

Nachhaltig wirtschaften mit KI

Green-AI Hub Mittelstand: Wie Unternehmen
mit Künstlicher Intelligenz Ressourcen sparen
und Innovationen vorantreiben



Eine KI-Initiative des



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Koordiniert durch die



Zukunft
Umwelt
Gesellschaft

Überblick

Green AI verbindet Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit. Dieses Hintergrundpapier zeigt, wie Unternehmen durch den gezielten Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) Ressourcen schonen, Kosten senken und Innovationen fördern können. Wachstum nachhaltig zu gestalten, ist ein zentrales Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Unternehmen jeder Größe – vom kleinen Handwerksbetrieb über die Hidden Champions des Mittelstandes bis zum international operierenden Industriepayer – sind ein zentraler Motor der deutschen Wirtschaft. Digitale Technologien, insbesondere Künstliche Intelligenz (KI), leisten dabei einen immer wichtigeren Beitrag.

Mit dem **Green-AI Hub Mittelstand** unterstützt das **Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN)** Unternehmen dabei, KI gezielt für Ressourceneffizienz und Klimaschutz einzusetzen. Durch eine intelligenteren Nutzung von Materialien, Ressourcen und Energie können Treibhausgasemissionen reduziert, Kosten gesenkt und neue Innovationspotenziale erschlossen werden.

» In unserem Hintergrundpapier erfahren Sie, warum Künstliche Intelligenz eine reale Antwort auf aktuelle Herausforderungen ist – von Klimaschutz und Ressourcenschonung bis zur Einführung zirkulärer Wirtschaftsmodelle. ➔ [Kapitel 2](#)

» Wir präsentieren die Ergebnisse der KI-Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand. Sie zeigen, wie durch den gezielten Einsatz von KI-Technologien eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen in Unternehmen ermöglicht werden kann. ➔ [Kapitel 3](#)

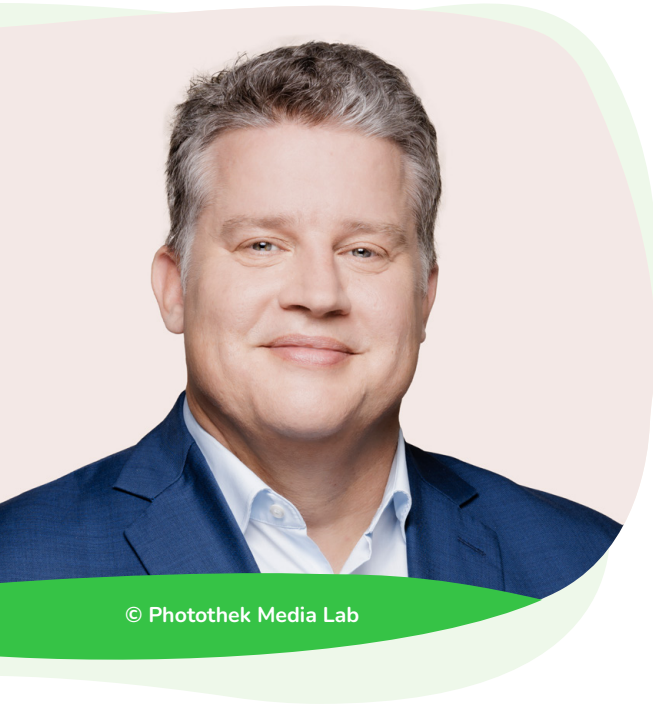
» Die detaillierte Vorstellung der bisher 20 Pilotprojekte zeigt deutlich, wie KI in unterschiedlichen Branchen erfolgreich eingesetzt wird – von der Produktionsoptimierung über Qualitätssicherung bis hin zu digitalen Lösungen für die Kreislaufwirtschaft. ➔ [Kapitel 4](#)

» Erfahren Sie, wie Sie mit Open-Source-KI aus dem Green-AI Hub Mittelstand sofort praktisch starten können – den Code herunterladen, anpassen, verbessern und weiterentwickeln. ➔ [Kapitel 5](#)

» Lernen Sie, wie Sie KI-Projekte mithilfe der „Guidelines for Green AI“ des Bundesumweltministeriums ökologisch verantwortungsvoll gestalten. Sie dienen der Orientierung für eine nachhaltige Entwicklung und eine umweltverträgliche Nutzung von KI-Systemen. ➔ [Kapitel 6](#)



AI Conference 2024 © ZUG/Toni Kretschmer



© Photothek Media Lab

Liebe Leserinnen und Leser,

Künstliche Intelligenz ist als Zukunftstechnologie in den Unternehmen und der Wirtschaft unseres Landes angekommen. Digitale Technologien wie KI bieten große Potenziale, aber bringen auch Herausforderungen mit sich – auch und gerade für Umwelt und Klima. Es stellt sich die Frage, wie technologischer Fortschritt auch im Einklang mit ökologischen Zielen erfolgen und wie unser Wirtschaftswachstum dadurch nachhaltig und sozialverträglich gestaltet werden kann.

Unsere Initiative, der Green-AI Hub Mittelstand, setzt genau dort an. Sie ist Wegbereiterin für mehr Ressourceneffizienz und Materialeinsparung durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Sie richtet sich speziell an Unternehmen: niedrigschwellig und direkt in der betrieblichen Praxis.

In 20 KI-Pilotprojekten hat der Green-AI Hub Mittelstand gemeinsam mit Unternehmen aus ganz Deutschland innovative KI-Anwendungen umgesetzt. Die Ergebnisse sind bemerkenswert: Künstliche Intelligenz bietet schon heute einen spürbaren Mehrwert für

Unternehmen, die bereit sind, sie gezielt einzusetzen. KI führt zu effizienteren Prozessen, weniger Ausschuss und sinkenden Kosten. KI fördert darüber hinaus betriebliche Kreislaufwirtschaftsmodelle.

Entscheidend ist nicht die Größe des Betriebs, sondern die Offenheit, vorhandene Daten zu nutzen und digitale Prozesse zu verbessern. Unternehmen, die KI in der Produktion, in der Lagerung oder im Vertrieb einsetzen, können so abhängig vom Anwendungsbereich deutliche Effekte für Klima und Ressourceneffizienz erzielen.

Wir haben in diesem Paper die Informationen und die Ergebnisse der Pilotprojekte unserer Initiative für Sie aufbereitet. Damit auch Sie davon und von der Unterstützung des Green-AI Hub Mittelstand profitieren und daran teilhaben können!

Carsten Träger

Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Grußwort aus der Wirtschaft

Liebe Leserinnen und Leser,

Der Mittelstand ist das Rückgrat unserer Wirtschaft. Damit Deutschland wettbewerbsfähig bleibt, müssen wir Künstliche Intelligenz schnell und praxisnah in die Breite bringen. Der Green-AI Hub Mittelstand liefert dafür die richtige Antwort: unternehmernah, unbürokratisch und mit messbarem Nutzen.

In schlanken Pilotprojekten, gemeinsam mit Unternehmen, werden Prozesse effizienter, Ressourcen geschont und neue Geschäftsmodelle erschlossen – direkt in den Betrieben vor Ort. Statt Bürokratie setzt der Hub auf kurze Wege, klare Verantwortlichkeiten und schnelle Entscheidungen. Diese Hands-on-Mentalität bringt KI aus der Forschung in die Anwendung und stärkt den Standort Deutschland. Jetzt gilt es,

Tempo zu machen: KI muss flächig im Mittelstand ankommen. Der Green-AI Hub Mittelstand hat gezeigt, wie es geht. Wir brauchen Kontinuität und Skalierung – mehr Unternehmen, mehr Regionen, mehr Anwendungsfälle. Der Hub sollte verstetigt und konsequent ausgeweitet werden, als verlässlicher Partner des Mittelstands und Motor für produktives, ressourcenschonendes Wachstum.

Christoph Ahlhaus

Vorsitzender der BVMW-Bundesgeschäftsführung

BVMW. Der Mittelstand ist Partner des Green-AI-Hub Mittelstand



© Der Mittelstand BVMW

Inhalt

Grußworte

1 Green-AI Hub Mittelstand

- » Unsere Mission
- » Meilensteine und Angebote
- » Impuls

2 Nachhaltig wirtschaften mit Künstlicher Intelligenz

- » Warum KI für Ressourceneffizienz?
- » KI als Schlüsseltechnologie

3 Green-AI Hub-Pilotprojekte: Ergebnisse im Überblick

- » KI-Pilotprojekte in ganz Deutschland
- » Ergebnisse & Wirkungen

4 Unsere KI-Pilotprojekte

- » Wertschöpfungsstufe Rohstoffe
- » Wertschöpfungsstufe Entwicklung
- » Wertschöpfungsstufe Produktion
- » Wertschöpfungsstufe Infrastruktur
- » Wertschöpfungsstufe Transport
- » Wertschöpfungsstufe Service
- » Wertschöpfungsstufe End of Life
- » Nachgefragt: Nach dem Pilotprojekt

5 Open Source: Ein praktischer Einstieg

6 Guidelines for Green AI

7 Impulse & Ausblick

Impressum

3

6

7

8

9

10

11

12

13

14

16

22

23

24

27

36

38

40

41

43

45

47

49

51



S. 23

Wertschöpfungsstufe Rohstoffe



S. 24

Wertschöpfungsstufe Entwicklung



S. 27

Wertschöpfungsstufe Produktion



S. 37

Wertschöpfungsstufe Infrastruktur



S. 38

Wertschöpfungsstufe Transport



S. 40

Wertschöpfungsstufe Service



S. 41

Wertschöpfungsstufe End of Life



S. 43

Nachgefragt: Nach dem Pilotprojekt

The background of the slide is a dark blue overlay on a photograph of industrial machinery. On the left, there is a large, cylindrical component with concentric rings, possibly a turbine or a large valve. On the right, a robotic arm or a mechanical gripper is visible, holding a small, rectangular object. The overall tone is professional and technical.

1 Green-AI Hub Mittelstand

- » Unsere Mission
- » Meilensteine und Angebote
- » Impuls

1 Green-AI Hub Mittelstand

Der Green-AI-Hub Mittelstand ist eine KI-Initiative des Bundesumweltministeriums. Mit seinen KI-Initiativen unterstützt das Umweltressort die nachhaltige Gestaltung von KI und die Nutzung ihrer Chancen zugunsten von Klima und Umwelt.

Unsere Mission

Der Green-AI Hub Mittelstand ist Wegbereiter für die Nutzung von KI für Ressourceneffizienz und Materialeinsparung. Er richtet sich speziell an Unternehmen: 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).

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 Bundesumweltministeriums 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 Mittelstands.

Mehr zu den KI-Initiativen unter:

bundesumweltministerium.de/kuenstliche-intelligenz



Ausgezeichnete KI-Pilotprojekte © ZUG/Toni Kretschmer

Meilensteine und Angebote



Green-AI Hub Pilotprojekte

Die Pilotprojekte mit Unternehmen in ganz Deutschland sind das Herzstück der Initiative und demonstrieren die praktische Umsetzung von KI für mehr Ressourceneffizienz (➔ Kapitel 4). Dabei wurden Ressourceneffizienzpotenziale der KI-Technologien für die jeweiligen Anwendungsfälle ermittelt. Seit 2023 wurden [20 KI-Pilotprojekte](#) umgesetzt.



Green-AI Hub Veranstaltungen

Auf unseren regelmäßigen [Green-AI Hub Foren](#) geben Projektverantwortliche und Fachleute aus KI, Umwelt und Wirtschaft Einblicke in die Praxis der KI-Entwicklung und -Anwendung. Sie präsentierten, wie Unternehmen KI ressourcenschonend und gewinnbringend einsetzen können. Hier kommen darüber hinaus KI-Entwickler*innen und politische Vertreter*innen zusammen und diskutieren über Trends im Bereich Green AI. In unseren [Online-Workshops und auf Veranstaltungen](#) vermitteln Fachleute der Initiative und Pilotprojekte Wissen zu Green AI und tauschen sich mit Vertreter*innen aus dem Mittelstand und der KI-Community aus.



Green-AI Hub Mobil

Mit dem [Green-AI Hub Mobil](#) besuchen unsere Expert*innen bundesweit Messen, Veranstaltungen und Unternehmen. Die mobilen Demonstratoren an Bord zeigen das Spektrum an Möglichkeiten der Nutzung

von KI für mehr Ressourceneffizienz in Produktion, Lagerung und Qualitätsmanagement.

</> Green-AI Hub Open Source

Die im Rahmen der Pilotprojekte entwickelten KI-Lösungen und KI-Standardanwendungen sowie KI-Demonstratoren werden als Open-Source Modelle auf [GitHub](#) veröffentlicht. Sie stehen dort Unternehmen und KI-Entwickler*innen kostenfrei zur Verfügung.



Green-AI Hub Mobil beim GreenTech Festival © ZUG/Toni Kretschmer



Green-AI Hub Forum 2025 © ZUG/Toni Kretschmer



Green-AI Hub Wissen

Über unsere [Webseite](#), [LinkedIn](#), den [Newsletter](#) und die [Workshop-Plattform](#) können Sie sich über die Angebote, Projekte, Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich Green AI auf dem Laufenden halten.



Guidelines for Green-AI

Mit dem KI-Bundesverband, dem Umweltbundesamt und weiteren Akteuren wurden die [Guidelines for Green AI](#) entwickelt. Sie bieten Softwareentwickler*innen und Unternehmen einen Orientierungsrahmen für die nachhaltige Gestaltung und den Einsatz von KI-Systemen.



Green-AI Hub Tools

Der Green-AI Hub Check hilft KMU, den KI-Reifegrad des Unternehmens einzuschätzen. Aus den KI-Pilotprojekten wurden [KI-Anwendungsfelder](#) abgeleitet. Sie zeigen, welche [KI-Technologien](#) zum Einsatz kommen und wie diese die Ressourceneffizienz verbessern.

Erfahren Sie mehr über unsere Angebote auf unserer Website ➔ www.green-ai-hub.de.



© ZUG/Hoffotografen

„Der Green-AI Hub Mittelstand unterstützt Unternehmen, dass sie KI so nutzen, dass sie nicht nur Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit steigern, sondern auch den ökologischen Fußabdruck minimieren. Wir setzen besonders niedrigschwellig und praxisorientiert an – ganz im Sinne eines modernen Unternehmertums und der effizienten Umsetzung konkreter Projekte für Umweltschutz und Ressourceneffizienz. Die bereits abgeschlossenen Pilotprojekte bekräftigen diese Ausrichtung und bestätigen den Erfolg.“

Dr. Constanze Haug

Geschäftsführerin der Zukunft - Umwelt - Gesellschaft (ZUG) gGmbH

2 Nachhaltig wirtschaften mit Künstlicher Intelligenz

- » Warum KI für Ressourceneffizienz?
- » KI als Schlüsseltechnologie

2 Nachhaltig wirtschaften mit Künstlicher Intelligenz

Der Einsatz von KI für mehr Nachhaltigkeit in Unternehmen verbindet Umweltschutz, Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftsförderung: Mit ressourceneffizienten KI-Lösungen können Unternehmen Material und Ressourcen einsparen – und zugleich neue Chancen in einem dynamischen Markt nutzen.

Warum KI für Ressourceneffizienz?

Politische Rahmenbedingungen wie der EU-Green Deal und das deutsche Klimaschutzgesetz setzen klare Ziele: Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um 65 Prozent sinken, bis 2045 soll Klimaneutralität erreicht werden [1].

Ergänzend formuliert die **Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)** der Bundesregierung, wie Materialverbräuche verringert, Rohstoffe im Kreislauf gehalten und Märkte für zirkuläre Geschäftsmodelle gestärkt werden sollen [2].

Digitalisierung und Nachhaltigkeit müssen dafür stärker zusammengeführt werden, und KI kann dabei eine Schlüsselrolle einnehmen.

Doppelte Herausforderung: Umgang mit Ressourcen

Wie wir mit Rohstoffen umgehen, ist nicht nur eine ökologische, sondern auch eine große wirtschaftliche Herausforderung. Einerseits ist Deutschland als hochentwickelte Industrienation in der Verantwortung, die ökologischen Folgen unseres Verbrauchs zu minimieren. Dazu gehören die Bekämpfung des Klimawandels und die Reduzierung von Umweltbelastungen durch Rohstoffabbau.

Andererseits ist eine effiziente Ressourcennutzung entscheidend für wirtschaftliche Souveränität. Sie sichert die Wettbewerbsfähigkeit, macht unabhängiger von volatilen globalen Märkten und schützt Wertschöpfungsketten vor geopolitischen Risiken. Das Streben nach Ressourceneffizienz ist somit ein zentraler Pfeiler, um Wohlstand zu sichern und eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten.



© ZUG/Georg Knoll

[1] https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html

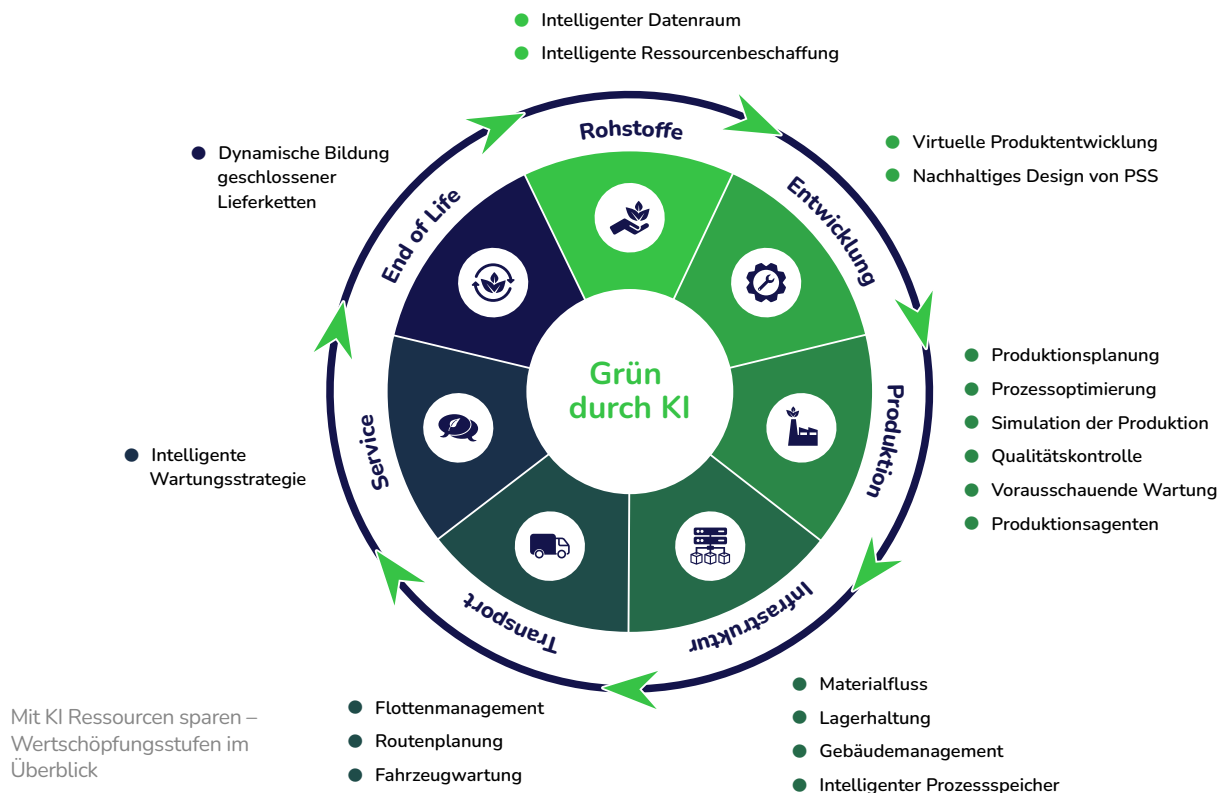
[2] <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>

KI als Schlüsseltechnologie

KI kann einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz und für mehr Kreislaufwirtschaft leisten. Sie verändert die Art und Weise, wie produziert und gewirtschaftet wird, und sie verbessert die Materialeffizienz entlang von Produktions- und Lieferketten. KI-Systeme optimieren Prozesse, indem sie den Materialverbrauch in Echtzeit anpassen, Fertigungsabläufe straffen oder die Lebensdauer von Produkten

durch vorausschauende Wartung verlängern. Das führt nicht nur zu ökologischen Vorteilen, sondern auch zu einer spürbaren Verbesserung der Kosteneffizienz. Darüber hinaus ermöglicht die intelligente Nutzung von Daten die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, die einen nachhaltigeren Umgang mit knappen Ressourcen fördern. Der Green-AI Hub Mittelstand macht deutlich, wie vielfältig die Einsatzmöglichkeiten

für KI in Unternehmen sind. Sie reichen von Lösungen im Bereich Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft über Anwendungen in der Produktionsplanung und -optimierung bis hin zu Simulation und Qualitätskontrolle. Die Grafik verdeutlicht diese Breite an Anwendungsfeldern und zeigt, wie KI in ganz unterschiedlichen Bereichen ansetzt, um Ressourcen einzusparen (mehr unter: <https://www.green-ai-hub.de/ki-anwendungsfelder/>).



Cross-Innovation als Impuls für Nachhaltigkeit

KI unterstützt Unternehmen nicht nur bei der Optimierung bestehender Prozesse, sondern eröffnet Potenziale für Cross-Innovation – also für neue Lösungen, die an den Schnittstellen verschiedener Branchen, Technologien und Wertschöpfungsketten entstehen. So können etwa Produktion und Kreislaufwirtschaft enger verzahnt werden, wenn digitale Systeme Bauteile für eine Wiederverwendung erfassen oder Recyclingprozesse steuern.

Auch in der Logistik oder im Produktdesign lassen sich Synergien schaffen, die den Materialeinsatz deutlich reduzieren. Dafür braucht es gezielte Unterstützung in den frühen Entwicklungsphasen, um ressourcenschonende KI-Lösungen von Anfang an richtig auszurichten, und bei der Skalierung, um eine schnelle Anwendung in der Praxis zu ermöglichen.

3 Green-AI Hub-Pilotprojekte: Ergebnisse im Überblick

- » KI-Pilotprojekte in ganz Deutschland
- » Ergebnisse & Wirkungen

3 Green-AI Hub-Pilotprojekte: Ergebnisse im Überblick

Die Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand zeigen, dass Künstliche Intelligenz Ressourcen schont, Prozesse optimiert, zirkuläres Wirtschaften fördert und Kompetenzen stärkt. Praxisnahe Anwendungsfälle und Open-Source-Lösungen schaffen messbare Mehrwerte entlang der Wertschöpfungskette.

KI-Pilotprojekte in ganz Deutschland

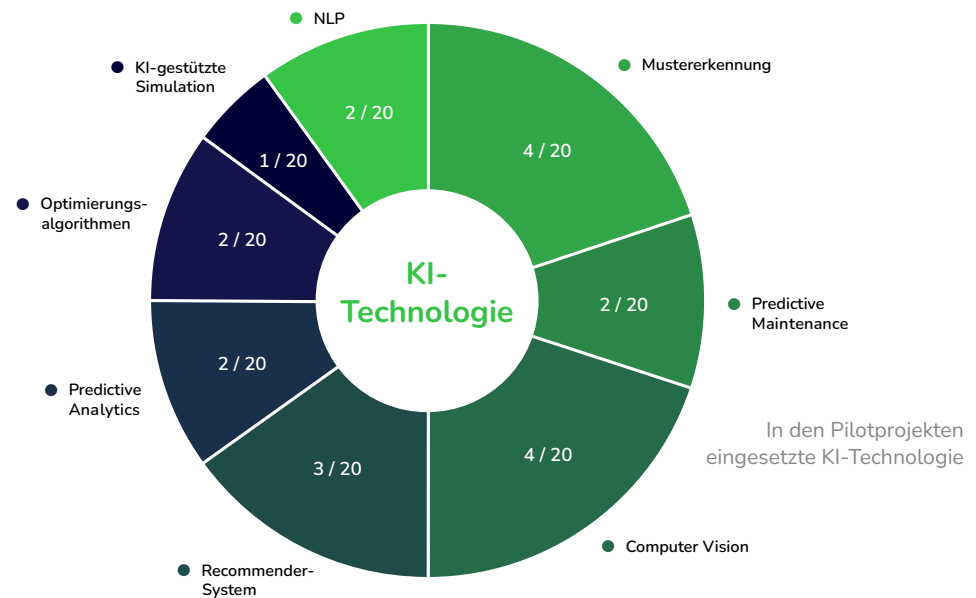
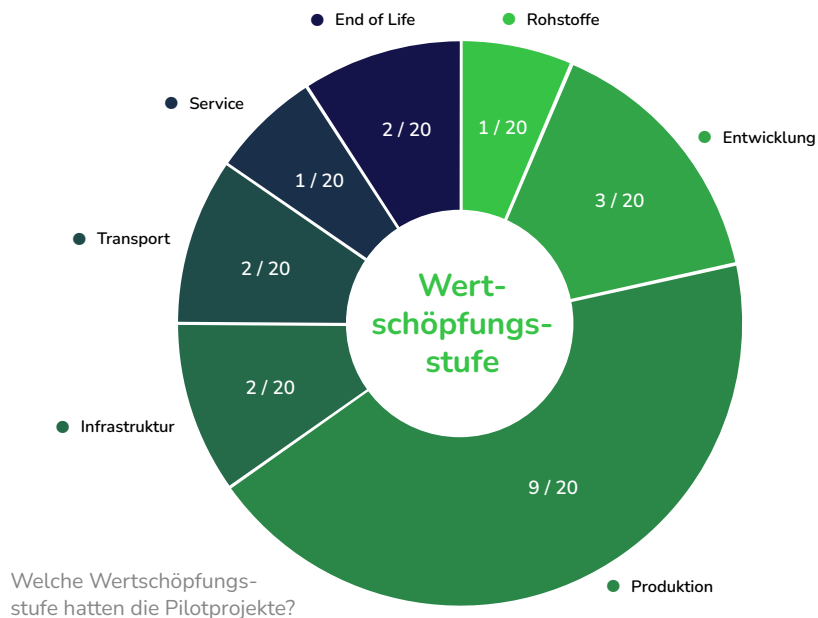
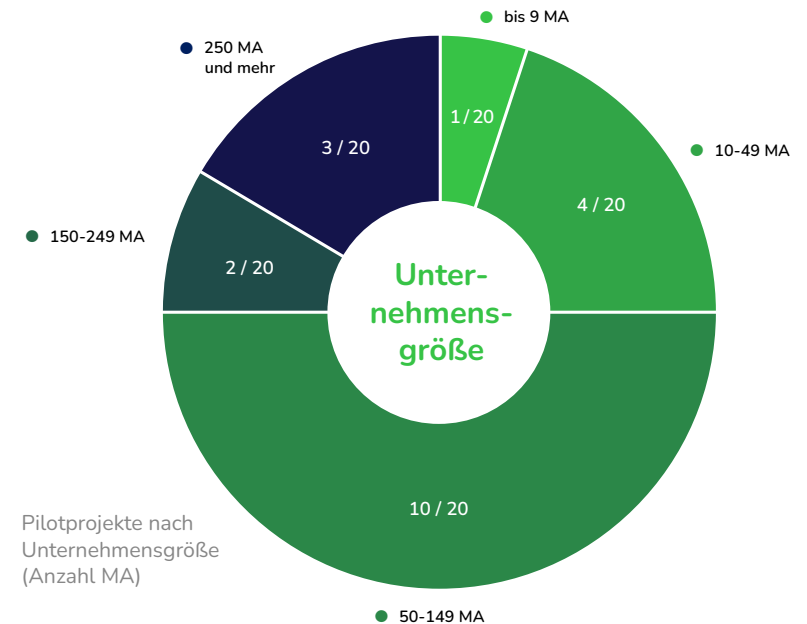
Seit dem Start der Initiative 2023 wurden bundesweit 20 Pilotprojekte mit Unternehmen unterschiedlichster Größe umgesetzt: Vom industriellen Produktionsbetrieb bis zum technologieorientierten Dienstleistungsunternehmen. Die Projekte demonstrieren, wie KI praxisnah und direkt vor Ort im Betrieb Materialflüsse optimiert, Prozesse effizienter gestaltet und den Ressourcenverbrauch senkt.



Unsere Pilotprojekte zeigen entlang der Wertschöpfungsstufen die ganze Bandbreite moderner KI-Technologien – von Mustererkennung und Computer Vision zur Prozessoptimierung über Predictive Maintenance und Recommender-Systeme für smartere Entscheidungen bis hin zu Natural Language Processing (NLP) und Predictive Analytics, die Daten und Sprache intelligent nutzbar machen. Auch Optimierungsalgorithmen und KI-gestützte Simulationen kamen gezielt zum Einsatz, um Szenarien schnell zu bewerten und Innovation messbar zu machen.

men gezielt zum Einsatz, um Szenarien schnell zu bewerten und Innovation messbar zu machen.

Ein zentraler Baustein ist der Transfer der Pilotprojekte in die Breite, indem die entwickelten Anwendungen als Open-Source-Lösungen (→ Kapitel 5) veröffentlicht wurden, um anderen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Entwickler*innen den Zugang dazu zu ermöglichen.



Ergebnisse & Wirkungen

Ökologisch verringern KI-Anwendungen, gerade wenn sie selbst auch nachhaltig sind, Materialverbräuche, reduzieren CO₂-Emissionen und steigern die Ressourceneffizienz von Unternehmen. Besonders dort, wo Produktionsparameter datenbasiert gesteuert werden, lassen sich Ausschuss und Nachbearbeitung von Materialien deutlich senken.

Ökonomisch verbessert Künstliche Intelligenz (KI) Prozesse, Planungen und Entwicklungszyklen. Sie re-

duziert Materialaufwände, steigert Produktivität und eröffnet neue Geschäftsfelder. So entstehen Anwendungen, die aus Unternehmensdaten greifbare Mehrwerte schaffen: schnellere Entwicklung, geringere Ausschussquoten, kürzere Durchlaufzeiten.

Darüber hinaus fördert KI strukturell neue Kompetenzen im Umgang mit Daten, verbessert die Zusammenarbeit zwischen Entwicklung, Produktion und IT und schafft Akzeptanz für digitale Innovationen.

Einordnung der dargestellten Ergebnisse und Wirkungen

Zur Demonstration der ökonomischen und ökologischen Potenziale des KI Einsatzes wurden in den 20 Pilotprojekten spezifische Daten in den Unternehmen erhoben und auf dieser Basis Potenziale abgeleitet. Dazu wurden im Rahmen der sechsmonatigen Pilotprojekte unternehmensinterne Prozessdaten erhoben sowie Experteneinschätzungen über Befragungen und Interviews zu den Wirkungen eingeholt.

Auf Basis der belastbaren Prozessdaten, zum Teil auch aus der praktischen Erprobung der prototypischen KI-Lösungen, wurden Potenziale anhand spezifischer ökonomischer und ökologischer Indikatoren abgeleitet und hochgerechnet. Die dargestellten Potenziale zeigen somit konkret, welche finanziellen Effekte sowie Wirkungen für Ressourceneffizienz und Umwelt sich durch den Einsatz der jeweiligen Lösungen tatsächlich ergaben bzw. perspektivisch erreicht werden können.



© ZUG/Jan Zappner

Ökologische Einsparpotenziale

Die 20 Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand demonstrieren, dass gezielter KI-Einsatz in Unternehmen in den Bereichen des verarbeitenden Gewerbes (14 Pilotprojekte) sowie Dienstleistung und Software (6 Pilotprojekte) zu einer Steigerung der Materialeffizienz und Ressourcenschonung beitragen kann.

Für alle verarbeitenden Unternehmen werden durch den KI-Einsatz für Ressourceneffizienz langfristig Materialeinsparungen und damit gekoppelt Energieeinsparungen prognostiziert.

In den 14 Green-AI-Hub-Pilotprojekten im verarbeitenden Gewerbe ließen sich Einsparpotenziale anhand spezifischer Prozesse praxisnah demonstrieren und abschätzen, da diese technisch und ökobilanziell gut beschreibbar sind. Diese prozessbezogenen Ein-

sparpotenziale während der Laufzeit der Pilotphase wurden rechnerisch auf die Jahresproduktion hochskaliert (vgl. nachstehende Tabelle 1). Insgesamt ergeben sich auf dieser Basis für die skalierbaren Pilotprojekte des verarbeitenden Gewerbes Einsparpotenziale in Höhe von rund 320 t Material, über 1.311 t CO₂e und über 6.249 t im Material Footprint pro Jahr. Der gezielte KI-Einsatz in konkreten Prozessen reduzierte demnach deutlich den Material und den Carbon Footprint.

Anhand drei zentraler Indikatoren werden die Ressourceneffizienzpotenziale spezifischer Prozesse in den einzelnen Pilotprojekten quantifiziert. Die Einsparpotenziale der Pilotprojekte im verarbeitenden Gewerbe ergeben sich als Hochrechnung auf die Jahresproduktion. Die Einsparpotenziale der Projekte im IT-Dienstleistungsbereich beziehen sich auf ausgewählte Beispielanwendungen.

1 – Materialeinsparung

Materialmengen, die in dem jeweiligen Unternehmen in einem Jahr direkt eingespart werden können

2 – Material Footprint

Benötigte Gesamtmenge an Rohstoffen entlang des Lebenszyklus eines Produktes oder Prozesses – inklusive ungenutzter Entnahme

3 – Carbon Footprint

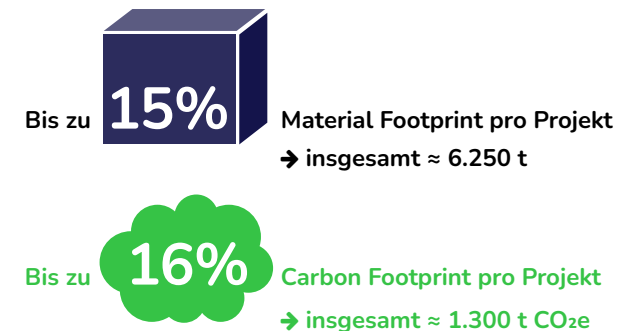
Treibhausgas (THG)-Emissionen entlang des Lebenszyklus eines Produktes oder Prozesses – ausgewiesen in CO₂-Äquivalenten (CO₂e)

Nachweisbare Effekte im verarbeitenden Gewerbe

Einsparpotenzial verarbeitendes Gewerbe (pro Jahr)



Material in 14 Unternehmen



Im Unternehmen und insgesamt

Unternehmen	Anzahl Mitarbeitende	Produkte	Einsparpotenziale pro Jahr (relativ / absolut)*		
			Materialmenge	Material Footprint	Carbon Footprint**
Bosch	>250	Werkzeuge und -stücke	1 t Metalle	2 % / 122 t	1 % / 7 t
4Packaging	50-149	Tiefdruckzylinder	575 kg Metalle	1 % / 77 t	1 % / 12 t
Pikatron	>250	Leistungselektronik	8 t Metalle und Kunststoffe	1 % / 350 t	1 % / 42 t
Heismann	50-149	Drehteile	29 t Metalle	1 % / 800 t	1 % / 153 t
Storz	50-149	Leiterplatten	5 t Elektronikkomponenten	2,5 % / 1.785 t	2,5 % / 168 t
Kalzip	150-249	Aluminiumdächer	63 t Metalle	3 % / 1.000 t	3 % / 364 t
MPG	50-149	Metallrohre	–	3,5 % / 370 t	3,5 % / 48 t
Köstler	50-149	Airbagnetze	700 kg Kunststoffe	6 % / 5,5 t	6 % / 3 t
ULT	150-249	Lufttechnik und Transport	–	7 % / 124 t	7 % / 21 t
Herges	10-49	Schuheinlagen	352 kg Kunststoffe	10 % / 0,6 t	14 % / 0,4 t
brammibals / foodtracks	50-149	Donuts	32 t Lebensmittel	–	14 % / 37 t
Schumacher	>250	Bauteile Landtechnik	153 t Metalle	13,8 % / 1.042 t	14,2 % / 280 t
Kübler	50-149	Hallenheizungen	24 t Metalle und Kunststoffe	15 % / 356 t	15 % / 56 t
System180	50-149	Möbel und Transport	3 t Metalle und Sonstiges	10 % / 217 t	16 % / 120 t
* Die Einsparpotenziale ergeben sich als Hochrechnung für die Jahresproduktion. ** Absolute Mengenangabe für den Carbon Footprint in CO ₂ e					

Tabelle 1: Ressourceneffizienzpotenziale der Pilotprojekte im verarbeitenden Gewerbe

Die in den Pilotprojekten erzielbaren Einsparpotenziale durch KI-Einsatz für Ressourceneffizienz sind in ihrer Wirkung vielfältig. Im Bereich des verarbeitenden Gewerbes können direkte Materialeinsparungen

und damit in Verbindung stehende Energieeinsparungen durch Prozessoptimierung und -überwachung erzielt werden. Aufgrund der ressourcenintensiven Prozesse und Materialien in der metallver-

arbeitenden Industrie, hat KI hier durch präzise Steuerung und Optimierung der Arbeitsschritte ein besonders hohes Einsparpotenzial.

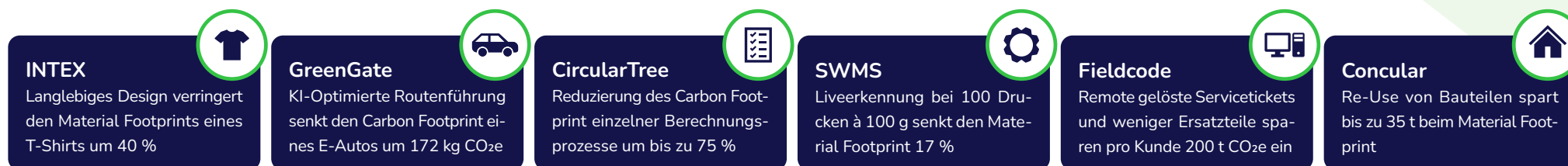
Wirkungen im IT-Dienstleistungs- & Softwaresektor

Im Bereich der IT-Dienstleistungen können dagegen virtuelle Optimierungen oder Prognosen dazu beitragen, entlang der Wertschöpfungskette Einsparpotenziale zu heben. Die sechs hier verorteten Pilotprojekte verdeutlichen, dass die Optimierung virtueller Prozesse im Bereich Außendienst- und Ticketmanagement auch im Realen Fahrzeiten, Leerfahrten oder den Versand nicht benötigter Ersatzteile reduziert. Die hier entwickelten KI-Lösungen entfalten demnach nicht innerhalb der Pilotunternehmen, sondern durch

die nachgelagerte Anwendung ihre Wirkung. Anstelle der unternehmensweiten jährlichen Potenziale wurden für diese sechs Pilotprojekte daher spezifische Anwendungsbeispiele quantifiziert. Zusätzliche Potenziale ergeben sich durch die Übertragung der Konzepte auf weitere Unternehmen und Anwendungsbereiche.

Einordnung der Umweltwirkungen der KI-Systeme

Neben den direkten prozessbedingten Ressourceneinsparungen, zum Beispiel durch verringerten Ausschuss, zeigten die Pilotprojekte zudem, dass die Hardware und der Betrieb der KI für diese Anwendungsfälle einen im Vergleich zu den Einsparpotenzialen geringen ökologischen Fußabdruck erzeugt. Viele Anwendungen laufen auf Bürorechnern oder Edge-Geräten und benötigen keine Rechenzentrumsinfrastruktur. Damit werden nicht nur Ressourcen geschont, sondern auch Hürden für den breiten Einsatz im Mittelstand gesenkt.



Unternehmen	Anzahl Mitarbeitende	Bezugsgröße der Potenzialabschätzung	Materialien	Einsparpotenziale pro Jahr (relativ / absolut)	
				Material Footprint	Carbon Footprint*
SWMS	10-49	100 fehlerfreie 3D-Drucke	Kunststoffe	17 % / 30 t	17 % / 14 t
Intex	50-149	Lebensdauerverdopplung eines T-Shirts	Textile	41 % / 0,3 t	39 % / 0,1 t
Concular / CSD	10-49	Wiedernutzung von Innenbauteilen	Türen, Fenster, Lampen	– / 35 t	– / 9 t
GreenGate	10-49	Nutzung E-Auto für 1 Jahr	–	13 % / 1,3 t	13 % / 172 t
CircularTree	<10	Automatisierte Zuordnung von 1.000 Datensätzen	–	– / –	bis 75 % / bis 8,7 t
Fieldcode	50-149	Technikereinsätze und Ersatzteiltransporte	Elektronikkomponenten	1 % / 770 t	1 % / 197 t

* Absolute Mengenangabe für den Carbon Footprint in CO₂e

Tabelle 2: Ressourceneffizienzpotenziale der Pilotprojekte aus dem IT-Dienstleistungsbereich

Ökonomische Effekte

Die Pilotprojekte zeigen, dass sich Ökonomie und Ökologie nicht ausschließen. KI-Anwendungen im Mittelstand verbinden Ressourceneffizienz mit wirtschaftlichem Nutzen. Wichtige Indikatoren für diesen Erfolg sind der Technologiereifegrad der Lösungen und ihr Return on Investment.

Zur Ermittlung der ökonomischen Einsparpotenziale wurden 13 Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstands befragt und ihre Antworten ausgewertet. Ziel war es, zentrale Muster, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen vergleichbar zu machen.

9 von 13 Unternehmen waren mit dem Pilotprojekt aus ökonomischer Sicht zufrieden.

Im Mittelpunkt standen der Technologiereifegrad (TRL) und der Return on Investment (ROI), die den Entwicklungsstand der KI-Lösungen und ihren wirtschaftlichen Nutzen verdeutlichen.

Technologiereifegrad (TRL)

Der Technologiereifegrad beschreibt, wie weit eine Technologie entwickelt ist von der ersten Idee bis zur Anwendung im realen Betrieb. Für die KI-Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand gelten folgende Stufen:

- » **TRL 1-3:** Grundlagenforschung, Machbarkeit und erste Funktionsnachweise im Labor.
- » **TRL 4-6:** Validierung mit realistischen Daten, Entwicklung und Demonstration von Prototypen in praxisnahen Umgebungen.
- » **TRL 7-9:** Integration, Test und Einsatz der Lösung im realen Betrieb.

Technologiereifegrad in den KI-Pilotprojekten

Die Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand starteten in ihren Anwendungsfällen auf einem TRL von 1-2.

9 von 13 Unternehmen konnten den TRL ihrer Lösung deutlich erhöhen und erreichten am Projektende TRL 4 oder höher.

Nach Projektabschluss konnten 8 von 13 Unternehmen ihren TRL weiter steigern, was eine erfolgreiche Verstärkung der KI-Lösung verdeutlicht. Damit entstehen im Mittelstand Innovationen, die das Potenzial haben, in marktreife Produkte, Tools oder Dienstleistungen überführt zu werden.

ROI und Skalierung

Der ROI beschreibt den Zeitraum, bis sich eine Investition durch Erträge amortisiert. Er dient als Kennzahl, um wirtschaftlichen Nutzen und Risiko zu bewerten.

5 von 13 Unternehmen konnten bereits einen ROI abschätzen mit Amortisationszeiträumen von ein bis fünf Jahren.

Investitionen in KI-Lösungen können also auch für kleine und mittlere Unternehmen schnell wirtschaftliche Wirkung entfalten – vorausgesetzt, Datenqualität und Know-how sind vorhanden oder werden von Unternehmen künftig aufgebaut.

Die Auswertung der befragten KI-Pilotprojekte macht deutlich, dass KI für Ressourceneffizienz auch in wirtschaftlicher Hinsicht einen messbaren Mehrwert schafft. 9 von 13 Unternehmen bewerten die erzielten Ergebnisse als ökonomisch positiv oder sehr positiv. Sie sehen in den entwickelten KI-Lösungen den Ausgangspunkt für eine langfristige Weiterentwicklung ihrer Geschäftsprozesse und Produkte. Nahezu alle Unternehmen bereiten bereits vertiefende oder aufbauende Projekte vor und verweisen damit auf klare Skalierungseffekte, die über das Pilotprojekt hinausreichen. KI wird somit nicht als einmaliges Experiment, sondern als strategisches Werkzeug verstanden, das sich dauerhaft in Unternehmensstrukturen integriert.

Wissenstransfer

Der enge Austausch zwischen KI-Expert*innen und betrieblichem Fachpersonal ermöglichte eine steile Lernkurve, insbesondere bei Themen wie Datenqualität, Schnittstellenintegration und modellbasiertes Prozessdenken. So entstanden in kurzer Zeit Kompetenzen, die die Unternehmen nun eigenständig weiterentwickeln. 11 Unternehmen berichten zudem von einer relevanten Wissensdiffusion in andere Unternehmensbereiche.

10 von 13 Unternehmen nannten den Wissenstransfer als einen der größten Mehrwerte des Projekts.

Weiterentwicklung

Die Ergebnisse der Pilotprojekte wirken über die Projektlaufzeit hinaus. Viele Unternehmen nutzen die gewonnenen Erkenntnisse, um neue Anwendungsfälle zu entwickeln oder bestehende KI-Lösungen weiter auszubauen.

9 von 13 Unternehmen befinden sich in Vorbereitung auf oder bereits in einem vertiefenden oder auf dem Projekt aufbauenden Folgeprojekt.

Etwa ein Viertel (3 von 13 Unternehmen) hat bereits aus den Piloten ein ökonomisch verwertbares Tool, Produkt, Angebot oder eine neue Geschäftsidee entwickelt, die bereits vermarktet oder als Dienstleistung angeboten werden: Weitere befinden sich in der aktiven Entwicklung (3 von 13).

10 von 13 Unternehmen erwarten aus den Projekten weitere, nicht direkt messbare ökonomische Effekte (z. B. Wettbewerbsvorteil, Marketingvorteil).

Darüber hinaus berichten 11 der 13 befragten Unternehmen von weiteren ökonomisch relevanten, wenn auch nicht direkt quantifizierbaren Ergebnissen – etwa verbesserte Datenstrukturen, stabilere Produktionsprozesse, kürzere Durchlaufzeiten oder einer höheren Kundenzufriedenheit.

Fazit

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Kombination aus niedrighwelliger Einführung, praxisnaher Begleitung und offener Weitergabe der Erkenntnisse einen nachhaltigen Mehrwert schafft. Unternehmen gewinnen nicht nur operative Effizienz, sondern werden auch strategisch

handlungsfähig und erhalten eine solide Grundlage, um KI langfristig in ihre Geschäftsprozesse zu integrieren.

Dabei spielt der Digitalisierungsgrad der Unternehmen zu Projektbeginn eine zentrale Rolle: Je höher die digitale Reife, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass KI-Lösungen erfolgreich implementiert werden können.

Die Pilotprojekte übernehmen eine besondere Impulsfunktion. Besonders hervorzuheben ist der Wissensaufbau innerhalb der Unternehmen. Viele konnten Know-how aus den Pilotprojekten in andere Bereiche übertragen. Entscheidend für die „KI-Readiness“ ist dabei nicht nur der technische Stand, sondern auch die Aufnahmekapazität für neues Wissen. Damit KI langfristig Wirkung entfalten kann, müssen die Mitarbeitenden aktiv eingebunden, geschult und für neue Arbeitsweisen gewonnen werden.

Alle Pilotprojekte haben wertvolle wirtschaftliche und organisatorische Erfolge erzielt und Impulse gesetzt. Sie leisten somit einen wichtigen Beitrag zum Aufbau von Kompetenzen und zur Stärkung der Innovationsfähigkeit im Mittelstand.

4 Unsere KI-Pilotprojekte

- » Wertschöpfungsstufe Rohstoffe
- » Wertschöpfungsstufe Entwicklung
- » Wertschöpfungsstufe Produktion
- » Wertschöpfungsstufe Infrastruktur
- » Wertschöpfungsstufe Transport
- » Wertschöpfungsstufe Service
- » Wertschöpfungsstufe End of Life
- » Nachgefragt: Nach dem Pilotprojekt



KI-basierte Optimierung der Bedarfsplanung

Beim rheinland-pfälzischen Unternehmen GROUP SCHUMACHER entwickelte der Green-AI Hub Mittelstand eine KI-basierte Bedarfsprognose, die die Basis für den Einkauf von Rohmaterialien bildet. Dadurch wird Überproduktion vermieden und durch einen optimierten Einkauf der Anteil ungenutzter Rohstoffe reduziert.

GROUP SCHUMACHER

- » Familienunternehmen für Landtechnik aus Eichelhardt
- » Seit 1968 spezialisiert auf Komponenten für Erntemaschinen
- » Über 600 Mitarbeitende an sieben Standorten

Technologische und ökologische Herausforderung

Das vielfältige Produktsortiment führt zu langen Planungszeiten für die Rohmaterialbeschaffung. Schwankende Kundenbedarfe und begrenzte Lagerkapazitäten erschweren die Planung und führen häufig zu Überproduktion und hohen Lagerbeständen. Klassische Planungsprozesse reagieren auf Veränderungen meist verzögert und bieten wenig Flexibilität für kurzfristige Anpassungen. Eine präzise vorausschauende Bedarfsplanung ist essenziell für eine bedarfsgerechte Produktion.

KI-gestützte Bedarfsprognose

Im KI-Pilotprojekt wurde ein System entwickelt, das anhand historischer Verkaufs-, Einkaufs- und Abschreibungsdaten sowie global zusammenhängender Daten präzise Kundenbedarfsprognosen erstellt. Durch intelligente Auswertung werden Muster und Zusammenhänge erkannt, um fundierte Planungen für den Einkauf abzuleiten. Die KI dient als zentrales Werkzeug zur datenbasierten Entscheidungsunterstützung und trägt dazu bei, Beschaffungs- und Produktionsprozesse smarter zu steuern. Das entwickelte KI-Modell analysiert verfügbare historische Daten, um zukünftige Bedarfe zuverlässig vorherzusagen.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch präzise Bedarfsprognosen ermöglicht das KI-System bedarfsgerechte Beschaffung von Rohmaterialien



und reduziert ungenutzte Rohmaterialien sowie überproduzierte Artikel erheblich. Dies wirkt sich direkt positiv auf Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit aus, da Lagerkosten und Ausschüsse reduziert und Produktionsressourcen effizienter eingesetzt werden. Das entwickelte KI-Modell stärkt Planbarkeit, reduziert Risiken und fördert nachhaltige Unternehmensentscheidungen. Die Reduktion von Überproduktion führt zu geringerem Materialverbrauch und optimierter Lagerhaltung bei gleichzeitiger Sicherstellung der Lieferfähigkeit.

„Es werden verschiedene Modelle trainiert und mit der tatsächlichen Auftragslage abgeglichen. So können wir unsere Produktionsplanung und die Materialbeschaffung deutlich optimieren.“

Frank Fojkis, GROUP SCHUMACHER

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Breites Produktsortiment führt zu langen Planungszeiten für die Rohmaterialbeschaffung » Schwankende Kundenbedarfe und begrenzte Lagerkapazitäten » Überproduktion und hohe Lagerbestände durch ungenaue Prognosen » Verzögerte Reaktion klassischer Planungsprozesse auf Marktveränderungen	» Datenanalyse und Mustererkennung	» Präzisere Bedarfsprognosen durch KI-basierte Datenanalyse » Bedarfsgerechte Beschaffung von Rohmaterialien » Fundierte Planungsgrundlagen für strategische Entscheidungen » Höhere Planungssicherheit bei kurzfristigen Marktveränderungen	» Effizienterer Einsatz von Produktionsressourcen » Verringerte Überproduktion und optimierte Lagerhaltung » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 1.042 t (13,8 Prozent) ○ Carbon Footprint: 280 t CO₂e (14,2 Prozent)



KI-basierte Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Textilbranche

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

INTEX EDV-Software GmbH

- » Spezialist für Software in der Textilbranche
- » Unterstützt nahezu alle Prozesse der Lieferkette
- » Über 30 Jahre Erfahrung mit ERP und SCM

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

Integration von Nachhaltigkeitskriterien

Bei INTEX wurde ein KI-gestütztes Vorschlagsystem 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 Vorschlagsystem unterstützt bei der Rohstoffauswahl im Designprozess. Das kann positive Effekte auf den Rohstoffeinsatz und die gesamte Wertschöpfungs-

ungskette 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 & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» EU-Richtlinien zur Nachverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit von Textilien » Mikroplastik und Recyclinggrad » Datenverfügbarkeit	» Recommender-System	» Design for Circularity » Verlängerte Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit von Kleidungsstücken	» Nachgelagerte Einsparpotenziale bei Kunden von Intex bzw. letztlich den Verbraucher*innen durch z. B. längere Nutzungsdauern der Kleidungsstücke » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Beispielbetrachtung: ein T-Shirt kann durch veränderten Materialmix doppelt so lange genutzt werden ○ Material Footprint: 0,3 kg (41 Prozent) ○ Carbon Footprint: 0,1 kg CO₂e (39 Prozent)



KI-basierte Identifizierung von CO₂-Werten

CircularTree aus Berlin automatisierte mit Unterstützung des Green-AI Hub Mittelstands die CO₂-Berechnung in Lieferketten. Eine KI-Lösung mit Natural Language Processing identifiziert und klassifiziert Produktkomponenten automatisch und ersetzt die manuelle Berechnung.

CircularTree

- » 2018 in Berlin gegründet, Fokus auf Dekarbonisierung
- » Unterstützt Unternehmen in nachhaltigen Lieferketten
- » Plattform fördert Transfer von CO₂-Fußabdrücken

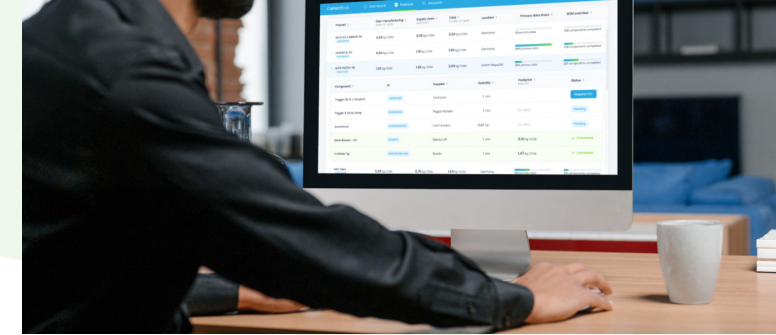
Technologische und ökologische Herausforderung

Die manuelle CO₂e-Berechnung von Produktkomponenten anhand einer Stückliste erfordert erhebliche personelle und zeitliche Ressourcen. Informationen zu einzelnen Komponenten müssen online gesucht und den richtigen Prozessen in einer Life-Cycle-Assessment (LCA)-Datenbank zugeordnet werden. Dies erfordert umfassende Materialkenntnisse, Erfahrung im Umgang mit diversen LCA-Datenbanken und Expertise in CO₂-Lebenszyklusanalysen. Für Unternehmen mit vielen eingekauften Komponenten stellt dies eine große finanzielle Belastung dar.

KI-gestütztes Entity-Mapping

Im KI-Pilotprojekt wurde ein Entity-Mapping (Klassifizierung) mittels Natural Language Processing erstellt. Dies ermöglicht es den Kunden von CircularTree, Produktkomponenten einfach zu identifizieren, um ihren CO₂-Fußabdruck zu berechnen.

Das System nutzt natürliche Sprachverarbeitungstechnologien und Klassifizierungstechniken, um die am besten geeigneten Klassen oder Bezeichnungen für jedes Produkt oder jede Produktkomponente zu identifizieren. Das Modell basiert auf BERT oder Transformers mit Zero-Shot- oder Few-Shot-Lerntechniken sowie generativen Modellen wie ChatGPT zur Klassifizierung.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-Lösung reduziert den Zeit- und Arbeitsaufwand erheblich, den CircularTree bisher in die manuelle Klassifizierung der CO₂e-Emissionen zahlreicher Produktkomponenten investieren musste. Das Projekt adressierte verschiedene Stufen der Wertschöpfungskette: Transparenz des CO₂-Fußabdrucks von Komponenten und Rohstoffen, Auswahl geeigneter Komponenten zur Minimierung des CO₂-Fußabdrucks in der Entwicklung und Vereinbarung von Zielen mit Lieferanten zur Reduktion der Lieferkettenemissionen. Der CO₂-Fußabdruck kann durch Einsatz von Recyclingmaterialien reduziert werden, was für jedes Unternehmen relevant ist.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Manuelle CO₂e-Berechnung erfordert erhebliche personelle und zeitliche Ressourcen » Umfassende Materialkenntnisse und LCA-Datenbank-Expertise erforderlich » Komponenten müssen online gesucht und Prozessen zugeordnet werden	» Natural Language Processing	» Automatische Identifizierung und Klassifizierung von Produktkomponenten » Schnellere und präzisere CO₂-Fußabdruck-Berechnung » Visualisierung des Entity-Mappings für bessere Nachvollziehbarkeit	» Erhebliche Reduktion von Zeit- und Arbeitsaufwand bei CO₂-Fußabdruck-Berechnung » Transparenz des CO₂-Fußabdrucks entlang der gesamten Lieferkette ermöglicht Auswahl emissionsärmerer Komponenten und Recyclingmaterialien » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Anwendungsbeispiel: Automatisierung von 1.000 Zuordnungsprozessen könnte 650 Stunden Arbeitszeit sparen ○ Carbon Footprint: bis zu 9 kg CO₂e (bis zu 75 Prozent)



KI-basiertes Empfehlungssystem für den Leistungselektronikbau

Pikatron aus Hessen entwickelte mit Unterstützung des Green-AI Hub Mittelstands ein KI-basiertes Empfehlungssystem für die Entwicklung von Leistungselektronik. Es nutzt Wissensgraphen und historische Daten, um Prototypen zu verringern, Material zu sparen und die Entwicklung effizienter zu machen.

Pikatron GmbH

- » Aus Usingen und fertigt Leistungselektronik
- » Kundenspezifische Kleinserien für Industrie
- » Entwicklung und Prototypenbau nach Bedarf

Technologische und ökologische Herausforderung

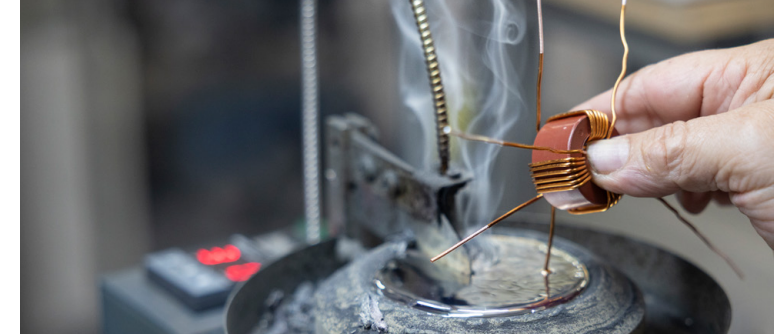
Technische Anfragen mit spezifischen elektrischen oder mechanischen Anforderungen werden an einzelne Entwickler weitergeleitet, die Produkte auf Basis ihrer Erfahrung entwickeln. Das wertvolle historische Wissen aus ähnlichen Prototypen ist schwer zugänglich und durchsuchbar. Dies erschwert eine gleichbleibende Qualität der Produkte sowie die Dokumentation des Fertigungsprozesses und der Bauvorschriften. Prototypen-Iterationen könnten eingespart werden, wenn auf bestehendes Wissen zurückgegriffen werden könnte.

Wissensgraph-basiertes Empfehlungssystem

Das Projekt entwickelte ein Empfehlungssystem auf Basis von Wissensgraphen mit einer Domänen-Ontologie. Heterogene Daten aus Messdatenbank, ERP-Feldern (Stücklisten, Fertigungsschritte) und Artikelnummernkreisen wurden integriert. Der eingesetzte KI-Algorithmus AnyBURL wurde so weiterentwickelt, dass er besonders zuverlässig Zusammenhänge zwischen Stücklisten und Messdaten erkennt. Das System schlägt ähnliche Artikel automatisch vor und zeigt nachvollziehbar, auf welchen Regeln diese Empfehlungen basieren. Eine benutzerfreundliche Oberfläche ermöglicht es den Entwickler*innen, die Vorschläge im Arbeitsalltag zu nutzen.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Bei der Evaluation von 558 Bauartikeln zeigten 55,02 Prozent (mit Confidence >0,4) ideales Potenzial zur



Prototypeneinsparung und Materialreduktion. 9,68 Prozent waren fast baugleiche Artikel mit deutlich reduzierter oder vollständig eingesparter Bemusterungsphase. Das System ermöglicht schnellen Zugriff auf bestehendes Wissen und Dokumentationen zur Erstellung konsistenter und optimierter Produktspezifikationen. Dies reduziert Ausschussquote und Materialverschwendung bei der Prototyp-Entwicklung signifikant. Der Ansatz ist branchenübergreifend auf alle Use Cases mit Stücklisten anwendbar.

„Reibungslose, zielorientierte Zusammenarbeit auf Augenhöhe. Wir konnten Schwachstellen erkennen und Datenstrukturen für zukünftige KI-Anwendungen aufbauen.“

Dr. Florian Klug, Pikatron GmbH

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Fehlende Dokumentation und Durchsuchbarkeit bestehender Entwicklungen » Kundenspezifische Anforderungen erschweren gleichbleibende Qualität » Unnötige Prototypen-Iterationen durch fehlenden Wissenstransfer	» Recommender System	» 55 Prozent der Artikel zeigen ideales Potenzial zur Prototypeneinsparung » 9,68 Prozent fast baugleiche Artikel ermöglichen stark reduzierte Bemusterung » Funktionierende GUI für Entwickler zur schnellen Wissensabfrage	» Signifikante Reduzierung von Prototypen-Iterationen und dem damit verbundenen Materialaufwand » Einsparung von Metallen, Vergussmassen, Isolationsfolien und Ferritkernen (potenziell rund 8 t pro Jahr) » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 350 t (1 Prozent) ○ Carbon Footprint: 42 t CO₂e (1 Prozent)



KI-basiertes Monitoring von 3D-Druck

SWMS entwickelt Software für die additive Fertigung von Großbauteilen mit Industrierobotern. Im Pilotprojekt wurde der 3D-Druckprozess mithilfe von KI und Sensorik kontinuierlich überwacht, um Abweichungen früh zu erkennen und Fehler im Druck zu vermeiden.

SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH

- » 1996 gegründet, Sitz in Oldenburg
- » Spezialist für digitale Industriefertigung
- » Software für Auslegung und Composite-Bauteile

Technologische und ökologische Herausforderung

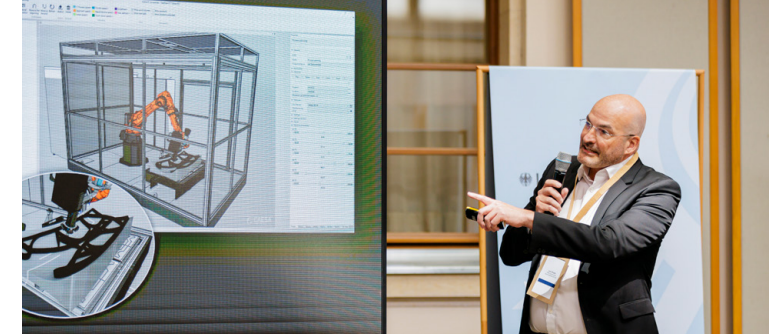
Im 3D-Druckprozess können kleine Fehler dazu führen, dass Bauteile unbrauchbar werden, was zu erheblichem Materialverlust führt. Aktuell wird die Qualitätskontrolle oft erst nach Abschluss des Druckprozesses durchgeführt. Dies schließt eine nachträgliche Korrektur aus und hat Ausschussprodukte zur Folge. Besonders bei der additiven Fertigung von Composite Bauteilen ist die prozesssichere Herstellung ohne große Einfahrmaßnahmen eine essenzielle Herausforderung.

KI-gestützte Objekterkennung und Bildsegmentierung

Das KI-Pilotprojekt von SWMS setzte 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 wurde 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 Aus-



schuss 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.

*„Wir profitieren in 2 Bereichen. Wir können Planungs- und Fertigungsprozesse optimieren und gestalten die Fertigungsergebnisse für unsere Kund*innen nachhaltiger.“*

Lars Windels, SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Nachgelagerte Qualitätskontrolle führt zu Materialverschwendung bei Fehldrucken » Prozesssichere Fertigung von kleinen Losgrößen	» Computer Vision	» Neue Servicekomponente für SWMS » Verbesserte Simulationen durch Erkennung und Ausschluss von Fehlerursachen	» Material- und Energieeinsparung durch Prozessabbruch bei Fehlererkennung » Nachgelagertes Einsparpotenzial bei Kunden von SWMS in Abhängigkeit der Produktgröße und des Fehlerzeitpunktes im Druckprozess » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale am Minimalbeispiel von 100 fehlerfreien Drucken á 100g: - o Material Footprint: 30 kg (17 Prozent) - o Carbon Footprint: 14kg CO₂e (17 Prozent)



KI-gestütztes 3D-Druckverfahren von orthopädischen Einlagen

Die Johann Herges GmbH, eine Schuhmanufaktur in dritter Generation, will die Produktion orthopädischer Einlagen mit Künstlicher Intelligenz transformieren. Im Pilotprojekt des Green-AI Hub Mittelstands kam ein KI-gestütztes 3D-Druckverfahren zur Steigerung der Ressourceneffizienz zum Einsatz.

Johann Herges GmbH

- » 1935 gegründet, Sitz in Saarbrücken
- » Spezialist für orthopädische Schuhtechnik
- » Fertigung von Maßschuhen, Einlagen und Orthesen

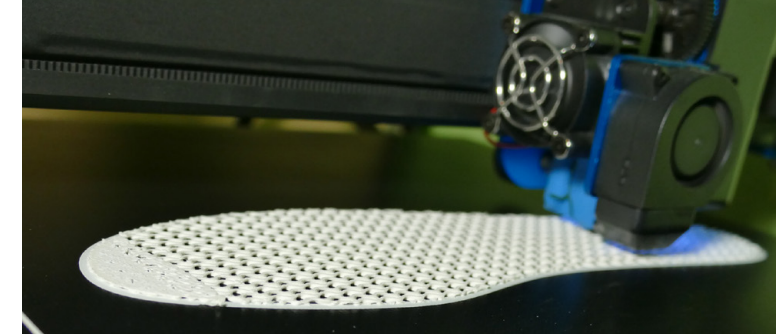
Technologische und ökologische Herausforderung

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.

Additive Produktion 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 Neuroner Netze (ANN) und Support Vector Machines



(SVM). Die Handschrift der Orthopädie-techniker*innen bleibt erhalten durch die Integration eines Trainings-satzes 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 Einsparpotenzial von bis zu 10 Prozent im Material Footprint und bis zu 14 Prozent im Carbon Footprint berechnet.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Aufwendige Datenerfassung » Investition in Technologie, Schulung und Integration in die Prozesse	» Datenanalyse und Mustererkennung	» Etablierung eines neuen Produktionsverfahrens mit geringerem Materialeinsatz » Transformative Wirkung auf die Ressourceneffizienz des Unternehmens	» Reduktion des Materialeinsatzes im Unternehmen (ca. 70 Prozent) durch das neue Fertigungsverfahren » Bei 1000 Schuhpaaren ca. 0,5 t Materialeinsparung » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 600kg (10 Prozent) ○ Carbon Footprint: 400kg CO₂e (14 Prozent)



KI-basierte optische Qualitätssicherung

Im Rahmen des Green-AI Hub Mittelstands wurde zusammen mit der Kötler GmbH eine KI-basierte Lösung zur optischen Qualitätssicherung textiler Netze entwickelt. Sie erkennt Material- und Geometriefehler automatisch, reduziert Ausschuss und gestaltet Produktionsprozesse effizienter und ressourcenschonender.

Kötler GmbH

- » Automobilzulieferer mit Sitz in Annaberg-Buchholz
- » Spezialisierung auf Airbags und Interieur
- » Verbindet Erfahrung, Präzision und Innovation

Technologische und ökologische Herausforderung

Technisch ging es darum, die Fehler der Bauteile automatisiert zu erkennen, die Ausschussquote von drei bis vier Prozent manueller Prüfung mit KI zu erreichen und gleichzeitig eine verlässliche, maschinelle Erkennung von Material- und Geometriefehlern zu gewährleisten. Besondere Herausforderung war die präzise Trennung beider Fehlerarten, da Geometrieabweichungen schwer zu identifizieren sind.

Ökologische Herausforderung war die Reduktion von Ausschuss und Materialabfällen durch präzisere Fehlererkennung.

KI-basierte optische Qualitätssicherung

Das KI-Pilotprojekt bei Kötler nutzte Künstliche Intelligenz, um die Qualität der geschnittenen textilen Netze zu sichern. Eine innovative Prüfstation sortiert die Textilien automatisch in gut oder fehlerhaft. Die KI erkennt Material- und Geometrieabweichungen präzise, reduziert Ausschuss und ermöglicht eine frühzeitige Fehlerkorrektur. Durch kontinuierliche Datenerfassung werden Produktionsabweichungen sofort sichtbar. Dafür wurde bei der KI-Lösung auf eine Kombination aus Transfer Learning (ResNetV2), Autoencoder und homologiebasierten Random-Forest-Modellen gesetzt.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch KI-gestützte Fehlererkennung werden Ausschuss und Materialverluste minimiert. Produktionsprozesse laufen effizienter, da Trends früh erkannt und korrigiert werden. Der Bedarf an Prüf-Schablonen sinkt um 50 Prozent, zudem reduziert sich der Platz- und Energiebedarf. Dies führt zu Kostensenkungen, höherer Wettbewerbsfähigkeit sowie gesteigerter Ressourcenschonung.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Präzise Trennung von Material- und Geometriefehlern » Reduzierung der Ausschussquote bei automatisierter Prüfung	» Computer Vision	» Funktionsfähiger Demonstrator, der in gut und fehlerhaft sortiert » Frühwarnsystem für Produktionsprobleme	» Reduktion von fehlerhaften Teilen » 50 Prozent weniger Schablonen » Potenzielle Reduktion des Materialeinsatzes um ca. 700kg pro Jahr (beim betrachteten Produktbeispiel) » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: ca. 5,5 t (6 Prozent) ○ Carbon Footprint: 3 t CO₂e (6 Prozent)



KI-basierte Prognosen für Lebensmittelproduktion

Im Green-AI Hub Pilotprojekt mit Brammibal's Donuts und Foodtracks wurde ein KI-gestütztes Prognosemodell entwickelt, das Verkaufs-, Wetter- und Ereignisdaten kombiniert, um den täglichen Backwarenbedarf präziser vorherzusagen. So lassen sich Überproduktion und Lebensmittelabfälle signifikant verringern.

Brammibal's Donuts und Foodtracks

- » Kooperation von Donuthersteller und Softwareanbieter
- » Fokus auf die Reduzierung von Lebensmittelabfällen
- » KI unterstützt nachhaltige Bäckereiprozesse

Technologische und ökologische Herausforderung

Brammibal's Donuts produziert täglich rund 7.000 vegane Donuts für 12 Filialen. Da die Produkte ganz ohne Konservierungsstoffe hergestellt werden, sind sie besonders empfindlich und nur am Tag der Herstellung zum Verzehr geeignet. Im Jahr 2023 kam es zu einer Überproduktion von rund 438.500 Donuts – das entspricht etwa 17 Prozent der Gesamtproduktion. Damit gingen jährlich 5.500 kg Weizenmehl, 4.000 kg Zucker, 1.000 l Rapsöl, 222 kg Hefe, 200 kg

Schokolade und 134 kg Mandeln in die Überproduktion. Die überschüssigen Donuts werden nicht entsorgt, sondern an soziale Einrichtungen gespendet.

KI-basierte Bedarfsprognose

Brammibal's Donuts und Foodtracks entwickelten gemeinsam mit dem DFKI spezifische Forecasting-Algorithmen auf Basis von Deep Learning und Time-Series Forecasting. Die KI-Modelle analysieren externe Daten wie Wetter, Feiertage und historische Verkaufsdaten, um die täglichen Bedarfe von Backwaren präzise vorherzusagen.

Zusätzlich wurden neue intelligente Designschnittstellen implementiert, die das Vertrauen und Verständnis der Filialleiter*innen für die KI-Prognosen



stärken. Die Lösung optimiert bestehende KI-Modelle der einzelnen Filialen mittels neuer Deep-Learning-Techniken und externer Datenquellen.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-basierte Bedarfsprognose ermöglicht es Brammibal's Donuts, die Überproduktion von über 200.000 Donuts jährlich zu mindern und damit erhebliche Rohstoffmengen einzusparen. Durch die präzisere Vorhersage werden Produktionsüberschuss und die damit verbundenen Kosten reduziert. Die Skalierung auf 2.800 Foodtracks-Filialen birgt das Potenzial für eine Gesamteinsparung von 3.500 t Lebensmittelabfällen pro Jahr.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Verderblichkeit der Donuts ohne Konservierungsstoffe » Fehlende Erfahrungswerte für neue Donutsorten » Hohe Verschwendungsrate von 17 Prozent der Produktion » Komplexe Bedarfsprognose bei wechselnden Geschmacksrichtungen	» Predictive Analytics	» Verbesserung der Bedarfsplanung » Erklärbare Vorhersage des Rohstoffbedarfs » Skalierbare Lösung für andere Bäckereien	» Potenzielle Reduzierung von über 200.000 weggeworfenen Donuts pro Jahr in den Brammibals-Filialen » Bei erfolgreicher Skalierung auf andere Produkte über Foodtracks potenzielle Einsparung von 3.500 t Lebensmittel pro Jahr » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: - o Carbon Footprint: 37 t CO₂e (14 Prozent)



KI-basierte Qualitätsbestimmung für Tiefdruckzylinder

4Packaging nutzte im Green-AI Hub Pilotprojekt KI, um die Qualität recycelter Tiefdruckzylinder zu überwachen. Neuronale Netze analysieren Parameter wie pH-Wert und Temperatur, während Computer Vision Fehler erkennt und klassifiziert.

4Packaging GmbH

- » Familienunternehmen seit 2000 in Dissen
- » Spezialist für Tiefdruckformen für Verpackungen
- » Recycling von Tiefdruckzylindern

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 elektrochemischen 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.

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 analysiert 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 frühzeitiger 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 & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Verbesserung der Datengrundlage durch Retrofitting » Diversität der Formate der relevanten Informationen	» Computer Vision	» Erkenntnisgewinn über die Prozesse » Datenstruktur » Eigenständiges Training von Daten im Unternehmen möglich » Vorgehensweise als Standardlösung im Unternehmen etablieren » Skalierbare Lösung der Fehlererkennung	» Verringerung fehlerhafter Tiefdruckzylinder um 20 Prozent » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: bis zu 77t (1 Prozent) ○ Carbon Footprint: bis zu 12t CO₂e (1 Prozent)



KI-basierte Optimierung der Drehteileproduktion

Die Heismann Drehtechnik GmbH produziert Präzisionsdrehteile für verschiedene Industrien. Im Pilotprojekt wurden KI-basierte Modelle zur frühzeitigen Erkennung von Produktionsfehlern entwickelt, um Ausschuss zu reduzieren, Maschinenstillstände zu vermeiden und den Materialeinsatz zu optimieren.

Heismann Drehtechnik GmbH

- » 1918 gegründet, Hersteller von Präzisionsdrehteilen
- » Produziert Millionen Bauteile aus Metall pro Jahr
- » Moderne Fertigung mit CNC-Dreh- und Fräszentren

Technologische und ökologische Herausforderung

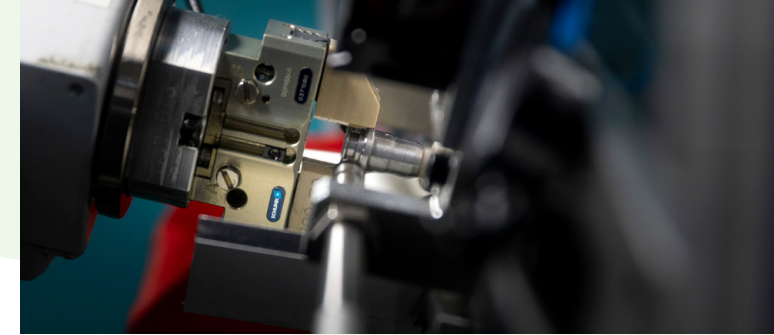
Die automatisierten Produktionsprozesse müssen so gestaltet werden, dass Prozessstabilität im Regelbetrieb gewährleistet bleibt. Aufgrund enger Fertigungstoleranzen und vielfältiger Einflussfaktoren wie Werkzeugverschleiß, Temperaturschwankungen oder Materialeigenschaften kommt es regelmäßig zu Störungen.

Im Jahr 2023 wurden 695.084 Drehteile (1,66 Prozent der Produktion) mit 53.264 kg Material als

Ausschuss produziert. Produktionsunterbrechungen erfordern umfangreiche manuelle Nachregulierungen und führen zu weiterem Ausschuss.

Optimierung der Qualitätsbestimmung

Das Projekt zielte auf KI-gestützte Auswertung von Produktionsdaten zur früheren und effektiveren Fehlererkennung ab. Drei Schwerpunkte wurden verfolgt: Werkzeugüberwachung zur Vorhersage der Abnutzung, Überwachung der Verarbeitungsgüte durch indirekte Prozessparameter und Prozessoptimierung durch statistische Auswertungen. Die KI-Modelle wurden mit TPOT AutoML auf GPU-Clustern trainiert und erreichten Genauigkeiten von 75 bis 95 Prozent bei der Ausschussvorhersage. Zusätzlich wurden Handlungsempfehlungen für Maschinenhochlaufphasen entwickelt.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch die angestrebte Ausschussreduktion können jährlich große Mengen der ressourcenintensiven Rohmaterialien Eisen, Aluminium und Kupfer eingespart werden. Dies kann deutliche Einsparungen von CO₂e bewirken. Bei Skalierung auf den gesamten Maschinenpark sind Ressourceneinsparungen von mehreren Tonnen Material und über 150 t CO₂e-Reduktion jährlich zu erwarten. Das Projekt führte zur Schaffung einer internen KI-Stelle ab 2025 und Folgeprojekten.

„Bei der Herstellung unserer Produkte fallen viele Daten an. Unsere Hoffnung ist, das KI dabei hilft, Daten wirklich nutzbar zu machen, z. B. wann eine Maschine betriebsbereit ist und in welchem Zustand sie ist.“

Martin Gawenda, Heismann Drehtechnik GmbH

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Ausschussquote von 1,66 Prozent bei 53.264 kg Material (2023) » Produktionsunterbrechungen durch Werkzeugverschleiß und Materialschwankungen » Manuelle Nachregulierung bei vielen intransparenten Parametern » Enge Fertigungstoleranzen bei Präzisionsdrehteilen	» Datenanalyse und Mustererkennung	» Entwicklung funktionsfähiger Modelle zur frühzeitigen Fehlererkennung » Handlungsempfehlungen für optimierte Maschinenstandzeiten » Schaffung interner KI-Stelle und Folgeprojekte ab 2025	» Materialeinsparung durch Ausschussreduktion (potenziell rund 30 t pro Jahr bei Skalierung auf den Maschinenpark) » Energieoptimierung durch verbesserte Prozessstabilität » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: rund 800 t (1 Prozent) ○ Carbon Footprint: rund 153 t CO₂e (1 Prozent)



Reduktion der Überproduktion in der Leiterplattenfertigung durch KI

Die Schaltungsdruck Storz GmbH + Co. KG entwickelte im Pilotprojekt ein KI-basiertes System, das Ausschussmengen präzise vorhersagt und Überproduktion in der Leiterplattenfertigung vermeidet. So werden Materialeinsatz und Abfall reduziert, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen.

Schaltungsdruck Storz GmbH + Co. KG

- » Gegründet 1979 mit Sitz in Kenzingen
- » Führender Hersteller hochpräziser Leiterplatten
- » Fertigung mit komplexen, mehrstufigen Prozessen

Technologische und ökologische Herausforderung

Die Leiterplattenfertigung bei Storz erfordert hochpräzise Prozesse und exaktes Materialhandling. Um Ausschuss auszugleichen, wird oft überproduziert. Das verbraucht Kupfer, Gold, Harze und Chemikalien und belastet sowohl Umwelt und Wirtschaftlichkeit. Ziel ist es, Ausschuss besser vorherzusagen und Überproduktion zu vermeiden.

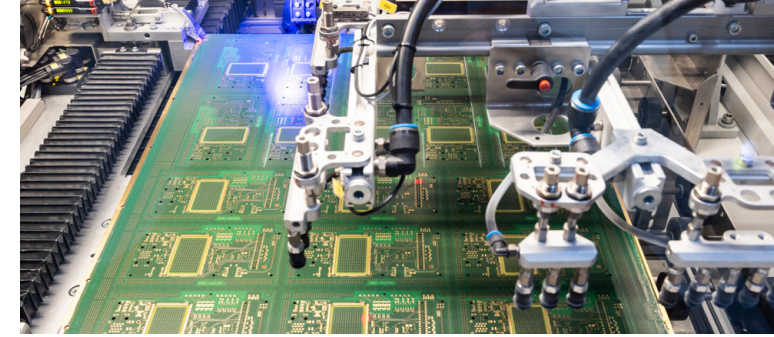
Mit KI Überproduktion senken

Im Green AI Hub Pilotprojekt entwickelte Storz ein KI-gestütztes System, das Produktionsdaten aus verschiedenen Prozessschritten analysiert, um die Ausschussmenge zuverlässiger vorherzusagen.

Mithilfe von Methoden wie Random Forests und großen Sprachmodellen werden Muster in Qualitätsdaten erkannt, die bisher verborgen blieben. Auf dieser Basis kann die Fertigungsmenge so angepasst werden, dass unnötige Pufferplatten deutlich reduziert werden.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch den gezielten Einsatz von KI kann Storz die bislang notwendige Überproduktion deutlich redu-



zieren. Rohstoffe wie Kupfer, Gold, Harze und Chemikalien werden sparsamer eingesetzt, während Energieverbrauch und Abfallmengen sinken. Diese Ressourceneffizienz wirkt sich auch unmittelbar auf die Produktionskosten aus. Das Unternehmen profitiert so von einer nachhaltigeren Fertigung, die zugleich wirtschaftliche Vorteile bringt und die Wettbewerbsfähigkeit stärkt.

„Wir verlassen uns nicht mehr nur auf Erfahrungswerte, sondern treffen datenbasierte Entscheidungen. Die KI hilft uns die optimale Produktionsmenge abzuschätzen. Wenn wir die Überproduktion dadurch von fünf auf zwei Prozent senken können, ist das schon viel.“

Philip Reuter, Schaltungsdruck Storz GmbH + Co. KG

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Hohe Komplexität in der Leiterplattenfertigung » Notwendige Überproduktion zur Absicherung gegen Ausschuss » Hoher Material- und Energieeinsatz durch Puffer	» Predictive Analytics	» Genaue Vorhersage von Ausschussquoten » Reduzierte Pufferproduktion bei gleichbleibender Qualität » Grundlage für präzisere Produktionsplanung	» Reduzierter Rohstoffeinsatz (z. B. Kupfer, Gold und Epoxidharz): potenziell über 5 t pro Jahr » Geringerer Energie- und Chemikalienverbrauch » Niedrigere Produktionskosten durch weniger Überproduktion » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ◦ Material Footprint: 1.785 t (2,5 Prozent) ◦ Carbon Footprint: 168 t CO_{2e} (2,5 Prozent)



KI-basierte Prozessdatenanalyse in der Präzisionsrohrherstellung

Bei der Mendener Präzisionsrohr GmbH entwickelte der Green-AI Hub Mittelstand eine durchgängige Datenerfassung vom Gießen bis zur Endprüfung. Alle Prozessdaten wurden zentral verknüpft und visualisiert, wodurch mithilfe von KI-Analysen gezielte Prozessoptimierungen möglich wurden.

Mendener Präzisionsrohr GmbH

- » Hersteller wärmetechnischer Produkte aus Minden
- » Spezialisiert auf innovative Wärmetauscherrohre
- » Engagiert für Nachhaltigkeit und Kreislaufdenken

Technologische und ökologische Herausforderung

Die größte Herausforderung in diesem Projekt war das Aufbrechen der Datensilos. Ein fertiges Rohr passiert eine Reihe von Stationen im Unternehmen. Der Prozess beginnt immer in der Gießerei mit individuellen Legierungen für jedes Produkt. Das gegossene Material wird dann an einer Reihe von Stationen verformt, gesägt und am Ende geprüft. Die zahlreichen Stationen repräsentieren eine Vielzahl an hetero-

genen Datenquellen, die alle für die Vorhersage der Qualität essenziell sind.

KI-gestützte Parameteroptimierung im Gießprozess

Im KI-Pilotprojekt wurde eine zentrale Datenbank entwickelt, die große Datenmengen effizient verarbeitet und heterogene Quellen zusammenführt. Ein Dashboard zeigt erstmals Zusammenhänge zwischen Ausschuss und Prozessschritten. Über eine Exportfunktion können Daten für KI-Analysen bereitgestellt und Prozesse gezielt optimiert werden.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Der Energiebedarf für das Schmelzen von Kupfer ist groß und somit auch die damit verbundenen Kosten



und der ökologische Fußabdruck. Durch eigenen grünen Strom reduziert das Unternehmen Emissionen. Jedes fehlerfreie Produkt spart somit große Mengen an Energie und Materialverluste ein. Dieses Einsparungspotenzial schlägt sich auch wirtschaftlich nieder. Hohe Energie- und Personalkosten am Standort Deutschland können durch eine effizientere und robustere KI-gestützte Produktion deutlich reduziert werden.

„Wir erzeugen weniger Ausschuss und integrieren Produkte besser in den Kreislauf. Das kann man mit einzelnen technischen Maßnahmen gar nicht erreichen. Das Projekt hilft uns, auf dem Weg zur Klimaneutralität deutlich weiterzukommen.“

Dr. Andreas Gahl, Mendener Präzisionsrohr GmbH

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Aufnahme von Daten im Realbetrieb » Gewinnung der Akzeptanz von Werkern an der Maschine » Große Datenmengen, hochfrequente Daten » Datensilos entlang der Wertschöpfungskette	» Datenanalyse und Mustererkennung	» Datensilos wurden aufgebrochen und in einer Datenbank zusammengeführt » Das Dashboard zeigt erstmalig Parameter entlang der gesamten Wertschöpfungskette » Daten haben gezeigt, dass Gießtemperatur reduziert werden kann	» Reduktion des Energiebedarfs durch Ausschussreduktion und Senkung der Gießtemperaturen » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 370 t (3,5 Prozent) ○ Carbon Footprint: 48 t CO₂e (3,5 Prozent)



KI-gesteuerte Werkzeugoptimierung

Am saarländischen Bosch-Standort in Homburg entwickelte der Green-AI Hub Mittelstand eine KI-basierte Werkzeugüberwachung. So lässt sich die Lebensdauer der Fräswerkzeuge deutlich erhöhen. Zudem erkennt das System Anomalien im Fräsprozess und verhindert Ausschuss.

Bosch - Standort Homburg

- » Produziert Teile für Diesel- und Wasserstoffsysteme
- » Drei Werke in Homburg, 4500 Mitarbeitende
- » Fräsen als Hauptprozess für maßgenaue Komponenten

Technologische und ökologische Herausforderung

Bei Bosch wird in der Produktionsplanung festgelegt, wie viele Teile ein Werkzeug fertigen kann – basierend auf statistischen Werten und Sicherheitstoleranzen. In der Praxis schwankt die Lebensdauer jedoch stark. Zu frühe Wechsel verschwenden Potenzial, zu späte verursachen Brüche. Ein dynamisches, KI-basiertes System soll den optimalen Zeitpunkt bestimmen.

KI-gestützte Werkzeugüberwachung

Im KI-Pilotprojekt wurde ein System entwickelt, das Sensoren wie Schall-, Vibrations- und Stromsensoren nutzt, um den Zustand der Werkzeuge vorherzusagen. Darüber hinaus kann das System Anomalien erkennen, also vom Normalzustand abweichendes Verhalten. Das KI-Modell eines Werkzeugs kann als Basismodell für ein anderes Werkzeug genutzt werden und verkürzt die Trainingszeit deutlich. Diese gezeigte Übertragbarkeit weist darauf hin, dass es möglich ist, Basismodelle für verschiedene Werkzeuge zu schaffen, um die Skalierbarkeit weiter zu erhöhen ohne, den dazugehörigen Energiebedarf für das Training.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch die Ermittlung des optimalen Austauschzeitpunkts der Werkzeuge können werkzeugbedingte Probleme und der dazugehörige Ausschuss reduziert werden. Diese Vermeidung spart Ressourcen, Kosten und reduziert den Stillstand der Anlage. Darüber hinaus werden die Werkzeuge bis zur jeweiligen maximalen Lebensdauer genutzt. Die Detektion von Anomalien schützt die Anlage vor nachhaltigen Problemen, die zu Stillstand führen können. Insbesondere die Detektion von Qualitätsproblemen an der Maschine erspart hohe Kosten, die durch Regressforderungen entstehen können.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Aufnahme von Daten im Realbetrieb » Gewinnung der Akzeptanz von Werkern an der Maschine » Große Datenmengen, hochfrequente Daten	» Reinforcement Learning	» CNN sagt vorher wie viele Teile bereits mit einem Werkzeug gefertigt wurden » Die gleiche Architektur ist sowohl für kleine Bohrer als auch für große Fräser erfolgreich » Der Autoencoder erkennt Anomalien, wie etwa Rattermarken, zuverlässig	» Reduktion des Materialeinsatzes durch längere Werkzeugnutzung und geringeren Ausschuss (über 1 t pro Jahr) » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 122 t (2 Prozent) ○ Carbon Footprint: 7 t CO₂e (1 Prozent)



Optimierung der Statikberechnung für Aluminiumdächer durch KI

Die Kalzip GmbH entwickelte im KI-Pilotprojekt einen Assistenten, der statische Berechnungen von Aluminiumdächern mithilfe von KI optimiert. So können Materialstärke und Unterkonstruktion effizienter genutzt und Materialverbrauch sowie Umweltbelastung deutlich reduziert werden.

Kalzip GmbH

- » Hersteller von Dächern aus Aluminium
- » Entwicklung nachhaltiger Gebäudehüllenlösungen
- » Fokus auf Qualität und architektonische Freiheit

Technologische und ökologische Herausforderung

Die Produktion von Kalzip-Aluminiumdächern erfordert individuell angefertigte statische Berechnungen, bei denen zahlreiche Einflussgrößen wie Dachgeometrie, Ausrichtung und Materialdicke berücksichtigt werden müssen. Bisher führten konservative Sicherheitsannahmen oft zu überdimensionierter Materialstärke, was den Aluminiumverbrauch und damit CO₂e-Emissionen steigert. Ohne KI-Werkzeuge ist es kaum möglich, alle Varianten systema-

tisch zu prüfen, um die ressourcenschonendste Lösung unter Einhaltung der Anforderungen zu finden.

KI-gestützte Statikberechnung

Im Pilotprojekt wurde ein KI-Assistent entwickelt, der aus bestehenden Kalzip-Daten – historischen Statiken sowie Projektparametern wie Materialdicke, Dachgeometrie, Lastannahmen und Unterkonstruktion – lernt. Die KI schlägt automatisch optimierte Parameter vor, z. B. reduzierte Materialstärken, bei weiterhin gewährleisteter Sicherheit. Das Statik-Team prüft die Vorschläge und integriert sie in die Planung. Da relevante Daten bereits digital vorliegen, entsteht kein Mehraufwand. So können Varianten effizient simuliert werden, um Materialverbrauch und CO₂-Fußabdruck zu senken.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch den KI-basierten Ansatz wurden statische Berechnungen präziser ausgelegt und bis zu 3 Prozent Aluminium sowie zusätzlich Stahl eingespart. Dies führte zu spürbar geringeren Materialkosten und einem reduzierten CO₂-Fußabdruck über den Lebenszyklus. Die Vermeidung von Überdimensionierung steigerte die Ressourceneffizienz und zeigte, dass KI-gestützte Optimierung sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile erzielen kann.

„KI kann helfen, Parameter wie Eigengewicht, Nutz-, Schnee- und Windlasten zu kombinieren und zu bewerten. Sie kann Lösungen schnell und automatisiert anbieten.“

Cristina Bañuelos, Kalzip GmbH

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Bereitstellung historischer Projektdaten » Sicherstellung der technischen und normativen Prüfung der Vorschläge des Assistenten	» Optimierungsalgorithmus	» Verkürzte Prozesszeiten für die Statikberechnung » Unterstützung der Planungsautonomie durch KI-gestützte Vorschläge	» Einsparung von bis zu 3 Prozent des eingesetzten Aluminiums » Zusätzliche potenzielle Einsparung von Stahl » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: rund 1.000 t (3 Prozent) ○ Carbon Footprint: 364 t CO₂e (3 Prozent)



KI-basierte Konfiguration von Heizungsanlagen

KÜBLER fertigt energieeffiziente Hallenheizungen mit vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten. Im Green-AI-Hub-Pilotprojekt verknüpfte ein digitaler Zwilling alle relevanten Daten zur optimalen Planung und zum effizienten Betrieb. KI spart Ressourcen, verbessert Wartung und stärkt die Kreislaufwirtschaft.

Kübler GmbH

- » Seit 1989 in Ludwigshafen tätig
- » Spezialisiert auf energieeffiziente Heizsysteme
- » Bietet Beleuchtungs-, Kühl- und Lüftungslösungen

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 ver-

schiedene Informationsquellen wie Sensoren und Daten zur Hallenaktivität in einen gemeinsamen Datenraum 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 zielte darauf ab, 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 vermeiden.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Der Einsatz von KI verbessert nicht nur die Ressourceneffizienz des Unternehmens, sondern auch die der Kunden, bei denen KÜBLER-Infrarotheizungen installiert wurden und 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.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Diversität der Formate der relevanten Informationen	» KI-gestützte Simulation	» Verbesserter Planungsprozess » Neues Angebot für Kunden durch durchgehende Datenauswertung	» Einsparung nicht benötigter Geräte (Ziel: 15 Prozent) » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: - o Material Footprint: bis zu 356 t pro Jahr (15 Prozent) - o Carbon Footprint: bis zu 56 t CO₂e pro Jahr (15 Prozent)



Lieferrouten und Disposition mit KI planen

Die GreenGate AG aus Windeck entwickelt Software für Betriebsführungs- und Instandhaltungslösungen. Im Pilotprojekt wurden KI-basierte Vorhersagemodelle für Elektrofahrzeuge entwickelt, um Wartung und Instandhaltung zu verbessern. So werden Mehrfahrten und Fehlproduktionen vermieden.

GreenGate AG

- » 2020 gegründet, Anbieter von Softwarelösungen
- » Fokus auf Betriebsführung und Instandhaltung
- » Kunden sind vor allem regionale Versorgungsbetriebe

Technologische und ökologische Herausforderung

Für Serviceflotten mit Elektrofahrzeugen müssen Wartung, Einsatzsteuerung und Routen so geplant werden, dass Batterien geschont, Leerfahrten vermieden und Umplanungen reduziert werden. Klassische Einzelpunktprognosen liefern dafür oft unsichere Ergebnisse. Das Projekt setzte daher auf KI mit Unsicherheitsquantifizierung (z. B. Conformal Prediction) und erklärbarer KI,

um Zusammenhänge zwischen Fahrverhalten, Routenplanung und Batterieverschleiß transparent zu machen und so Ressourcenverbrauch und Emissionen zu senken.

KI-gestützte Einsatzplanung

Ein KI-gestütztes Entscheidungshilfesystem unterstützt Disposition und Routenplanung für Außendienstesätze von Versorgern, die E-Fahrzeuge nutzen (z. B. beim Zählerwechsel). Die Modelle sagen Fahrzeug- und Batteriezustand mitsamt Unsicherheiten voraus und leiten robuste Touren sowie Wartungsfenster ab. Ergebnis: weniger Mehrfahrten, weniger Fehlproduktionen von Ersatzteilen, längere Akku-Lebensdauer und insgesamt effizientere, planbare Einsätze.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch optimierte Touren wurden Mehrfahrten und Emissionen reduziert, die Batterielebensdauer verlängert und der Bedarf an Ersatzteilen gesenkt. Die KI-gestützte Einsatzplanung zeigte über den Fahrzeuglebenszyklus nachweisbare Einsparungen – etwa 13 Prozent weniger Material und rund 172 kg CO_{2e} pro E-Fahrzeug und Jahr – und führte zu nachhaltigeren, wirtschaftlicheren Serviceeinsätzen.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Effiziente Einsatzplanung von Serviceflotten mit Elektrofahrzeugen	» Predictive Maintenance	» KI-gestütztes Entscheidungshilfesystem für Disposition und Tourenplanung » Robuste Einsatz- und Wartungspläne trotz Unsicherheiten	» Weniger Mehrfahrten durch optimierte Touren » Senkung von Emissionen » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale am Beispiel der optimierten Nutzung eines E-Autos für ein Jahr: ○ Material Footprint: 1,3 t (13 Prozent) ○ Carbon Footprint: 172 kg CO_{2e} (13 Prozent)



KI-basierte Optimierung von Lieferketten

Bei der sächsischen ULT AG wurde im Rahmen des Green-AI Hub ein KI-gestütztes Dashboard für die Lieferkettenplanung pilotiert. Es sagt Materialbedarfe präziser voraus, reduziert Überbestände und senkt so Materialeinsatz und Lagerkosten.

ULT AG

- » Hersteller aus Löbau, Sachsen
- » Spezialisierung auf Absaug- und Filtersysteme
- » Einsatz in Industrie, Medizintechnik und Handwerk

Technologische und ökologische Herausforderung

Die manuelle Bedarfsplanung war zeitintensiv, fehleranfällig und erforderte viel Erfahrung. Ungenauigkeiten führten zu hohen Lagerbeständen und Kosten. Bei Produktauslauf bestand Risiko, spezifische Materialien recyceln, verschrotten oder entsorgen zu müssen.

Kurzfristige Materialbedarfsplanung und fehlende Abstimmung führten zu suboptimalen Transportbedarfen und vermeidbaren CO₂e-Emissionen. Wo bisher

zusätzliches Lager angemietet wurde, mussten Teile bei Nicht-Nutzung zu 90 Prozent verschrottet werden.

KI-Dashboard mit Bedarfsprognose

Das entwickelte webbasierte Dashboard kombiniert datengetriebene Stücklistenableitung aus über 7.500 Artikeln für 154 Produkte mit Zeitreihenanalysen und Machine-Learning-Modellen. Das System implementiert Unsicherheitsquantifizierung durch Konfidenzintervalle für jede Vorhersage und einen Human-in-the-Loop-Ansatz. Es deckt drei Ebenen ab: Artekelebene mit Verbrauchsprognosen, Produktebene mit datengetriebenen Stücklisten und Baureihenebene für strategische Grobplanung.

Die Lagerbestandssimulation ermöglicht proaktives Durchspielen verschiedener Bestellstrategien.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Durch präzisere Bedarfsprognosen und optimierte Bestellprozesse werden Materialüberbestände und Lagerkosten erheblich reduziert. Jährlich könnten rund 5 t Stahl, 400 kg Kupfer, 200 kg Aluminium und 400 kg Kunststoff eingespart werden. Effizientere Lagerflächennutzung senkt zudem Energie- und Transportaufwände. Die Investition amortisiert sich in etwa zwei Jahren und stärkt langfristig Wettbewerbsfähigkeit sowie den ökologischen Fußabdruck von ULT.

„Die KI macht uns nachhaltiger und wirtschaftlicher. Die manuelle Planung unserer Materialbestellungen ist zeitintensiv. Eine KI ist hier viel schneller.“

Mohamad Ata Wünsche, ULT AG

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Manuelle Planung über Excel-Tools zeitintensiv und fehleranfällig » Überhöhte Lagerbestände mit hohen Kosten » Risiko von Obsoleszenz und Verschrottung bei Produktauslauf (90 Prozent) » Suboptimale Transportlogistik mit vermeidbaren CO₂e-Emissionen	» Optimierungsalgorithmen	» 26 Prozent Verbesserung der Prognosegenauigkeit (Beispielartikel) » Transparente Drei-Ebenen-Planung (Artikel, Produkt, Baureihe) » Nachvollziehbare Empfehlungen zur Validierung durch Fachkräfte » Interaktive Simulation verschiedener Bestellstrategien	» Reduzierter Energieverbrauch durch effizientere Lagerflächen-Nutzung und reduzierte Transportwege » Verhinderung der Verschrottung von Produkten » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale am Beispiel der optimierten Nutzung eines E-Autos für ein Jahr: ○ Material Footprint: 124 t (7 Prozent) ○ Carbon Footprint: 21 t CO₂e (7 Prozent)



LLM-gestützte Analyse von Tickets im Außendienstmanagement

Das Nürnberger Unternehmen Fieldcode setzte im Rahmen des Pilotprojekts mit dem Green-AI Hub Mittelstand auf ein LLM-basiertes Assistenzsystem, um Support-Tickets automatisch zu analysieren. Dadurch können unnötige Technikeinsätze und Ersatzteillieferungen vermieden werden.

Fieldcode

- » Cloudsoftware für Außendiensteinsätze aus Nürnberg
- » Fokus auf IT-Outsourcing und Herstellerservice
- » Automatisiert Tickets durch „Zero-Touch“-Prozess

Technologische und ökologische Herausforderung

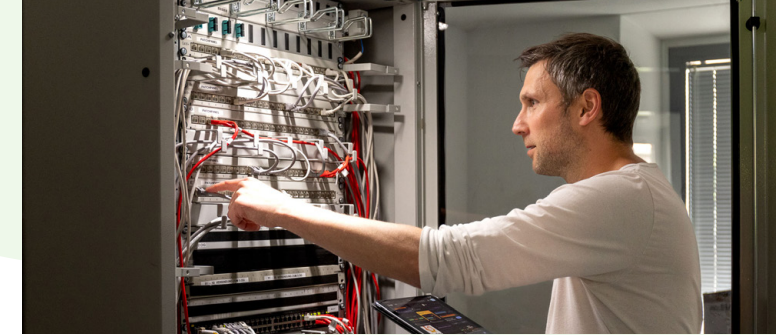
Fieldcode schätzt, dass die Hälfte aller bestellten und versandten Ersatzteile nicht benötigt wird. Ein großer Teil wird zurückgesendet und wiederaufbereitet, der Rest entsorgt.

Um unnötige Ersatzteile zu vermeiden und die Problemlösung beim ersten Besuch zu ermöglichen, ist es notwendig, das Problem und die Ersatzteile während der Ticketbearbeitung korrekt herauszuarbeiten. Zudem werden oft Ersatzteile bestellt und Techniker ent-

sandt, obwohl das Problem remote gelöst werden könnte, wodurch unnötige Fahrtwege entstehen.

Optimierung der Ticketdiagnose

Das entwickelte Assistenzsystem nutzt Large Language Models zur automatischen Analyse von Support-Tickets und integriert über Retrieval-Augmented Generation zusätzliche Informationen nahtlos in den Analyseprozess. Die Systemarchitektur umfasst zwei zentrale Komponenten: Den sogenannten Ingestor (Datenaufnahmeeinheit) zur kontinuierlichen Wissensbasis-Pflege und dem Koordinator zur Echtzeitverarbeitung der Anfragen. Das System durchsucht ähnliche Tickets und Herstellerinformationen und erstellt strukturierte Ausgaben mit Problembeschreibung, Ursachen, Lösungen, Remote-Fix-Bewertung und Ersatzteilempfehlungen.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-Lösung führt zu weniger Kundenbesuchen und reduziert damit den Kraftstoffverbrauch. Die gezieltere Auswahl von Ersatzteilen verringert die versendeten Teile, wodurch weniger Aufbereitung oder Entsorgung notwendig wird und Transportschäden seltener auftreten. Das System ermöglicht eine fundiertere Entscheidungsfindung und unterstützt Disponenten bei der gezielten Auswahl benötigter Ersatzteile sowie der Identifikation von Remote-Lösungen.

„Die Zusammenarbeit mit dem Green-AI Hub war für uns durchweg positiv. Die Beratung diente als Startschuss. Ich würde das jederzeit wieder machen.“

Matthias Lübko, Fieldcode

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» 50 Prozent aller Ersatzteile werden nicht benötigt » Schwierige Auswahl der richtigen Ersatzteile » Unnötige Technikeinsätze bei remote lösbaren Problemen » Komplexe Ticketdiagnose erfordert umfassende Informationen	» Large Language Processing	» Reduzierung unnötiger Kundenbesuche durch bessere Remote-Fix-Erkennung » Gezielte Ersatzteilauswahl und weniger Verschwendung » Höhere First-Fix-Rate durch fundierte Entscheidungsfindung » Automatisierte strukturierte Ausgaben für Disponenten	» Weniger Kraftstoffverbrauch durch reduzierte Kundenfahrten » Verringerung versendeter Ersatzteile um bis zu 10 Prozent » Geringere Transportschäden und Logistikkosten » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale an verhinderten Fahrten und beim Versand beschädigter Ersatzteile: ◦ Material Footprint: 770 t (1 Prozent) ◦ Carbon Footprint: 197 t CO₂e (1 Prozent)



Rückführung von Produkten in den Kreislauf durch KI-Unterstützung

System 180 automatisierte mit Unterstützung des Green-AI Hub Mittelstands die Erkennung und digitale Erfassung von Möbelbauteilen. Die KI-Lösung ermöglicht die Rückführung gebrauchter Produkte in den Kreislauf und reduziert manuelle Erfassung, Kosten, Zeit und CO₂e-Emissionen.

System 180

- » Hersteller modularer Möbel aus Berlin
- » Seit 1986 Fertigung aus Stahl und Holz
- » Fokus auf Langlebigkeit und zirkuläres Design

Technologische und ökologische Herausforderung

Die größten Herausforderungen lagen in der zeit- und kostenintensiven manuellen Bestandsaufnahme gebrauchter Möbel vor Ort, die zudem erhebliche CO₂e-Emissionen verursachte und die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft erschwerte. Auf technologischer Seite stellte die variierende Fotoperspektive der Kunden ein Hindernis für die KI-gestützte Vermessung und Bauteilerkennung dar. Auch für die Sortierung der pulverbeschichteten Teile in der Fertigung kann die Bilderkennung Personalressourcen einsparen.

Prozessoptimierung durch KI-basierte Bilderkennung

Das Pilotprojekt adressierte zwei zentrale Anwendungsfälle: Erstens, Kunden erfassen Möbel per Foto-Upload, statt teurer Vor-Ort-Termine. Die KI erkennt Bauteile, Zustand und Farben, erstellt Stücklisten und einen digitalen Produktpass in einer Graphdatenbank. Zweitens, die Fertigungsoptimierung: Ein Kamerasystem identifiziert nach der Pulverbeschichtung schwer unterscheidbare Teile und unterstützt Mitarbeitende bei der Sortierung. So werden Prozesse digitalisiert, Kosten, Zeit und CO₂e gesenkt, Personalressourcen geschont und die Kreislaufwirtschaft gestärkt.

Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Die KI-Lösung von System 180 steigert Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit gleichermaßen. Durch die digitale Bestandsaufnahme entfallen aufwendige



Fahrten, was Kosten, Zeit und CO₂e spart. Die vereinfachte Rücknahme gebrauchter Bauteile ermöglicht Kreislaufwirtschaft, reduziert Materialbedarf und eröffnet neue Märkte. Zudem optimiert die KI interne Prozesse wie die Sortierung, senkt Fehlerquoten und erhöht die Zukunftsfähigkeit durch Werterhaltung und Nachhaltigkeit.

„Durch Rücknahme und Neunutzung gebrauchter Bauteile eröffnen wir neue Märkte. KI ist ein Türöffner, um unser Unternehmen in die Kreislaufwirtschaft zu führen.“

Francesco Coccia, System 180

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Manuelle Bestandsaufnahme » Komplexe Bauteilerkennung	» Computer Vision	» Prototyp und Demonstrator » Digitalisierte Prozesse	» Reduzierung von Emissionen durch den Wegfall von Fahrten zum Kunden » Stärkung der Kreislaufwirtschaft durch Wiederverwendung von Bauteilen » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale: ○ Material Footprint: 217 t (10 Prozent) ○ Carbon Footprint: rund 120 t CO₂e (16 Prozent)



KI-basiertes Recommender-System für das zirkuläre Bauen

Die Berliner Unternehmen Concular und Circular Structural Design wollen die Baubranche zirkulärer gestalten. Im Pilotprojekt des Green-Al Hub Mittelstands entstand ein Empfehlungssystem, das wiederverwendbare Bauteile für neue Projekte vorschlägt und Materialeinsatz, Abfälle sowie Emissionen reduziert.

Concular und Circular Structural Design

- » Zwei Berliner Unternehmen für zirkuläres Bauen
- » Fördern Nachhaltigkeit in Bauwirtschaft
- » Concular bietet Plattform für wiederverwendbare Teile

Technologische und ökologische Herausforderung

Der Bausektor ist für 40 Prozent der Treibhausgasemissionen und 60 Prozent des globalen Abfalls verantwortlich. Durch das Wiederverwenden von Bauteilen kann ein maßgeblicher Teil der Emissionen eingespart werden. Allerdings können Unternehmen bei wiederverwendbaren Bauteilen die Maße nicht selbst festlegen – sie müssen aus dem vorhandenen Angebot auswählen. Die Suche nach passenden Bauteilen

aus Bestandsgebäuden gestaltet sich komplex, da sich diese je nach Spendergebäude unterscheiden und Bauingenieure nach verfügbarem Angebot suchen müssen.

Empfehlungssystem für Re-Use-Bauteile

Das entwickelte System sollte ursprünglich KI-basiert werden, wurde jedoch aufgrund der unzureichenden Datenqualität in der Praxis stark regelbasiert umgesetzt. Die Verfügbarkeit vollständiger Dimensionsdaten stellte eine zentrale Herausforderung dar, was die Anzahl möglicher Matches begrenzte. Das System integriert Nachhaltigkeitswerte, Gesamtgebäudebeurteilung und Statikberechnungen für tragende Bauteile unter Berücksichtigung ihrer Tragfähigkeit.



Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Vorteile

Das Empfehlungssystem ermöglicht die Integration bestehender Bauteile in neue Gebäudeentwürfe und trägt zur Ressourcenschonung durch Wiederverwendung bei. Durch zirkuläres Bauen können erhebliche Mengen an Baumaterial eingespart und die Umweltbelastung reduziert werden.

Die Statikberechnung für tragende Bauteile gewährleistet qualitative Vorschläge von Wänden, Decken, Trägern und Stützen.

Aufwände & Herausforderungen	KI-Technologie	Ergebnisse	Effizienzgewinne
» Unzureichende Datenqualität in BIM-Modellen mit häufig unvollständigen Dimensionsangaben » Fehlende Standardisierung der Produktkategorien in Revit » Begrenzte Mapping-Genauigkeit bei Bauteilkategorien » Große Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage	» Recommender System	» Funktionsfähiges Empfehlungssystem für BIM-Exporte » Berücksichtigen der Tragfähigkeit tragender Bauteile » Matching-Algorithmen für wiederverwendbare Bauteile » Open-Source-Veröffentlichung der Statikberechnung	» Beitrag zur Kreislaufwirtschaft durch Wiederverwendung » Einsparung von Treibhausgasemissionen im Bausektor » Lebenszyklusweite demonstrierte Einsparpotenziale am Beispiel eines kleinen Bürogebäudes – Wiedernutzung von Türen, Fenstern und Lampen verglichen mit der Neuproduktion: ◦ Material Footprint: rund 35 t ◦ Carbon Footprint: rund 9 t CO₂e

Nachgefragt: Nach dem Pilotprojekt

Ausgewählte Unternehmen geben Auskunft: Wie ging es nach dem KI-Pilotprojekt für sie weiter und welche Erwartungen haben sie für die Zukunft?

Circular Tree: KI-basierte Identifizierung von CO₂-Werten

„Ein bisschen ist danach schon noch passiert, aber nun ist das Tool einsatzbereit. Natürlich dauert es noch etwas, bis das Produkt auch bei den Kunden an-

gekommen ist. Wir erhoffen uns aber schon sechsstellige Umsätze. Ein Return on Investment (ROI) von ein bis zwei Jahre wäre durchaus möglich“, so **Gunther Walden, CEO von CircularTree**



Gunther Walden © BMUKN/Photothek.net



Lars Windels © ZUG/Toni Kretschmer

SWMS: KI-basiertes Monitoring von 3D-Druck

„Sechs Monate waren für uns perfekt, da wir das Projekt selbst mit Feuereifer vorangebracht haben. Das war ein wichtiger Impuls – aber es geht nur, wenn man selbst bereit ist, mitzumachen. Nach dem Ende des Projekts haben wir die Pilothardware nach und nach ersetzt, alles noch einmal komplett auf links gezogen und weiterentwickelt. Die Pilotlösung war beispielsweise komplett kunststoffbasiert – wir können sie jetzt auch im Metalldruck nutzen. Wir haben

noch einmal rund 100.000 € investiert, aber jetzt haben wir das Tool im Einsatz. Heute ergeben sich aus den Folgen des Pilotprojekts neue Dienstleistungsaufträge, und wir verkaufen 20–30 Prozent mehr Lizenzen. Knapp die Hälfte unserer Investitionen haben wir schon wieder drin; noch ein bis zwei Jahre, dann sind wir in der Return-on-Investment-Umgebung“, so **Lars Windels, Gründer und CEO von SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft mbH**

GreenGate – Lieferrouten und Disposition mit KI planen

„Wir haben in dem Projekt gesehen, dass es möglich ist, die Routen zu optimieren. Bei der E-Flotte spart man da am Ende mit Glück einen Disponenten. Ökonomisch ist das aber sonst schwer zu bewerten. Unsere Kunden sparen Aufwände, Sprit und Planungskapazitäten. Der ökonomische Effekt kommt dann eher indirekt über die Wertschöpfungskette bei uns an.“

Doch damit ist nicht Schluss: GreenGate plant nun für die nächsten drei Jahre die Weiterentwicklung der Technologie, um sie auch in anderen Bereichen einsetzen zu können.

„Außerhalb der E-Flotten reden wir da über ganz andere Summen. Bei Schiffsflotten kosten die günstigsten Schiffe 15.000 € am Tag. Eine Hubschrauber-

stunde kostet 5.000 €. Bei Kunden mit Windparks zum Beispiel wirkt sich dies besonders aus. Wenn wir eine Turbine da einen Tag früher reparieren können, sind das 25.000 € am Tag, die ein Produktionsausfall kostet. Wir sprechen hier je nach Investitionssumme über ein Return on Investment nach ein bis fünf Jahren“, so **Frank Lagemann, Vorstand der GreenGate AG**



Frank Lagemann © ZUG/Toni Kretschmer





5 Open Source: Ein praktischer Einstieg

5 Open Source: Ein praktischer Einstieg

Der Green-AI Hub stellt seine KI-Anwendungen als Open Source über GitHub bereit. Das bedeutet, dass Programme mitsamt Quellcode frei zugänglich sind. Sie können sie sofort nutzen, anpassen und weiterentwickeln.

Open Source bezeichnet ein Entwicklungs- und Nutzungsmodell, bei dem Software mitsamt Quellcode frei zugänglich bereitgestellt wird. Unternehmen können diese Software einsetzen, anpassen und weiterentwickeln, ohne an die Vorgaben eines einzelnen Anbieters gebunden zu sein. Im Gegensatz zu proprietären Systemen ist der Einstieg in digitale Anwendungen hierbei niedrigschwellig, langfristig verfügbar und ohne zusätzliche Lizenzkosten nutzbar.

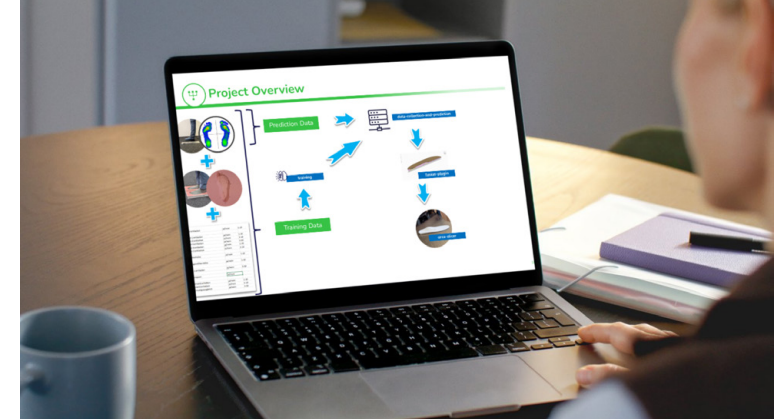
Eine wichtige Plattform für diesen Ansatz ist GitHub. Dort werden Softwareprojekte in sogenannten Repositories gespeichert. Ein Repository ist ein Projektordner, der neben dem Quellcode auch eine Dokumentation, eine Versionshistorie und oft eine schrittweise Anleitung zur Nutzung enthält.

Repositories können von mehreren Personen gleichzeitig bearbeitet werden und machen so die gemeinsame Weiterentwicklung besonders einfach. Für Unternehmen bietet GitHub den Vorteil, dass sie schnell mit fertigen Lösungen arbeiten können und zugleich die Möglichkeit haben, eigene Anpassungen einzubringen oder Feedback zu geben.

Das bedeutet: Sie müssen nicht bei null anfangen, sondern können vorhandene Bausteine nutzen, anpassen und gemeinsam weiterentwickeln.

Praktische Tipps für den Einstieg

- » **Suche starten:** Über github.com gezielt nach Projekten mit Schlagwörtern suchen, die zum Unternehmen passen (z. B. „predictive maintenance“ oder „data visualization“).
 - » **README beachten:** Auf der Startseite eines Repositories findet sich fast immer eine Anleitung zur Installation und Nutzung.
 - » **Lizenz prüfen:** Die Lizenzdatei (z. B. MIT, Apache oder GPL) zeigt, wie die Software eingesetzt werden darf.
 - » **Community beobachten:** Hinweise auf die Verlässlichkeit liefert die Aktivität eines Projekts, etwa letzte Aktualisierungen oder die Anzahl der Mitwirkenden.
 - » **Klein anfangen:** Für KMU lohnt es sich, mit einem kleinen Pilotprojekt zu starten, bevor Open Source breit eingeführt wird.
- So nutzen Sie GitHub und die dortigen Open-Source-Anwendungen:
 - » **Code herunterladen und nutzen:** Bestehende Software kann direkt eingesetzt werden, oft mit einer begleitenden Anleitung.
 - » **Code anpassen und erweitern:** Der offene Quellcode erlaubt individuelle Anpassungen, die lokal getestet oder in den Betrieb integriert werden können.
 - » **Rückmeldungen geben:** Über die „Issues“-Funktion können Fehler gemeldet oder Wünsche dokumentiert werden, ohne selbst programmieren zu müssen.
 - » **Verbesserungen teilen:** Mit sogenannten „Pull Requests“ lassen sich eigene Änderungen vorschlagen, die von der Projektgemeinschaft geprüft werden.
 - » **Wissen austauschen:** Diskussionen, Tutorials und Wikis erleichtern die Einarbeitung und fördern gemeinsames Lernen. Sie müssen nicht bei null anfangen, sondern können vorhandene Bausteine nutzen, anpassen und gemeinsam weiterentwickeln.





6 Guidelines for Green AI

6 Guidelines for Green AI

KI bietet große Chancen für Ressourceneffizienz, bringt aber auch einen eigenen Energie- und Ressourcenbedarf mit sich. Damit KI künftig verantwortungsvoll eingesetzt und weiterentwickelt werden kann, wurden im Green-AI Hub Mittelstand – mit Unterstützung des KI-Bundesverbands, des Umweltbundesamts und weiteren Akteuren – die „Guidelines for Green AI“ erarbeitet.

Die Leitlinien zeigen, wie sich ökologische Aspekte von Beginn an berücksichtigen lassen – etwa durch energieeffiziente Hardware, schlanke Modellarchitekturen, transparente Datennutzung oder offene Schnittstellen. So soll KI nicht nur „grün durch ihren Einsatz“ wirken, sondern auch selbst ressourcenschonend gestaltet sein.

Für Unternehmen und Entwickler*innen bieten die Guidelines einen kompakten Rahmen, um eigene Projekte frühzeitig nachhaltig auszurichten und bewährte Prinzipien in der Praxis umzusetzen. Eine ausführliche Darstellung der Guidelines for Green AI findet sich online unter: green-ai-hub.de/guidelines-for-green-ai.

01.  Konzipiere und entwickle effiziente und grüne KI-Software nach neuesten Standards und Methoden	02.  Berechne den Energieverbrauch und den CO2e-Fußabdruck des KI-Modells	03.  Betreibe Datenmanagement und analysiere sparsam	04.  Wähle die Hardware sorgfältig aus
05.  Wähle und betreibe Rechenzentren mit Verantwortung - für Effizienz, Transparenz und Klimaschutz	06.  Betreibe nachhaltiges Life-Cycle-Management	07.  Beachte den Rebound-Effekt	08.  Setze das grüne KI-System für Nachhaltigkeit ein

Die Guidelines for Green AI wurden entwickelt durch den Green-AI Hub Mittelstand des Bundesumweltministeriums gemeinsam mit dem



7 Impulse & Ausblick

7 Impulse & Ausblick

Mit Künstlicher Intelligenz (KI) können Unternehmen echten Mehrwert schaffen, Ressourcen effizienter nutzen, Prozesse optimieren und ihre Kreislauffähigkeit erschließen und steigern. Der Green-AI Hub Mittelstand unterstützt sie dabei direkt vor Ort durch moderne KI-Anwendungen.

KI bietet schon heute spürbaren Mehrwert für Unternehmen, die bereit sind, sie gezielt für mehr Ressourceneffizienz und zirkuläres Wirtschaften einzusetzen. Die Pilotprojekte zeigen, dass KI in verschiedensten Branchen und Unternehmensgrößen erfolgreich angewendet werden kann. Entscheidend ist weniger die Größe des Betriebs als vielmehr die Bereitschaft, vorhandene Daten zu nutzen und digitale Prozesse weiterzuentwickeln.

Drei Faktoren sind dabei besonders wichtig: Eine verlässliche Datengrundlage, die Offenheit und der Einbezug der Mitarbeitenden sowie das Verständnis von KI als gemeinsames Lernfeld. Die Projekte des Green-AI Hub Mittelstand demonstrieren, dass bereits kleine, praxisnahe Anwendungen große Wirkung erzielen können – selbst mit Standardhardware und überschaubarem Aufwand. Kleinere, lokal auf dem Rechner laufende Lösungen lassen sich zudem leicht in bestehende Infrastrukturen integrieren.

Unternehmen mit hohem digitalem Reifegrad können KI schneller ausrollen und profitieren früher von Effizienzgewinnen. Wo Daten gut strukturiert vorlagen und

Schnittstellen verfügbar waren, ließ sich KI besonders zügig implementieren. Betriebe mit eigener Software-Expertise erzielten die größten Skalierungseffekte und häufig schon nach kurzer Zeit eine wirtschaftliche Amortisation. Besonders in datenintensiven Bereichen entstehen neue skalierbare Geschäftsmodelle.

Die 20 Pilotprojekte des Green-AI Hub Mittelstand haben ökologische Wirkung gezeigt. In den 14 Projekten des verarbeitenden Gewerbes ergeben sich hochgerechnet rund 320 t weniger Materialeinsatz pro Jahr in Summe; die Pilotprojekte erzielten Reduktionen von 1 bis 15 Prozent im Material Footprint und 1 bis 16 Prozent im Carbon Footprint. Damit wird sichtbar, welcher großer Hebel entsteht, wenn KI gezielt in reale Produktionsprozesse integriert wird.

Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus einen klaren ökonomischen Nutzen, einen Wissens- und Kompetenzaufbau, einen strategischen und organisatorischen Nutzen sowie eine Reputations- und Markenwirkung. Drei Viertel der beteiligten Unternehmen bewerteten die Wirkung als ökonomisch positiv bis sehr positiv, mit ersten ROI-Schätzungen von zwei bis drei Jahren. Als besonders

wertvoll wurde der Wissenstransfer bewertet. Die große Mehrheit der Unternehmen nannte ihn als zentralen Mehrwert. Zusätzlich wurden nicht direkt messbare Effekte wie Wettbewerbsvorteile wahrgenommen. Rund drei von vier Unternehmen planten bereits Folgeprojekte – ein starkes Signal für nachhaltigen Impact und echte strategische Relevanz der Green-AI Hub-Pilotprojekte.

Unternehmen profitieren von der niedrighwelligen Struktur des Green-AI Hub Mittelstand. Innerhalb von sechs Monaten entstehen funktionierende KI-Prototypen, mit denen direkt Erfahrungen gesammelt werden. So können digitale Technologien zur Transformation beitragen und Ressourcen sparen, Wissen teilen und wirtschaftliche Stabilität fördern.

Der Green-AI Hub Mittelstand des Bundesumweltministeriums wird auch zukünftig KI-Pilotprojekte mit Unternehmen umsetzen und Wissen rund um Green AI sowie KI für mehr Ressourceneffizienz und zirkuläres Wirtschaften vermitteln. Profitieren Sie von unseren Angeboten und Beratungsmöglichkeiten. Informieren Sie sich unter www.green-ai-hub.de, wie Sie selbst ein Projekt mit uns starten können.

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, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN)

Stresemannstraße 128 – 130, 10117 Berlin

www.bundesumweltministerium.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)

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN)

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

© 4Packaging GmbH (S. 31)

© BMUKN Phototek (S. 27, 43)

© Bosch Standort Homburg (S. 35)

© Brammibal's Donuts GmbH (S. 30)

© BVMW (S. 4)

© Circular Structural Design (S. 42)

© CircularTree (S. 25)

© Green AI Hub Mittelstand (S. 10, 12, 14, 15, 17, 46, 48, 49)

© GreenGate AG (S. 38)

© INTEX EDV-Software GmbH (S. 24)

© Johann Herges GmbH (S. 28)

© Köstler GmbH (S. 29)

© KÜBLER GmbH (S. 37)

© Photothek Media Lab (S. 3)

© ZUG/Georg Knoll (S. 1, 5, 11, 13, 23, 26, 33, 34, 36)

© ZUG/Hoffotografen (S. 9)

© ZUG/Jan Zappner (S. 5, 6, 16, 22, 32, 39, 40, 41, 45)

© ZUG/Jens Jeske (S. 47)

© ZUG/Toni Kretschmer (S. 2, 5, 7, 8, 43, 44)

