojekt SWMS](#)). Außerdem ermöglicht die Analyse von Stromverbräuchen die Optimierung des Einkaufsverhaltens für Energie, beispielsweise durch die Nutzung günstigerer Zeitfenster oder die Reduzierung von Lastspitzen. Intelligente Energieprozessspeicher erhöhen den Eigenverbrauch von erneuerbaren Energien und senken die Abhängigkeit von externen Energiequellen. Sie verlängern durch optimiertes Lastmanagement die Lebensdauer der Batteriesysteme. Dies reduziert sowohl den Energie- als auch den Materialverbrauch.



Transport und Logistik

Der Baustein Transport und Logistik fokussiert den effizienten Fahrzeugeinsatz. KI verbessert Routenführung, optimiert die Auslastung und reduziert Leerfahrten, wodurch Energie eingespart wird. Zudem erkennt sie Verschleiß frühzeitig und optimiert Wartungsintervalle, um Ausfälle und Kosten zu senken.

Flottenmanagement

Das Anwendungsfeld Flottenmanagement umfasst die Planung, Steuerung und Optimierung des Einsatzes von Fahrzeugflotten. KI-basierte Systeme unterstützen dabei, Transportwege effizient zu koordinieren, die Auslastung der Fahrzeuge zu maximieren und den Energieverbrauch zu reduzieren – sowohl bei Verbrennern als auch bei Elektrofahrzeugen. Mithilfe von Echtzeitdaten können optimale Routen berechnet, Ladeflächen effizient genutzt und Fahrverhalten analysiert werden. Dies senkt Betriebskosten, reduziert CO₂-Emissionen und steigert die Ressourceneffizienz im Logistiksektor.

Routenplanung

KI-gestützte Routenplanung ermöglicht eine dynamische Anpassung an Verkehrslage, Wetter und Straßenbedingungen. Durch die Analyse von Echtzeitdaten berechnen die Systeme effizienteste Transportwege, optimieren Ladeflächen und reduzieren Fahrzeiten. Zudem reagieren sie auf unvorhergesehene Störungen wie Staus oder Straßensperrungen, indem sie alternative Routen in Echtzeit vorschlagen.

Potenziale: Durch die Kombination von KI-basiertem Flottenmanagement und Routenplanung ergeben sich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Effizienz im Transport- und Logistiksektor. KI-Systeme

ermöglichen eine bessere Auslastung der Fahrzeugkapazitäten, die Optimierung der Routen sowie eine präzise Anpassung an veränderte Bedingungen in Echtzeit. Dadurch werden der Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen deutlich gesenkt. Gleichzeitig tragen die intelligenten Systeme dazu bei, Leerfahrten zu vermeiden, Wartungskosten zu reduzieren und die Betriebskosten insgesamt zu senken. Zudem wird die Planungssicherheit erhöht, da die Systeme flexibel auf Veränderungen reagieren können. Insgesamt fördern KI-Lösungen im Flotten- und Routenmanagement eine ressourceneffiziente und zukunftsorientierte Logistik.

Lieferrouten und Disposition mit KI planen

Das GreenGate AG-Pilotprojekt entwickelt ein KI-gestütztes Entscheidungshilfesystem zur Optimierung der Verwendungsplanung und Routensteuerung von Elektrofahrzeugen. Mithilfe erklärbarer KI (XAI) und Unsicherheitsquantifizierung (UQ) werden Zusammenhänge zwischen Routenplanung, Fahrverhalten und Akkulebensdauer analysiert. Dies verbessert Dispositionsentscheidungen, reduziert Verzögerungen und verlängert die Fahrzeuglebensdauer. Die transparente Modellanalyse unterstützt eine effizientere Einsatzplanung, steigert die Prozesssicherheit und minimiert Wartungskosten. So ermöglicht das System umweltbewusste und wirtschaftliche Flottenstrategien für Versorgungsunternehmen. [Mehr erfahren](#)



Fahrzeugwartung

KI kann dabei helfen, den Zustand der Fahrzeuge in einer Flotte kontinuierlich zu überwachen, indem sie Sensordaten analysiert. Diese Daten umfassen eine Vielzahl von Parametern – z. B. Motortemperatur, Ölstand, Bremsverschleiß in Verbrennerfahrzeugen oder den Ladezustand und die Alterung der Batterie in Elektrofahrzeugen. Die kontinuierliche Analyse dieser Sensordaten durch KI-Systeme ermöglicht es, Probleme frühzeitig zu erkennen und prädiktive Wartung durchzuführen. Dabei kann die KI nicht nur auf bereits vorhandene Fehlermeldungen reagieren, sondern auch Muster und Abweichungen identifizieren, die auf zukünftige Defekte hindeuten. Beispielsweise kann ein unregelmäßiger Temperaturanstieg oder ein abweichender Energieverbrauch auf bevorstehende Probleme hinweisen. Zusätzlich optimiert KI die Wartungsplanung, indem sie individuelle Wartungspläne für jedes Fahrzeug erstellt, basierend auf dessen tatsächlichem Zustand und Betriebsbedingungen. Dadurch werden unnötige Inspektionen vermieden und die Lebensdauer der Fahrzeuge verlängert. Durch die Integration mit IoT-Technologien (Internet of Things) können Sensordaten in Echtzeit an eine zentrale Plattform gesendet werden, auf der KI-Algorithmen sofort Analysen durchführen. Dies ermöglicht eine vorausschauende Wartung nicht nur für einzelne Fahrzeuge, sondern für gesamte Flotten.

Potenziale: Der Einsatz von KI zur Fahrzeugwartung bietet zahlreiche Vorteile. Die frühzeitige Fehlererkennung ermöglicht es, kritische Abweichungen im Betrieb der Fahrzeuge zu identifizieren und rechtzeitig Wartungsmaßnahmen einzuleiten, bevor es zu kostspieligen Ausfällen kommt. Dies trägt dazu bei, die Wartungsplanung erheblich zu optimieren, da anstelle starrer Wartungsintervalle eine bedarfsgerechte Instandhaltung erfolgen kann. Zudem trägt KI dazu bei, die Lebensdauer der Fahrzeuge zu verlängern, indem sie Verschleiß minimiert und Defekte frühzeitig verhindert. Auch die Ersatzteilbeschaffung wird effizienter, da KI den zukünftigen Bedarf präzise vorhersagen kann. Dadurch lassen sich Lagerbestände optimieren, Engpässe vermeiden und unnötige Kosten reduzieren. Gleichzeitig wird durch die gezielte Nutzung von Ersatzteilen, Materialien und Energie ein nachhaltigerer Betrieb ermöglicht. Durch diese Kombination aus effizienter Planung, präziser Fehlererkennung und ressourcenschonender Wartung trägt KI maßgeblich dazu bei, Betriebskosten zu senken, Ausfallzeiten zu minimieren und die gesamte Flotteneffizienz zu steigern. Insbesondere in der Logistikbranche, wo Fahrzeugstillstände erhebliche wirtschaftliche Folgen haben können, bietet die KI-gestützte Wartung ein großes Potenzial für mehr Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Fahrzeugwartung bei der Stadtreinigung Hamburg

Die Stadtreinigung Hamburg setzt in Zusammenarbeit mit LUIS und der LUVIS AI GmbH auf ein KI-basiertes Monitoring-System zur Überwachung der Turbinen von Kehrfahrzeugen. Hierbei werden Beschleunigungssensoren eingesetzt, um den Zustand der Turbinen kontinuierlich zu überwachen und frühzeitig auf Unwuchten hinzuweisen. Diese Warnsignale ermöglichen eine rechtzeitige Reinigung oder Wartung, bevor es zu teuren Ausfällen kommt. Das System basiert auf einer Autoencoder-Technologie, die Abweichungen vom normalen Betriebszustand erkennt und diese klassifiziert. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung von Ausfallzeiten und einer Verlängerung der Lebensdauer der Turbinen. Die Kombination aus intelligenter Hardware und KI-gestützter Datenanalyse sorgt für eine kosteneffiziente und ressourcenschonende Wartungsstrategie. [Mehr erfahren](#)

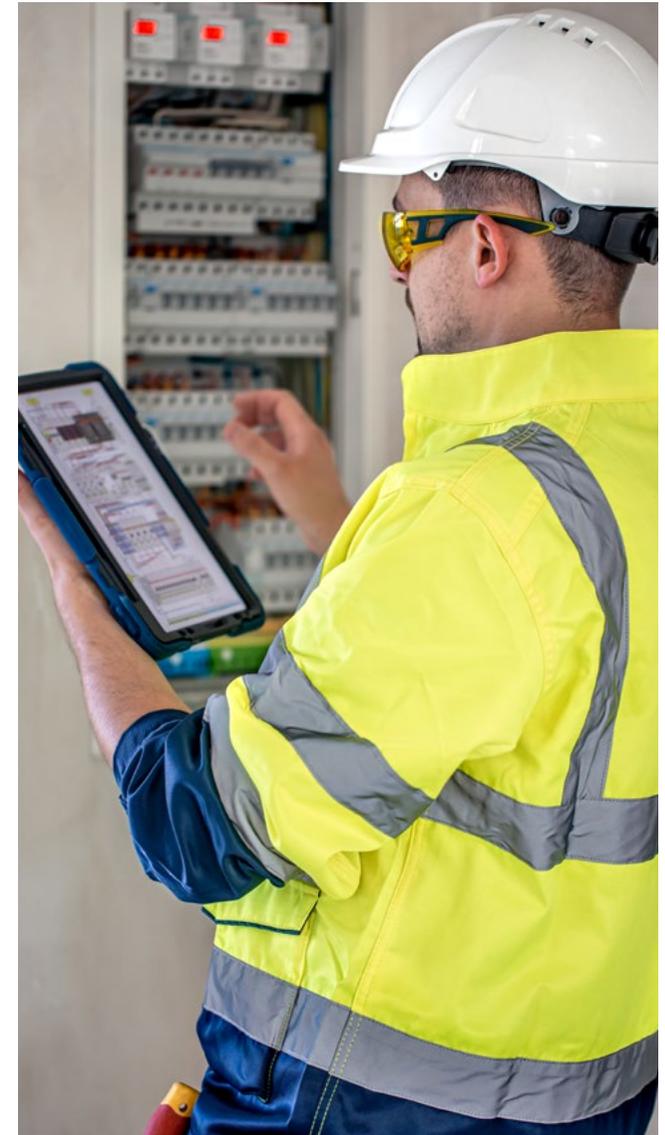
Der Baustein Service umfasst Aktivitäten zur Wertsteigerung von Produkten, wie Installation, Reparatur und Schulungen. KI-as-a-Service bietet Unternehmen eine kosteneffiziente Möglichkeit, KI ohne hohe Investitionen zu nutzen – meist als cloudbasierte, monatlich mietbare Lösung.

Intelligente Wartungsstrategie

Eine intelligente Wartungsstrategie umfasst die Nutzung von KI und Datenanalyse, um Wartungsprozesse in verschiedenen Branchen zu optimieren. Diese Strategien ermöglichen die kontinuierliche Überwachung von Geräten, Maschinen oder Infrastrukturen, sodass präventive Maßnahmen ergriffen werden können, bevor es zu Ausfällen kommt. Dabei spielen Technologien wie Predictive Maintenance, LLMs) und Augmented Reality (AR) eine entscheidende Rolle. AR-Technologien ermöglichen es Wartungstechnikern, komplexe Reparaturen durch visuelle Anleitungen und Echtzeitinformationen vor Ort durchzuführen. Dies verbessert die Genauigkeit der Wartungsarbeiten und verringert die Notwendigkeit für langwierige Schulungen.

Potenziale: Die Implementierung intelligenter Wartungsstrategien bietet eine Vielzahl von Vorteilen, die über die bloße Reduktion von Stillstandszeiten hinausgehen. Durch die präzise Vorhersage von Wartungsbedarfen minimiert Predictive Maintenance den Verschleiß von Maschinen und optimiert

den Einsatz von Ersatzteilen, was den Materialverbrauch erheblich reduziert und zur Nachhaltigkeit beiträgt. Zusätzlich senkt die Vermeidung ungeplanter Ausfälle die Betriebskosten erheblich, indem Wartungsbudgets besser geplant und unnötige Ausgaben vermieden werden. Die kontinuierliche Überwachung der Anlagen erhöht die Betriebssicherheit und schützt sowohl die Maschinen als auch die Mitarbeiter. Darüber hinaus fördert die zentrale Datenverwaltung eine reibungslose Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Abteilungen und externen Dienstleistern. Schließlich ermöglichen KI-gestützte Strategien die zentrale Überwachung und Steuerung von Anlagen an entfernten Standorten, was Vor-Ort-Besuche reduziert und die Effizienz der Wartungsteams steigert.





End Of Life

KI automatisiert die Identifikation und Verwaltung wiederverwendbarer Bauteile, optimiert Entscheidungsprozesse und reduziert Aufwände in Recycling- und Rückführungsprozessen. So lassen sich Bestände präziser erfassen, Material effizienter nutzen und geschlossene Lieferketten gezielt steuern.

Dynamische Bildung geschlossener Lieferketten

Ein Re-Use Datenraum bezieht sich auf die Wiederverwendung von Daten und Informationen in einem spezifischen Kontext oder Bereich. Hier werden Datenräume geschaffen, die es verschiedenen Nutzenden ermöglichen, auf bereits vorhandene Daten zuzugreifen, sie zu analysieren und für ihre eigenen Zwecke zu nutzen. Durch die Wiederverwendung von Daten können Unternehmen Ressourcen sparen und die Effizienz ihrer Datenanalyseprozesse erhöhen. Dieses Konzept umfasst oft die Entwicklung von Plattformen oder Tools, die den Zugriff auf Daten erleichtern und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Nutzenden fördern. Der Fokus liegt darauf, vorhandene Daten bestmöglich zu nutzen, um Innovationen voranzutreiben und Mehrwert zu schaffen.

Potenziale: Der Einsatz von KI zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft bietet großes Potenzial, um geschlossene Lieferketten effizienter zu gestalten. KI-gestützte Systeme können Materialien und Bauteile präzise identifizieren, ihre Wiederverwendbarkeit bewerten und den Recyclingprozess optimieren.

Durch intelligente Datenverarbeitung lassen sich Materialströme gezielt steuern, was Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette schafft und die Rückführung von Komponenten erleichtert.

KI-gestützte Objekterkennung zur Rückführung von Produkten in den Kreislauf

Das System 180-Pilotprojekt entwickelt eine KI-gestützte Lösung zur digitalen Erfassung und Verwaltung modularer Möbelbauteile. Mithilfe von Computer Vision und einem Digitalen Produktpass werden Bauteile automatisch identifiziert, ihr Zustand bewertet und in einer zentralen Datenbank katalogisiert. Dies erleichtert die Rückführung und Wiederverwendung von Komponenten, reduziert Materialeinsatz und optimiert Produktions- sowie Serviceprozesse. Die KI-basierte Bestandsaufnahme ersetzt manuelle Erfassungen, senkt Fehlerquoten und ermöglicht eine effizientere Kreislaufwirtschaft im Möbelbau.

[Mehr erfahren](#)



Green-AI Hub Pilotprojekte

Um das Potenzial von KI für Ressourceneffizienz greifbar zu machen, setzt der Green-AI Hub Mittelstand auf praxisnahe Pilotprojekte. Diese ermöglichen es Unternehmen, KI-Anwendungen direkt in ihren Betriebsabläufen ein- und umzusetzen. Dabei werden branchenspezifische Herausforderungen adressiert – von der Optimierung von Bestell- und Produktionsprozessen über die vorausschauende Wartung bis hin zur intelligenten Qualitätskontrolle.

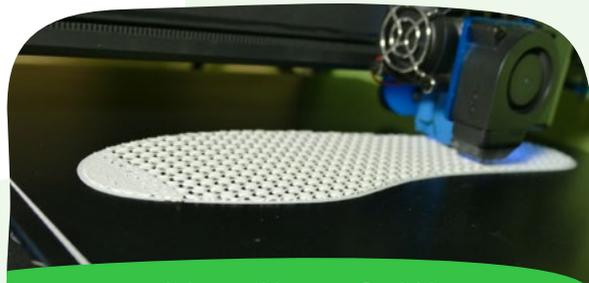
Die Pilotprojekte sind ein entscheidender Schritt, um KI von der Theorie in die Praxis zu überführen und deren konkrete Effekte auf Materialeinsparung und Prozessoptimierung zu erfassen. Gleichzeitig liefern sie wertvolle Erkenntnisse darüber, wie Unternehmen KI-Lösungen erfolgreich einführen und weiterentwickeln können. Durch die Veröffentlichung ausgewählter Ergebnisse als Open-Source-Lösungen soll zudem der Wissenstransfer gefördert werden. Die ersten Projekte haben gezeigt: Durch den KI-Einsatz sparen die Unternehmen tatsächlich signifikant Materialien und Ressourcen ein bzw. können lebenszyklusweite Ressourceneffizienzpotenziale gehoben werden.

Eine Übersicht aller bisherigen Projekte ist hier verfügbar: www.green-ai-hub.de



Kübler GmbH

KI-basierte Konfiguration von Heizungsanlagen
Gebäudemanagement



Johann-Herges GmbH

KI-gestütztes 3D-Druckverfahren von orth. Einlagen
Virtuelle Produktentwicklung



4Packaging GmbH

KI-basierte Qualitätsbestimmung für Tiefdruckzylinder
Qualitätskontrolle



SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft

Qualitätsüberwachung in der Additiven Fertigung
Qualitätskontrolle



INTEX

Expertensystem für ein zirkuläres Textildesign
Virtuelle Produktentwicklung

Vorgehensweise bei den Pilotprojekten

Nach einer erfolgreichen Bewerbung erhalten Unternehmen im Green-AI Hub Mittelstand die einmalige Chance, innerhalb von sechs Monaten einen innovativen KI-Anwendungsfall in ihrer Branche zu realisieren. Zusätzlich wird eine zweimonatige Anbahnungsphase eingeplant, um die spezifischen Bedarfe des Unternehmens zu analysieren, die Projektziele zu definieren und die technische Machbarkeit zu prüfen.

Egal ob in der Lebensmittelproduktion, im Maschinenbau oder im Baugewerbe – das Programm ist für alle Branchen offen und bietet maßgeschneiderte Lösungen für individuelle Herausforderungen. Gemeinsam mit Expert*innen des Green-AI Hub Mittelstand entwickeln die teilnehmenden Unternehmen praxisnahe KI-Lösungen, die gezielt auf ihre betrieblichen Bedürfnisse abgestimmt sind. Vom ersten Beratungsgespräch bis hin zur erfolgreichen Umsetzung und Veröffentlichung arbeiten die Unternehmen Hand in Hand mit den Entwickler*innen des DFKI. Die entwickelten Lösungen werden direkt in der realen Produktionsumgebung getestet, wodurch echte Mehrwerte und sichtbare Erfolge erzielt werden.

Ziele der Pilotprojekte sind:

- » Den CO₂-Fußabdruck und Materialfußabdruck entlang der Wertschöpfungskette zu mindern.
- » Die Gestaltung der KI-Lösung selbst ressourcenschonend zu realisieren.
- » Die Übertragung der technischen Lösung auf weitere Branchen, insbesondere durch die Bereitstellung der KI-Lösungen als Open-Source-Code auf GitHub.



Anwendungsfall

Gemeinsame Erhebung von Anwendungsfällen für den Einsatz von KI zur Einsparung von Ressourcen

Konzeptionierung

Entwurf spezifischer KI-Konzepte für die Umsetzung des Prototypen basierend auf der verfügbaren Datengrundlage

Datengrundlage

Generierung weiterer notwendiger Daten, ggf. Integration von Sensorik sowie Training der KI mit Algorithmen und Frameworks zur Optimierung der Modelle

Implementierung

Entwicklung und Evaluation des KI-Modells in Kooperation mit dem Unternehmen

Einsatz

Bereitstellung des KI-Modells im Unternehmen zusammen mit der IT-Abteilung

Ganzheitliche Betrachtung der positiven und negativen Wirkungen der eingesetzten technischen Lösung (z. B. Materialeinsparung, THG, Kosten)

Vom Anwendungsfall zum Einsatz eines KI-Pilotprojekts

KI-basierte Qualitätsbestimmung für Tiefdruckzylinder

4Packaging setzt im Green-AI Hub Mittelstand Pilotprojekt KI ein, um die Qualität von recycelten Tiefdruckzylindern zu überwachen. Neuronale Netze analysieren Parameter wie pH-Wert und Badtemperatur, während Computer Vision Fehler visuell erkennt und klassifiziert. Die Automatisierung des Prozesses nach anfänglicher manueller Datenaufbereitung spart Zeit und Ressourcen.



Das Unternehmen

Die 4Packaging GmbH ist ein Familienunternehmen, gegründet im Jahr 2000, mit Sitz in Dissen am Teutoburger Wald in Niedersachsen. Rund 120 Mitarbeitende kümmern sich um Prozesse, die vor dem eigentlichen Druck von Verpackungen stattfinden: Artwork und Reproduktion, Verpackungsentwicklung in 3D sowie die Herstellung von Präge- und Tiefdruckformen.

Technologische und ökologische Herausforderung

Die Qualität von Tiefdruckzylindern wird maßgeblich durch die Prozessschritte Entfettung und Galvanotechnik bestimmt. Schon kleinste Fehler während der Entfettung können die Zylinder unbrauchbar machen. In der Galvanik, einem elek-

trochemischen Verfahren zur Metallbeschichtung (z. B. Kupfer oder Chrom), beeinflussen Parameter wie pH-Wert, Stromdichte, Badtemperatur, Prozessdauer und Verschmutzungsgrad die Beschichtungsqualität. Derzeit erfolgt die Überwachung dieser Bäder manuell, indem Proben entnommen und im Labor analysiert werden.

Automatisierung und Optimierung der Qualitätsbestimmung

Hierfür hat 4Packaging weltweit als erster Graveur eine automatisierte Produktionslinie installiert und seither kontinuierlich erweitert und modernisiert. Künstliche Intelligenz unterstützt bei der Qualitätskontrolle durch Künstliche Neuronale Netze (KNN) und Computer Vision. Zur Verbesserung der Datengrundlage wurde zusätzliche Sensorik angebracht

(Retrofitting). Diese analysieren Sensor- und Bilddaten, um Fehler zu erkennen und zu klassifizieren. Die Integration erfordert große Datenmengen und Labels. Anfangs manuell, wird die Datenaufbereitung nach dem Training automatisiert.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-basierte Qualitätsbestimmung bei 4Packaging automatisiert händische Prüfungen zur Qualitätsüberwachung, sodass Abweichungen im Prozess frühzeitig erkannt werden. Durch die Prozessverbesserungen mithilfe der KI-basierten Qualitätsbestimmung verspricht sich 4Packaging die mittelfristige Reduktion fehlerhafter Tiefdruckzylinder im Produktionsprozess um 20 Prozent, auf das Jahr gerechnet wären dies bis zu 403 Zylinder.

Aufwände und Herausforderungen	KI-Lösungen	Ergebnis	Ressourceneffizienz
<ul style="list-style-type: none"> » Verbesserung der Datengrundlage durch Retrofitting » Diversität der Formate der relevanten Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> » Künstliche Neuronale Netze (KNN) zur Analyse der Chemischen Zusammensetzung » Fehlererkennung mittels Computer Vision zur automatisierten Qualitätsbestimmung » Fehlervorhersage durch Auto-ML-Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> » Erkenntnisgewinn über die Prozesse » Datenstruktur » Eigenständiges Training von Daten im Unternehmen möglich » Vorgehensweise als Standardlösung im Unternehmen etablieren » Skalierbare Lösung der Fehlererkennung 	<ul style="list-style-type: none"> » Erwartet wird eine Verringerung fehlerhafter Tiefdruckzylinder um 20 Prozent » Lebenszyklusweite Einsparpotentiale: <ul style="list-style-type: none"> ○ Material Footprint: bis zu 77t pro Jahr ○ Carbon Footprint: bis zu 12t CO₂-Äquivalenten pro Jahr

KI-basierte Konfiguration von Heizungsanlagen

KÜBLER fertigt energieeffiziente Hallenheizungen mit vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten. Ein Digitaler Zwilling verknüpft im Green-AI Hub Pilotprojekt Daten für optimale Anlagenplanung und -betrieb, unterstützt durch Mixed-Reality-Visualisierung. KI ermöglicht Ressourceneinsparungen, verbessert Wartung und unterstützt die Kreislaufwirtschaft.



Das Unternehmen

Die Kübler GmbH mit Sitz in Ludwigshafen, arbeitet seit 1989 in der Branche der Automatisierungs- und Heizungstechnik. Kübler fertigt Anlagen, mit denen Hallen besonders energieeffizient beheizt werden. Ergänzt wird das Portfolio durch Gerätevarianten mit Beleuchtungs-, Kühl-, und Lüftungskonzepten sowie die Thermen gestützte Beheizung.

Technologische und ökologische Herausforderung

Kübler hat verschiedene Einzellösungen zur Konfiguration, Planung und Angebotserstellung von Anlagen, wie beispielsweise Heizlastberechnung, Auswahl der Geräteart und -anzahl. Informationen zu den Anlagen wie z. B. CAD-Pläne und Betriebsdaten liegen in unterschiedlichen Formaten an verschiedenen Stellen vor.

Digitaler Zwilling mit visueller Simulation

Das Unternehmen nutzt einen Digitalen Zwilling, der durch KI-gestützte Datenintegration und Analyse verschiedene Informationsquellen wie Sensoren und Daten zur Hallenaktivität in einen gemeinsamen Datenspace einbindet. Der Digitale Zwilling ermöglicht eine präzise Abstimmung von Anlagenkomponenten, reduziert Überdimensionierungen und verlängert die Lebensdauer der Geräte. Zusätzlich trägt ein digitaler Produktpass zur Kreislaufwirtschaft bei, indem recyclingfähige Bestandteile aufgelistet werden. Das Projekt zielt darauf ab, Energie und Materialien effizienter zu nutzen und nachhaltige Lösungen im Rahmen von Smart Living und Industrie 4.0 zu fördern. Mittels Simulations- und Mixed-Reality-Visualisierungsszenarien kann die Zahl oder die Größe der eingesetzten Anlagen reduziert werden. Zusätzlich ist es möglich, über das digitale Abbild der Geräte im Digitalen Zwilling sowie mit dem Wissen über die Gerätenutzung einen Peak-Betrieb zu vermei-

den. Das schont die Geräte und reduziert den Energieverbrauch in Form von Strom und Gas.

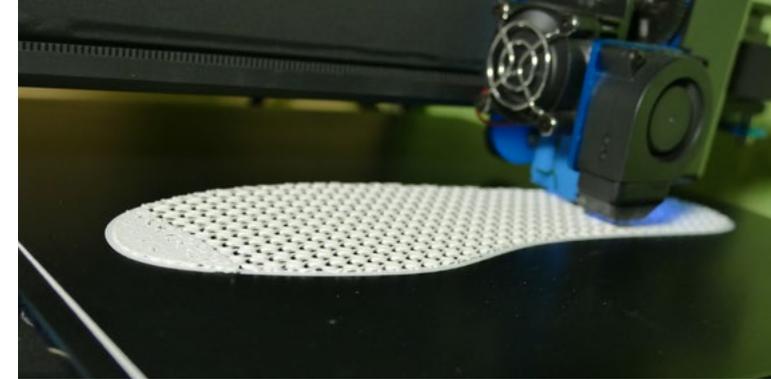
Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Der Einsatz von KI verbessert nicht nur die Ressourceneffizienz des Unternehmens, sondern auch die der Kunden, bei denen KÜBLER-Infrartheizungen installiert wurden oder werden. Die Wartung lässt sich so optimieren, dass Anlagenausfälle, ungeplante Reparaturen, unnötige Anfahrten und Folgeschäden vermieden werden. Erkenntnisse aus den Nutzungsdaten fließen in die Planung neuer Aufträge ein. Zudem werden KI und der Digitale Zwilling der Heizungsanlagen kontinuierlich weiterentwickelt. Das Pilotprojekt spart so Material, Energie und CO₂ ein.

Aufwände und Herausforderungen	KI-Lösungen	Ergebnis	Ressourceneffizienz
<ul style="list-style-type: none"> » Diversität der Formate der relevanten Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> » Digitaler Zwilling mit Mixed-Reality-Brille zur Visualisierung der Lösung » Digitaler Produktpass und KI als universale Datenschnittstelle 	<ul style="list-style-type: none"> » Verbesserter Planungsprozess » Neues Angebot für Kunden durch durchgehende Datenauswertung 	<ul style="list-style-type: none"> » Einsparung nicht benötigter Geräte (Ziel: 15 Prozent) » Lebenszyklusweite Einsparpotentiale: <ul style="list-style-type: none"> o Material Footprint: bis zu 356t pro Jahr o Carbon Footprint: bis zu 56t CO₂-Äquivalenten pro Jahr

KI-gestütztes 3D-Druckverfahren von orthopädischen Einlagen

Die Johann Herges GmbH, eine Schuhmanufaktur in dritter Generation, strebt danach, die Produktion orthopädischer Einlagen durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz grundlegend zu transformieren. Das Unternehmen nutzt im Pilotprojekt des Green-AI Hub Mittelstand ein KI-unterstütztes 3D-Druckverfahren für die Produktion von orthopädischen Einlagen, um so die Ressourceneffizienz zu steigern.



Das Unternehmen

Die Johann Herges GmbH, gegründet im Jahr 1935, mit Sitz in Saarbrücken bietet orthopädische Schuhtechnik an. Die 16 Mitarbeitenden produzieren Maßschuhe, Bandagen, Orthesen und vor allem orthopädische Einlagen. Dazu werden verschiedene Materialien auf Rohlingen verklebt und beschliffen.

Technologische und ökologische Herausforderung

Je nach den Erfordernissen des Krankheitsbildes kann ein Einlagenaufbau mithilfe von Rohlingen sehr aufwändig oder gar gänzlich unmöglich sein. In ca. 30 Prozent der Fälle greift man daher auf ein subtraktives Verfahren zurück, bei dem Einlagen aus Blöcken von Ethylen-Vinylacetat (EVA) gefertigt werden. Dabei

gehen jedoch ca. 80 Prozent des verwendeten Materials im Fräsverfahren als Abfall verloren. Eine alternative Lösung bietet daher der 3D-Druck von Einlagen, der praktisch keinen Ausschuss erzeugt. Dennoch steht der umfangreiche manuelle Konstruktionsprozess oft einer wirtschaftlichen Anwendung im Wege.

Additives Produktionsverfahren durch KI-gestützten 3D-Druck

Bei einem 3D-gedruckten Modell muss auf Füllstrukturen zurückgegriffen werden, die verschiedenen Steifigkeiten innerhalb der Einlage hervorbringen. Da die manuelle Konstruktion dieser Füllstrukturen zeitaufwändig ist, tritt hier KI in Aktion, indem sie den Prozess automatisiert. Mithilfe von Druckmessungen analysiert die KI den Fuß und generiert ein 3D-Modell mit optimalen Füllstrukturen. Dies geschieht

mithilfe Künstlicher Neuronaler Netze (ANN) und Support Vector Machines (SVM). Die Handschrift der Orthopädie-techniker*innen bleibt erhalten durch die Integrierung eines Trainingsatzes mit ihrer einzigartigen Fachkenntnis und dem Know-how in das automatisch generierte Modell.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch die Umstellung des Produktionsprozesses vom Fräsen zum 3D-Druck können massenbilanziell rund 70 Prozent Material eingespart werden. Da im neuen Prozess ein anderes, ressourcenintensiveres, Material verwendet wird, übertragen sich die Einsparungen jedoch nicht 1:1 auf die berechneten Footprints. Es wird ein Einsparpotential von bis zu 14 Prozent im Material Footprint und bis zu 16 Prozent im Carbon Footprint geschätzt.

Aufwände und Herausforderungen	KI-Lösungen	Ergebnis	Ressourceneffizienz
<ul style="list-style-type: none"> » Aufwendige Datenerfassung » Investition in Technologie, Schulung und Integration in die Prozesse 	<ul style="list-style-type: none"> » Künstliche Neuronale Netze (ANN) » Support Vector Machines (SVM) 	<ul style="list-style-type: none"> » Etablierung eines neuen Produktionsverfahrens mit geringerem Materialeinsatz » Transformative Wirkung auf die Ressourceneffizienz des Unternehmens 	<ul style="list-style-type: none"> » Reduktion des Materialeinsatzes im Unternehmen (ca. 70 Prozent) durch das neue Fertigungsverfahren bei 1000 Schuhpaaren ca. 0,5t Materialeinsparung » Lebenszyklusweite Einsparpotentiale: <ul style="list-style-type: none"> ○ Material Footprint: ca. 10 Prozent ○ Carbon Footprint: ca. 14 Prozent

Expertensystem für ein zirkuläres Textildesign

Im Green-AI Hub Pilotprojekt mit INTEX wird ein KI-gestütztes Vorschlagssystem erprobt, um nachhaltiges Textildesign zu fördern und Überproduktion zu vermeiden – ein Beitrag zur Einhaltung EU-Richtlinien zur Emissionsreduzierung, Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit in der Textilbranche.



Das Unternehmen

Die Firma INTEX ist ein Spezialist für Softwarelösungen in der Textilbranche, die fast alle Prozesse der textilen Lieferkette mit ihren Lösungen unterstützt. Von ERP-Prozessen über Supply-Chain besitzt INTEX über 30 Jahre Erfahrung fast 400 Kund*innen.

Technologische und ökologische Herausforderung

Die Textilbranche kämpft mit einem schlechten Image und ist stark von wechselnden Trends geprägt. Derzeit werden Kleidungsstücke oft ohne Rücksicht auf Nachhaltigkeit entworfen, umweltschonende und sozialverträgliche Geschäftsmodelle sind selten. Wenn jedoch bei der Gestaltung von Kleidung bereits Nachhaltigkeitsaspekte wie Haltbarkeit, Recy-

clinggrad und der Anteil von Mikroplastik berücksichtigt werden, lassen sich Ressourceneinsparungen über den gesamten Lebenszyklus erzielen.

Integration von Nachhaltigkeitskriterien in den Designprozess mittels KI

Bei INTEX wird ein KI-gestütztes Vorschlagssystem erprobt, um im Textildesign Kleidungsstücke nachhaltiger zu gestalten. Das Training des Systems erfolgt anhand der verwendeten Materialien, Verarbeitungsschritte sowie Informationen zu Haltbarkeit, Retourenquote, etc. Dieses System kann dann Materialzusammenstellungen vorschlagen, welche einen hohen Recyclinggrad und Langlebigkeit ermöglichen und so die Umwelt weniger belasten. Dafür ist eine Wissensdatenbank mit den entsprechenden Informationen notwendig.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Das Vorschlagssystem unterstützt bei der Rohstoffauswahl im Designprozess. Das kann positive Effekte auf den Rohstoffeinsatz und die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zum "End of Life" haben, wenn beispielsweise widerstandsfähigere Materialien verwendet werden, die die Lebensdauer eines Kleidungsstücks verlängern, oder solche, die besser recycelt werden können. Da bereits im Designprozess und nicht erst in späteren Schritten der Wertschöpfungskette (bspw. der Produktion) angesetzt wird, sind hohe Einsparpotenziale möglich.

Aufwände und Herausforderungen	KI-Lösungen	Ergebnis	Ressourceneffizienz
<ul style="list-style-type: none"> » EU-Richtlinien zur Nachverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit von Textilien » Mikroplastik und Recyclinggrad » Datenverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> » KI-gestütztes Vorschlagssystem (Recommender-System) 	<ul style="list-style-type: none"> » Design for Circularity » Verlängerte Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit von Kleidungsstücken 	<ul style="list-style-type: none"> » Nachgelagerte Einsparpotenziale bei Kunden von Intex bzw. letztlich den Verbraucher*innen durch z.B. längere Nutzungsdauern der Kleidungsstücke » Lebenszyklusweite Einsparpotenziale: <ul style="list-style-type: none"> ○ Material und Carbon Footprint: rund 40 Prozent Einsparpotenzial, wenn ein T-Shirt durch veränderten Materialmix doppelt so lange genutzt werden kann

Qualitätsüberwachung in der Additiven Fertigung

Die Firma SWMS erstellt Software für die additive Fertigung von Großbauteilen mit Hilfe von Industrierobotern, an dem ein Druckeffektor angebracht ist. Im Druckprozess kommt es immer wieder zu Abweichungen. Deswegen wird im Pilotprojekt der 3D-Druckprozess mit Hilfe von KI und Sensorik-Komponenten kontinuierlich überwacht, um Fehler im Druck frühzeitig zu erkennen.



Das Unternehmen

Die 1996 gegründete SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH ist ein Technologieunternehmen für digitale Industrie-Lösungen mit Sitz in Oldenburg, Niedersachsen. Mit seinen rund 40 Mitarbeitenden bietet das Unternehmen Software in der CAESA Umgebung, die Anwendungen von Auslegung bis zur Fertigung von Composite Bauteilen abdeckt.

Technologische und ökologische Herausforderung

Im 3D-Druckprozess können kleine Fehler dazu führen, dass Bauteile unbrauchbar werden, was zu erheblichem Materialverlust führt. Aktuell wird die Qualitätskontrolle oft erst nach Abschluss

des Druckprozesses durchgeführt. Dies schließt eine nachträgliche Korrektur aus und hat Ausschussprodukte zur Folge. Besonders bei der additiven Fertigung von Composite Bauteilen ist die prozesssichere Herstellung ohne große Einfahrmaßnahmen eine essenzielle Herausforderung.

KI-gestützte Objekterkennung und Bildsegmentierung als Lösung

Das KI-Pilotprojekt von SWMS setzt auf die Integration von KI zur Überwachung des 3D-Drucks in Echtzeit. Mithilfe von Objekterkennung und Bildsegmentierung können Druckfehler bereits während des Prozesses erkannt und Gegenmaßnahmen wie aktive Kühlung eingeleitet werden. Das KI-Modell wird durch Sensordaten, wie von Düsen-

und Thermokameras, trainiert und anschließend zur kontinuierlichen Qualitätsüberwachung eingesetzt. Diese Lösung minimiert den Materialverlust und vermeidet Produktionsfehler, indem der Druckprozess optimiert wird.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-gestützte Überwachung spart bis zu einem Drittel des Druckmaterials, indem sie Fehler frühzeitig erkennt und den Druckprozess stoppt, wodurch Ausschuss reduziert wird. Gleichzeitig sinkt der Energieverbrauch, da weniger Druckzeit, Ressourcen für den Roboterbetrieb und aktive Kühlung benötigt werden. Die Integration in die Steuerungssoftware optimiert langfristig den Material- und Energieeinsatz bei SWMS und seinen Kunden.

Aufwände und Herausforderungen	KI-Lösungen	Ergebnis	Ressourceneffizienz
<ul style="list-style-type: none"> » Nachgelagerte Qualitätskontrolle führt zu Materialverschwendung bei Fehldrucken » Prozesssichere Fertigung von kleinen Losgrößen 	<ul style="list-style-type: none"> » Computer Vision: Bildsegmentierung und Objekterkennung mit Deep Learning 	<ul style="list-style-type: none"> » Neue Servicekomponente für SWMS » Verbesserte Simulationen, durch Erkennung und Ausschluss von Fehlerursachen 	<ul style="list-style-type: none"> » Material- und Energieeinsparung durch Prozessabbruch bei Fehlererkennung » Lebenszyklusweite Einsparpotentiale: <ul style="list-style-type: none"> o Material und Carbon Footprint: nachgelagertes Einsparpotenzial bei Kunden von SWMS in Abhängigkeit der Produktgröße und des Fehlerzeitpunktes im Druckprozess o Minimalbeispiel mit 100 fehlerfreien Drucken á 100g: Einsparpotenziale von bis zu 30kg (Material Footprint) und 14kg CO₂-Äquivalenten (jeweils rund 17 Prozent)

Nachgefragt

Lars Windels, Gründer und CEO der SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH, spricht im Interview darüber, wie KI die Qualitätssicherung im 3D-Druck auf ein neues Niveau hebt. Windels gibt dabei einen offenen Einblick in die Herausforderungen und Überraschungen während des Projekts und zeigt, wie der praktische Einsatz von KI zu spürbaren Effizienzgewinnen führt.

Herr Windels, mit Ihrer KI-Lösung haben Sie beeindruckende Fortschritte in der Fehlererkennung beim 3D-Druck erzielt. Können Sie uns einen Einblick geben, wie genau sich das auf die Druckqualität und die Materialersparnis ausgewirkt hat?

Lars Windels: Durch den Einsatz von KI detektieren wir Fehler im Druckbild jetzt frühzeitig. Das bedeutet, wir können den Prozess abbrechen, bevor noch mehr Material verschwendet wird. So sparen wir signifikant Ressourcen. Ein weiterer Vorteil ist die Optimierung des Fertigungsprozesses: Die KI analysiert die Daten und zeigt uns, wo etwa der Roboter zu langsam verfährt oder der Materialauftrag zu stark ist. Diese Zusammenhänge helfen uns, im Planungskontext die Steuerung des Roboters anzupassen. Dadurch können wir die Anzahl der Fehldrücke reduzieren. Unser Anspruch ist es, *Losgröße 1* zu erreichen, denn das ist unser Wettbewerbsvorteil. Der 3D-Druck hat ein hohes Kostenpotenzial, daher ist es wirtschaftlich entscheidend, Bauteile prozesssicher zu drucken – gerade bei Ersatzteilen. Kunden wollen nicht für fünf Fehldrücke zahlen, bis ein Teil richtig funktioniert.

Gab es Momente während der Einführung der KI, die Sie überrascht haben – vielleicht weil etwas einfacher oder auch schwieriger war, als Sie erwartet hatten?

Lars Windels: Definitiv die Datenakquise. Wir haben den Aufwand für das Labeln der Daten zunächst unterschätzt. Ein weiterer Punkt war die Beschaffung von Hardwarekomponenten. Man sollte das frühzeitig einplanen, da Lieferzeiten schnell zu Verzögerungen führen können. Teilweise mussten wir improvisieren, um weiterarbeiten zu können – das haben wir aber gut gemeistert. Eine andere wichtige Erkenntnis war die Standardisierung und die Schnittstellenfrage. Man muss sich früh überlegen, wie man die Lösung in den eigenen Fertigungskontext integriert. Das spart später viel Aufwand. Spannend war auch die Bilanzierung: Wir haben praktisch gearbeitet und Ökobilanzdaten zusammen mit dem Wuppertal Institut erstellt. Vorher war uns gar nicht bewusst, wie diese Bilanzdaten in unseren Kontext eingebettet werden können. Das können wir in Zukunft noch schärfen. In einem anderen Projekt haben wir bereits darauf aufgebaut und die Bilanzierung



Lars Windels © ZUG / Toni Kretschmer

vorangetrieben – das hilft uns jetzt enorm, um Ökobilanzen planbar zu machen und Daten bereitzustellen.

Sozial war vor allem die Verständigung eine Herausforderung. Es gab auf beiden Seiten – bei den KI-Expert*innen und bei unseren Ingenieuren aus dem 3D-Druck – enormes Domänenwissen. Die Schwierigkeit war, eine gemeinsame Nomenklatur zu schaffen. Denn wenn wir Fehler labeln, sprechen wir manchmal über unterschiedliche Dinge. Welche Objektklasse hat der Fehler? Wann ist ein Fehler kritisch? Einige führen zu Ausschuss, andere nur zu Nacharbeit, und manche sind bis zu einem gewissen Maß tolerierbar.

Wie hat Ihr Team auf die Einführung der KI reagiert? Gab es Vorbehalte oder war die Akzeptanz sofort da?

Lars Windels: Das Feststellen von Fehlern liegt immer den Werkern zugrunde. Wichtig war uns, den Kolleg*innen den Mehrwert der KI-Lösung klarzumachen: Was bringt sie konkret für ihre Arbeit und ihr Berufsbild? Wir haben gezeigt, dass sie durch die KI in der Lage sind, Losgröße 1 zu realisieren, was vorher nicht so einfach möglich war. Es gab kein „Dagegen“, sondern vielmehr die Bereitschaft, damit zu arbeiten. Inzwischen sind wir so weit, dass die Mitarbeitenden nicht nur mit der KI arbeiten, sondern auch aktiv Daten mitlabeln.



Sie haben sicher einige Herausforderungen während des Projekts meistern müssen. Was waren für Sie die größten Stolpersteine, und welche Lektionen konnten Sie daraus ziehen?

Lars Windels: Eines dürfen KMU nicht vergessen: Man kann nicht einfach dasitzen und erwarten, dass einem eine fertige KI-Lösung präsentiert wird. Man muss aktiv mitarbeiten und das Projekt begleiten. Das ist der Schlüssel zum Erfolg. Ein weiterer Punkt war der Wissenstransfer. Unser Domänenwissen aus der Fertigung musste ans DFKI übertragen werden, während wir gleichzeitig ein tieferes Verständnis für die KI und ihre Grenzen entwickeln mussten. Viele denken: „Wir haben jetzt eine KI, die macht das schon.“ Aber es braucht Zeit, die KI richtig in die bestehenden Strukturen einzubetten. Eine große Frage war dabei: *Wie integrieren wir diese Software technisch in unsere IT-Umgebung?* Genau hier haben wir gelernt, wie entscheidend die enge Zusammenarbeit und der kontinuierliche Austausch sind.

Wie geht es jetzt weiter? Haben Sie bereits konkrete Pläne wie Sie die KI-Technologie in Ihrem Betrieb weiterentwickeln möchten?

Lars Windels: Aktuell konzentrieren wir uns darauf, die KI weiterzuentwickeln und sie für zukünftige Anforderungen zu rüsten. Derzeit steckt der personelle Aufwand vor allem im Labeln der Daten für das maschinelle Lernen. Das ist unser nächster großer Schritt. Ein konkretes Ziel ist die Entwicklung neuer Algorithmen zur Bahnplanung. Hier soll die KI in der Lage sein, das optimale Prozessfenster für neue Fertigungsansätze zu ermitteln. Damit können wir Fehlerquellen frühzeitig erkennen, bevor überhaupt Abfall entsteht. Wir haben in-

„Man muss aktiv mitarbeiten und das Projekt begleiten. Das ist der Schlüssel zum Erfolg“

— Lars Windels

zwischen alle Parameterfenster, die zu Ausschuss führen, erfasst und wir haben die aktuelle Fertigungssituation über die Bildgebung. Was hindert uns daran, diese Schritte auch zusammenzuführen und in einer virtuellen Umgebung zu simulieren? Damit haben wir eine Forschungsspeerspitze. Uns treibt zudem an, die Lösung zu skalieren aus unserem eigenen Umfeld in die des Kunden zu integrieren. Das ist noch mal ein Technologieboost.

Ihre KI-Lösung ist Open Source auf der GitHub-Präsenz des Green-AI Hub Mittelstand verfügbar. Was muss ein KMU mitbringen, um diese Technologie erfolgreich zu implementieren?

Lars Windels: Unsere KI-Lösung ist dockerisiert¹ und Open Source verfügbar. Technisch gesehen handelt es

¹ Die Lösung basiert auf einer Containerisierungsplattform, die alle KI-Komponenten in isolierte, überschaubare Umgebungen verpackt. Dadurch ist sie einfach installierbar, flexibel einsetzbar und plattformunabhängig.

sich um eine virtuelle Maschine, die mit der KI kommuniziert. Die Bilddaten müssen an die KI übertragen und die Ergebnisse in den entsprechenden Kontext gebracht werden. Dafür haben wir Skripte bereitgestellt, so dass KMU die Lösung auch bei anderen Kamerasituationen oder Fertigungsprozessen nachtrainieren

können. Für den Einstieg sind vor allem IT-Affinität und Fachwissen zur Fertigungsumgebung nötig. Das können Personen sein, die entweder mit der Roboterzelle oder der manuellen Fertigungszelle vertraut sind. Die Grundvoraussetzungen sind einfach: ein Laptop, ein Edge Device oder vergleichbare Hardware und das muss miteinander verheiratet werden. Für den Betrieb später muss das Unternehmen entscheiden, ob nur eine Visualisierung der Fehler durchgeführt werden soll oder eine Automatisierung geplant ist. Wir haben für uns die Highend-Lösung integriert.

Welche Rolle wird KI künftig in der additiven Fertigung spielen, insbesondere wenn es darum geht, Ressourcen einzusparen und gleichzeitig eine konstant hohe Produktqualität zu sichern?

Lars Windels: KI wird der entscheidende Faktor in der additiven Fertigung sein, weil diese sich durch zwei Dinge auszeichnet: Die Technologie ist noch jung, viele

„Ohne KI wären viele Versuche nötig, um ein stabiles Prozessfenster zu erreichen [...]. Die KI [...] hilft uns, die Anzahl der nötigen Drucke zu reduzieren.“

— Lars Windels

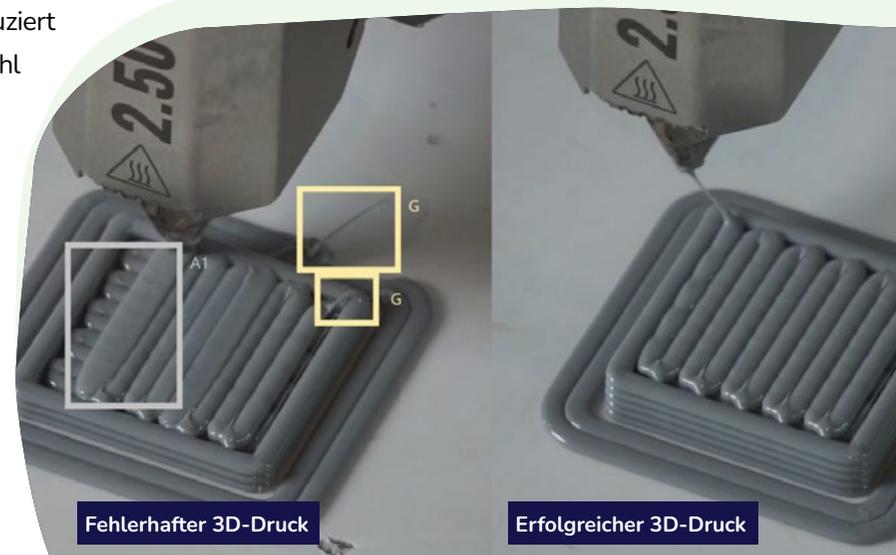
Aspekte wie Geschwindigkeit und Qualität werden ständig weiterentwickelt. Das bedeutet, es gibt immer neue Maschinen und Fertigungsstrategien, die interdisziplinär bewertet und qualitativ überprüft werden müssen. Ein zweiter Punkt ist die Vielzahl an Prozessparametern: Materialien – ob faserverstärkt oder nicht –, Lagerzeiten oder Einflussgrößen auf das Druckbild sind unglaublich vielfältig. Ohne KI wären viele Versuche nötig, um ein stabiles Prozessfenster zu erreichen, was enorme Abfallmengen produziert. KI setzt genau hier an: Sie optimiert die Modellqualität selbst und reduziert die Anzahl der nötigen Drucke. Das ist sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch ein großer Schritt nach vorne, denn die KI lernt aus jedem einzelnen Versuch.

Und zum Schluss: Welchen Ratschlag würden Sie KMU geben, die über den Einsatz von KI nachdenken?

Lars Windels: Macht euch im Vorfeld klar, was die KI-Lösung leisten soll. Was ist die eigentliche Aufgabe der KI? Datenakquise ist der erste Schritt – ohne sie funktioniert nichts. Es braucht zumindest eine Digitalisierungsstrategie,

die schon im Kopf existiert. Bei uns lief die Datenakquise parallel zum Projekt, sodass wir unsere Daten 1:1 im KI-System verwerten konnten.

Ein weiterer Punkt ist der Mehrwert für die Mitarbeitenden: Der muss spürbar sein. Die Kolleg*innen müssen verstehen, was die KI für sie leistet und wie sie ihre Arbeit unterstützt. Am Ende des Tages ist die KI ein Werkzeug – quasi wie ein Sensor, der zeigt: *Druck ok, ja oder nein?* Hier ist Aufklärungsarbeit gefragt: Was kann die KI wirklich leisten? Wo sind ihre Grenzen? Wichtig ist, dass niemand Angst um seinen Arbeitsplatz haben muss. Die KI ergänzt die Arbeit der Menschen, sie ersetzt sie nicht.



Erkennung von Anomalien mit KI während des Druckprozesses
© SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH

4 Lessons Learned

Künstliche Intelligenz (KI) bietet großes Potenzial für Verbesserungen der Ressourceneffizienz. In Zusammenarbeit mit dem Hub entwickeln Unternehmen zügig Prototypen, die als Einstieg dienen. Das KI-Modell steht als Open-Source-Lösung anderen Unternehmen zur Verfügung, um ähnliche Anwendungen zu erkunden und zu implementieren, was den Zugang zu innovativen Technologien erleichtert.

Die Einführung von Künstlicher Intelligenz (KI) in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zeigt, dass auch kleinere Betriebe erfolgreich von der Technologie profitieren können – wenn die richtigen Voraussetzungen geschaffen sind. Wichtig ist das Engagement des Teams und die Unterstützung durch die Führungsebene. Erfolgreiche KMUs binden ihre Mitarbeitenden frühzeitig ein und sensibilisieren sie für die Vorteile von KI. Eine klare Kommunikation und das Verständnis der Potenziale fördern die Akzeptanz neuer Technologien. Das Commitment der Geschäftsführung spielt eine zentrale Rolle, um die nötigen Ressourcen bereitzustellen.

Ein schlanker Prozess zur Implementierung

Mit einer schlanken und pragmatischen Vorgehensweise können Unternehmen schnell erste Erfolge erzielen. KI-Projekte erfordern nicht zwingend umfangreiche Vorarbeiten, sondern können auch schrittweise umgesetzt werden. Besonders positiv ist, dass KI in unterschiedlichen Branchen anwendbar ist – von der Textilindustrie bis hin zur Produktion und Logistik. Jeder kann es schaffen, wenn die Bereitschaft besteht, den Schritt in die Digitalisierung zu gehen. Der Nutzen wird oft größer, als zu Beginn erwartet.

Erfolgsfaktor KI für Ressourceneffizienz

Der Einsatz von KI bietet KMUs vielfältige Vorteile, insbesondere bei der Optimierung von Prozessen. KI kann dabei helfen, interne Abläufe zu automatisieren und effizienter zu gestalten. Die Technologie ermöglicht tiefere Einblicke in betriebeigene Daten und unterstützt Unternehmen dabei, Einsparpotenziale zu realisieren. Durch die Anwendung von KI lassen sich nicht nur Produktionskosten senken, sondern auch der Material- und Energieverbrauch reduzieren. Ein zusätzlicher Vorteil ist der Zugang zu Open-Source-Lösungen, die es KMUs ermöglichen, die Technologie kosteneffizient zu skalieren und langfristig in ihre Strukturen zu integrieren.

KI mit Verantwortung einsetzen

Es ist wichtig, dass KI nicht nur auf Effizienzsteigerung abzielt, sondern auch aktiv zur Erreichung umfassender ökologischer Ziele beiträgt. Dabei darf die Lösung (bestehend aus Hard- und Software) selbst keinen übermäßigen ökologischen Fußabdruck hinterlassen. Die genaue Messung des Material- und Carbon Footprints einer KI-Lösung ist oft eine Herausforderung, aber essenziell, um den tatsächlichen Umwelteinfluss zu bewerten. Durch den gezielten Einsatz von KI können Unternehmen ihre Ressourcennutzung optimie-

ren, den CO₂-Ausstoß reduzieren und somit ihre Prozesse sowohl effizienter als auch nachhaltiger gestalten.

Einfacher Einstieg und enge Zusammenarbeit

Der Einstieg in KI wird durch die Zusammenarbeit mit Partnern wie dem DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz) erleichtert. Diese enge Kooperation sorgt dafür, dass der Implementierungsprozess reibungslos verläuft und schnell erste Ergebnisse erzielt werden. Der Prozess bleibt schlank und erlaubt es Unternehmen, ihre Daten und Prozesse besser zu verstehen. Durch die Zusammenarbeit können KMUs ihre Betriebsabläufe optimieren, Einsparpotenziale entdecken und langfristig wettbewerbsfähig bleiben.

Fazit: Der Nutzen für KMU ist groß

Der Einsatz von KI bietet KMUs eine Vielzahl von Vorteilen. Neben der Prozessoptimierung und Ressourceneinsparungen eröffnet die Technologie neue Möglichkeiten, das Unternehmen zukunftssicher aufzustellen. Der Einstieg in die KI-gestützte Digitalisierung fördert die Effizienz, Nachhaltigkeit und langfristige Wettbewerbsfähigkeit – ein wichtiger Schritt für KMUs, die ihre Position am Markt stärken möchten.

Literatur

- [1] **Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2024):** Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramm [online], 2024 [abgerufen am: 20.01.2025], verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutzgesetz-2197410>
- [2] **Green-AI Hub Mittelstand (2024):** KI-gestützte Objekterkennung zur Rückführung von Produkten in den Kreislauf [online], 2024, verfügbar unter: <https://www.green-ai-hub.de/pilotprojekte/pilotprojekt-system-180>
- [3] **Dr. Ralf Wintergerst (2023):** Künstliche Intelligenz – Wo steht die deutsche Wirtschaft? [online], 2023, verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2023-09/bitkom-charts-ki-im-unternehmen.pdf>
- [4] **Dorst, W. (2016):** Industrie 4.0 - Die neue Rolle der IT [online] - Leitfaden. Bitkom, 2016, verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/160421-LF-Industrie-40-Die-neue-Rolle-der-IT.pdf>
- [5] **Matthias Teichmann und et.al. (2023):** Studie Applied AI 2023, verfügbar unter: <https://www.lufthansa-industry-solutions.com/de-de/studien/idg-studie-2023-applied-ai>
- [6] **Záboji, N. (2024):** IEA: KI treibt die globale Stromnachfrage an [online], 2024, verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/iea-ki-treibt-die-globale-stromnachfrage-an-19867575.html>
- [7] **Free Software Foundation Europe (2025):** Was ist freie Software [online], 2025, verfügbar unter: <https://fsfe.org/freesoftware/>
- [8] **Greta Schnaack und Dr. Frank Termer (2023):** Open-Source-Monitor [online] - Studienbericht 2023, 2023, verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2023-09/bitkom-studie-open-source-monitor-2023.pdf>

Impressum

Herausgeber

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Geschäftsführung:

Prof. Dr. Antonio Krüger

Helmut Ditzer

Trippstadter Str. 122, 67663 Kaiserslautern

Telefon: +49 631 20575 0

E-Mail: info@dfki.de

Internet: www.dfki.de

Green-AI Hub Mittelstand

Eine KI-Initiative im Auftrag des

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und

Verbraucherschutz (BMUV)

Stresemannstraße 128 – 130, 10117 Berlin

www.bmuv.de

Koordiniert durch die

Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH

Stresemannstr. 69-71, 10963 Berlin

www.z-u-g.org

Redaktion

VDI Technologiezentrum (VDI TZ)

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Zukunft – Umwelt – Gesellschaft gGmbH (ZUG)

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und

Verbraucherschutz (BMUV)

Gestaltung

e-nitio mediasign GmbH & Co. KG

Melatengürtel 125a, 50825 Köln

Telefon: +49 221 66964 400

E-Mail: info@e-nitio.com

Internet: www.e-nitio.com

Bildrechte

© Felix Zahn / Photothek GbR (S. 1)

© Heismann Drehtechnik GmbH (S. 6)

© BMUV (S. 7)

© Green-AI Hub Mittelstand (S. 12, 14, 15, 17, 18, 46, 47)

© BMUV Photothek GbR (S. 19)

© Brammibal's Donuts GmbH (S. 24)

© 4Packaging GmbH (S. 25, 33, 35)

© Kalzip GmbH (S. 28)

© GreenGate AG (S. 29)

© System 180 GmbH (S. 32)

© KÜBLER GmbH (S. 33, 36)

© Johann Herges GmbH (S. 33, 38)

© INTEX (S. 33, 39)

© SWMS (S.33, 37)

Fähigkeit/ Phase	Wahrnehmen und Erkennen	Erklären	Entscheiden	Generieren	Vorhersagen	Handeln
Rohstoffe	Intelligenter Datenraum					
	Identifizierung von Anomalien in den geteilten Daten z. B. Qualitätsprobleme in Produkten.	Interpretation und Erklärung von Daten, um Transparenz zu schaffen und Compliance für Nutzer*innen sicherzustellen.	Unterstützung von Entscheidungsprozessen, z. B. bei Zugriffsrechten oder dem automatisierten Abgleich mit vordefinierten Kriterien.		Erkennung möglicher Risiken oder Engpässe in der Lieferkette durch Predictive Analytics zur besseren Planbarkeit.	
Entwicklung	Intelligente Ressourcenbeschaffung					
	Analyse großer Datenmengen zur Identifikation nachhaltiger Lieferanten, relevanter Markttrends und potenzieller Risiken.		Analyse von Marktbedingungen und Lieferantenbewertung zur Unterstützung automatisierter Entscheidungen und Empfehlungen für Beschaffung.		Prognose von Materialverfügbarkeit, Preisentwicklungen und Risiken, sodass Marktveränderungen besser gesteuert werden können.	
Entwicklung	Virtuelle Produktentwicklung					
	Erkennen von Designmerkmalen oder -mustern in großen Datensätzen z. B. mit generativer KI.	Erklärung und Analyse von Designentscheidungen sowie Interpretation von Änderungen und deren Auswirkungen auf das Produkt.	Auswahl geeigneter Materialien, Produktionsprozesse und Konstruktionsparameter zur Optimierung von Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit.	Erstellung von 3D-Modellen, Prototypen und Designvarianten zur Optimierung von Produktentwicklung und Fertigungsprozessen.	Vorhersage von Produkteigenschaften, Materialverbrauch und Herstellungszeit anhand von Simulationen zur Optimierung der Produktion.	Einleitung von Designänderungen basierend auf KI-Empfehlungen oder Echtzeitdaten zur Optimierung von Produkten und Prozessen.
Produktion	Nachhaltiges Design für Produkt-Service-Systeme					
		Kommunikation der Prinzipien der ausgewählten Designs und Konzepte z. B. LCA, Chatbotssysteme	Expertensystem unterstützt nachhaltige Produktgestaltung durch Analyse von Materialien, Prozessen, Lieferketten und Geschäftsmodellen.	Generierung von alternativen Designs und Konzepten für kreislauffähige Geschäftsmodelle		
Produktion	Simulation der Produktion					
				Simulation der Produktionsprozesse und -anlagen anhand von Modellen der Produktionsumgebung	Prognose von Änderungen in Produktionsprozessen hinsichtlich Leistung, Effizienz und möglichen Engpässen.	
Produktion	Prozessoptimierung					
	Erkennung ineffizienter Prozesse durch Musteranalyse und Identifikation von Optimierungspotenzialen.	Visualisierung der Effizienzveränderungen durch Anpassungen in Produktionsabläufen zur besseren Prozessbewertung.	Expertensystem zur Anpassung von Betriebsparametern, Umstrukturierung von Abläufen.	Erstellung alternativer Fertigungsszenarien zur Optimierung von Ressourcen, Zeit und Produktionskapazitäten.	Prognose der Auswirkungen von Prozessänderungen auf Effizienz, Qualität und Produktionsleistung.	Automatisierung von Aufgaben, Schulung von Mitarbeiter*innen oder anderen Maßnahmen.
Produktion	Produktionsplanung					
	Bildererkennung zur Identifikation von Anomalien in Produktionslinien für frühzeitige Fehlererkennung.	Analyse von Engpässen und Auswirkungen veränderter Produktionskapazitäten zur Optimierung von Abläufen.	Treffen datenbasierter Entscheidungen zu Nachfrageprognosen, Lagerbeständen und Lieferantenverfügbarkeiten.	Erstellung alternativer Produktionspläne zur Effizienzsteigerung und besseren Ressourcennutzung.	Prognose von Nachfrage, Materialverfügbarkeiten und potenziellen Produktionsausfällen zur Risikominimierung.	Dynamische Anpassung von Produktionsplänen in Echtzeit zur Optimierung der Fertigung.
Produktion	Vorausschauende Wartung					
			Bestimmung geeigneter Wartungsmaßnahmen basierend auf Echtzeitdaten und vorausschauender Analyse.		Erkennung potenzieller Ausfälle durch KI-gestützte Analyse von Sensordaten und Betriebsparametern.	Automatische Auslösung von Wartungsaufträgen zur Vermeidung ungeplanter Stillstände.
Produktion	Qualitätskontrolle					
	Erkennung von Anomalien durch Bild-/Sensordaten wie Risse, Kratzer oder Formabweichungen in Produkten.	Explainable AI analysiert Ursachen von Qualitätsmängeln und liefert nachvollziehbare Erklärungen für Optimierungen.	Bewertung von Qualitätsmerkmalen zur Entscheidung über Nachbearbeitung oder Deklaration		Analyse historischer Produktionsdaten zur Vorhersage potenzieller Fehlerquellen und frühzeitiger Gegenmaßnahmen.	Automatische Anpassung von Anlagenparametern zur Vermeidung von Qualitätsmängeln und Effizienzsteigerung.
Produktion	Produktionsagent					
	Echtzeitüberwachung der Fertigungsumgebung zur frühzeitigen Erkennung von Abweichungen und Störungen.	Analyse von Ursachen für Maschinenausfälle, Qualitätseinbußen und Produktionsverzögerungen zur Fehlerbehebung.	Optimierung von Maschineneinstellungen, Produktionsabläufen und Ressourcenzuweisung.	Erstellung alternativer Produktionspläne zur Kostenminimierung, Termintreue und maximaler Produktionsauslastung.	Prognose der Maschinenauslastung und potenzieller Engpässe zur besseren Planung und Steuerung.	Automatisierte Steuerung von Förderbändern, Robotern und Maschinen für reibungslose Abläufe.

Was KI wo kann – eine Übersicht der Grundfähigkeiten entlang der industriellen Wertschöpfung, (Teil 1: von Rohstoffen bis Produktion)

Fähigkeit/ Phase	Wahrnehmen und Erkennen	Erklären	Entscheiden	Generieren	Vorhersagen	Handeln
Infrastruktur	Materialfluss					
	Bildererkennung zur Identifikation von Objekten wie Produkten, Verpackungen, Etiketten und Hindernissen.	Analyse und Beschreibung von Ursachen für Lieferengpässe zur besseren Planbarkeit und Prozessoptimierung.	Optimierung von Lager-Routen zur effizienteren Steuerung des Materialflusses und schnelleren Verfügbarkeit.	Erstellung optimierter Routenpläne für den Materialfluss basierend auf Echtzeit- und Bestandsdaten.	Prognose von Ankunftszeiten, Nachfragebedarf und potenziellen Engpässen in der Lieferkette.	
	Lagerhaltung					
			Datenbasierte Optimierung der Lagerverwaltung durch Nachfrageprognosen und andere Einflussfaktoren.		Prognose zukünftiger Bedarfe zur Minimierung von Überbeständen und Engpässen.	Automatisierte Anpassung von Lagerprozessen und Bestellungen basierend auf Analyseergebnissen.
	Gebäudemanagement					
Echtzeitüberwachung von Heizungs- und Lüftungsanlagen und Beleuchtung zur Analyse von Energieverbrauch und Effizienz.	Identifikation und Ursachenanalyse von Energieineffizienzen zur Optimierung des	Datenbasierte Steuerung von Heizungs- und Klimaanlage sowie Planung notwendiger Wartungsmaßnahmen.	Erstellung von Strategien zur Energieeinsparung und Optimierung des Gebäudeenergieverbrauchs.	Prognose von Energieverbrauch und Wartungsbedarf zur frühzeitigen Anpassung betrieblicher Abläufe.	Automatisierte Anpassung von Betriebsparametern zur Effizienzsteigerung und Reduzierung von Energieverlusten.	
Intelligenter Energieprozessspeicher						
	Erkennen und Überwachung von Energiemustern durch Echtzeitdaten zur Optimierung des Energieflusses.	Optimierung von Speicherung, Nutzung oder Netzeinspeisung basierend auf Kapazitäten und Bedarf.		Prognose des zukünftigen Energiebedarfs basierend auf Wetter-, Verbrauchs- und historischen Daten.	Automatisierte Steuerung und Verteilung der Energieflüsse zur Maximierung der Effizienz.	
Transport und Logistik	Flottenmanagement					
			Optimierung von Routen, Planung von Wartungsintervallen oder Fahrzeugzuweisung zu Aufträgen		Prognosen zu Kraftstoffverbrauch, Wartungsbedarf und möglichen Routenanpassungen.	Echtzeitsteuerung von Fahrzeugen, Kommunikation mit Fahrern und Koordination von Lieferungen.
	Routenplanung					
	Kontinuierliche Erfassung von Verkehrsdaten, Wetterbedingungen und Straßenverhältnissen für optimierte Routenplanung.		Dynamische Routenplanung basierend auf Echtzeitdaten zu Verkehr, Wetter und Straßenbedingungen.		Prognose von Verkehrsmustern, Wetterveränderungen und Engpässen für vorausschauende Routenoptimierung.	Automatische Anpassung von Routen und Nutzung alternativer Strecken in Echtzeit.
	Fahrzeugwartung					
Kontinuierliche Überwachung des Fahrzeugzustands durch Sensoren zur Erkennung von Verschleiß und Defekten.		Optimierte Wartungsplanung basierend auf Fahrzeugzustand, Nutzungshistorie und erwarteten Reparaturbedarf.		Frühzeitige Fehlererkennung durch Predictive Maintenance zur Vermeidung unerwarteter Fahrzeugausfälle.	Automatische Erstellung von Wartungstickets oder Warnmeldungen bei erkannten Problemen.	
Service	Intelligente Wartungsstrategie					
	Kontinuierliche Überwachung von Maschinen, Anlagen und Infrastruktur zur frühzeitigen Erkennung von Wartungsbedarf.		Dynamische Wartungsplanung basierend auf Maschinendaten, Nutzungshistorie und Betriebsparametern.		Prognose zukünftiger Wartungsbedarfe durch KI-gestützte Analyse von Sensordaten und Betriebsverhalten.	Automatisierte Wartungsaufträge, Warnmeldungen und Unterstützung durch AR-Technologien oder Chatbots.
End Of Life	Dynamische Bildung geschlossener Lieferketten					
	Identifizierung wiederverwendbarer Datenmengen zur Förderung geschlossener Lieferketten und der Kreislaufwirtschaft.		Bestimmung geeigneter Nutzungsszenarien für Re-Use in einem datenbasierten Entscheidungsraum.			Automatisierte Initiierung von Prozessen zur Wiederverfügbarkeit und gezielten Integration in neue Anwendungen.

Was KI wo kann – eine Übersicht der Grundfähigkeiten entlang der industriellen Wertschöpfung, (Teil 2: von Infrastruktur bis End of Life)

