

Künstliche Intelligenz als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme

Technologieprogramm des Bundesministeriums
für Wirtschaft und Klimaschutz

NACHHALTIGKEIT DURCH DEN EINSATZ VON KI

Orientierungshilfe für
anwendende Unternehmen

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und
Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Begleitforschung zum
Technologieprogramm „Künstliche Intelligenz als Treiber für volks-
wirtschaftlich relevante Ökosysteme“ (KI-Innovationswettbewerb)



IMPRESSUM

Die Studie „Nachhaltigkeit durch den Einsatz von KI – Orientierungshilfe für anwendende Unternehmen“ wurde durch die Begleitforschung zum KI-Innovationswettbewerb im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erstellt und im August 2022 veröffentlicht.

Herausgeber

Begleitforschung zum Technologieprogramm KI-Innovationswettbewerb
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Dr. Steffen Wischmann
Steinplatz 1
10623 Berlin
wischmann@iit-berlin.de

Autoren

Johannes Mock
Stephan Richter
Dr. Steffen Wischmann

Gestaltung

LHLK Agentur für Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28
10827 Berlin
KI-Innovationswettbewerb@lhlk.de

Stand

August 2022

Bilder

Belkin & Co – stock.adobe.com

MANAGEMENT SUMMARY

Diese Studie soll zukünftigen Anwenderinnen und Anwendern (anwendenden Unternehmen) als Orientierungshilfe dienen, um Nachhaltigkeitswirkungen von verschiedenen auf Künstlicher Intelligenz basierten Produkten und Diensten (KI-Anwendungen) im Einsatz, deren Implementierungsanforderungen sowie deren technische Reifegrade einordnen zu können. Außerdem soll die Studie dazu beitragen, das Bewusstsein für wesentliche Gesichtspunkte, die für eine nachhaltige Gestaltung und Nutzung von KI basierten Produkten und Diensten relevant sind, zu schärfen. Es werden also zwei Aspekte adressiert:

1. die Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen durch die Anwendung von KI und
2. die nachhaltige Gestaltung von Künstlicher Intelligenz.

Hierfür wurden anhand von zwölf Use Cases mögliche Nachhaltigkeitseffekte sowie Beiträge zum Erreichen von Nachhaltigkeitszielen gemäß der gängigen UN-Definition (Sustainable Development Goals¹, SDGs) durch die Anwendung von KI dargestellt. Zudem werden praxisrelevante Aspekte der Technologieimplementierung – dazu zählen die Investitionen sowie die technischen Voraussetzungen und notwendigen Kompetenzen aufseiten der Anwenderunternehmen – und der Reifegrad der KI-Anwendungen adressiert. Die Use Cases wurden dafür in Zusammenarbeit mit einem Fachpanel hinsichtlich ihrer Wirkung diskutiert und sind den Projekten des KI-Innovationswettbewerbs und teilweise des Schwesterprogramms Smarte Datenwirtschaft des BMWK entlehnt oder wurden innerhalb ihres Ökosystems identifiziert. Sie adressieren die Anwendungsdomänen Energiewirtschaft, Bau- und Wohnwirtschaft, Gesundheitswirtschaft, Produktion und Industrie, Mobilität und Logistik, Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung sowie -handel. Eine nachhaltige Gestaltung von Produkten, Diensten und darüber hinaus der Unternehmensführung gewinnt – über sämtliche Wirtschaftszweige hinweg – an Relevanz. Zum einen nehmen die regulatorischen Rahmenbedingungen im Nachhaltigkeitsbereich zu. Zum anderen greifen die Finanzmärkten die neuen Anforderungen auf. Das weltweite Volumen von Fonds die Nachhaltigkeitskriterien (ESG-Kriterien) berücksichtigen, wuchs von 5 Milliarden Dollar 2005 auf 378 Milliarden Dollar 2022 (Statista 2022a).

Nachhaltigkeitspotenziale durch KI

In den untersuchten Use Cases konnten für neun der siebzehn SDGs positive Wirkpotenziale durch den Einsatz von KI identifiziert werden (Abbildung 1). Hierbei waren SDGs, die Treibhausgasemissionen beziehungsweise die Energie- oder Ressourceneffizienz adressieren, besonders häufig vertreten. Es ist allerdings zu beachten, dass dieses Ergebnis nicht verallgemeinert werden kann, weil die Anwendungsfälle überwiegend im industriellen Kontext zu verorten sind und keine repräsentative Auswahl darstellen. Für die Hälfte der betrachteten Anwendungsfälle konnten quantifizierbare Aussagen zu Nachhaltigkeitswirkungen getroffen werden; für die weiteren Use Cases wurden Nachhaltigkeitspotenziale qualitativ beschrieben. Wesentliche Gründe für eine rein qualitative Bewertung der Nachhaltigkeitspotenziale sind:

1. Messungen von spezifischen Nachhaltigkeitsindikatoren werden nur im laufenden Betrieb der KI-Anwendungen oder im Testbetrieb der Prototypen erfasst, wenn dadurch betriebswirtschaftliche Interessen wie der Nachweis gesteigerter Ressourceneffizienz erfüllt werden.
2. Eine Operationalisierung der SDG-Indikatoren für die Bewertung der Nachhaltigkeitswirkung ist für Unternehmen schwierig, weil sie je nach Einsatzszenario von vielen Faktoren abhängt.
3. Der Reifegrad der KI-Anwendungen ist bislang zu gering oder die Systeme sind noch nicht lang genug im Betrieb, um valide Aussagen treffen zu können.

¹ Sustainable Development Goals: 17 Ziele zur nachhaltigen Entwicklung, die 2015 von den Vereinten Nationen definiert wurden (Bundesregierung 2020b).

SDG	Indikator	Ziel und Intention	N/G*	Use Case
	2.1.a: Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft	Im Übermaß in die Umwelt eingetragener Stickstoff führt zur Belastung von Grund- und Oberflächenwasser, zur Überversorgung von Binnengewässern, Meeren und Landökosystemen mit Nährstoffen (Eutrophierung), zur Entstehung von Treibhausgasen und versauernden Luftschadstoffen mit negativen Folgen für Klima, Artenvielfalt und Landschaftsqualität. Für den Zeitraum 2028 bis 2032 soll im Mittel eine Verringerung der Stickstoffüberschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland auf 70 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche pro Jahr erreicht werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen von Pflanzenschutzmaßnahmen
	3.4.1: Sterblichkeitsrate infolge von Krankheiten des Kreislaufsystems, bösartigen Neubildungen, Diabetes mellitus oder chronischen Atemwegserkrankungen	Bis 2030 die vorzeitige Sterblichkeit aufgrund von nichtübertragbaren Krankheiten durch Prävention und Behandlung um ein Drittel senken und die psychische Gesundheit und das Wohlergehen fördern.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz
	3.6.1: Sterblichkeitsrate infolge von Straßenverkehrsunfällen	Bis 2020 die Zahl der Todesfälle und Verletzungen infolge von Straßenverkehrsunfällen weltweit halbieren.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützter Röntgenassistent
	3.8.1: Versorgung mit grundlegenden Gesundheitsdiensten	Die allgemeine Gesundheitsversorgung, einschließlich der Absicherung gegen finanzielle Risiken, den Zugang zu hochwertigen grundlegenden Gesundheitsdiensten und den Zugang zu sicheren, wirksamen, hochwertigen und bezahlbaren unentbehrlichen Arzneimitteln und Impfstoffen für alle erreichen.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz
	7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch	Die Senkung des Energieverbrauchs durch eine Steigerung der Energieeffizienz ist neben dem Ausbau erneuerbarer Energien die zweite tragende Säule der Energiewende. Ziel ist es mit möglichst wenig Energie, viel wirtschaftliche Leistung zu erreichen. Energieeinsparung schont Klima und Umwelt, trägt zur Verbesserung der Versorgungssicherheit und zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie bei. Dem Energiekonzept der Bundesregierung zufolge soll die Endenergieproduktivität in den Jahren 2008 bis 2050 jährlich um 2,1 % erhöht werden. Gleichzeitig soll sich der Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 %, bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008 verringern.	N	<ul style="list-style-type: none"> Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren Ressourceneffiziente Herstellung von Pflanzenschutzmitteln Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten Smart-EED-System
	8.1: Gesamtrohstoffproduktivität	Die Entnahme von Rohstoffen ist immer mit einer Beeinträchtigung der Natur verbunden. Durch die steigende Nachfrage nach Rohstoffen werden weltweit zunehmend Rohstoffvorkommen in Gebieten erschlossen, die besonders sensibel auf menschliche Einflüsse reagieren. Daher hat sich die Bundesregierung bereits im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) II im Jahr 2016 das Ziel gesetzt, dass die Gesamtrohstoffproduktivität weiterhin steigen soll. In den Jahren 2000 bis 2010 nahm die Gesamtrohstoffproduktivität bereits um durchschnittlich rund 1,6 % jährlich zu. Ein solch positiver Trend soll bis zum Jahr 2030 fortgesetzt werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälen Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden
	8.5.a, b: Erwerbstätigenquote	Aufgrund des demografischen Wandels kann es langfristig zu einem Mangel an Fachkräften in Deutschland kommen. Gleichzeitig droht eine zunehmende Unterfinanzierung der sozialen Sicherungssysteme. Das vorhandene Arbeitskräftepotenzial ist daher künftig besser auszuschöpfen. Die Erwerbstätigenquote, das heißt der Anteil der Erwerbstätigen an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (20- bis 64-Jährige), soll bis zum Jahr 2030 auf 78 % erhöht werden. Außerdem ist es das Ziel der Bundesregierung, dass bis 2030 die Erwerbstätigenquote der Älteren (60- bis 64-Jährige) 60 % beträgt.	N	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälen

* N=National/G=Global

SDG	Indikator	Ziel und Intention	N/G*	Use Case
	9.4.1: CO ₂ -Emissionen pro Wertschöpfungseinheit	Bis 2030 die Infrastruktur modernisieren und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln
	11.2.a: Endenergieverbrauch im Güterverkehr	Der Verkehr bringt eine Reihe von Problemen mit sich. So beeinträchtigen etwa Lärm und Luftschadstoffe die Lebensqualität insbesondere in Städten und verkehrsbedingte Emissionen tragen zum Klimawandel bei. Der Ausstoß von schädlichen Treibhausgasen steht in engem Zusammenhang mit der im Verkehr verbrauchten Energie. Ziel ist es den Endenergieverbrauch im Güterverkehr bis zum Jahr 2030 um 15 bis 20 % zu senken.	N	<ul style="list-style-type: none"> • KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile
	11.3: Überlastung durch Wohnkosten	Hohe Wohnkosten führen dazu, dass Haushalte in ihren übrigen Konsumentscheidungen eingeschränkt werden. Ausgaben für Wohnen von mehr als 40 % des verfügbaren Haushaltseinkommens werden als Überlastung angesehen. Der Anteil der Personen, die in Haushalten leben, die mehr als 40 % ihres verfügbaren Haushaltseinkommens für Wohnen ausgeben, soll deshalb bis zum Jahr 2030 auf 13 % gesenkt werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten • Smart-EED-System
	12.3.1 Index der Lebensmittelverluste und Index der Lebensmittelverschwendung	Bis 2030 die weltweite Nahrungsmittelverschwendung pro Kopf auf Einzelhandels- und Verbraucherebene halbieren und die entlang der Produktions- und Lieferkette entstehenden Nahrungsmittelverluste einschließlich Nachernteverlusten verringern.	G	<ul style="list-style-type: none"> • Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung • Reduzierung der Lebensmittelabfällen im Handel
	12.2.1: Rohstoff-Fußabdruck, Rohstoff-Fußabdruck pro Kopf und Rohstoff-Fußabdruck im Verhältnis zum BIP	Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen.	G	<ul style="list-style-type: none"> • Smart-EED-System
	13.1.a: Treibhausgasemissionen	Die globale Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche steigt aufgrund der zunehmenden Konzentration von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre kontinuierlich an, mit bereits heute nachweisbaren Folgen für das Klimasystem. Ziel der Bundesregierung ist es daher, bis zum Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 40 % und bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu senken. Bis zum Jahr 2050 soll die Treibhausgasneutralität erreicht werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> • KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile • Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren • Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten • Smart-EED-System**
	15.1: Artenvielfalt und Landschaftsqualität	Eine große Artenvielfalt an Tieren und Pflanzen ist eine wesentliche Voraussetzung für einen leistungsfähigen Naturhaushalt und bildet eine wichtige Lebensgrundlage des Menschen. Um die Artenvielfalt und gleichzeitig die Lebensqualität des Menschen zu erhalten, ist das vorläufige Ziel der Bundesregierung ein Indexwert von 100 bis zum Jahr 2030 – ursprünglich sollte dieser Zielwert bereits bis 2015 erreicht werden. Derzeit wird die Höhe dieses Zielwertes im Rahmen eines Forschungsvorhabens überprüft und gegebenenfalls zukünftig auf Basis der neuen Erkenntnisse angepasst.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen

* N=National/G=Global

**EED = Energy Efficiency Directive (Energieeffizienzrichtlinie)

Abbildung 1: Überblick über die neun SDGs mit positiven Wirkpotenzialen durch den Einsatz von KI, einschließlich ihrer spezifischen Indikatoren, Ziele und Intentionen, welche durch die zwölf Use Cases adressiert werden. (G) zeichnet globale Indikatoren aus und (N) nationale Indikatoren. Vergleiche Bundesregierung (2020b) und Statistisches Bundesamt (2022)

Implementierung von KI in zwölf Anwendungsfällen

Für die zwölf untersuchten Use Cases konnte gezeigt werden, dass für mehr als die Hälfte der KI-Anwendungen funktionsfähige Prototypen im Einsatz sind oder zumindest Funktionsmuster bestehen. Die überwiegende Anzahl der Systeme soll in zwei bis drei Jahren Marktreife erreichen.

Die Investitionen für die KI-Anwendungen einschließlich der Implementierungskosten wurden aus Sicht der anwendenden Unternehmen in Relation zu den erzielten Effekten als vertretbar bewertet.

Als ein Kostentreiber wurde die Integration von KI-Anwendungen in bestehende Prozesse oder Steuerungsaufgaben identifiziert, wobei die Kosten in der Regel mit steigendem Automatisierungsgrad anwachsen.

Als wesentliche technische Voraussetzungen wurden die Verfügbarkeit und Qualität von Daten für das Training der Modelle identifiziert. Datenverfügbarkeit und -qualität beeinflussen die Implementierungsdauer und den Entwicklungsaufwand der KI-Anwendungen immens.

In der Einsatzpraxis sind die KI-Anwendungen der untersuchten Use Cases als „anwendungsfreundlich“ zu bezeichnen. Für Implementierung und Betrieb der KI-Anwendungen sind in der Regel keine spezifischen KI- oder Data-Science-Kompetenzen notwendig.

Nachhaltige Gestaltung von KI

Im Austausch mit dem KI-Fachpanel wurde festgestellt, dass bei der Gestaltung von KI Nachhaltigkeitsaspekte eher beiläufig adressiert werden. Dies lag unter anderem daran, dass das Training für die etwaigen KI-Modelle nicht besonders energieintensiv – und damit kostenintensiv – war. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass Anwendenden wie Anbietenden oft das Bewusstsein fehlt, mit welchen Mitteln Nachhaltigkeitsaspekte bei der Gestaltung von KI umgesetzt werden können. Zu den wesentlichen Stellschrauben gehören unter anderem:

- das Bewusstsein für Nachhaltigkeit in Unternehmen schärfen
- KI durch partizipatives, inklusives Design und Erklärbarkeit fair auslegen
- Datensparsamkeit
- die Nutzung ressourceneffizienter Infrastrukturen
- ein Monitoring der Ressourceneffizienz
- die Wiederverwendung von KI-Modellen

INHALT

MANAGEMENT SUMMARY	3
Nachhaltigkeitspotenziale durch KI	3
Implementierung von KI in zwölf Anwendungsfällen	6
Nachhaltige Gestaltung von KI	6
1 EINLEITUNG	10
Potenzial Künstlicher Intelligenz für eine nachhaltige Wirtschaft und Gesellschaft	10
Einsatz Künstlicher Intelligenz für nachhaltiges wirtschaftliches Handeln	12
2 KI FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG IM PRAXISEINSATZ	16
2.1 Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung	19
2.2 Reduzierung der Lebensmittelabfälle im Handel	21
2.3 Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen	23
2.4 Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden	25
2.5 KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälen	28
2.6 Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln	31
2.7 Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten	34
2.8 Smart-EED-System	37
2.9 Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren	40
2.10 KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile	43
2.11 KI-gestützter Röntgenassistent	45
2.12 KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz	47
3 KI IN DER ANWENDUNG – EINE ÜBERGREIFENDE BETRACHTUNG	50
3.1 KI-Anwendungen und Beiträge zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen	50
3.2 Investitionskosten der betrachteten Use Cases	53
3.3 Technische Voraussetzungen bei anwendenden Unternehmen	53
3.4 Notwendige Kompetenzen bei anwendenden Unternehmen	53
3.5 Notwendige Kompetenzen bei anbietenden Unternehmen	54
3.6 Reifegrad der KI-Anwendungen	54
4 NACHHALTIGE GESTALTUNG VON KI	57
Nachhaltigkeit im Kontext wachsender Datenmengen	58
Die Rolle der Infrastruktur	58
Ressourceneffizienz monitoren und bewerten	59
Wiederverwendung von KI-Modellen	59
KI hat ein hohes Potenzial zur Etablierung in den beleuchteten Einsatzgebieten	61
Nachhaltigkeitspotenziale können durch KI in der Anwendung erschlossen werden	61
Nachhaltigkeit spielt bei der Gestaltung von KI-Anwendungen eine untergeordnete Rolle	61
5 FAZIT	61
Hohe regulatorische Anforderungen können die Markteinführung verzögern	62
Ausblick	62
LITERATURVERZEICHNIS	64
ANHANG	69

1 EINLEITUNG

1 EINLEITUNG

Nachhaltiges Wirtschaftswachstum ist mit der Bewältigung ökonomischer, sozialer und ökologischer Herausforderungen verbunden. Hierzu zählen Klimawandel, Umweltverschmutzung, Ressourcenknappheit, Veränderungen unserer Gesellschaft durch den demografischen Wandel, Veränderungen unserer Arbeitswelt, die Verteilung von Wohlstand sowie Diskriminierung und Ungleichbehandlung. Ein solches Wirtschaften muss auf die Bedürfnisse und Herausforderungen der Gegenwart eingehen, ohne die Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu gefährden (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021; Grunwald 2016).

Die Vereinten Nationen haben mit der Agenda 2030 eine politische Leitlinie zur Bewältigung der oben genannten Herausforderungen formuliert. In dieser sind als politischer Orientierungsrahmen 17 Ziele zur nachhaltigen Entwicklung definiert. Das Verfolgen dieser Ziele soll dazu beitragen, Umwelt und Klima zu schützen, Ressourcen zu schonen, durch eine Transformation der Wirtschaft mehr Wohlstand und bessere Beschäftigungsverhältnisse zu ermöglichen und Infrastrukturen resilienter zu machen (United Nations General Assembly 2015). Auf nationaler Ebene adressiert die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, auf europäischer Ebene der European Green Deal der Europäischen Kommission die Verfolgung dieser Ziele (Bundesregierung 2020b; Europäische Kommission 2019).

Potenzial Künstlicher Intelligenz für eine nachhaltige Wirtschaft und Gesellschaft

Aktuelle Studien gehen davon aus, dass der Einsatz von Technologien, die auf Künstlicher Intelligenz basieren, maßgeblich zur Durchsetzung der 17 SDG-Ziele und somit zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen kann (Vinuesa et al. 2020). KI wird potenziell als Enabler zum Erreichen von 79 % der zu den 17 SDGs gehörigen globalen Zielvorgaben gesehen. Sie kann jedoch auch 35 % dieser Zielvorgaben hemmen. Bei einigen Zielvorgaben hat KI das Potenzial, sowohl als Enabler als auch als Prohibitor zu wirken. Eine repräsentative Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Civey in der deutschen Bevölkerung ergab: 60 % der Befragten sehen in KI Potenzial für den Klimaschutz (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2019; Digisphäre 2019).

Die Relevanz der Digitalisierung und von KI für eine nachhaltige Entwicklung wird bereits von der Politik adressiert (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Die **17 Ziele zur nachhaltigen Entwicklung (SDGs)** wurden im Jahr 2015 im Rahmen der Agenda 2030 von der Weltgemeinschaft verabschiedet. Die Ziele richten sich an alle Regierungen sowie die Wirtschaft, die Wissenschaft und die Zivilgesellschaft. Die SDGs umfassen ökologische, ökonomische sowie soziale Aspekte. Sie sind ein Aufruf zum Handeln, um global und generationenübergreifend Wohlstand und Gerechtigkeit zu ermöglichen und gleichzeitig unsere natürlichen Lebensgrundlagen langfristig zu schützen. Den 17 Zielen sind auf globaler Ebene 169 Zielvorgaben zugeordnet, deren Erreichen durch 234 global ausgerichtete Indikatoren bemessen wird. In Abgrenzung dazu werden in Deutschland national ausgerichtete Indikatoren genutzt. Hierzulande wird die Kommunikation des aktuellen Zwischenstands durch das Statistische Bundesamt vorgenommen. Die Ergebnisse werden über die Plattform SDG-Indikatoren zugänglich gemacht.

Künstliche Intelligenz (KI): Künstliche Intelligenz ist ein Teilgebiet der Informatik. Aktuell hat sich noch keine einheitliche Definition von KI durchgesetzt. In der vorliegenden Kurzstudie wird folgendes Verständnis von KI zugrunde gelegt: Unter Künstlicher Intelligenz versteht man prinzipiell ein IT-System, das intelligentes (menschliches oder rationales) Verhalten oder Denken nachbilden soll, um ein gegebenes Ziel zu erreichen. Aufgrund der aktuellen technologischen Fortschritte im Teilbereich des Machine Learning wird der Begriff „KI“ oft fälschlich als Synonym für Machine Learning verwendet. KI-Anwendungen sind jedoch alle IT-Systeme, die intelligentes Verhalten und Denken wie Objekterkennung, logisches Schlussfolgern, Lernen, Planen, Gedächtnis und Erinnerung, Entscheiden oder Kreativsein nachbilden. Im Fokus dieser Studie liegen Methoden des Maschinellen Lernens.

2021; Renn et al. 2020; WBGU 2019). Dies findet Ausdruck in der KI-Strategie der Bundesregierung Deutschland, der Umweltpolitischen Digitalagenda oder im Fünf-Punkte-Programm Künstliche Intelligenz für Umwelt und Klima. In der Fortschreibung der KI-Strategie tritt die Bundesregierung dafür ein, dass Entwicklung und Nutzen von KI an den Zielen der nachhaltigen Entwicklung ausgerichtet wird (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit 2021; Bundesregierung 2020a, Zielinski 2021).

Erste Untersuchungen haben mittlerweile einige der Potenziale von KI für Energieeffizienz und Klimaschutz belegt. Im Rahmen einer Studie von Capgemini, die 70 KI-Use-Cases aus diversen Sektoren betrachtet, unter anderem Handel, Produktion und Industrie, Prozessindustrie, Energiewirtschaft, konnte gezeigt werden, dass sich Treibhausgasemissionen über einen Zeitraum von zwei Jahren um 13 % reduzieren ließen. Im selben Zeitabschnitt konnte die Energieeffizienz um 11 % gesteigert werden. Für die kommenden drei bis fünf Jahre ist basierend auf einer Modellierung zu erwarten, dass sich die Emissionen um 16 % senken lassen, während die Energieeffizienz um 15 % steigen kann (Thieulent et al. 2020). Doch auch über die im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Nachhaltigkeitsaspekte wie Klimaschutz und Energieeffizienz hinaus hat der Einsatz von KI das Potenzial, in verschiedenen Wirtschaftszweigen zum Erreichen von Nachhaltigkeitszielen und somit zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen (Vinuesa et al. 2019; Barbian 2022).

Der Blick auf die Potenziale von KI zur Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen ist jedoch nur eine von drei grundlegend einzunehmenden Perspektiven, um die Zusammenhänge zwischen KI und Nachhaltigkeit möglichst vollständig zu erfassen. Abbildung 2 zeigt drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, die im folgenden erläutert werden (Boll et al. 2022; van Whynsberghe 2021):

1. Nachhaltigkeit durch KI: Im Fokus steht hierbei, inwieweit der Einsatz von KI explizit zum Erreichen der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung beiträgt. Durch wachsende Datenmengen können mit KI neue Erkenntnisse gewonnen und Lösungen entwickelt werden. Organisationen können so ihre Prozesse, Produkte und Dienste ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher gestalten (Boll et al. 2022; Seifert et al. 2018; van Whynsberghe 2021). Die über 240 den Nachhaltigkeitszielen zugeordneten Indikatoren

(Statistisches Bundesamt 2022) können dabei als Bemessungsgrundlage dienen.

- 2. Nachhaltige Gestaltung von KI:** Anwendungen von KI haben über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg ökologische und sozioökonomische Effekte. Beispielsweise wird beim Training großer KI-Modelle viel Energie verbraucht. Stammt diese nicht aus erneuerbaren Energiequellen, wird für das Training CO₂ freigesetzt, was sich wiederum auf das Klima auswirkt (Patterson et al. 2021; Rohde et al. 2021; Strubell et al. 2019). Bei der Gestaltung von KI-Anwendungen können verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, um KI-basierte Produkte und Dienste selbst nachhaltig zu gestalten. Im sozioökonomischen Bereich sind die wichtigsten Merkmale Nichtdiskriminierung durch KI-Entscheidungen, Transparenz beziehungsweise Erklärbarkeit und Vertrauenswürdigkeit von KI-Entscheidungen. Im ökologischen Bereich sind dies Aspekte wie Ressourcenverbrauch zum Erfassen und Erzeugen von Daten, Einfluss der Datenmenge auf den Trainingsaufwand und somit Energieverbrauch, Messbarkeit des CO₂-Fußabdrucks von Training und Betrieb, Wiederverwendbarkeit der Modelle sowie Nachhaltigkeit der eingesetzten Infrastrukturen. (Bender et al. 2021; Patterson et al. 2021; Rohde et al. 2021; Strubell et al. 2019).
- 3. KI-basierte Nachhaltigkeitsbewertung:** KI kann einerseits potenziell dafür verwendet werden, die Nachhaltigkeit von Unternehmen zu bewerten. Dies dient beispielsweise dazu, im Vorfeld von Investitionen zu prüfen, ob bestimmte Nachhaltigkeitskriterien erfüllt werden. Die Kriterien zur Bewertung nachhaltigkeitsbezogener Verantwortungsbereiche von Unternehmen werden als ESG-Kriterien bezeichnet (Boll et al. 2022; Haberstock 2019); die Abkürzung steht für Environmental (Umwelt), Social (Soziales) und Governance (verantwortungsvolle Unternehmensführung). Andererseits kann KI auch zur Überwachung und Analyse von Nachhaltigkeitsaspekten im Umweltschutz eingesetzt werden. Auch für Unternehmen und Kommunen ist KI-gestütztes Monitoring der Umweltwirkung ihres Handelns hilfreich, um gesetzliche Vorgaben, beispielsweise zur Emissionsminderung, zu erfüllen. Hierzu werden KI-basierte Detektions-, Warn- und Prognosesysteme eingesetzt. Derzeit ist der Grad der Durchdringung von KI im Umweltmonitoringbereich jedoch noch gering (Jetzke et al. 2019; Willenbacher/Wohlgemuth 2017).



Abbildung 2: Dimensionen von Nachhaltigkeit und KI (in Anlehnung an: „Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI“ (Whynsberghe 2021) und „Mit Künstlicher Intelligenz zu nachhaltigen Geschäftsmodellen Nachhaltigkeit von, durch und mit KI“ (Boll 2022))

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf der Betrachtung der Dimension „Nachhaltigkeit durch KI“, also der Frage, wie KI in verschiedenen Einsatzszenarien zur Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen beiträgt. Dabei werden zwölf Use Cases aus dem Umfeld von Leuchtturmprojekten betrachtet, die durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert werden und in deren Rahmen KI-Lösungen für verschiedene Branchen entstehen. Dabei wurden Nachhaltigkeitsziele betrachtet, die über die Bereiche Klimaschutz und Ressourceneffizienz hinausgehen. Die zweite Perspektive „Nachhaltige Gestaltung von KI“ wird in einem eigenen Kapitel (Kapitel 4) diskutiert. Das Kapitel gibt einen Einblick in Aspekte, die berücksichtigt werden können, um KI-basierte Produkte oder Dienste selbst nachhaltig zu gestalten. Die nachhaltige Gestaltung von KI kann beispielsweise bei einer Investitionsentscheidung eine Rolle spielen.

Einsatz Künstlicher Intelligenz für nachhaltiges wirtschaftliches Handeln

Trotz des prognostizierten Potenzials von KI als Schlüsseltechnologie für eine nachhaltigere Wirtschaft und Gesellschaft sind derzeit eine Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten wie auch qualitative Bewertungen immer noch sehr schwierig und werden von Unternehmen selten vorgenommen.

So bleibt die Frage oft unbeantwortet, wie hoch tatsächliche Nachhaltigkeitseffekte des Einsatzes von KI in verschiedensten Anwendungsszenarien sind. Das liegt unter anderem daran, dass KI-Technologien in der Regel zu anderen Zwecken eingesetzt werden: zur Effizienzsteigerung beziehungsweise Kosteneinsparung durch die Optimierung von Prozessen und Produkten, zur Entlastung und Unterstützung des Menschen sowie zur

Automatisierung. Nachhaltigkeitseffekte ergeben sich hier eher als Nebenprodukt, Wirtschaftlichkeits- und Wettbewerbsaspekte stehen im Vordergrund.

Nach einer Umfrage der Adesso SE (Adesso 2021) unter Entscheidungstragenden in Unternehmen innerhalb der DACH-Region, erreicht Nachhaltigkeit Platz sechs von zwölf möglichen Kernherausforderungen in Unternehmen für die nächsten drei Jahre. Auf Platz eins der zentralen Herausforderungen wird die Anwendung neuer Technologien wie KI gesehen. Immer mehr Unternehmen antizipieren durch den Einsatz von KI positive Effekte auf vielen Ebenen (Adesso 2021). Dazu gehören Einsparungen durch die effizientere Nutzung von Ressourcen und Energie sowie die Reduktion von Abfällen. Auch die Umgestaltung von Arbeits- und Unternehmensprozessen als Antwort auf Herausforderungen wie den Fachkräftemangel infolge des demografischen Wandels, kann durch den Einsatz von KI adressiert werden. Hierin finden sich auch die als Nebenprodukt genannten Nachhaltigkeitseffekte wieder.

Über eine reine Selbstverpflichtung zu nachhaltigem Handeln hinaus wird die nachhaltige Gestaltung angebotener Produkte und Dienste für Unternehmen immer bedeutsamer, da die regulatorischen Anforderungen zunehmen. So wird beispielsweise die Erfüllung von Compliance-Pflichten im Klimabereich ein wichtiger Bestandteil des Handelns von Unternehmen. Dies sind etwa Vorgaben der EU zur Nachhaltigkeitsberichterstattung, aber auch Bedingungen, die sich ab 2023 aus dem Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz ergeben werden:

- Derzeit wird das Thema Nachhaltigkeit aus unternehmerischer Sicht häufig mit dem Begriff Corporate Social Responsibility (CSR) verbunden. Dabei drückt CSR die gesellschaftliche Verantwortung einer Organisation aus, nachhaltig zu wirtschaften – entlang

sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte. Seit 2017 ist das Vorlegen eines Nachhaltigkeitsberichts für Unternehmen in Deutschland verpflichtend, die im Schnitt eines Geschäftsjahres mehr als 500 Angestellte haben und deren Umsatzerlöse mehr als 40 Millionen Euro betragen oder deren Bilanzsumme über 20 Millionen Euro liegt (Bundesregierung, 2017; IHK Frankfurt am Main). Die Zahl der von der Berichtserstattungspflicht betroffenen Unternehmen wird perspektivisch weiter steigen. Denn mit der **EU-Richtlinie zur Nachhaltigkeitsberichterstattung** (Corporate Sustainability Report-Directive CSRD) fallen künftig weitaus mehr Unternehmen in den Anwendungsbereich der Richtlinie (Europäische Kommission (2021).

- Das **Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz (LkSG)** tritt in Deutschland 2023 für alle Unternehmen mit mehr als 3.000 Mitarbeitenden und ab 2024 für alle Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitenden in Kraft. Hierdurch wird erstmals von Unternehmen das Einhalten von Menschenrechten durch die Umsetzung definierter Sorgfaltspflichten entlang von Lieferketten gefordert. Dies schließt den Geschäftsbereich des Unternehmens sowie den Handel mit Vertragspartnern und Zulieferern ein. Dazu gehören unter anderem das Einrichten eines Risikomanagements als Maßnahme über alle Geschäftsabläufe hinweg. Es dient zur Vorbeugung von Menschenrechtsverletzungen sowie zum Erkennen, Vermeiden oder Minimieren von Umweltschädigungen (Bundestag, 16.6.21).

Eine Übersicht zu ausgewählten nachhaltigkeitsrelevanten Regularien und Strategien findet sich im Anhang dieser Publikation, darunter das Bundes-Immissionsschutzgesetz, das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), das Erneuerbare-Energien-Gesetz, die REACH-Verordnung und das Kreislaufwirtschaftsgesetz.

Die Veränderungen des regulatorischen Rahmens führen dazu, dass neben der öffentlichen auch bei der privatwirtschaftlichen Vergabe von Aufträgen zunehmend Wert auf den Nachweis von Nachhaltigkeitsstandards gelegt wird. Diese Entwicklung spiegelt sich auch auf den Finanzmärkten wider. Immer mehr Unternehmen, die Geldanlagen anbieten, lassen nachprüfbar Nachhaltigkeitskriterien (ESG-Kriterien) in ihre Portfolios einfließen. Dabei werden Aspekte aus den Bereichen Umwelt, Soziales und Unternehmensführung bemessen. Das weltweite Volumen von Fonds, die ESG-Kriterien berücksichtigen, wuchs von 5 Milliarden Dollar im Jahr 2005 auf 378 Milliarden Dollar 2022 (Statista 2022a). Diese Steigerung des Gesamtvolumens von ESG-Fonds kann für Unternehmen einen weiteren Anreiz darstellen, Produkte und Dienstleistungen nachhaltiger zu gestalten (Statista 2022).

Aufgrund der wachsenden Relevanz des Themas Nachhaltigkeit und des prognostizierten Potenzials von KI für eine nachhaltige Entwicklung legt diese Publikation ihren Schwerpunkt auf eine möglichst konkrete Betrachtung der Nachhaltigkeitseffekte durch den Einsatz von KI in zwölf Use Cases, die in der Regel nicht spezifisch auf Nachhaltigkeit ausgelegt sind. Dort, wo eine Quantifizierung oder qualitative Abschätzung ihres potenziellen Beitrags zum Erreichen von Nachhaltigkeitszielen möglich ist, wird diese vorgenommen. Die Use-Case-Auswahl gibt Einblicke in verschiedene Einsatzszenarien. Sie ist nicht repräsentativ für gesamte Wirtschaftszweige. Eine Verallgemeinerung lässt sich daher aus den Ergebnissen nicht ableiten. Erstmalig werden die Anwendungsfälle hinsichtlich ihrer finanziellen, technischen und personellen Implementierungsanforderungen bewertet. So können am Einsatz von KI und Nachhaltigkeit interessierte Unternehmerinnen und Unternehmer anhand der Beispiele eine domänenspezifische Orientierung gewinnen. Eine übergeordnete Auswertung zeigt, welche Reifegrade, Implementierungsherausforderungen und Nachhaltigkeitspotenziale in den verschiedenen Use Cases und Domänen bestehen. Damit werden neben einer Einschätzung der Nachhaltigkeitseffekte auch investitionsrelevante Informationen für Unternehmen geliefert.

Die Studie entstand im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm „Künstliche Intelligenz als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme“ (KI-Innovationswettbewerb). Die Use Cases sind den Projekten der Technologieprogramme KI-Innovationswettbewerb und Smarte Datenwirtschaft des BMWK entlehnt oder wurden innerhalb ihres Ökosystems identifiziert. Sie wurden in Zusammenarbeit mit einem Fachpanel aus den Projekten hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen, ihres Reifegrades und ihrer Implementierungsanforderungen diskutiert. Die Ergebnisse münden in die vorgelegte Orientierungshilfe.

Das Autorenteam bedankt sich an dieser Stelle für die Mühe und die konstruktive Zusammenarbeit bei:

- Dipl.-Ing. Matthias Barbian, Business Development Manager, SEITEC GmbH & seioTec GmbH
- M. Sc. Jonas Malte Becker, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover
- Dr. Arpad Bischof, CEO, IMAGE Information Systems Europe GmbH
- Johannes Bosch, Projektmanager, John Deere GmbH & Co. KG
- Dr. Matthias Brunner, Managing Partner, tsenso GmbH
- Dr. Michael Colombo, Head of Strategy and Innovation, TIKI GmbH
- Birgid Eberhardt, Bereichsleiterin Smart Home / AAL, GSW Gesellschaft für Siedlungs- und Wohnungsbau Baden-Württemberg mbH Bauträgerunternehmen des VdK
- M. Eng. Lisa Efke, Leiterin Akademie und Projektleiterin Gewerbe, Industrie & Kommunen, Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.
- Jens Gerhard, Head of Technology- & Process Development, Feintool
- Dipl.-Wi.-Inform. Jens Holtappels, Vorstand / CTO Entwicklung, Hottgenroth Software AG
- Marc Kalliski, Technology Expert, Bayer AG
- Prof. Dr. med. Friedrich Köhler, Leiter des Zentrums für kardiovaskuläre Telemedizin, Oberarzt für Kardiologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin
- Dr.-Ing. Kai Litwinski, Entwicklungsleiter Digitalprodukte, GILDEMEISTER Drehmaschinen GmbH
- Franziska Rupprecht, Teamlead/Data Scientist, ixto GmbH
- M. Eng. Marcel Stüer, Business Development, Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.
- Philipp Waldkirch, Projektmanager, KEO GmbH
- Oliver Warweg, Gruppenleiter Energiewirtschaft & Systemanalysen, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)
- Frank Schnellhardt, INNOMAN GmbH
- Michael Scherf, Vorstandsvorsitzender, GETEMED Medizin- und Informationstechnik AG
- Dr. Malte Sieren, Assistenzarzt, UKSH Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
- Christoph Weiss, Agraringenieur, Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle

2 KI FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG IM PRAXISEINSATZ

2 KI FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG IM PRAXISEINSATZ

In diesem Kapitel werden zwölf Use Cases vorgestellt, um zukünftigen anwendenden Unternehmen eine Orientierungshilfe an die Hand zu geben. Sie soll dabei helfen, potenzielle Nachhaltigkeitswirkungen des Einsatzes von KI-Anwendungen in verschiedenen Szenarien, ihre Implementierungsanforderungen sowie den technischen Reifegrad der Lösungen einzuordnen. Vorrangig geht es in diesem Kapitel um die Perspektive Nachhaltigkeit durch KI (Abbildung 2). Die Bewertung der Implementierungsanforderungen wurde in Anlehnung an Friedrich et al. (2021) vorgenommen.

Die Use Cases werden als Steckbriefe dargestellt und folgen einer einheitlichen Struktur entlang von neun Kategorien. Ausgehend von der Beschreibung des Einsatzbereichs und der Anwendungsdomäne wird der Use Case dargestellt und daran anschließend werden die spezifischen Besonderheiten und Herausforderungen des Anwendungsfalls benannt.

In der Kategorie „Beitrag zum Erreichen der SDGs“ werden innerhalb der zwölf Use Cases mögliche Nachhaltigkeitseffekte sowie Beiträge zur Umsetzung von SDGs (Abbildung 3) so spezifisch wie möglich dargestellt. Dabei wird in einer tabellarischen Übersicht angegeben, welches SDG adressiert wird, welcher Indikator für eine Nachhaltigkeitswirkung des Use Cases herangezogen wird und welcher Zielvorgabe dieser Indikator zugeordnet ist. Überall dort, wo keine Aussage, die auf quantifizierbaren Daten beruht, getroffen werden konnte, wurde eine qualitative Bewertung durch die Expertinnen und Experten vorgenommen. Ebenso werden in dieser Kategorie Herausforderungen der Nachhaltigkeitsbewertung beleuchtet.

In der Kategorie Investitionshöhe werden neben einer Einordnung der Implementierungs- sowie Betriebskosten auch Faktoren aufgegriffen wie der damit verbundene Zeitaufwand und mögliche Skalierungs- und Amortisationseffekte.

Darauf werden die notwendigen technischen Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen in den Mittelpunkt gestellt. Hierbei werden Hard- und Softwareanforderungen für den Einsatz von KI aufgeführt. Aspekte wie eine mögliche Nachrüstbarkeit der bestehenden Infrastrukturen fließen in die Bewertung mit ein. Ebenso werden Anforderungen wie Verfügbarkeit und Qualität der Daten betrachtet, die für das Training der Modelle notwendig sind. Die Bewertung wird entlang der folgenden Skala vorgenommen:

Bewertung technischer Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen	
Keine	Keine technischen Voraussetzungen/Anpassungen notwendig.
Gering	Geringe Nachrüstung von Hardware (Sensoren etc.) notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI bereits vorhanden.
Mittel	Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/oder erweitert werden).
Hoch	Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); gegebenenfalls sind Anpassungen beziehungsweise die Implementation weiterer technischer Infrastruktur notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI nicht vorhanden.

In die Kategorie „Bewertung der notwendigen IT- und/oder KI-Kompetenzen auf Seite anwendender Unternehmen“ fließen alle Anforderungen an das Personal für einen reibungslosen betrieblichen Einsatz der KI-Anwendung ein. Die Bewertung wird entlang der folgenden Skala vorgenommen.

Bewertung der notwendigen IT- und/oder KI-Kompetenzen auf Seite anwendender Unternehmen	
Keine	Keine IT-Fachkompetenz notwendig.
Gering	Geringe IT-Fachkompetenz notwendig.
Mittel	IT-Kompetenzen zur Integration des Systems in existierende Softwarelandschaft und zur Datenaufbereitung notwendig.
Hoch	Explizite KI-Expertise und/oder vertiefte Data-Science-Expertise für die Integration und/oder Anwendung des Systems notwendig.

Der Reifegrad der eingesetzten Technologien wird vor dem Hintergrund des Stands der Technik in der beleuchteten Domäne verortet. Die Bewertung findet entlang einer dreigeteilten Skala statt.

Bewertung des technischen Reifegrades	
Gering	Funktionsnachweis vorhanden; bislang keine Prototypen im Einsatz.
Mittel	Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet.
Hoch	Produkte im Einsatz; Modelle müssen gegebenenfalls für den spezifischen Einsatzbereich angepasst/trainiert werden.

Die Use Cases, die auf Projekten der vom BMWK geförderten Technologieprogramme KI-Innovationswettbewerb und Smarte Datenwirtschaft aufbauen, zeigen beispielhaft mögliche Potenziale zum Erreichen von SDGs in den folgenden Anwendungsdomänen auf: Energiewirtschaft, Bau- und Wohnwirtschaft, Gesundheitswirtschaft, Produktion und Industrie, Mobilität und Logistik, Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion sowie -handel. Hierfür wurden leitfadengestützte Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der Unternehmen geführt, welche die Technologien anwenden – Praxispartnerinnen und -partner aus den Projekten – sowie aus den KI-Lösungen anbietenden Unternehmen (KI-Entwicklerinnen und KI-Entwickler). Dabei war das Ziel, die Potenziale möglichst quantifizierbar zu machen. Die folgende Abbildung 3 fasst die Ergebnisse der Kategorie „Beitrag zum Erreichen der SDGs“ in Form einer Übersicht zusammen. Sie stellt dar, auf welche Nachhaltigkeitsziele die jeweiligen Use Cases in ihren Anwendungsdomänen eine Wirkung haben.

		2 KEIN HUNGER	3 GESUNDHEIT UND WOHLERGEHEN	7 BEZAHLBARE UND SAUBERE ENERGIE	8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTSWACHSTUM	9 INDUSTRIE, INNOVATION UND INFRASTRUKTUR	11 NACHHALTIGE STÄDTE UND GEMEINDEN	12 NACHHALTIGE/R KONSUM UND PRODUKTION	13 MASSNAHMEN ZUM KLIMASCHUTZ	15 LEBEN AN LAND	
Use Case	Domäne										
Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung	Lebensmittelproduktion							■			
Reduzierung der Lebensmittelabfälle im Handel	Lebensmittelhandel							■			
Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen	Landwirtschaft	■								■	
Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden	Industrie und Produktion				■						
KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälen	Industrie und Produktion				■						
Ressourceneffiziente Herstellung von Pflanzenschutzmitteln	Industrie und Produktion			■		■					
Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten	Bau- und Wohnwirtschaft			■			■		■		
Smart-EED-System	Bau- und Wohnwirtschaft			■			■	■	■		
Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren	Energiewirtschaft			■					■		
KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile	Mobilität						■		■		
KI-gestützter Röntgenassistent	Gesundheitswirtschaft		■								
KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz	Gesundheitswirtschaft		■								

Abb. 3: Die Abbildung zeigt die zwölf betrachteten Use Cases mit ihrer zugehörigen Domäne. Die grünen Felder zeigen an, zu welchen Nachhaltigkeitsziele die Use Cases einen Beitrag leisten.

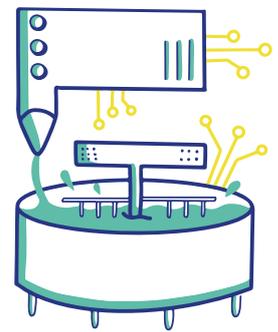


2.1 Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung

Anwendungsdomäne: Lebensmittelproduktion (Molkereiprodukte)

Einsatzbereich: Weiterverarbeitung des Rohprodukts

Zur Optimierung der Produktions- und Anlagensteuerung in der Molkereiindustrie können KI-Modelle eingesetzt werden. Im vorliegenden Use Case wird die Pumpbarkeit der Rohmasse in der Schmelzkäseproduktion verbessert, um Nacharbeit und Ausschuss zu minimieren. In einem ersten Schritt wird ein KI-Modell auf Basis von Daten über Qualitätsmerkmale der Ausgangsrohstoffe sowie historischen Maschinenparameterdaten eines Mixers trainiert, d. h. Daten der aktuellen Maschinenkonfiguration. Hierfür können die Kunden eine Data-Science-Plattform als Software-as-a-Service nutzen, um individuelle KI-Modelle zu entwickeln. Die Entwicklungs- und Betriebsumgebung basiert auf Open-Source-Komponenten. Das entwickelte KI-Modell kann bei der Verarbeitung neuer Chargen zur Vorhersage der Pumpfähigkeit der Rohmasse, potenzieller Maschinenstörungen sowie Optimierungsmöglichkeiten im Kontext der Prozessparameter eingesetzt werden. Wenn das Modell eine Empfehlung zu etwaigen Parameteranpassungen ermittelt hat, werden diese an die Person kommuniziert, die die Anlage bedient. Diese kann die



Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung

Anpassungen nach Prüfung dann umsetzen. Der „Human in the Middle“-Ansatz dient der Vertrauensbildung und ermöglicht es, den Implementierungsaufwand in der Produktion niedrigschwellig zu halten.

Besondere Herausforderungen

Das Modell ist nicht generalisierbar und somit nicht auf alle Prozessschritte beziehungsweise Rezepte direkt anwendbar. Für jedes Rezept respektive jeden Prozessschritt muss ein eigenes Modell trainiert werden. Zudem wird davon ausgegangen, dass nach Maschinenanpassungen oder ähnlichem ein Nachtrainieren des Modells erforderlich sein wird.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 12 | Indikator 12.3.1: Index der Lebensmittelverluste und Index der Lebensmittelverschwendung

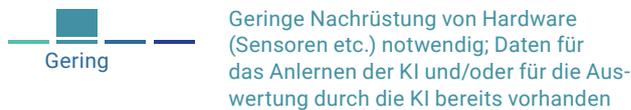
Ziel: Verringerung der Nahrungsmittelverluste entlang der Produktions- und Lieferkette

- Bei Rezepturen, deren Rohmasse anfällig für Probleme bezüglich der Pumpbarkeit während der Verarbeitung ist, geht ca. eine von hundert Chargen verloren. Mithilfe der KI-gestützten Parameteranpassungen kann dieser Verlust verhindert werden.
- Durch den konsequenten Einsatz von spezifisch trainierten KI-Modellen entlang des gesamten Produktionsprozesses – von der Verarbeitung bis hin zur Verpackung des (Roh-)Produkts –, können etwaige Lebensmittelverluste vermieden werden. Diese treten in der Praxis vor allem am Ende des Produktionsprozesses auf, beispielsweise bei der Verpackung des Produkts.
- Zudem können schwer verarbeitbare Rohstoffe eingesetzt werden, auf die bislang aufgrund schwer vorhersagbarer möglicher Pumpstörungen nicht zurückgegriffen wird.
- Die Vorhersage der Produktqualität ist ein weiteres Anwendungsbeispiel, um Lebensmittelverluste zu mindern. Die Produktqualität ist maßgebend dafür, ob und inwieweit die Produkte vom Markt angenommen werden.
- Bei der Entwicklung der Anwendung wurden keine spezifischen Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt, weil der Energieaufwand für das Training des Modells vernachlässigbar ist.

Investitionshöhe

- In einem ersten, gemeinsamen Co-Creation-Projekt werden die Kunden befähigt, selbstständig mit der Data-Science-Plattform zu arbeiten.
- Das Enabling dauert ca. drei Monate und ist mit 20 bis 30 externen Personentagen zu veranschlagen. Die Nutzung der Plattform kostet unter 10.000 Euro pro Quartal. Für die Nutzungspauschale können etliche Modelle auf der Plattform trainiert werden.
- Weitere Investitionen hängen davon ab, inwieweit das KI-Modell in die Maschinensteuerung integriert wird. Grundsätzlich muss nicht investiert werden, wenn die KI-basierte Optimierung einmalig oder wiederkehrend manuell implementiert wird. Eine KI-optimierte automatisierte Anpassung der Fertigung wäre hingegen investitionsintensiv.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



- Die Daten für das Training des KI-Modells sind in der Regel bereits in den Unternehmen vorhanden.
- Die Entwicklung des KI-Modells erfolgt auf der Data-Science-Plattform. Hierfür ist keine leistungsfähige Hardware oder ähnliches notwendig. Die Kunden können browserbasiert ihre interne Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) nutzen.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



- Es wird eine KI-Mitarbeitermobilisierung – 40 Einheiten in 10 Wochen – angeboten, um Mitarbeitende der Kunden für den Umgang mit der Plattform zu qualifizieren.
- Grundvoraussetzung sind Basis-Programmierkenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit Daten (beispielsweise Datenbankadministratoren; IT-Fachleute).

- Es sind keine spezifischen KI- oder Data-Analytics-Kenntnisse erforderlich.
- Fachkräftebedarf kann durch „Mund-zu-Mund-Propaganda“ gedeckt werden. Es wird bislang kein Fachkräftemangel für das Unternehmen gesehen, da kein großer Bedarf besteht und die gute Arbeitsatmosphäre Mitarbeitende anzieht. Zukünftig ist eine Zusammenarbeit mit Hochschulen geplant, um mögliche Mitarbeitende über einen Zertifikatskurs Data Science zu qualifizieren.

Reifegrad



- Die KI-Lösungen sind seitens der Anbietenden einsatzbereit, Modelle müssen jedoch für die spezifischen Anwendungsbereiche trainiert werden.
- Erste KI-Produkte sind bei den anwendenden Unternehmen im Einsatz. Die Implementierung von KI in die Produktion hat im Unternehmen bereits begonnen.
- Die Data-Science-Plattform basiert auf Open-Source-Komponenten, die von einer „global community“ weiterentwickelt werden. Das KI anbietende Unternehmen beteiligt sich als Innovationskraft in dieser Community.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes REIF im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.2 Reduzierung der Lebensmittelabfälle im Handel

Anwendungsdomäne: Lebensmittelhandel

Einsatzbereich: Wareneingang Lebensmittelhandel, Lieferanten-Monitoring

Auf Basis von Nahinfrarot(NIR)-Daten, die im Wareneingang etwa für Obst und Gemüse mithilfe eines NIR-Produkt-Scanners erfasst und über eine Plattform ausgewertet werden, kann die Produktqualität verderblicher Lebensmittel bewertet und ein qualitätsspezifisches, dynamisches Haltbarkeitsdatum prognostiziert werden. Die Plattform integriert bestehende wissenschaftliche Ergebnisse im Bereich der Lebensmittelmodelle, um im Kontext der natürlichen Parameterschwankungen von weitestgehend nicht oder minimal prozessierten Frischeprodukten wie Obst, Gemüse oder Fleisch zuverlässige Ergebnisse liefern zu können. Hierfür werden auch statistische Daten entlang der gesamten Lieferkette, vom produzierenden Unternehmen über den Handel bis zum Konsumentinnen und Konsumenten, einbezogen. Aufbauend auf der Bewertung (Frische-Index) können Lebensmittel, unabhängig vom Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD), qualitätsgerechten Preisen zugeordnet und mittels Dynamic Pricing bestmöglich abgesetzt werden. Hierdurch lassen sich Lebensmittelverluste im Handel signifikant reduzieren.



Reduzierung der Lebensmittelabfälle im Handel

Besondere Herausforderungen

Konsumentinnen und Konsumenten sind es gewohnt, ausschließlich Lebensmittel ohne „äußere Mängel“ angeboten zu bekommen. Noch verzehrbare Lebensmittel mit einer geringeren Qualität werden deshalb häufig als „schlecht“ bewertet. Eine Beschreibung der Produktqualität hängt somit auch eng mit den Ansprüchen und Gewohnheiten der Konsumierenden zusammen. Zudem könnte der Verkauf von reduzierten Produkten geringer(er) Qualität dazu führen, dass die Kunden die allgemeine Warenqualität im jeweiligen Geschäft als „gering“ bewerten.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 12 | Indikator 12.3.1: Index der Lebensmittelverluste und Index der Lebensmittelverschwendung
Ziel: Halbierung der Nahrungsmittelverschwendung auf Einzelhandels- und Verbraucherebene bis 2030

- Lebensmittelverluste im Einzelhandel werden hierzulande mit ca. 4 % der Gesamtverluste entlang der Wertschöpfung beziffert (0,5 Millionen Tonnen). Im Fokus der dynamischen Qualitätsbewertung liegen frische, verderbliche Waren wie Obst und Gemüse – ca. 5 % bis 6 % Verluste – oder Fleisch mit ca. 4 % Verlusten. Durch die Implementation der plattformbasierten Qualitätsbewertung könnten bis zu 40 % dieser Verluste reduziert werden. Die Abschätzungen basieren auf Analysen eines prototypisch umgesetzten Systems im Wareneingang des Lebensmittelhandels (Großhandel).
- Transparente Lieferketten, einschließlich der Möglichkeit, Messdaten entlang der Wertschöpfung zu erheben, werden als Enabler für den Use Case bewertet. Das Lieferkettengesetz treibt diese Entwicklung an.
- Bei der Entwicklung des KI-Produkts – hard- und softwareseitig – spielen Nachhaltigkeitsaspekte keine wesentliche Rolle. Es werden jedoch ausgewählte, strukturierte Datensets für das Training genutzt, um den Preis für die Entwicklung des KI-Modells gering zu halten.

Investitionshöhe

- Das KI-basierte System wird im Warenlager des Großhandels implementiert. Der Implementierungszeitraum bei großen Lebensmittelgeschäften wird mit ca. 6 bis 12 Monaten und internen Kosten von bis zu 500.000 Euro geschätzt.
- Der Betrieb der KI-Anwendung soll als Komplett-Dienstleistung, einschließlich der Bereitstellung der Scanner, angeboten werden. Die monatlichen Schätzkosten liegen bei 50.000 bis 100.000 Euro für ein Komplettpaket bei großen Lebensmittelgeschäften. Anpassungen, Servicedienstleistungen und Erweiterungen sind darin inkludiert.
- Die Reduzierung von Lebensmittelverlusten hat einen direkten, messbaren ökonomischen Vorteil. Bislang gehen im deutschen Lebensmittelhandel jährlich 500.000 Tonnen Lebensmittel verloren (Schmidt et al. 2019). Bei großen Händelshäusern wie REWE (einschl. Penny) fallen bspw. jährlich 150.000 Tonnen organische Abfälle an (REWE Group 2020). Die monetären Verluste durch Lebensmittelverluste im Handel lagen im Jahr 2020 hierzulande für die Warengruppe Obst und Gemüse bei 464,5 Mio. Euro und für die Warengruppe Fleisch, Fisch und Geflügel bei 405,5 Mio. Euro (EHI Retail Institute 2021).

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen

 **Hoch** Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); gegebenenfalls sind Anpassungen beziehungsweise die Implementation weiterer technischer Infrastruktur notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI nicht vorhanden

- Um die Ergebnisse im Lebensmittelhandel nutzen zu können, ist eine Anpassung/Erweiterung des internen IT-Systems notwendig, sodass die Bewertungen der Qualität und verbleibenden Haltbarkeit verarbeitbar sind und in ein Dynamic-Pricing-Modell integriert werden können.
- Die wesentlichen Messdaten werden durch den NIR-Scanner erzeugt (Hardware ist in der Dienstleistung eingeschlossen). Weitere erforderliche Daten entlang der Lieferkette werden statistisch ermittelt.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen

 **Mittel** IT-Kompetenzen zur Integration des Systems in existierende Softwarelandschaft und zur Datenaufbereitung notwendig

- Für die internen Anpassungen des IT-Systems werden bei den anwendenden Unternehmen IT-Kompetenzen vorausgesetzt/benötigt.
- Die Expertise im Bereich KI- und Data Science wird durch das anbietende Unternehmen im Rahmen der Dienstleistung abgedeckt. Ergänzt wird das Team durch Personal mit Expertise in den Bereichen Mathematik, Physik und Biologie, die die Randbedingungen wie Lebensmittelwissen, Parameter zur Vermessung, Wetterdaten, Zellteilung etc. in die Algorithmen und Modelle implementieren.
- Die Bindung der Arbeitnehmenden geschieht über ein marktübliches Gehalt bei hochinteressantem Aufgabenfeld im Nachhaltigkeitskontext. Die Besetzung vakanter Positionen wird als herausfordernd bewertet.

Reifegrad

 **Mittel** Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet

- Ein funktioneller Prototyp ist aktuell in der Einsatzumgebung implementiert und wird mit einem Unternehmen aus dem Lebensmittelhandel evaluiert und weiterentwickelt. Ein marktreifes Produkt soll bis spätestens 2023 angeboten werden können.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes FreshAnalytics im Rahmen des vom BMWK geförderten Technologieprogramms Smarte Datenwirtschaft.

2.3 Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen

Anwendungsdomäne: Landwirtschaft

Einsatzbereich: Precision Farming (Präzisionslandwirtschaft)

Ziel ist die bedarfsmengenorientierte und punktgenaue Versorgung von Nutzpflanzen mit Düngemitteln und eine ebensolche Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Um Nutzpflanzen in der Fläche optimal düngen oder auch Pflanzenschutzmaßnahmen effizient und natur-schonend mit (teil-)autonomen Landmaschinen durchführen zu können, ist eine feingranulare Vermessung der jeweiligen Parzellen ($< 1 \text{ m}^2$) sowie eine KI-unterstützte „intelligente“ Aufgabenplanung notwendig. Hierbei werden die Eigenschaften des Feldes (3D-Geometrie, statische Hindernisse etc.) im Planungsprozess berücksichtigt. Es fließen unterschiedliche Wissensquellen ein wie etwa Satelliteninformationen, Vermessungsdaten von Drohnen oder Zustandsdaten der Historie des Feldes. Auch Informationen über den Zustand der Feldsegmente durch Bodenradar, Ertragskarte, Biomassekarten etc. werden in die Planung einbezogen. Darauf aufbauend wird die Düngung und Applikation von Pflanzenschutz-



Präzises Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen

maßnahmen zeit- und energieeffizient durchgeführt. Dabei werden Anbaugeräte wie beispielsweise Feldspritzen oder Düngerstreuer ebenso berücksichtigt wie ein Echtzeitabgleich zwischen Planungsdaten mit der Ist-Situation, um Feinjustierungen vornehmen zu können.

Besondere Herausforderungen

Als Produkt muss die KI-Anwendung für die verschiedenen Märkte, beispielsweise Europa und USA, spezifisch ausgelegt und entwickelt werden. Randbedingungen sind hierbei Anbaumethoden, Beschaffenheit der Felder etc. Es gibt kein Standardprodukt, das weltweit vermarktet werden kann.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 2 | Indikator 2.1.a: Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft (national)

Ziel: Verringerung der Stickstoffüberschüsse je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche

SDG 15 | Indikator 15.1: Artenvielfalt und Landschaftsqualität (national)

Ziel: Erhaltung der Artenvielfalt und Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts

- Durch eine KI-unterstützte bedarfsmengen- und punktgenaue Düngung können voraussichtlich Düngemittel eingespart werden. In der Praxis ist die Ermittlung des Düngedarfs jedoch bereits heute mit klassischen Methoden sehr exakt. Wenn möglich, wird die maximal zulässige Stickstoffmenge ausgebracht, um einen hohen Ertrag zu erzielen.
- Auf Anbauflächen können je nach Bedarf punktgenau Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden (Spot-Spraying). Hierbei lassen sich Pflanzenschutzmittel insbesondere da einsparen, wo Beikräuter nicht flächig, sondern in Nestern auftreten. Ein Beispiel dafür ist die Distel, die als „spotbezogener“ Schädlingsbefall auf Teilflächen auftritt. Spot-Spraying bietet sich grundsätzlich da an, wo Nutzpflanzen einzeln erkennbar sind und die Besatzdichte nicht zu hoch ist, wie beispielsweise beim Maisanbau.
- Eine belastbare Aussage zu durchschnittlichen Einsparungen ist schwer, da diese je nach räumlichem Aufkommen der Beikräuter oder bei Befall durch Schädlinge von Feld zu Feld und Jahr zu Jahr variieren können.

- Wenn günstige Breitbandmittel gegen Beikräuter zur Verfügung stehen, werden diese in der Regel großflächig ausgebracht, um dem Risiko einer möglichen Ertragsabsenkung durch Spot-Spraying entgegenzuwirken. Zudem wird so dem Risiko der Resistenzbildung entgegengewirkt.

Investitionshöhe

- Für die präzise Lenkung und Aufzeichnung der Daten ist eine Nachrüstung der Schlepper notwendig, wenn diese nicht schon dafür ausgerüstet sind. Für die Nach- oder Aufrüstung eines Schleppers muss mit ca. 25.000 bis 30.000 Euro gerechnet werden.
- Die Nachrüstung der Anbaugeräte, beispielsweise einer Spritze zum Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln, kann deutlich komplexer und somit auch kostenintensiver werden. Bislang gibt es häufig noch keine „Standardlösungen“ und es muss mit Fachkenntnis die Technik umgebaut und angepasst werden.
- Die KI-basierten Produkte und Dienste werden immer häufiger eingesetzt, um Effizienzsteigerungen bei der Bestandsaufnahme (gesetzliche Rahmenbedingungen) der Düngung sowie Pflanzenschutzes zu realisieren. Durch den Einsatz kann die komplexe Dokumentation automatisiert werden.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); gegebenenfalls sind Anpassungen beziehungsweise die Implementation weiterer technischer Infrastruktur notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind nicht vorhanden

- Für die Grundausstattung des Schleppers werden ein Lenksystem, Display und eine hochpräzise GPS-Anbindung benötigt. Außerdem ist eine Anbindung an eine Cloud vorteilhaft, um entsprechende Daten verarbeiten zu können. Für die Kommunikation mit den Anbaugeräten ist eine ISUBUS-Anbindung erforderlich.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



IT-Kompetenzen zur Integration der KI-Anwendung in existierende Softwarelandschaft und zur Datenaufbereitung notwendig

- Für die Nachrüstung und Bedienung sind grundlegende Kenntnisse der eingesetzten Technologien Voraussetzung. Diesbezüglich werden Schulungen und Trainings für Landwirte angeboten. Zudem werden im Rahmen der Ausbildung zunehmend Precision-Farming-Module integriert.
- Zukünftig sollen die mit KI ausgestatteten Schlepper wie auch Anbaugeräte ohne vertiefende IT-Kenntnisse geführt werden können. Der Fachkräftemangel ist eine wesentlich treibende Kraft für diese Entwicklung.

Reifegrad



Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet

- Aktuell wird die prototypisch entwickelte KI-Technologie auf dem Feld getestet und weiterentwickelt. Es wird davon ausgegangen, dass das System in drei bis sieben Jahren, je nach Komplexität, in seiner Gesamtheit in die Anwendung kommen wird.

Projektverweis

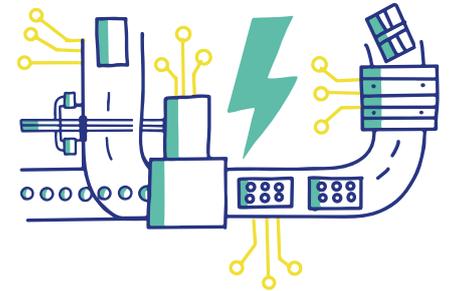
Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes NaLamKI im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.4 Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden

Anwendungsdomäne: Industrie & Produktion

Einsatzbereich: Fertigungsindustrie (Schneiden und Abtrennen)

Mithilfe von Smarten Resilienz Services (SRS) werden sensorische Datenströme von Produktionsmaschinen sowie Qualitätsdaten von Werkzeugen und Rohstoffen analysiert. Darauf aufbauend können Handlungsempfehlungen zur Parameteroptimierung, zur Planung von Wartungsintervallen oder zum vorsorglichen Abbruch eines Produktionslaufs gegeben werden. Im Fokus des Use Cases stehen SRS zur Selbstoptimierung beim Feinschneiden. Die SRS stützen sich auf ein mit umfassender Sensorik ausgestattetes „digitales Coil“, das für Feinschneidunternehmen die Einstell- und Rüstzeiten minimiert. Für die Beschreibung des digitalen Coils werden konventionelle Messdaten mit neuen Messmethoden ergänzt und KI-Anwendungen veredelt. Die SRS analysieren mit Körperschalldiagnostik den Verschleißzustand des Feinschneidwerkzeuges und prognostizieren die Reststandzeit. Die Services ermöglichen einerseits die Nutzung der maximal möglichen Einsatzzeit eines Feinschneidwerkzeuges und sichern andererseits ein rechtzeitiges Eingreifen vor der Entstehung nicht konformer Feinschneidteile. Zusätzlich erlaubt die Vorhersage eine optimierte Ressourcenplanung für die Werkzeuginstandsetzung und verringert die Wartungsintensität, da der Eingriff bereits vor einer möglichen Werkzeugschädigung erfolgt.



Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden

Besondere Herausforderungen

Automatisierte Verfahren zur Werkstoffprüfung, durch die sich Optimierungspotenziale direkt aus dem Prozess identifizieren und ableiten lassen, kommen derzeit kaum zum Einsatz. Aktuell werden vor allem Wissensmanagement und arbeitsorganisatorische Maßnahmen eingesetzt, wie E-Learning-Modelle und 5S-Methoden der Arbeitsgestaltung.

Eine weitere Herausforderung stellt die Übersetzung der KI-Prozesse, -Methoden und -Modelle in eine verständliche Sprache dar, wie sie in klassischen Wissensmanagementprozessen verwendet wird, damit eine Akzeptanz zur Nutzung und Handhabbarkeit geschaffen wird. Weiter ist es nötig, den Vorteil von SRS für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens aufzuzeigen und die Unterstützungsfunktion von KI für die Mitarbeitenden zu unterstreichen, um den manchmal auftretenden Bedenken bezüglich einer potenziellen Rationalisierung durch den Einsatz von SRS entgegenzutreten.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 8 | Indikator 8.1: Gesamtrohstoffproduktivität (national)

Ziel: Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität bis 2030

- Ziel ist, 100 % des eingesetzten Materials zu verwerten und jeglichen Ausschuss zu vermeiden. Aktuell fallen im Prozess zwischen 1–3 % nicht verwertbare Stahlteile an. Für typische Feinschneidunternehmen können ca. 50.000 Tonnen verarbeiteter Stahl pro Jahr in einem Fertigungswerk angenommen werden. Die Menge schwankt stark, je nach Größe und Einsatzbereich des zu betrachtenden Werkes. Das heißt, es ergibt sich ein Einsparpotenzial von 500 bis 1.500 Tonnen Stahl in einem typischen Fertigungswerk. Neben der damit verbundenen Kostenersparnis für das herstellende Unternehmen könnten so bis zu 3.000 Tonnen CO₂ vermieden werden, die im Zuge der Herstellung dieser Stahlmenge entstehen.
- Ein weiterer positiver Effekt ist die Entlastung des Personals bei der Parametrisierung von Produktionsanlagen, um Freiraum für kreative Prozesse zu schaffen, wobei dem Menschen die Entscheidungshoheit über Effektivität und Nutzbarkeit der Anwendung gelassen wird. Durch die Verbindung der KI-basierten Anwendungen mit dem Domänenwissen der

Fertigungsunternehmen soll die Anwendbarkeit und gegebenenfalls die Anpassung der Anlage durch die Mitarbeitenden auf dem Shopfloor möglich sein. Die Zeiteinsparung durch KI bei der Parametrisierung der Maschinen wird mit ca. 5 % ausgewiesen, wobei mit kleiner werdender Losgröße anteilmäßig die Zeit der Parametrisierung zunimmt. Die gewonnene Zeit kann dann für kreativere Prozesse genutzt werden.

- Um den oft auftretenden Befürchtungen, dass der Einsatz von KI der Rationalisierung dienen würde, entgegenzutreten, muss Akzeptanz dafür erzeugt werden, dass KI-basierte Anwendungen als Unterstützungstools zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens wichtig sind, um Arbeitsplätze zu erhalten und gegebenenfalls sogar neue zu schaffen.
- Zentral dabei ist das Zusammenspiel der KI-basierten Produkte mit dem Expertenwissen der Mitarbeitenden im Werk. Damit sind diese ein weiterer Baustein, um die Produktion am Standort Deutschland und Europa zu erhalten und auszubauen.
- Bei der Entwicklung und dem Betrieb der KI-Anwendungen spielen Nachhaltigkeitsaspekte keine wesentliche Rolle. Der Rechen- und damit Ressourcenaufwand zum Trainieren der Modelle hält sich – im Vergleich zu anderen Methoden des maschinellen Lernens – in Grenzen.

Investitionshöhe

- Für die erste Implementierung wird von einer Initialinvestition zwischen 10.000 und 20.000 Euro ausgegangen, um zunächst die Effektivität im einzelnen Unternehmen messen und bewerten zu können. Im Anschluss können sich die Investitionen bei großen fertigenden Unternehmen, abhängig von dem vorhandenen Equipment und der Infrastruktur, auf einen sechsstelligen Bereich ausweiten.
- Ebenso ist entscheidend, welche Eigenschaften tatsächlich beim eingesetzten Material untersucht werden sollen. Die notwendige Sensorik für die zerstörungsfreie Prüfung stellt dabei einen zentralen Kostenfaktor dar. Mit Zunahme der Eigenschaften steigt hierbei die Komplexität der Problemstellung – und somit auch die Kosten für die Softwareentwicklung.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/oder erweitert werden)

- In der Regel wissen Anwendende recht gut, welche Sensordaten für die Werkstoffprüfung notwendig sind. Je nach Ausrüstungsstand des Unternehmens ist eine zusätzliche Integration von Sensorik in den Fertigungsprozess notwendig.
- Zusätzlich sind Methoden zur sicheren Datenweitergabe erforderlich, die das notwendige Vertrauen zwischen anwendenden Unternehmen und anbietenden Unternehmen schafft. Die Methoden und Tools dafür sind aber in der Regel vorhanden.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



IT-Kompetenzen zur Integration des Systems in existierende Softwarelandschaft und zur Datenaufbereitung notwendig

- Zentral ist auf Seite anwendender Unternehmen die Verbindung von Domänenwissen mit dem Einsatz von KI. Die KI-Anwendungen sind so gestaltet, dass aufseiten der anwendenden Unternehmen IT-Kenntnisse im Kern nur für die Bewertung der Services, also für die Beurteilung der Informationssicherheit und des Ressourcenaufwands, notwendig sind. Für den Betrieb, die Arbeit vor Ort und die Wartung werden keine speziellen IT- oder KI-/Data-Science-Kenntnisse vorausgesetzt.

Reifegrad



Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet

- Aktuell wird der Reifegrad der KI-Anwendungen in dem Use Case als mittel bis hoch eingestuft. Prototypen befinden sich bereits im Einsatz bei anwendenden Unternehmen. Ein breiter Einsatz im Produktivbetrieb wird auf einen Zeitpunkt in ein bis zwei Jahren geschätzt.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes SPAICER im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.5 KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälen

Anwendungsdomäne: Industrie & Produktion

Einsatzbereich: Wälzschälen bei Werkzeugmaschinen

Die Höhe der Produktivität des Prozesses Wälzschälen für das Herstellen von Innen- und Außenverzahnungen und die Qualität der Bauteile hängt von einer Vielzahl von Eingangsparametern ab: zum Beispiel Winkel der Achsen zueinander, Schnittgeschwindigkeit oder Schnitttiefe. Eine optimale Einstellung erfordert hohen Aufwand und tiefgehendes Prozesswissen. Gerade in kleineren Unternehmen steht dieses Know-how häufig nicht zur Verfügung. Ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Prozesse ist deshalb für viele Unternehmen nicht möglich.

Ein KI-basiertes Assistenzsystem für das Wälzschälen kombiniert das Feedback von erfahrenen Maschinenführenden, Prozessdaten und Daten wie etwa aus der Qualitätsprüfung, um diese verknüpften Daten für die bessere Einstellung und Überwachung von Produktionsprozessen zu nutzen. Die Grundlage für das Training des Modells bilden Maschinendaten, beispielsweise Antriebsströme oder -positionen. Ein Industrie-PC erfasst die Maschinendaten und ermöglicht eine intelligente Prozessüberwachung. Durch die Verwendung einzelner Software-Komponenten, die auf einer Plattform bereitstehen, wird ein dynamisches Deployment ermöglicht. So kann das rechenintensive Training des KI-Modells zentral auf leistungsstarken Rechnern stattfinden, während die Ausführung in Echtzeit auf dem Industrie-PC vor Ort erfolgt.

Das KI-Modell wird anhand von Qualitätsmerkmalen der Bauteile und des Feedbacks eines erfahrenen Bedienpersonals trainiert. Es liefert automatisiert eine Bewertung zur Prozessqualität. Diese Bewertung bildet die Grundlage für die Anwendung von Reinforcement Learning. Mit diesem Verfahren wird eine Strategie erarbeitet, die eine ideale Einstellung der Parameter für unterschiedliche Werkstoffe, Verzahnungen, Qualitäts- und Produktivitätsanforderungen bereitstellt. Damit kann der Ausschuss im Produktivbetrieb und bei den Einfahrprozessen deutlich reduziert werden.



KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen

Besondere Herausforderungen

Zwar gibt es in der Zyklusoptimierung beim Wälzschälen in der Werkzeugmaschinenherstellung bereits mathematisch gestützte Optimierungsverfahren sowohl für die Einstellung der Maschinen als auch für die Prozessoptimierung; allerdings stößt man aufgrund der hohen Komplexität aktuell an die Grenzen dessen, was mit klassischen Analysemethoden mathematisch modellierbar ist. Auf Machine Learning basierende KI-Verfahren kommen als weiteres Werkzeug dort zum Einsatz, wo heute schon klassische mathematische Optimierungsverfahren eingesetzt werden, aber auch dort, wo die Grenzen der Modellierbarkeit erreicht sind.

Eine besondere Herausforderung in dem Use Case ist, dass das Datenvolumen oft zu gering und viel Domänenwissen notwendig ist, das in den KI-Modellen abgebildet werden muss.

Eine weitere Herausforderung liegt in der Kommunikation der Chancen dieser Implementierung für die bedienenden Angestellten: Entgegen der Bedenken, dass es zu einem Arbeitsplatzabbau kommen könnte, können die Mitarbeitenden auf die Unterstützung durch die Künstliche Intelligenz und die Sicherung ihrer Arbeitsplätze durch den Wettbewerbsvorteil ihres Unternehmens zählen. Den möglichen Bedenken der Mitarbeitenden kann mit einem stark partizipativen Prozess bei der Einführung solcher KI-basierter Lösungen entgegen gewirkt werden.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 8 | Indikator 8.1: Gesamtrohstoffproduktivität (national)

Ziel: Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität bis 2030

SDG 8 | Indikator 8.5.a, b: Erwerbstätigenquote (national)

Ziel: Erhöhung der Erwerbstätigenquote bis 2030

- Durch den Einsatz von KI kann im optimalen Fall bei den Wälzschildmaschinen sowohl im laufenden Produktionsprozess als auch beim Einfahren der Ausschuss in Summe um ca. 10 % reduziert werden. Damit könnten pro Maschine circa 1.200 Stahlwerkstücke, die im Schnitt 10 kg wiegen und ungefähr 10 Euro kosten, eingespart werden. Im Einsatz sind in der Branche in Deutschland etwa 800 Maschinen. Damit besteht das Potenzial, knapp 10.000 Tonnen Stahl jährlich einzusparen. Dies entspricht einer CO₂-Einsparung von rund 20.000 Tonnen.
- Die Verzahnung beansprucht circa 25 % der produktiven Zeit an den Maschinen. Durch frühzeitige Fehlererkennung kann der Ausschuss um etwa 5 % gegenüber etablierten Verfahren gemindert werden. Auch beim Einfahren der Maschinen lässt sich damit der Ausschuss in der gleichen Größenordnung reduzieren.
- Aufgrund der Einbettung von Domänenwissen durch die KI in diese Lösung werden für die Anlagenführung nach Implementierung weniger Spezialistinnen und Spezialisten benötigt. Durch den höheren Automationsgrad der Maschinen besteht das Potenzial, einen Anteil der bislang ins Ausland ausgelagerten Produktion nach Deutschland zurückzuholen (Reshoring). Denn aufgrund der damit eingesparten Lohnkosten kann ein wettbewerbsfähiger Preis erzielt werden.
- Zukünftig wird ein noch größeres Potenzial beim Transfer der Technik auf andere Prozesse erwartet, beispielsweise im Bereich des Fräsens oder vergleichbarem. Erwartet wird ein effektiver Faktor von zehn der Gesamtressourceneinsparung beim Transfer auf andere Zerspanungsprozesse.
- Als möglicher Negativeffekt wird damit gerechnet, dass es gegebenenfalls zu einer starken Abwehrrhaltung der bei der Belegschaft anwendender Unternehmen kommen kann, da der hohe Automatisierungsgrad oft mit Arbeitsplatzabbau assoziiert wird. Hier bedarf es einer partizipativen Einführung der Technologie in den Anwendungsunternehmen.
- Bei der Entwicklung der KI-Anwendung (hard- wie auch softwareseitig) spielen Nachhaltigkeitsaspekte keine wesentliche Rolle. Das Training der Modelle ist nicht außergewöhnlich rechenintensiv. Teilweise müssen Daten allerdings synthetisch erzeugt werden, was einen deutlich höheren Rechenaufwand erfordert als das Training der Modelle. Hier besteht möglicherweise das Potenzial für eine nachhaltigere Gestaltung der Prozesse.

Investitionshöhe

- Die Kosten für Wälzschild-Maschinen liegen im sechsstelligen Bereich. Die zusätzlich anfallenden Kosten für eine Maschine, die mit KI-Lösungen erweitert ist, werden im unteren vierstelligen Bereich prognostiziert. Angesichts der Einsparpotenziale handelt es sich hierbei um sehr geringe zusätzliche Investitionskosten für anwendende Unternehmen. In der Regel können allerdings ältere Maschinen (älter als circa drei Jahre) nicht mit der KI-Technologie nachgerüstet werden. Für den Betrieb der Anwendung fallen keine weiteren Kosten mehr an.
- Die Zielgruppe für die Lösung sind Großunternehmen, die in großen Stückzahlen produzieren, und KMU, die als lohnfertige Unternehmen beziehungsweise als Zuliefernde Unternehmen von Großkundinnen und -kunden agieren. Letztere stehen unter hohem Kostendruck und verfügen daher oft nicht über die Ressourcen, eigene Technologieentwicklung in der Breite zu betreiben.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/oder erweitert werden)

- Für den Betrieb sind auf der Seite der anwendenden Unternehmen keine weiteren technischen Voraussetzungen nötig. Die Kundinnen und Kunden agieren allerdings oft restriktiv, was die Bereitschaft für die Anbindung an Cloud-Services angeht.
- Neben dem Domänenwissen ist die Datenverfügbarkeit zum Trainieren der KI-Modelle für anbietende Unternehmen die größte Herausforderung. Deshalb muss die Datengenerierung gegebenenfalls mit synthetischen, also simulierten Daten bei den anbietenden Unternehmen erfolgen. Das Nachrüsten von Maschinen ist nach drei bis vier Jahren nur noch beschränkt bis gar nicht möglich.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



Keine IT-Fachkompetenz notwendig

- Angelernte Kräfte reichen für einen reibungslosen Betrieb der Anwendung oder der Interpretation der Ergebnisse aus. Spezifische IT-Kenntnisse oder KI-/Data-Science-Kenntnisse sind keine Voraussetzung für den Betrieb.

Reifegrad



Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet

- Der Reifegrad der Technologie wird als mittel bewertet und ein Zeithorizont bis zur Markteinführung der KI-gestützten Maschinen auf ungefähr zwei Jahre geschätzt. Das Ziel besteht dann darin, dass die KI-Lösung universell einsetzbar ist, also ohne kundenspezifische Anpassungen. Bislang existieren im Werkzeugmaschinenbau noch kaum marktreife KI-Anwendungen in der Praxis.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes IIP-Ecosphere im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.6 Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln

Anwendungsdomäne: Industrie und Produktion

Einsatzbereich: Rückgewinnung chemischer Ausgangsstoffe bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln

Bei der Produktion chemischer Erzeugnisse werden die Ausgangsstoffe (Edukte) nicht immer vollständig zu Produkten umgesetzt. Bei der Auskreisung eines Eduktes handelt es sich um die Rückgewinnung des Stoffes aus dem flüssigen Produktgemisch. Hierzu wird eine dampfförmige Phase in das Reaktionsgemisch eingeleitet. Das Edukt reichert sich in der Dampfphase an und wird so aus der Flüssigkeit „ausgetrieben“. Die eduktreiche Gasphase wird in einem folgenden Schritt kondensiert und das nicht abreagierte Edukt verlässt den Kreislauf über eine Trennflasche. Das Medium, welches zum Austreiben genutzt wird, verlässt die Trennflasche über eine zweite Phase. Das Medium wird in einem Wärmeübertrager durch Heizdampf wieder verdampft und zum Austreiben weiteren Edukts verwendet. Der Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis das Edukt vollständig entfernt wurde. Erdgas dient als Primärenergieträger für die Heizdampferzeugung.

Um die eingesetzte Energie und damit einhergehend Produktionskosten zu senken, wird Künstliche Intelligenz angewendet (Multivariate Datenanalyse – PLS-Verfahren und Lasso-Regressionsverfahren). Die Effizienz des Auskreisungsprozesses wird durch den „lokalen Energie-Performance Indikator (EnPI)“ ausgedrückt, der den erfassten Dampfverbrauch in Relation zur zurückgewonnenen Menge des Edukts setzt. Mithilfe von KI werden im Prozess erfasste Daten der Chargen analysiert. Als Ergebnis werden die wesentlichen Einflüsse auf die Effizienz identifiziert dargestellt. Der Effizienzindikator kann dann um nicht beeinflussbare Faktoren wie die Umgebungstemperatur bereinigt werden. Der Zusammenhang zwischen beeinflussbaren Faktoren und der Effizienz, hier die Dauer des Auskreisens, liefert



Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln

Hinweise, wie der Prozess verbessert werden kann. Durch daraus abgeleitete Maßnahmen konnte die Menge des eingesetzten Dampfes – und somit die Menge der im Prozess aufgewandten Energie – signifikant reduziert werden.

Besondere Herausforderungen

In der Prozessindustrie werden viele Daten erfasst. Jedoch kann nicht generell davon ausgegangen werden, dass alle relevanten Einflüsse auch gemessen sind. Sollte es notwendig sein, weitere Messstellen einzubauen, so ist dies in der chemischen Industrie häufig mit hohen finanziellen und organisatorischen Aufwänden verbunden.

Bei der Durchführung der multivarianten Datenanalyse, der Interpretation der Ergebnisse und dem Ableiten von Maßnahmen ist eine gute Prozesskenntnis nötig. Somit sollte bei der Implementierung ähnlicher Lösungen auf eine interdisziplinäre Zusammensetzung des Teams geachtet werden.

Das hier eingesetzte KI-Verfahren kann auf weitere energieintensive, thermische Trennverfahren wie die Destillation übertragen werden. Es kann dazu beitragen, Faktoren aufzudecken, durch deren Justierung ein besserer EnPI erzielt werden kann.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 7 | Indikator 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch (national)

Ziel: Erhöhung der Endenergieproduktivität und Verringerung des Primärenergieverbrauchs bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008

SDG 9 | Indikator 9.4.1: CO₂-Emissionen pro Wertschöpfungseinheit

Ziel: Verbesserung des Ressourceneinsatzes und Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse

- Von 1990 bis ins Jahr 2020 sank der Energieeinsatz in der Chemieindustrie in Europa um 19 % bei einem gleichzeitigen Wachstum der Produktion um 63 %. Derzeit liegt der Anteil der Branche am Gesamtstromverbrauch in Deutschland bei 10,5 %. Durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz bei der Auskreisung von Edukten in der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln, kann der lokale Energie-Performance-Indikator um bis zu 16 % gesenkt werden (Verband der Chemischen Industrie 2022).
- Im Jahr 2019 wurden 124,4 Millionen Tonnen CO₂-Emission durch die europäische Chemieindustrie verursacht. Verglichen mit dem Jahr 1990 ist das eine Verminderung um über 50 % (The European Chemical Industry Council 2022). Durch den Einsatz von KI können chemische Prozesse energieeffizienter gestaltet werden. Im hier betrachteten Use Case aus der Pflanzenschutzproduktion führt dies zu einer Reduktion der CO₂-Emission, die durch den Einsatz von Heizdampf (Primärenergie Erdgas) verursacht wird. In diesem Fall konnten 16 % eingespart werden.
- Bei der Entwicklung der KI-Anwendung wurde kein Wert auf die Nachhaltigkeit des Systems selbst gelegt. Für Unternehmen in der Prozessindustrie ist die nachhaltige Weiterentwicklung von Produktionsabläufen und Unternehmensprozessen aufgrund immer knapper werdender Ressourcen, steigender Preise, der Entstehung gefährlicher Abfälle und des hohen Energieeinsatzes schon lange ein zentrales Thema.
- Für Unternehmen die chemische Produkte wie Pflanzenschutzmittel produzieren, ergeben sich durch den Einsatz von KI zur Prozessoptimierung Wettbewerbsvorteile, denn durch Energie- und Materialeinsparung werden die Produktionskosten gesenkt. Diese Effekte sind in Relation zu der Anlagengröße beziehungsweise dem Durchsatz der Anlage zu betrachten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklung der Energiepreise stellen sich erste Amortisationseffekte spätestens innerhalb eines Jahres nach der Implementierung ein.
- Für anwendende Unternehmen reichen reguläre Rechner auf dem Stand der Technik zur Analyse aus. Es werden spezielle Softwarelösungen und Datenbanken zur Speicherung, Verarbeitung und Visualisierung der Daten benötigt. Sind diese nicht vorhanden, ist die Einführung der technischen Voraussetzung aufwendig. Vergleichbare Software- und Hardwareinfrastrukturen steht in der Prozessindustrie jedoch typischerweise zur Verfügung.

der Auskreisung sind – verglichen mit Aufwänden für Hardwarelösungen – eher niedrig. Die Betriebskosten sind gering.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe Nachrüstung von Hardware (Sensoren etc.) notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI bereits vorhanden

Investitionshöhe

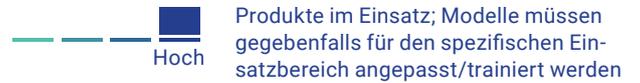
- Vorausgesetzt, die notwendige Mess-Sensorik ist auf der Anlage installiert und alle für den Use Case relevanten Daten sind verfügbar, liegt die ungefähre Implementierungsdauer unter einem Monat. Die grundlegenden Investitionskosten liegen in diesem Fall im mittleren Bereich. Die Investitionskosten für KI-Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz bei
- Sensorik und Aktorik sind meist in Anlagen verbaut, um den Betrieb durch Schrittketten zu ermöglichen. Hier werden die für das System notwendigen Daten erfasst. Sollte eine Nachrüstung der Anlage mit für die KI-Anwendung erforderlichen Sensoren und Aktoren notwendig sein, sind sowohl die technischen als auch die finanziellen Aufwände sehr hoch.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



- Seitens der Anwendenden sind keine vertieften IT-Fachkompetenzen notwendig. Für die Optimierung des Prozesses ist das entsprechende Prozessverständnis erforderlich.
- Für die Entwicklung und Implementierung sind Prozessverständnis, IT- sowie Data-Science-Kompetenzen notwendig.

Reifegrad



- Aktuell wird der Reifegrad der KI-Lösung in dem Use Case als hoch eingestuft. Das System ist über den Prototypenstatus hinaus und befindet sich im produktiven Einsatz. In der Prozessindustrie haben sich einfache KI-Lösungen etabliert. Einzelne KI-Lösungen sind potenziell in weitere Anwendungsszenarien übertragbar.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes KEEN im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.7 Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten

Anwendungsdomäne: Bau- und Wohnwirtschaft

Einsatzbereich: Bestandsmodellierung von Gebäuden

Geometrische und semantische Informationen werden von KI-gestützten Erfassungssystemen erkannt und zur Modellierung von Bestands- und Planungsbauwerken genutzt. Die Modellierung erfolgt vollautomatisiert – ebenfalls durch KI – in mehreren voneinander abhängigen Schritten auf den einzelnen Ebenen der Modellstruktur des Bauwerks. Das digitale Modell des Bauwerks umfasst Bauteile und technische Anlagen. Ebenso werden im Modell Informationen zu Kühl-, Lüftungs-, Trinkwarmwasser- und Heizungsbedarfen sowie zur Hilfsenergie und, bei Nichtwohngebäuden, zur Beleuchtung berechnet. Das Bestandsmodell dient als Grundlage für die Simulation dieser Bedarfe. Daraus können erforderliche Maßnahmen zur Optimierung des Energieverbrauchs von Bestandsgebäuden abgeleitet werden – im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) oder darüber hinaus. Die Optimierung des Energieverbrauchs trägt zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen bei. Durch Maßnahmen wie eine Fassaden-sanierung können Betriebskosten von Gebäuden gesenkt werden.



Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten

Besondere Herausforderungen

Mithilfe der digital modellierten Bauwerkspläne, für die eine umfangreiche Datengrundlage notwendig ist, werden nachfolgend durch qualifizierte Energieberaterinnen und -berater Energiesparmaßnahmen abgeleitet und vorgeschlagen. Ob und inwieweit diese umgesetzt werden, liegt aber letztendlich in der Entscheidung der Auftraggebenden (Bauvorständen, Wohneigentumsparteien), wodurch eine Bewertung des Einsatzes der KI in Bezug auf die Nachhaltigkeitsaspekte hier ihre Grenze hat.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 7 | Indikator 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch (national)

Ziel: Erhöhung der Endenergieproduktivität und Verringerung des Primärenergieverbrauchs bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008

SDG 11 | Indikator 11.3: Überlastung durch Wohnkosten (national)

Ziel: Der Anteil der Personen, die mehr als 40 % ihres verfügbaren Haushaltseinkommens für Wohnen ausgeben, soll gesenkt werden.

SDG 13 | Indikator 13.1.a: Treibhausgasemissionen (national)

Ziel: Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 und Treibhausgasneutralität bis 2050

- Durch die Zusammenarbeit mit einer Energieberatung wird nach aktuellem Stand eine Energieersparnis von durchschnittlich 27 % erzielt (FORSA-Studie, 2012).
- Aktuell macht der Prozess der Datenerfassung und -aufbereitung von Gebäudedaten ca. 40 % der Zeit einer Energieberatung aus. KI-basierte

Modellierungsunterstützung bietet das Potenzial, den Aufwand der Energieberatung um etwa die Hälfte zu reduzieren. Damit reduziert sich im besten Fall der zeitliche Gesamtaufwand für die Energieberatung zwischen 10 % und 20 % pro Auftrag; das tatsächliche Potenzial hängt dabei stark von der Komplexität des Gebäudes und der schon existierenden Datengrundlage ab.

- Durch eine qualitativ hochwertigere und schnellere Auftragsabwicklung können Energieberatungsunternehmen mehr Aufträge bearbeiten (in der Größenordnung von 10 % bis 20 %) und damit die aktuell hohe Nachfrage besser bedienen.
- Gleichzeitig steht durch die eingesetzten KI-Verfahren den Energieberatungsunternehmen eine umfassendere und detailliertere Datengrundlage für die Ableitung von Energiesparmaßnahmen zur Verfügung, als es derzeit der Fall ist.
- Die konkrete CO₂-Einsparung durch die Umsetzung von Maßnahmen, die die Energieberatung empfohlen hat, lässt sich nicht pauschal beurteilen; sie reicht aber bei Einzelmaßnahmen an Wohngebäuden von circa 0,5 bis 5 Tonnen CO₂ pro Jahr, bei ganzheitlichen Sanierungen von Wohngebäuden bei etwa 10–25 Tonnen CO₂ pro Jahr und bei umfassenden Sanierungsmaßnahmen größerer Nichtwohngebäude mitunter bis zu 140 Tonnen CO₂ pro Jahr pro Gebäude in Bezug auf den bilanzierten Bedarf.
- Weitere positive Effekte für die Energieberatungen sind die leichtere Einarbeitung neuer Mitarbeitenden, schlankere Arbeitsprozesse und der Reduktion von monotonen Arbeiten, um mehr Freiraum für kreatives Arbeiten zu schaffen, wodurch die Attraktivität des Arbeitsplatzes erhöht werden kann.
- Darüber hinaus kann der Kundenschaft von Energieberatungen durch die Präsentation von digitalen 3D-Modellen ein besserer Eindruck des eigenen Gebäudes vermittelt werden.
- Bei der Entwicklung und dem Betrieb der KI-Anwendung spielen Nachhaltigkeitsaspekte keine wesentliche Rolle. Der Rechen- und damit Ressourcenaufwand zum Trainieren der Modelle hält sich im Vergleich zu anderen Methoden des maschinellen Lernens in Grenzen.

Investitionshöhe

- Die Software für die KI-gestützte Modellierung aus den vorhandenen Daten benötigt keine spezifische Anpassung von anwendenden Unternehmen und ließe sich daher schnell im Markt skalieren. Die Lizenzkosten für die Energieberatungen liegen dabei voraussichtlich im Bereich von rund 100 Euro pro Monat. Damit wäre ein Return on Investment bereits

ab der zweiten Energieberatung mit der eingesetzten KI-Lösung realisierbar.

- Gegebenenfalls müssen noch spezifische Panoramabildscanner angeschafft werden. Die einmaligen Investitionskosten dafür liegen voraussichtlich zwischen 3.000 und 9.000 Euro.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/ oder erweitert werden)

- Um Bestands- und Planungsbauwerke zu modellieren, werden klassisch Fotos und – wenn vorhanden – alte Bauunterlagen für den Grundriss benötigt. Liegen diese nicht vor, können bestimmte Daten auch nach Baualtersklassen und mithilfe von Wärmeschutznachweisen valide abgeschätzt werden. Energieberatungen erhalten vor allem bei Anfragen von Privatleuten analoge Quellen wie Scans, Pläne oder Fotos, wobei digitale, maschinenlesbare, also vektorbasierte Pläne hilfreich sind. Letzteres findet sich im Privatwohnbereich noch kaum, bei Gewerbebauten bereits deutlich stärker.
- Das KI-basierte Modellierungssystem unterstützt bei der Transformation der vorliegenden Daten in digitale und maschinenlesbare Daten. Gegebenenfalls sind dafür noch Panoramabilder notwendig, die durch die Energieberatungen vor Ort erfasst werden müssen. Dafür sind Panoramabildscanner mit Lasermesspunkten nötig. Ein deutlich preisintensiverer Punktwolkenscanner ist dann in der Regel nicht mehr notwendig.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe IT-Fachkompetenz notwendig

- Die Energieberatungen als Anwendende der KI-gestützten Modellierungswerkzeuge benötigen für deren Einsatz keine speziellen IT-Kenntnisse oder gar KI-Expertise.

Reifegrad



Prototypen sind verfügbar und werden in verschiedenen Einsatzbereichen getestet

- Die Technologie ist prototypisch bereits im Einsatz und Funktionsnachweise, beispielsweise für ganze Etagen von Wohngebäuden, konnten bereits erbracht werden. Die Marktreife der Lösung wird für das Jahr 2024/2025 erwartet.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes BIMKIT im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.8 Smart-EED-System

Anwendungsdomäne: Bau- und Wohnwirtschaft

Einsatzbereich: Heizkostenoptimierung in Privathaushalten

Seit 2022 müssen Vermieterinnen und Vermieter im Rahmen der Energieeffizienzrichtlinie (Europäische Kommission 2012) ihren Mieterinnen und Mietern monatliche Verbrauchsinformationen bereitstellen. Dazu kann ein Smart-EED-System* eingesetzt werden. Dieses nutzt KI-Methoden, um Mieterinnen und Mietern Informationen und Prognosen zu ihrem Heizverhalten bereitzustellen, damit es bedarfsgerecht angepasst werden kann.

Das Smart-EED-System liefert Prognosen dazu, wie sich das aktuelle Heizverhalten auf die nächste Nebenkostenabrechnung auswirken wird und zusätzlich Empfehlungen, wie das Heizverhalten anzupassen ist, um beispielsweise Kosten zu begrenzen. Auf Basis von Tagesprofilen werden den Nutzenden diese Prognosen in einer einfach und verständlichen Form übermittelt sowie um weitere Informationen ergänzt: Wenn die gewünschte Temperatur beispielsweise eine „T-Shirt-Temperatur“ ist, wird die dafür benötigte Einstellung der Heizung angezeigt. Informationen zu Kosten, kWh-Verbrauch und CO₂-Ausstoß werden ergänzt. Der aktuelle Energieverbrauch, Kosten und der CO₂-Ausstoß werden ebenfalls mit den Daten aus dem Vorjahr abgeglichen. Zur Modellierung individueller Heizempfehlungen werden neben Energiepreisen, Steuern und sonstigen Kostenpunkten auch weitere Informationen wie Wetterdaten oder energetische Maßnahmen (Heizungsoptimierung, Isolation) verarbeitet. Die Informationen können tagesaktuell über eine Webseite oder App abgerufen werden.

Besondere Herausforderungen

Die Reduktion von Heizkosten und somit auch die Minderung des Energieverbrauchs ist durch mehrere Stellgrößen erreichbar. Neben Gebäudekomponenten



Smart-EED-System

beziehungsweise technischen Faktoren wie Heizungssteuerung oder Isolierung spielt vor allem das Heizverhalten der Mieterinnen und Mieter eine zentrale Rolle. Besonders vor dem Hintergrund immer knapper werdender Ressourcen und der damit einhergehenden Steigerung der Heizkosten wird eine genaue Skalierbarkeit des Heizens für die Mietparteien immer wichtiger. Dies zeigt auch die aktuelle Diskussion über den Vorschlag, die Mindesttemperatur in Wohnungen abzusenken, der unter anderem vom Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (GdW) und der Bundesnetzagentur gestützt wird (Tagesschau 2022). Schon im April 2022 gaben in einer Umfrage von Bitkom Research 48 % der Befragten an, dass der Ukraine-Konflikt und die damit einhergehenden Energiepreissteigerungen Einfluss auf ihr Verbrauchsverhalten haben werden (Bitkom Research 2022).

Die Verfügbarkeit und hinreichende Qualität der Daten ist eine Kernherausforderung bei der Umsetzung von Smart-EED-Systemen. Haftungs- und Verbraucherschutzfragen treten dann auf, wenn eine Vorhersage eine geringe Genauigkeit hat, beispielsweise auf Grundlage nicht ausreichender Datenqualität beim Training des Modells. Dies kann direkte Folgen auf die bei Mieterinnen und Mietern anfallenden Kosten haben.

*EED: Energy Efficiency Directive (Energieeffizienzrichtlinie)

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 7 | Indikator 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch (national)

Ziel: Erhöhung der Endenergieproduktivität und Verringerung des Primärenergieverbrauchs bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008

SDG 11 | Indikator 11.3: Überlastung durch Wohnkosten (national)

Ziel: Der Anteil der Personen, die mehr als 40 % ihres verfügbaren Haushaltseinkommens für Wohnen ausgeben, soll gesenkt werden.

SDG 12 | Indikator 12.2.1: Rohstoff-Fußabdruck, Rohstoff-Fußabdruck pro Kopf und Rohstoff-Fußabdruck im Verhältnis zum BIP

Ziel: Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen

SDG 13 | Indikator 13.1.a: Treibhausgasemissionen (national)

Ziel: Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 und Treibhausgasneutralität bis 2050

- Durch das Smart-EED-System werden die es Nutzenden dazu befähigt – basierend auf einer nachvollziehbaren Darstellung ihrer Energiekosten, Verbrauchs- und Abrechnungsinformationen –, ihr Heizverhalten anzupassen, um ihren Primärenergieverbrauch zu senken. So werden Kleinabnehmerinnen und -abnehmer zu informierten und kompetenten Verbraucherinnen und Verbrauchern.
 - Wohnausgaben setzen sich aus mehreren Kosten zusammen, unter anderem treuhänderisch verwaltete Kosten wie Heizkosten. Durch Einflüsse wie die Energiekrise, Ressourcenknappheit und Inflation steigen diese. Das Smarte EED unterstützt Mieterinnen und Mieter dabei, eine mögliche Steigerung der Nebenkosten bei ihrem Heizverhalten zu berücksichtigen und die Mietnebenkosten in einem akzeptablen Rahmen zu halten.
 - Durch sparsameren Umgang mit Energie kann der Verbrauch von Rohstoffen wie Öl oder Gas verringert werden.
 - Das Smart-EED ermöglicht eine maximale Transparenz zu CO₂-Kosten des Heizverhaltens für die Miet- und Vermietungsparteien. Gerade vor dem Hintergrund des durch die Bundesregierung auf den Weg gebrachten Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetzes wird die Nutzung eines Smart-EED-Systems interessant, da es für Miet- und Vermietungsparteien Wege aufzeigt, CO₂-Kosten zu senken. Es schafft einen zusätzlichen Anreiz für Vermieterinnen und Vermieter, die Heizungsanlagen in Gebäuden auf einen neuen Stand zu bringen. Derzeit gelten in Deutschland noch 53 % aller Heizungsanlagen als unzureichend effizient (Statista 2022b).
- ## Investitionshöhe
- Die generellen Betriebskosten pro Wohneinheit sollen so gering wie möglich gehalten werden. In Bezug auf die eingesetzten Hardwaresensoren ist es derzeit nicht möglich, genaue Kosten zu nennen, weil beispielsweise unklar ist, wie lange die Sensoren im Rahmen des Use Case eingesetzt werden können.
 - Schätzungsweise liegen die Kosten für Wartung und Instandhaltung eines Smart-EED-Systems im mittleren Bereich. Die Prognosen der zugrunde liegenden KI-Modelle sind von vielen Einflussgrößen abhängig. Daher müssen sie kontinuierlich angepasst werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Corona-Pandemie, in deren Zuge Menschen mehr Zeit in ihrer Wohnung verbringen und somit auch heizen. Dadurch wurden mehr Energiekosten verursacht. Ein Modell, das vor der Pandemie trainiert wurde, würde sich heute nicht mehr eignen.
 - Für Vermieterinnen und Vermieter rentiert sich die Bereitstellung eines Smart-EED-Systems nicht nur mit Blick auf die Einhaltung von Vorschriften wie der Energieeffizienzrichtlinie (Europäische Kommission 2012). Durch das Anbieten von Verbrauchs- und Kostentransparenz sowie -prognosen wird auch die Zusammenarbeit von Miet- und Vermietungsparteien gestärkt. Eine klare Kommunikationsgrundlage und sozialer Frieden werden befördert. Durch die Einführung der KI-gestützten Prozesse wird die Wohnung aufgewertet, Mietparteien werden finanziell entlastet und erfahren Sicherheit. Die Transparenz sorgt dafür, die Zahl von Anfragen und Verwaltungsprozessen zu minimieren sowie in äußersten Fällen den Wechsel von Mieterinnen und Mietern zu verhindern, die

ebenfalls Kosten aufseiten der Vermietungsparteien verursachen. Hierin werden Amortisationspotenziale gesehen.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/oder erweitert werden)

- Die Einführung digitaler Messverfahren sind mittlerweile Vorschrift. Hardware Sensoren wie Smart Meter werden nahezu flächendeckend eingesetzt. Um ein Smart-EED-System zu etablieren, müsste die Taktung dieser Sensoren stark verringert werden. Darüber hinaus müssen Gebäudeinfrastrukturen mit entsprechenden Internetzugängen ausgestattet werden.
- Standardisierung in den Bereichen Smart Living beziehungsweise Smart Home ist die Basis für den Erfolg des Use Cases – sowohl auf Ebene der Kommunikationsstandards als auch auf Ebene der semantischen Beschreibung.
- Der Zeitaufwand für die Implementierung ist vergleichsweise hoch, da für jedes Gebäude mit seinen Mieteinheiten ein neues beziehungsweise eigenständiges Modell trainiert werden muss. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse von einem Gebäude auf ein anderes ist eine zentrale Herausforderung. Für die Übertragbarkeit auf mehrere Gebäude sind viele Daten und Metadaten nötig, zum Beispiel Informationen zu Heizprofilen, zur Gebäudeinfrastruktur oder der Einstellung der Heizanlage. Liegen diese Daten nicht vor, müssen sie erhoben und aufbereitet werden, um ein Modell für das neue Gebäude zu trainieren. Dies ist zeit- und kostenintensiv – und stellt zudem eine potenzielle neue Fehlerquelle dar.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe IT-Fachkompetenz notwendig

- Sollte das Smart-EED zur Marktreife geführt werden, werden Vermieterinnen und Vermieter für dessen Nutzung nur betriebswirtschaftliche Kompetenzen benötigen.

Reifegrad

- Derzeit ist noch kein vergleichbares Produkt auf dem deutschen und europäischen Markt verfügbar. Der Reifegrad ist sehr gering. Der Use Case einschließlich des Funktionsnachweises befindet sich in der Konzeptionsphase.
- Eine Befragung von Mieterinnen und Mietern zeigte, dass KI-gestützte Energiemanager auf eine sehr hohe Akzeptanz stoßen.
- Die Markteinführung des Smart-EED ist vor dem Hintergrund der Vorhersagequalität herausfordernd.

Projektverweis

- Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes ForeSight im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.9 Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren

Anwendungsdomäne: Energiewirtschaft

Einsatzbereich: Energiemanagement

Mithilfe von KI-Methoden wird das Energiemanagement innerhalb von Stadtquartieren optimiert und der lokale Energiebedarf sowie die -erzeugung werden besser aufeinander abgestimmt. Der in den Quartieren erzeugte Strom, etwa durch Solaranlagen auf Wohnhäusern, soll optimal mit dem lokalen Energieverbrauch im Quartier abgestimmt werden.

Hierzu wird es den im Quartier lebenden Personen über eine App ermöglicht, die Zusammensetzung ihres Energiemixes (Sonne, Wind, fossil) und die in den nächsten 24 Stunden anfallenden Kosten sowie CO₂-Emission zu monitoren. Die Bewohnerinnen und Bewohner können angeben, welche technischen Geräte sie (in Abhängigkeit von Energiemix und Preis) nutzen wollen. Über die App des Quartiersbetriebs beziehungsweise des verantwortlichen Energieversorgungsunternehmens erhalten sie dann Benachrichtigungen dazu, welche Geräte ab- oder angeschaltet werden sollten oder welche Smart-Home-fähigen Verbraucher eingesetzt werden.

Dazu wird aus einer Analyse der gemessenen Verbrauchs- und Einspeisewerte sowie der bereitgestellten Geräteinformationen, mit Unterstützung von KI, ein Optimierungsplan (Empfehlungen zur Selbstplanung nach beispielsweise tagesaktuellen Strompreisen und Prognosen) erstellt und über die App zugänglich gemacht. Zukünftig soll es ermöglicht werden, die KI-gestützte generierten Optimierungspläne automatisch auszuführen. Durch eine verbesserte Vorhersage des Energiebedarfs und eine optimierte Ausnutzung der schwankenden



Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren

verfügbaren Energie kann das Stromnetz entlastet und der Ausbau des Stromnetzes reduziert werden (bessere Abstimmung von lokalem Energieverbrauch und -erzeugung).

Besondere Herausforderungen

Eine auf die Nutzenden bezogene Gestaltung von Lösungen für das Energiemanagement ist herausfordernd, da der Zugang zu den Daten sehr schwierig ist. Smart Meter sind noch nicht in der Breite ausgerollt. Für einzelne Quartiere stehen weniger Daten zur Verfügung als für ein ganzes Verteilernetz oder Stadtwerk.

KI ist für das Energiemanagement bei den Stadtwerken schon länger etabliert. Sie soll nun häufiger eingesetzt werden, um das Energiemanagement für ein Quartier zu realisieren. Konkret geht es um die Datenaufbereitung, die Vorhersage der Bedarfe sowie Einspeisungen, um daraus dann den optimalen Einsatzplan abzuleiten. KI hilft hier bei der Automatisierung und Skalierung. Bisher werden viele dieser Arbeiten bei den Energieversorgungsunternehmen nur teilautomatisiert vorgenommen.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 7 | Indikator 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch (national)

Ziel: Erhöhung der Endenergieproduktivität und Verringerung des Primärenergieverbrauchs bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008

SDG 13 | Indikator 13.1.a: Treibhausgasemissionen (national)

Ziel: Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 und Treibhausgasneutralität bis 2050

- KI-gestütztes Energiemanagement in Quartieren kann dazu beitragen, Energie effizienter einzusetzen. Die Studienlage ist nicht eindeutig, da für Quartiere sehr unterschiedliche Versorgungsstrukturen vorliegen. Prognosen deuten darauf hin, dass durch ein KI-gestütztes Energiemanagement eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 2,4 % ermöglicht werden kann. Je nach Grad der der Selbsterzeugung von Strom und Wärme kann durch die quartiersoptimierte Versorgung ein Kostenvorteil von 31 % bis 45 % erzielt werden.
- Modellergebnisse einer Studie deuten darauf hin, dass durch KI-gestütztes Energiemanagement in Quartieren je nach Bereich und Versorgungsstruktur, eine Reduktion von CO₂-Emissionen um bis zu 9,2 % erreicht werden kann (Hesse et al. 2021).
- Laut einer Prognose hat KI im gesamten Energiesektor das Potenzial, bis zum Jahr 2030 den jährlichen Ausstoß von Treibhausgasen um 1,6 % bis 2,2 % zu senken. Bisher sind durch KI ein effizienterer Einsatz und eine bessere Koordination verfügbarer Anlagen möglich – sie kann beispielsweise zur Querverbundoptimierung zwischen Strom und Gas beitragen.
- Der Einsatz von KI zum Energiemanagement in Quartieren hat selbst keine direkte Wirkung auf den Anteil erneuerbarer Energien oder den Anteil der Bevölkerung, der vorwiegend saubere Energieträger und Technologien nutzt. Dies ist an die Akzeptanz der Nutzenden im Quartier und die Motivation zur Nutzung von PV und Wärme gekoppelt (Herweijer et al. 2019).

Investitionshöhe

- Derzeit ist der Implementierungsaufwand nur schwer abzuschätzen. Der Aufwand ist abhängig von Faktoren wie Datenverfügbarkeit, Sicherheitsaspekte, Performance und natürlich von der Art des Services. In der Regel müssen Daten erst aufbereitet werden. Bei einigen Services im Energiebereich geht es vergleichsweise schnell, beispielsweise innerhalb von drei Monaten für einen KI-gestützten Prognose-service.
- In diesem Anwendungsfall stellt sich ein Nutzen für anbietende Unternehmen wie Stadtwerke ein, wenn sie selbst das Geschäftsmodell innerhalb des Quar-

tiersmanagements umsetzen. Zusätzlich können durch KI bessere Informationen über den Verbrauch in einem Quartier ermittelt werden. Dann ist der Einsatz besser planbar und somit können Kosten wie zum Beispiel Ausgleichsenergiekosten gesenkt werden.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind ansatzweise vorhanden (Datenset muss gegebenenfalls aufbereitet und/oder erweitert werden)

- Die Messwerte der Verbrauchenden und der Erzeugerinnen und Erzeuger in einem Quartier müssen bereitgestellt werden. Ebenso müssen im laufenden Betrieb Verfügbarkeitsinformationen und technische Informationen zu steuerbaren Verbrauchern, Speichern oder Erzeugungsanlagen zur Verfügung stehen, etwa zu Wärmepumpen, Elektrofahrzeugen, Speichern etc. Es muss mindestens eine großflächig ausgerollte Smart-Meter-Infrastruktur vorhanden sein.
- Die Verfügbarkeit von Daten ist eine Herausforderung. Die Bereitstellung der Messwerte für den Betrieb durch die jeweiligen Messstellenbetreiber ist notwendig.
- Die Nachrüstung mit Smart Metern über die gesetzliche Einbaupflicht hinaus ist abhängig von der Akzeptanz der Kunden. Dieser entstehen dadurch Mehrkosten, die durch das Geschäftsmodell gedeckt werden können. Die Ausnahme sind Kundinnen und Kunden, die in die gesetzliche definierte Ausrollgrenze fallen und eine vorschriftsgemäße Installation erhalten.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe IT-Fachkompetenz notwendig

- Aufseiten der anwendender Unternehmen werden branchentypische Kompetenzen im Bereich Energiewirtschaft erfordert. Es werden keine tieferen Kompetenzen im Bereich KI/Data Science benötigt.

- Durch Gütemonitoring wird gezeigt, wie treffend die Prognosen sind. Darüber hinaus werden Mittel der Erklärbarkeit eingesetzt, um KI-Entscheidungen nachvollziehbar zu machen.

Reifegrad



- Der Reifegrad des Einsatzes von KI im Energiemanagement ist grundsätzlich hoch. Seit 20 Jahren wird KI im Energiemanagement eingesetzt. Diese Basistechnologien haben einen hohen Reifegrad.
- Im Bereich Gebäudeleittechnik gibt es Services am Markt. Für ganze Quartiere gibt es derzeit nur KI-basierte Anwendungen für den Einsatz in der Forschung. Hier wurden bisher Lösungswege entwickelt, die sich bislang nicht im operativen Einsatz befinden, da das Geschäftsmodell noch nicht realisiert ist. Ähnliche Anwendungen existieren bereits im industriellen Kontext bei Gewerbetreibenden beziehungsweise für Kundenanlagen. Hier sind die regulatorischen Rahmenbedingungen andere, da die Eigentumsverhältnisse homogener sind. Im Quartier müssen Eigentums- und Lieferverhältnisse verschie-

dener Teilnehmender berücksichtigt werden – und das bei Betriebsmitteln mit weniger Steuerungspotenzial als bei großen Industrieanlagen (Vergleich der Leistung einer Wärmepumpe beziehungsweise eines Elektrofahrzeugs mit einem großen Blockheizkraftwerk).

- Es existiert ein Prototyp, der das Zusammenspiel der Grundtechnologien ermöglicht. Ein Funktionsnachweis wurde erbracht. Die Stadtwerke als Quartiersbetreiber sind frühzeitiger Anwender.
- Im Quartiersmanagement kommen neue Methoden zum Einsatz, darunter Metalearning sowie Verteiltes Lernen. Diese Methoden dienen unter anderem dazu, die Erkenntnisse aus verschiedenen Quartieren perspektivisch zusammenzuführen. Die sichere Gestaltung dieser Synthese ist ein aktuelles Forschungsfeld.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes BML-EcoSys im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.10 KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile

Anwendungsdomäne: Mobilität

Einsatzbereich: Logistik auf der letzten Meile

Aufbauend auf einer IT-Plattformlösung werden Sendungs- und Zustellinformationen von teilnehmenden Logistikunternehmen zentral in einer App zugänglich gemacht. Dies hat für App-Nutzende den Vorteil, dass sie alle Paketsendungen auf einen Blick nachverfolgen können. Hierdurch könnte die Zustellquote steigen, weil Empfängerinnen und Empfänger über eine Standardlösung voraussichtlich besser erreichbar sind. Aufbauend auf den gesammelten Daten und deren Verknüpfung können mithilfe von KI-Werkzeugen die zukünftige Sendungsverteilung prognostiziert (Wann kommen wo wie viele Pakete an?) sowie Zustellrouten und -gebiete tagesaktuell optimiert werden. Zu den gesammelten Daten gehören neben den Sendungs- und Zustellinformationen auch Zustellerfolgs-, Planungs- und Monitoringdaten. Im Fokus steht hierbei die „letzte Meile“ der Verteilung – also der Weg von den örtlichen Verteilungszentren zu den Personen, für die der Versand bestimmt ist. Für den Transport wird hierbei vermehrt auf E-Mobility-Lösungen zurückgegriffen. Zukünftig sind auch kooperative Logistikformen denkbar, in denen auf Basis des tages-



KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile

aktuellen Zustands Logistikunternehmen Straßen und Bezirke untereinander aufteilen. Hierdurch müssten beispielsweise einzelne Straßen nicht mehrmals am Tag durch unterschiedliche Unternehmen angefahren werden.

Besondere Herausforderungen

Die notwendige Verknüpfung zwischen Sendungsnummer (beim Logistikunternehmen) und kundenbezogenen Daten (auf der Plattform) sind aufgrund gesetzlicher Vorgaben wie dem Datenschutz und dem Postgeheimnis problematisch. App-Nutzende müssen eine Einverständniserklärung abgeben, was ihre Aktivierung erschweren könnte.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 11 | Indikator 11.2.a: Endenergieverbrauch im Güterverkehr (national)

Ziel: Senkung des Endenergieverbrauchs im Güterverkehr um 15 bis 20 % bis zum Jahr 2030

SDG 13 | Indikator 13.1.a: Treibhausgasemissionen (national)

Ziel: Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 und Treibhausgasneutralität bis 2050

- Das grundlegende (wirtschaftliche) Ziel des Use Cases ist die Minderung der gefahrenen Straßenkilometer. Auf Basis einer KI-unterstützten, tagesaktuellen Tourenoptimierung können 15 % bis 25 % der zurückgelegten Kilometer beim Logistiker reduziert werden. Die (innerstädtische) Abnahme des Logistikverkehrs kann zu einer Minderung der ausgestoßenen Treibhausgase, Stickstoff- sowie Feinstaub- und weiteren Emissionen führen.
- Bislang werden die Fahrpläne in der Regel jährlich festgelegt und die (tagesaktuellen) Anpassungsmöglichkeiten sind begrenzt.
- Weiterhin wird die Optimierung der Erstzustellquote eine Minderung des Logistikverkehrs mit sich bringen.
- Nachhaltigkeitsaspekte spielen bei der Entwicklung der KI-Anwendung eine wesentliche Rolle. Die verwendete Cloud wird von einem Hochsicherheitszentrum gehostet, das zu großen Teilen mit grüner Energie aus PV-Anlagen betrieben wird.

Investitionshöhe

- Das Produkt soll zukünftig als Software-as-a-Service angeboten werden. Hierbei zahlen die Logistikunternehmen für ein ausgehandeltes Sendungsaufkommen oder geben eine Grundgebühr für die Nutzung des Diensts ab. Eine spezifische Preisvorstellung besteht noch nicht, könnte sich jedoch am Einsparpotenzial orientieren (Stichwort: Minderung der Straßenkilometer).
- Für die Implementierung der KI-Lösung muss eine Schnittstelle geschaffen werden. Dies ist in der Regel weder zeit- noch kostenintensiv. Zudem sind die Schnittstellen konzernweit übertragbar.
- Die Anpassung der internen Prozesse kann aufgrund ihrer Komplexität zeit- und kostenintensiv werden. Dies hängt von der vorhandenen Technik in den jeweiligen Logistikzentren ab. Für eine tagesaktuelle Routenoptimierung müssten beispielsweise auch die Sortieranlagen und -systematik angepasst werden.
- Bislang wird der Use Case im Reallabor getestet. Nach der Implementierung können anwendende Unternehmen kostenfrei auf eine Grundwerkzeugausstattung zugreifen. Weitere Services werden bei einer spezialisierten, tiefgreifenden und individuellen Analyse der Daten, etwa für das Monitoring nötig.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen

 **Hoch** Hardware muss nachgerüstet werden (Sensoren etc.); ggf. sind Anpassungen bzw. die Implementation weiterer technischer Infrastruktur notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI sind nicht vorhanden

- Die Daten für das Anlernen der KI und für die Auswertung sind bereits bei den Logistikunternehmen vorhanden.
- Die zu entwickelnde Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen Logistikunternehmen und Plattform ist zwischen Logistikzentren eines Unternehmens übertragbar.

- Für die Prozessumstellung mit dem Ziel einer tagesaktuellen Routenplanung müssen zum Teil komplexe prozessuale wie auch technische Anpassungen unter anderem der Sortiersystematik und -anlagen realisiert werden.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen

 **Mittel** IT-Kompetenzen zur Integration des Systems in existierende Softwarelandschaft und zur Datenaufbereitung notwendig

- Für die Implementierung ist unbedingt Prozesswissen nötig. Zudem sind IT-Fachkompetenzen für die Entwicklung der etwaigen Schnittstellen notwendig.
- Ein erklärtes Ziel ist die möglichst selbsterklärende Interpretation der Ergebnisse, somit sind für den Betrieb keine besonderen KI- oder Data-Science-Kompetenzen erforderlich.

Reifegrad

 **Gering** Funktionsnachweis vorhanden; bislang keine Prototypen im Einsatz

- Teilbereiche des Use Cases werden bereits experimentell im Reallabor getestet. Die Testung erster Funktionsnachweise auf Basis von logistikspezifischen Realdaten lieferte gute Ergebnisse.
- Aktuell werden die Schnittstellen zwischen Logistikunternehmen und Plattform geschaffen, sodass eine prototypische Umsetzung und Testung ebendieser für 2023 geplant ist.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes BML-EcoSys im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.11 KI-gestützter Röntgenassistent

Anwendungsdomäne: Gesundheitswirtschaft

Einsatzbereich: Radiologie

Röntgenbilder sind oft wegweisend für die Therapie von Verletzungen und Erkrankungen – die Qualitätsanforderungen sind entsprechend hoch. Die erzielte Qualität entspricht aufgrund von Zeitdruck und häufigem Mangel an erfahrenem Personal oft nicht den vorgegebenen Leitlinien. Infolgedessen steigen die Zeitaufwände, der Ressourceneinsatz sowie die schädliche Strahlendosis, der Patientinnen und Patienten durch Mehrfachaufnahmen ausgesetzt werden. Die Grundlage für ein qualitativ hochwertiges Röntgenbild ist die richtige Positionierung der zu untersuchenden Person vor dem Röntgengerät und die anschließende Bewertung der Bildqualität. Der Röntgenassistent führt das Personal, das die Aufnahmen durchführt, und steigert so die Qualität der Röntgenbilder signifikant. Eine am Röntgengerät angebrachte 3D-Time-Of-Flight-(3D-TOF)-Kamera² erfasst die Position der Person und des zu untersuchenden Bereiches, z. B. des Sprunggelenks. Mithilfe KI-basierter Methoden wird vorhergesagt, welches Röntgenbild mit welcher Qualität bei einer Aufnahme in dieser Position zu erwarten ist. Nur wenn das Bild den geforderten Qualitätskriterien entspricht, kann eine Aufnahme durchgeführt werden beziehungsweise wird ein entsprechendes Signal für eine Aufnahme gegeben. Darüber hinaus können dem Untersuchungspersonal auch Hilfen für die Lagerung und Bildoptimierung mitgeteilt werden, zum Beispiel über Pfeilsignale oder ein Ampelsystem, um stets zu einer qualitativ hochwertigen Aufnahme zu gelangen.

² 3D-Kamerasysteme, die Distanzen mit Laufzeitverfahren messen werden als TOF-Kameras bezeichnet.



KI-gestützter Röntgenassistent

Besondere Herausforderungen

Der KI-gestützte Röntgenassistent muss sowohl die dreidimensionale Anatomie von Patientinnen und Patienten als auch zweidimensionale Röntgenbilder bewerten können. Es werden folglich verschiedene Trainingsdaten benötigt. 3D-Kamerabilder für das Training können nicht aus der klinischen Routine gewonnen werden. Hinzu kommt eine zweite Herausforderung: Eine willkürliche Exposition von Probandinnen und Probanden mit gesundheitsschädlichen Röntgenstrahlen ist ausgeschlossen. Diese Herausforderungen werden dadurch gelöst, dass für die Bewertung der 3D-Erfassung mit anatomischen und virtuellen Modellen trainiert wird. Die Bewertung der Röntgenaufnahmen wird mit Bildern aus Archiven trainiert, die von Radiologinnen und Radiologen gelabelt wurden (Supervised Learning).

Die KI-Anwendung muss in der klinischen Routine situativ gute Ergebnisse liefern: vom verstauchten Fuß bis zum Notfall mit hohem Zeitdruck. Wenn zu untersuchende Personen schwer verletzt mit umfangreichem Verbandmaterial geröntgt werden, erschwert dies die Bewertung durch die KI und kann die Qualität des Ergebnisses verringern.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 3 | Indikator 3.6.1: Sterblichkeitsrate infolge von Straßenverkehrsunfällen

Ziel: Halbierung der Todesfälle und Verletzungen infolge von Straßenverkehrsunfällen

- Gerade im Bereich der Traumatologie ist es schwer, sehr genaue Diagnosen zu stellen. Durch eine Steigerung der Diagnosequalität kann die Qualität von Therapien verbessert werden. Es wird antizipiert, dass so bessere Therapieergebnisse erzielt werden und Unfallopfer weniger Langzeitfolgen haben werden. In Zukunft soll dazu eine klinische Studie starten.
- Die Qualität der Röntgenaufnahmen und somit der Diagnosen wird erhöht. Schätzungsweise werden 10 % der aktuell notwendigen und teuren Computertomografien aus Röntgenindikationen künftig durch die bessere Qualität eingespart. 25 % der Patientinnen und Patienten werden eine schnellere Diagnostik und Behandlung bekommen. Dies wird das Zurück-

bleiben von Beschwerden nach Ausheilen der Verletzungen infolge von Unfällen reduzieren.

- Generell müssen circa 10 % aller Röntgenaufnahmen aufgrund mangelnder Qualität wiederholt werden. Jedoch gibt es eine große Varianz zwischen verschiedenen Radiologien in Abhängigkeit der eingesetzten Geräte, des Personals und zu behandelnden Personenkreises. Die Streuung liegt nach Einschätzungen von Expertinnen und Experten zwischen 5 % und 30 %.

Investitionshöhe

- Die Investitionskosten für Hardware, Implementierung und Einweisung des Personals sind gering: circa 1.000 Euro für Hardware und sechs Personenstunden.
- Die Betriebskosten hängen von der Größe des radiologischen Zentrums ab. Derzeit werden Kosten zwischen 50 Cent und 1,50 Euro je Prozedur kalkuliert. Eine typische Traumapraxis führt 2.000 Röntgen-Prozeduren pro Jahr durch, eine große kann auf 10.000 Prozeduren kommen, ein Krankenhaus der Maximalversorgung auf 25.000 Prozeduren. Da die Kassen nur Standardleistungen nach einheitlichem Bewertungsmaßstab vergüten, fallen die Kosten für das Zentrum an.
- Mit der Verbesserung der Diagnostik wird die Qualität radiologischer Zentren steigen. Durch den Wegfall nicht notwendiger Notfallfolgeuntersuchungen, die häufig finanziell zulasten der Betreiber eines Zentrums gehen, werden diese wirtschaftlich entlastet (beispielsweise durch die oben genannte Reduktion von Computertomografien aus Röntgenindikationen). Am Beispiel einer Universitätsklinik sind es etwa zwei Computertomografien pro Tag.
- Ein zusätzlicher Effekt für anwendende Unternehmen liegt darin, dass etwa durch die Reduktion notwendiger Notfallfolgeuntersuchungen das Personal entlastet wird. Monetär ist dieser Effekt schwer quantifizierbar.

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe Nachrüstung von Hardware (Sensoren etc.) notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI bereits vorhanden

- Ein kleiner Steuercomputer und eine 3D-Time-Of-Flight-Kamera, die Daten des zu röntgenden Körperteils aufnimmt, werden durch anbietende Unternehmen installiert.
- Eine Nachrüstung ist technisch relativ einfach, kann aber rechtlich herausfordernd werden, wenn in die Prozesse anderer Medizinproduktehersteller eingegriffen wird.
- Medizinische Daten zu Prozedur oder Körperteil werden digital vom Krankenhausinformationssystem oder Praxisverwaltungssystem geliefert. Sie sind standardisiert und weisen eine geringe Varianz auf.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe IT-Fachkompetenz notwendig

- Es sind keine Kompetenzen nötig, die nicht ohnehin schon vorhanden sind. Fachärztinnen und -ärzte oder Röntgenassistentinnen und -assistenten können die KI-basierte Lösung nutzen. In der EU kann jede Radiologin und jeder Radiologe oder jede MTRA digital röntgen.

Reifegrad



Funktionsnachweis vorhanden; bislang keine Prototypen im Einsatz

- Es gibt derzeit keine vergleichbare Technologie auf dem Markt. Die Technologie steckt im Funktionsprototypenstadium. Die Funktion wurde für das obere Sprunggelenk demonstriert. Nun werden weitere Funktionsnachweise erbracht.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes KI-SIGS im Rahmen des vom BMWK geförderten KI-Innovationswettbewerbs.

2.12 KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz

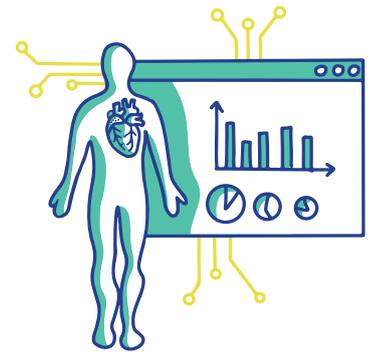
Anwendungsdomäne: Gesundheitswirtschaft

Einsatzbereich: Telemedizin

Die telemedizinische Mitbetreuung von kardiologischen Risikopatientinnen und -patienten stellt auf Grund einer evidenzbasierten Beschlusslage des Gemeinsamen Bundesausschusses (G-BA) das erste digitale Betreuungskonzept dar, auf das die entsprechenden Patientinnen und Patienten einen Anspruch in der Regelversorgung haben. Die Translation von Bedingungen der klinischen Studien zu den Bedingungen der realen Versorgung stellt den Kern des Implementierungsverfahrens dar. Eines der Schlüsselprobleme dabei ist die Skalierbarkeit. Die in den Studien üblichen Telemedizinzentren konnten etwa 500 Patientinnen und Patienten gleichzeitig telemedizinisch mitbetreuen bei einem aktuellen Bedarf von etwa 150.000 anspruchsberechtigten Patientinnen und Patienten.

Der daraus resultierende Bedarf von etwa 300 Telemedizinzentren ist angesichts der angespannten Personalsituation im deutschen Gesundheitswesen unrealistisch. Daraus resultiert der Lösungsansatz, durch Verfahren der Künstlichen Intelligenz die Kapazität der Telemedizinzentren zu erhöhen. Die Arbeit eines Telemedizinzentrums besteht in der täglichen Bewertung von aus der Häuslichkeit der Patient:innen gesendeten Vitaldaten und gegebenenfalls aus der Ableitung entsprechender therapeutischer Konsequenzen.

Durch ein KI-gestütztes Entscheidungsunterstützungssystem (EUSS) im Telemedizin-Zentrum können die eingehenden Vitaldaten voranalysiert werden. Dem Entscheidungsunterstützungssystem liegt ein künstliches neuronales Netz zugrunde. Es bewertet nicht nur



KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz

etablierte Vitaldaten wie Herzfrequenz, EKG, Blutdruck oder Gewicht auf Basis historischer Daten von Patientinnen und Patienten, sondern analysiert auch neue Parameter wie Stimme und körperliche Aktivität. Die Analyseergebnisse des KI-gestützten Systems unterstützen medizinisches Personal bei der Bewertung, ob bei einem Patienten oder einer Patientin eine kritische Situation vorliegt. Basierend auf dieser Bewertung können weitere medizinische Maßnahmen eingeleitet werden.

Besondere Herausforderungen

Die aktuelle Rechtslage erlaubt noch keine Anwendung eines EUSS in der telemedizinischen Betreuung, sondern verlangt die Bewertung aller eingehenden Vitaldaten ausschließlich durch das medizinische Personal der Telemedizinzentren.

Die EUSS-Erstanwendung erfolgt deshalb unter den Bedingungen eines Reallabors.

Perspektivisch kann ein solches System auch für weitere medizinische Indikationen eingesetzt werden, um somit mehr Menschen auch im Krankheitsfall und im Alter ein selbstbestimmtes Leben zuhause ermöglichen.

Beitrag zum Erreichen der SDGs

SDG 3 | Indikator 3.4.1: Sterblichkeitsrate infolge von Krankheiten des Kreislaufsystems, bösartigen Neubildungen, Diabetes mellitus oder chronischen Atemwegserkrankungen

Ziel: Senkung der vorzeitigen Sterblichkeit aufgrund von nichtübertragbaren Krankheiten durch Prävention und Behandlung

SDG 3 | Indikator 3.8.1: Versorgung mit grundlegenden Gesundheitsdiensten

Ziel: Zugang zu hochwertigen grundlegenden Gesundheitsdiensten ermöglichen

- Im ländlichen Raum oder in strukturschwachen Regionen herrscht ein Defizit der gesundheitlichen Versorgung mit Fachärztinnen und -ärzten, zum Beispiel Kardiologinnen oder Kardiologen. In Deutschland sind ca. 2,5 Millionen Menschen von chronischer Herzinsuffizienz betroffen (Holstiege et al. 2018). Durch das Telemonitoring können für dieses Krankheitsbild zentrale Vitalparameter kontinuierlich überwacht werden (Spethmann und Köhler 2022). Dadurch wird eine Harmonisierung des Zugangs zu Gesundheitsdiensten in strukturschwachen Regionen im Vergleich zu Städten geschaffen (Koehler et al. 2018).
- Pro Jahr, verliert eine oder ein durch Telemonitoring betreute oder betreuter Patient oder Patientin, durchschnittlich 6,4 Tage weniger durch ungeplante kardiovaskuläre Hospitalisierungen und Tod jeder Ursache. In Bezug auf ungeplante Herzinsuffizienz-Hospitalisierungen verlieren Patient:innen im Jahr 1,8 Tage weniger. Die Gesamtsterblichkeit pro 100 Personenjahre kann um 3,5 % gesenkt werden (Spethmann und Köhler 2022). Weiterhin kann das Telemonitoring im Hinblick auf Hospitalisierung und Mortalität dazu beitragen, eine Gleichwertigkeit der hausärztlichen Behandlung auf dem Land zu der in einer Fachpraxis herzustellen.
- Weitere Effekte: Durch die Reduktion der Hospitalisierungen können Kosten im Gesundheitsbereich eingespart werden. In Deutschland betragen die direkten Kosten der stationären Behandlungen bei Herzinsuffizienz 2,7 Milliarden Euro pro Jahr. (Müller et al. 2009). Durch Telemonitoring können Kosten bis zu 1.758 Euro pro Patientenjahr eingespart werden (Spethmann und Köhler 2022).

Investitionshöhe

- Der Zeitaufwand für die Entwicklung und Zulassung ist sehr hoch. Somit sind auch die grundlegenden Investitionskosten hoch.
- Die Kosten für Geräte zur Messung der Vitaldaten sind vergleichsweise gering. Sie liegen je Gerät im

unteren vierstelligen Bereich. Die reinen Betriebskosten eines Telemonitoringsystems sowie die durch Betreuung anfallenden Personalkosten sind ebenfalls vergleichsweise niedrig. Eine übergreifende Auswertung klinischer Studien sowie von Aussagen von Vertreterinnen und Vertretern der Telemedizinbranche schätzt die jährlich anfallende Kosten auf 1.000 Euro pro Patientin bzw. Patient. Durch den Einsatz von KI im Telemonitoring kann zur Vorauswertung der Monitoring-Daten kann es jedoch zu einer weiteren Kostendegression kommen. (Demirci et al. 2021)

- Kostenintensiv sind vor allem die Personalkosten in Telemedizinzentren, insbesondere wenn sie 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche betrieben werden.
- Eine Amortisation der Kosten ist schwer zu bewerten, da der Markt im Bereich der Gesundheitswirtschaft reguliert ist und „Nutzende“ (Patientinnen und Patienten) und „Bezahlende“ (Krankenkassen) nicht identisch sind. Für die Indikation Herzinsuffizienz gibt es eine Vergütung für behandelnde Ärztinnen und Ärzte sowie Telemedizinzentren³ (G-BA Beschluss).

Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen



Geringe Nachrüstung von Hardware (Sensoren etc.) notwendig; Daten für das Anlernen der KI und/oder für die Auswertung durch die KI bereits vorhanden

- Die technischen Voraussetzungen für die Einführung eines Telemonitoringsystems bei niedergelassenen Ärztinnen und Ärzten sind vergleichsweise wenig aufwendig.
- Im Anwendungsfall Telemonitoring für Herzinsuffizienz werden externe und implantierte Sensoren zur Erfassung der Messdaten benötigt. Sie müssen als Medizinprodukt zertifiziert sein. Es gibt entsprechende Anbieterunternehmen auf dem Markt und einen Wettbewerb. Der Einsatz von Wearables ist in der Regel – noch nicht – zulässig, da Produkte in der Regel keine Medizinproduktzulassung besitzen.

Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen



- Aufseiten der Anwendender sind Hintergrundkenntnisse erforderlich, da technologiegestützt medizinischen Entscheidungen getroffen werden. In der Domäne wird bereits auf diese Anforderungen reagiert. So wird die Vermittlung erforderlicher Kenntnisse in Kurrikulum des Medizinstudiums und die fachärztliche Ausbildung aufgenommen sowie Weiterbildungen angeboten.

Reifegrad



- Im Herzinsuffizienzkontext besteht bereits ein Markt. Es gibt hier eine Vergütung für telemedizinische Leistungen im niedergelassenen Bereich. Das vorgestellte System wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zukunft als Produkt auf dem Markt erhältlich sein.

Projektverweis

Der Use Case ist ein aktueller Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Projektes Telemed5000 im Rahmen des vom BMWK geförderten Technologieprogramms Smarte Datenwirtschaft.

3 KI IN DER ANWENDUNG – EINE ÜBERGREIFENDE BETRACHTUNG

3 KI IN DER ANWENDUNG – EINE ÜBERGREIFENDE BETRACHTUNG

Im vorliegenden Kapitel wird eine übergreifende Betrachtung der vorgestellten Use Cases aus Kapitel 2 vorgenommen. Dabei werden sowohl die potenziellen Beiträge zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen als auch Implementierungsanforderungen sowie die technischen Reifegrade zusammenfassend beleuchtet. Es wird dargestellt, in Bezug auf welche Nachhaltigkeitsziele besonders hohe Potenziale bestehen. Verbunden mit der Betrachtung der Implementierungsaufwände entlang der Kategorien Investitionskosten, technische Voraussetzungen und notwendige Kompetenzen wird deutlich, dass über alle Use Cases hinweg KI nie zum Selbstzweck eingesetzt wird. Sie dient der Optimierung von Prozessen, der Effizienzsteigerung oder der Verbesserung von Diensten und Produkten. KI-basierte Produkte und Dienste sollen auf Seiten von anwendenden Unternehmen betriebswirtschaftliche Ziele erfüllen. Die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten wie bspw. die Optimierung von Modellen auf Datensparsamkeit oder Steigerung der Energieeffizienz für das Training können jedoch schon bei der Entwicklung berücksichtigt werden. Für anbietende Unternehmen können sich so positive betriebswirtschaftliche Effekte mit der nachhaltigen Technologiegestaltung einstellen.

3.1 KI-Anwendungen und Beiträge zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen

Die übergreifende Betrachtung aller Use Cases zeigt, dass einige der SDG-spezifischen Sub-Ziele häufiger adressiert werden. Eine Erfassung des Beitrags zu diesen Sub-Zielen wird entlang nationaler und globaler Indikatoren ermöglicht. Dabei ergibt sich folgende Verteilung (Abbildung 4).

SDG	Indikator	Ziel und Intention	N/G*	Use Case
	2.1.a: Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft	Im Übermaß in die Umwelt eingetragener Stickstoff führt zur Belastung von Grund- und Oberflächenwasser, zur Überversorgung von Binnengewässern, Meeren und Landökosystemen mit Nährstoffen (Eutrophierung), zur Entstehung von Treibhausgasen und versauernden Luftschadstoffen mit negativen Folgen für Klima, Artenvielfalt und Landschaftsqualität. Für den Zeitraum 2028 bis 2032 soll im Mittel eine Verringerung der Stickstoffüberschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland auf 70 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche pro Jahr erreicht werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen von Pflanzenschutzmaßnahmen
	3.4.1: Sterblichkeitsrate infolge von Krankheiten des Kreislaufsystems, bösartigen Neubildungen, Diabetes mellitus oder chronischen Atemwegserkrankungen	Bis 2030 die vorzeitige Sterblichkeit aufgrund von nichtübertragbaren Krankheiten durch Prävention und Behandlung um ein Drittel senken und die psychische Gesundheit und das Wohlergehen fördern.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz
	3.6.1: Sterblichkeitsrate infolge von Straßenverkehrsunfällen	Bis 2020 die Zahl der Todesfälle und Verletzungen infolge von Straßenverkehrsunfällen weltweit halbieren.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützter Röntgenassistent
	3.8.1: Versorgung mit grundlegenden Gesundheitsdiensten	Die allgemeine Gesundheitsversorgung, einschließlich der Absicherung gegen finanzielle Risiken, den Zugang zu hochwertigen grundlegenden Gesundheitsdiensten und den Zugang zu sicheren, wirksamen, hochwertigen und bezahlbaren unentbehrlichen Arzneimitteln und Impfstoffen für alle erreichen.	G	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz
	7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch	Die Senkung des Energieverbrauchs durch eine Steigerung der Energieeffizienz ist neben dem Ausbau erneuerbarer Energien die zweite tragende Säule der Energiewende. Ziel ist es mit möglichst wenig Energie, viel wirtschaftliche Leistung zu erreichen. Energieeinsparung schont Klima und Umwelt, trägt zur Verbesserung der Versorgungssicherheit und zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie bei. Dem Energiekonzept der Bundesregierung zufolge soll die Endenergieproduktivität in den Jahren 2008 bis 2050 jährlich um 2,1 % erhöht werden. Gleichzeitig soll sich der Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 %, bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 50 % gegenüber dem Jahr 2008 verringern.	N	<ul style="list-style-type: none"> Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren Ressourceneffiziente Herstellung von Pflanzenschutzmitteln Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten Smart-EED-System
	8.1: Gesamtrohstoffproduktivität	Die Entnahme von Rohstoffen ist immer mit einer Beeinträchtigung der Natur verbunden. Durch die steigende Nachfrage nach Rohstoffen werden weltweit zunehmend Rohstoffvorkommen in Gebieten erschlossen, die besonders sensibel auf menschliche Einflüsse reagieren. Daher hat sich die Bundesregierung bereits im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) II im Jahr 2016 das Ziel gesetzt, dass die Gesamtrohstoffproduktivität weiterhin steigen soll. In den Jahren 2000 bis 2010 nahm die Gesamtrohstoffproduktivität bereits um durchschnittlich rund 1,6 % jährlich zu. Ein solch positiver Trend soll bis zum Jahr 2030 fortgesetzt werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälern Zerstörungsfreie digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden
	8.5.a, b: Erwerbstätigenquote	Aufgrund des demografischen Wandels kann es langfristig zu einem Mangel an Fachkräften in Deutschland kommen. Gleichzeitig droht eine zunehmende Unterfinanzierung der sozialen Sicherungssysteme. Das vorhandene Arbeitskräftepotenzial ist daher künftig besser auszuschöpfen. Die Erwerbstätigenquote, das heißt der Anteil der Erwerbstätigen an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (20- bis 64-Jährige), soll bis zum Jahr 2030 auf 78 % erhöht werden. Außerdem ist es das Ziel der Bundesregierung, dass bis 2030 die Erwerbstätigenquote der Älteren (60- bis 64-Jährige) 60 % beträgt.	N	<ul style="list-style-type: none"> KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen, insbesondere beim Wälzschälern

* N=National/G=Global

SDG	Indikator	Ziel und Intention	N/G*	Use Case
	9.4.1: CO ₂ -Emissionen pro Wertschöpfungseinheit	Bis 2030 die Infrastruktur modernisieren und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln
	11.2.a: Endenergieverbrauch im Güterverkehr	Der Verkehr bringt eine Reihe von Problemen mit sich. So beeinträchtigen etwa Lärm und Luftschadstoffe die Lebensqualität insbesondere in Städten und verkehrsbedingte Emissionen tragen zum Klimawandel bei. Der Ausstoß von schädlichen Treibhausgasen steht in engem Zusammenhang mit der im Verkehr verbrauchten Energie. Ziel ist es den Endenergieverbrauch im Güterverkehr bis zum Jahr 2030 um 15 bis 20 % zu senken.	N	<ul style="list-style-type: none"> • KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile
	11.3: Überlastung durch Wohnkosten	Hohe Wohnkosten führen dazu, dass Haushalte in ihren übrigen Konsumentscheidungen eingeschränkt werden. Ausgaben für Wohnen von mehr als 40 % des verfügbaren Haushaltseinkommens werden als Überlastung angesehen. Der Anteil der Personen, die in Haushalten leben, die mehr als 40 % ihres verfügbaren Haushaltseinkommens für Wohnen ausgeben, soll deshalb bis zum Jahr 2030 auf 13 % gesenkt werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten • Smart-EED-System
	12.3.1 Index der Lebensmittelverluste und Index der Lebensmittelverschwendung	Bis 2030 die weltweite Nahrungsmittelverschwendung pro Kopf auf Einzelhandels- und Verbraucherebene halbieren und die entlang der Produktions- und Lieferkette entstehenden Nahrungsmittelverluste einschließlich Nachernteverlusten verringern.	G	<ul style="list-style-type: none"> • Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung • Reduzierung der Lebensmittelabfällen im Handel
	12.2.1: Rohstoff-Fußabdruck, Rohstoff-Fußabdruck pro Kopf und Rohstoff-Fußabdruck im Verhältnis zum BIP	Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen.	G	<ul style="list-style-type: none"> • Smart-EED-System
	13.1.a: Treibhausgasemissionen	Die globale Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche steigt aufgrund der zunehmenden Konzentration von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre kontinuierlich an, mit bereits heute nachweisbaren Folgen für das Klimasystem. Ziel der Bundesregierung ist es daher, bis zum Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 40 % und bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu senken. Bis zum Jahr 2050 soll die Treibhausgasneutralität erreicht werden.	N	<ul style="list-style-type: none"> • KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile • Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren • Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten • Smart-EED-System**
	15.1: Artenvielfalt und Landschaftsqualität	Eine große Artenvielfalt an Tieren und Pflanzen ist eine wesentliche Voraussetzung für einen leistungsfähigen Naturhaushalt und bildet eine wichtige Lebensgrundlage des Menschen. Um die Artenvielfalt und gleichzeitig die Lebensqualität des Menschen zu erhalten, ist das vorläufige Ziel der Bundesregierung ein Indexwert von 100 bis zum Jahr 2030 – ursprünglich sollte dieser Zielwert bereits bis 2015 erreicht werden. Derzeit wird die Höhe dieses Zielwertes im Rahmen eines Forschungsvorhabens überprüft und gegebenenfalls zukünftig auf Basis der neuen Erkenntnisse angepasst.	N	<ul style="list-style-type: none"> • Bedarfsmengenorientiertes und punktgenaues Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen

* N=National/G=Global **EED = Energy Efficiency Directive (Energieeffizienzrichtlinie)

Abbildung 4: Überblick über die neun SDGs mit positiven Wirkpotenzialen durch den Einsatz von KI, einschließlich ihrer spezifischen Indikatoren, Ziele und Intentionen, welche durch die zwölf Use Cases adressiert werden. (G) zeichnet globale Indikatoren aus und (N) nationale Indikatoren. Vergleiche Bundesregierung (2020b) und Statistisches Bundesamt (2022)



Die Sub-Ziele 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch und 13.1.a: Treibhausgasemissionen werden am häufigsten adressiert, gefolgt von 11.3: Überlastung durch Wohnkosten, 8.1: Gesamtrohstoffproduktivität, 12.3.1 Index der Lebensmittelverluste und Index der Lebensmittelverschwendung. Es zeigt sich, dass die meisten adressierten SDGs ganz klar in den Bereich Energie- bzw. Ressourceneffizienz liegen. Durch den ersten Bereich wird die direkte Verbindung zum Indikator Treibhausgasemission ersichtlich. Es ist allerdings zu beachten, dass es sich hierbei nicht um eine repräsentative Auswahl der Use Cases handelt. Eine Verallgemeinerung lässt sich daher aus den Ergebnissen nicht ableiten, sie deuten aber zumindest eine Tendenz an.

Eine querschnittliche Betrachtung zeigt, dass nur bei ca. 50 % der Anwendungsfälle quantifizierbare Aussagen zur Nachhaltigkeitswirkungen getroffen werden können. Dies ist hauptsächlich auf drei Ursachen zurückzuführen:

1. Messungen von spezifischen Nachhaltigkeitsindikatoren werden nur im laufenden Betrieb der KI-Anwendungen oder im Testbetrieb der Prototypen erfasst, wenn dadurch betriebswirtschaftliche Interessen wie der Nachweis gesteigerter Ressourceneffizienz erfüllt werden.
2. Eine Operationalisierung der SDG-Indikatoren für die Bewertung der Nachhaltigkeitswirkung ist für Unternehmen schwierig, weil sie je nach Einsatzszenario von vielen Faktoren abhängt.
3. Der Reifegrad der KI-Anwendungen ist noch zu gering oder sie sind noch nicht lang genug im Betrieb, um valide Aussagen treffen zu können.

3.2 Investitionskosten der betrachteten Use Cases

Aus Sicht der anwendenden Unternehmen zeigte sich, dass die Investitionskosten für die Use-Case-Implementierung sowie monatliche Lizenzkosten in Relation zu den erzielten Effekten als vertretbar bewertet werden. Zudem sind die Lizenzkosten häufig auch im Kontext der Anzahl zu trainierender KI-Modelle zu betrachten. Hierbei wird die Betrachtung umso wirtschaftlicher, wenn nicht nur ein Modell trainiert wird sondern die Kosten sich auf eine hohe Anzahl an trainierten Modellen für verschiedene Anwendungsfälle verteilen.

Besonders in Anwendungsfällen deren Ziel eine Steigerung der Ressourcen bzw. Energieeffizienz ist, wird

ein schneller Return-of-Investment erwartet. Weiterhin zeigte sich, dass Implementierungskosten stark abhängig in Relation zur Verfügbarkeit und Qualität der für das Training notwendigen Daten steht.

3.3 Technische Voraussetzungen bei anwendenden Unternehmen

Die zu erbringenden technischen Voraussetzungen auf der Seite der anwendenden Unternehmen sind immer in Abhängigkeit von Einsatzszenario und Anwendungsdomäne zu betrachten. Besonders ausschlaggebende Aspekte, welche die technischen Anforderungen der Implementierung erhöhen, sind die Tiefe und Komplexität, der für den Einsatz von KI erforderlichen Eingriffe in bestehende Wertschöpfungsketten.

In den Gesprächen mit Expertinnen und Experten zeigte sich, dass die Verfügbarkeit und Qualität von Daten ein zentrales, wenn nicht das wichtigste Einflusskriterium für die Implementierungsdauer und den Entwicklungsaufwand der KI-Anwendungen selbst sind. Hierin liegen wesentliche technische Voraussetzungen. Zudem sind in Anwendungsdomänen, in denen personenbezogene Daten oder Metadaten für das Training von KI-Modellen verwendet werden, besondere Aufwände auf dem Weg vom Prototypen zur Marktreife notwendig, um den Datenschutz zu wahren. Die Implementierung von Ergebnissen der KI-gestützten Anwendungen in bestehende Prozesse oder Steuerungsaufgaben kann je nach Automatisierungsgrad investitionsintensiv sein. In der Regel steigen die einmaligen Implementierungskosten mit steigendem Automatisierungsgrad.

3.4 Notwendige Kompetenzen bei anwendenden Unternehmen

Bei der Mehrheit der betrachteten Use Cases sind die erforderlichen Kompetenzen für die Implementierung und den Betrieb der KI-basierten Produkte und Dienste auf anwendende Unternehmen im niedrigen bis mittleren Bereich zu verorten (Abbildung 3, S. 17). Eine spezifische KI- oder Data Science-Expertise ist in keinem der betrachteten Anwendungsfälle notwendig. Das ist ein durchaus bedeutendes Ergebnis. KI-basierte Produkte und Dienste werden so entwickelt, dass sie von den anwendenden Unternehmen, die bereits in den entsprechenden Einsatzszenarien arbeiten, genutzt werden können. Es ergeben sich je nach Komplexität der Anwendung heterogene Anforderungen an die Absicherung sowie Gestaltung der IT-Infrastrukturen zur Einbettung von KI.

3.5 Notwendige Kompetenzen bei anbietenden Unternehmen

Für anwendende Unternehmen spielt der starke Wettbewerb um Fachkräfte im Bereich KI und Data-Science keine große Rolle. KI-basierte Produkte und Dienste werden meist so entwickelt, dass keine vertiefenden KI-Kompetenzen für den Produktivbetrieb der Systeme notwendig sind (Abbildung 3).

Auf Seite der anbietenden Unternehmen von KI-basierten Produkten und Diensten sieht das anders aus. Für die Unternehmen, die solche KI-Lösungen entwickeln, stellt der Fachkräftemangel durchaus ein Hemmnis dar. Entlang aller Use Cases wurde deutlich, dass die entwickelnden Unternehmen neben KI-Expertise auch durchgehend eine hohe Domänenkompetenz für den Anwendungsbereich benötigen. Diese lässt sich oft durch Kooperationen mit anwendenden Unternehmen erwerben, muss aber mitunter auch direkt im Unternehmen verankert sein. Übergreifend konnte festgestellt

werden, dass die Verfügbarkeit von Fachkräften von Faktoren wie der Anzahl in der Region ausgeschriebenen Stellen und auch der Wirtschaftszweige, für die Lösungen entwickelt werden, abhängt. So ist beispielsweise die Besetzung von Stellen im Bereich der Gesundheitswirtschaft weniger herausfordernd als im Automatisierungsbereich für das produzierende Gewerbe.

3.6 Reifegrad der KI-Anwendungen

Bei mehr als der Hälfte der Use Cases sind funktionsfähige Prototypen oder Funktionsmuster vorhanden (Abbildung 5). Einige Anwendungen befinden sich zudem bereits im operativen Einsatz. In den meisten Interviews wurde von Anbietern angegeben, dass die Überführung der Prototypen zu marktreifen Produkten in einem kurzen Zeitraum von zwei bis drei Jahren zu erwarten sei. Eine Großzahl der KI-basierten Produkte und Dienste kann durch das Training der Modelle mit neuen Daten in weiteren Unternehmen in vergleichbaren Einsatzszenarien eingesetzt werden.

Use Case	Domäne	Technische Voraussetzungen auf der Seite anwendender Unternehmen	Notwendige Kompetenzen auf der Seite anwendender Unternehmen	Reifegrad
Verschwendungsminimierende Produktionssysteme in der Lebensmittelherstellung	Lebensmittelproduktion	Gering	Mittel	Hoch
Reduzierung der Lebensmittelabfälle im Handel	Handel	Hoch	Mittel	Mittel
Präzises Düngen und Applizieren von Pflanzenschutzmaßnahmen	Landwirtschaft	Hoch	Mittel	Mittel
Digitale Werkstoffprüfung beim Feinschneiden	Industrie und Produktion	Mittel	Mittel	Mittel
KI-gestützte Optimierung bei Zerspanungsprozessen	Industrie und Produktion	Mittel		Mittel
Ressourceneffiziente Herstellung von Pflanzenschutzmitteln	Industrie und Produktion	Gering	Gering	Hoch
Steigerung der Energieeffizienz in Bestandsbauten	Bau- und Wohnwirtschaft	Mittel	Gering	Mittel
Smart-EED-System	Bau- und Wohnwirtschaft	Mittel	Gering	
Smartes Energiemanagement in Wohnquartieren	Bau- und Wohnwirtschaft	Mittel	Gering	Mittel
KI-unterstützte Paketzustellung auf der letzten Meile	Mobilität	Hoch	Mittel	Gering
KI-basierter Röntgenassistent	Gesundheitswirtschaft	Gering	Gering	Gering
KI-gestütztes Telemonitoring bei Herzinsuffizienz	Gesundheitswirtschaft	Gering	Gering	Hoch

Abbildung 5: Übergreifende Darstellung der Use-Case-Einordnung entlang der Kategorien Technische Voraussetzungen auf Seite anwendender Unternehmen, Notwendige Kompetenzen auf Seite anwendender Unternehmen und Reifegrad *

* Der Use Case befindet sich in der Konzeptionsphase

4 NACHHALTIGE GESTALTUNG VON KI

4 NACHHALTIGE GESTALTUNG VON KI

Während im Kapitel 2 mögliche Nachhaltigkeitspotenziale von KI in zwölf realistischen Anwendungsfällen (Use Cases) im Kontext der Modellnutzung adressiert wurden, wird im Folgenden die Nachhaltigkeit der KI selbst in den Fokus gestellt. Bislang ist die Optimierung von KI auf Nachhaltigkeit, insbesondere hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs, als Thema noch nicht fest im Bewusstsein der Unternehmen verankert. Besonders in frühen Phasen des KI-Lebenszyklus – hierzu gehört nach Rohde (2021) die „organisationale Einbettung“, die Konzeptualisierung, das Datenmanagement und die Modellentwicklung – spielt Nachhaltigkeit eine untergeordnete Rolle. Dem komplexen Thema wird sich aktuell vor allem im Forschungskontext genähert; erst kürzlich wurden ein umfänglicher Kriterienkatalog zur Nachhaltigkeitsbewertung von KI (Rohde et al. 2021) sowie Richtlinien und Standards veröffentlicht, beispielsweise die UNESCO-Empfehlungen zur Ethik Künstlicher Intelligenz (Kettmann et al. 2022), welche gesellschaftliche, menschliche wie ökologische Aspekte adressieren, oder der KI-Prozessstandard IEEE 7000, der ein verantwortungsvolles Engineering entlang des Lebenszyklus sichern soll (Reuter 2021).

Auf diesen Empfehlungen aufbauend werden im Folgenden ausgewählte Stellschrauben für eine nachhaltige Gestaltung von KI skizziert. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf dem frühen Lebenszyklus, von der Konzeptphase bis zur Modellentwicklung und dem KI-Training. Ziel ist es, einen Impuls für das Bewusstsein wesentlicher Nachhaltigkeitsaspekte zu schaffen, die bei der Gestaltung und Nutzung von KI relevant sind. Dieser richtet sich sowohl an KI-anwendende Unternehmen, die dabei unterstützt werden sollen, die nachhaltige Gestaltung der KI bei ihren Lösungsanbietern zu erbitten, als auch an Entwicklerinnen und Entwickler von KI selbst.

Hierbei sind folgende zentrale Fragen relevant, auf die im Folgenden näher eingegangen wird:

- Werden ressourceneffiziente, auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Rechenzentren und Hardwareinfrastrukturen für das Trainieren und Ausführen von KI verwendet?
- Kann der CO₂-Fussabdruck für das Training und den Einsatz von KI gemessen oder mindestens abgeschätzt werden?
- Können einmal trainierte KI-Modelle gegebenenfalls in anderen Anwendungskontexten wiederverwendet werden?

Bewusstsein für Nachhaltigkeit schärfen

Ob KI-basierte Produkte und Dienste zur nachhaltigen Entwicklung beitragen oder diese möglicherweise bremsen, beginnt mit der Fragestellung, inwieweit das zu entwickelnde Werkzeug einen positiven Nachhaltigkeitsbeitrag unter Berücksichtigung von möglichen Rebound-Effekten leisten kann (Boll et al. 2022). Diese Frage richtet sich an die Seite der anwendenden und anbietenden Unternehmen gleichermaßen. Zur Beantwortung oder zumindest Abschätzung der Potenziale und Risiken ist das Bewusstsein über Nachhaltigkeitswirkungen entlang des KI-Entwicklungs- und -Lebenszyklus ein wichtiges Fundament. Ein Basiswissen bei der Kundschaft und den Entwicklerinnen und Entwicklern über Möglichkeiten und Methoden der Nachhaltigkeitsbilanzierung ermöglicht es, neben wirtschaftlichen Aspekten auch die sozialen und ökologischen Dimensionen von Nachhaltigkeit von Anfang an mitzudenken und adäquat zu adressieren. Hierzu gehört beispielsweise auch das Wissen darüber, dass KI-Modelle je nach Trainings-Datengrundlage diskriminierende beziehungsweise unfaire Ergebnisse liefern respektive Entscheidungen unterstützen können.

Faire KI durch partizipatives, inklusives Design und Erklärbarkeit

Wenn KI im Bereich wichtiger gesellschaftlicher Infrastrukturen eingesetzt wird, zum Beispiel bei der Entscheidungsfindung über die Verteilung staatlicher Sozialdienstleistungen, ist ein partizipatives, inklusives Design der Systeme zu berücksichtigen, um Vorurteile gegenüber Randgruppen oder marginalisierten (Sub-)Kulturen im Entwicklungsprozess auszuschließen oder zumindest zu minimieren (Rohde et al. 2021). Co-Design, also die Teilhabe von Betroffenen, Anwendenden und weiteren

- Liefert die KI-Anwendung möglicherweise diskriminierende beziehungsweise unfaire Ergebnisse?
- Ist die KI transparent und erklärbar gestaltet?
- Wie viel Ressourcen sind für das Erfassen und gegebenenfalls Erzeugen der erforderlichen Daten notwendig?
- Wie beeinflusst die Datenmenge den Trainingsaufwand der KI-Modelle?

Akteuren im Kontext der Ausgestaltung der KI-Anwendung, ist eine Möglichkeit, dies umzusetzen. So kann im frühen Entwicklungsstadium eine Außenperspektive zur Reflexion der geplanten Anwendung eingeholt werden. Die Zusammensetzung der Entwicklungsteams ist eine weitere Stellschraube, um den Designprozess so inklusiv wie möglich umzusetzen. Hierbei bietet es sich an, Entwicklungsteams so aufzustellen, dass ein transdisziplinärer – zum Beispiel zwischen Ingenieur- und Sozialwissenschaften – sowie interkultureller Austausch befördert wird. Ein solches Arbeitsumfeld erleichtert inklusive Designprinzipien und befördert die Sicherstellung unter anderem von Barrierefreiheit und Zugänglichkeit.

Transparenz und Erklärbarkeit sollten bereits bei der Konzeptionierung von KI-Tools berücksichtigt werden. Dies ist wichtig, um die entwickelten KI-Algorithmen und deren Ergebnisse beschreibbar, überprüfbar und reproduzierbar zu machen (Kraus et al. 2021; Rohde et al. 2021). Außerdem sollten Nutzerinnen und Nutzer bei einer Interaktion mit KI dies auch nachvollziehen können, um beispielsweise KI-unterstützte Entscheidungsfindungsprozesse richtig einordnen zu können. Letztlich sind Transparenz und Erklärbarkeit grundlegende Faktoren, die die Nutzerakzeptanz beeinflussen sowie Zulassungs- und Zertifizierungsverfahren und das Einhalten der durch die DSGVO geforderten Transparenzpflichten ermöglichen (Boll et al. 2022). Somit sind Transparenz und Erklärbarkeit von KI auch aus wirtschaftlicher Sicht entscheidend.

Nachhaltigkeit im Kontext wachsender Datenmengen

Zur Verbesserung der Modellqualität von KI-Tools wird bislang in Wissenschaft und Praxis häufig der Weg gewählt, den Umfang der Trainingsdaten zu erhöhen. Je größer das Trainingsdatenset ist, desto negativer wirkt es sich jedoch auf die Umweltbilanz aus, weil die Daten aufgezeichnet sowie gespeichert werden müssen. Wenn die Datenmenge für das Trainieren von KI-Modellen zu klein ist, gibt es neue Ansätze, künstliche Daten zu generieren. Besonders viel Aufmerksamkeit erfährt dabei aktuell die Nutzung von sogenannten Generative Adversarial Networks (GAN) (Creswell et al. 2017). Bei der Nutzung von GANs erstellt ein künstliches neuronales Netz – der Generator – synthetische Daten, während das zweite Netz – der Diskriminator – den Unterschied zwischen den vom Generator entworfenen künstlichen Daten und echten Daten bewertet. Beide Netze werden parallel trainiert, bis der Diskriminator nicht mehr in der Lage ist, die

synthetischen Daten von echten zu unterscheiden. Das Vorgehen eignet sich sowohl für numerische als auch nichtnumerische Daten, wie Bild, Video etc. Zu bedenken ist hierbei, dass das Erzeugen von synthetischen Daten auf diese Weise durch den hohen Trainingsaufwand deutlich mehr Ressourcen verbraucht als das Erfassen von echten Daten (Satyam et al. 2021).

Eine Skalierung der Daten, ob synthetisch oder echt, erhöht in der Regel die Trainingszeit und somit auch den energetischen Fußabdruck des Modells. Dies ist vor allem dann wesentlich, wenn die Performance nur noch leicht verbessert wird, die hierfür benötigte Trainingszeit sich jedoch stark verlängert. Das Aufstocken der Datenmenge ist jedoch nicht der einzige Weg der Modelloptimierung – und auch nicht immer der beste. So wurde bereits gezeigt, dass ein reduziertes intelligentes Datensampling zu gleicher Modellqualität führen kann (Wu et al. 2022). Dies spart Trainingszeit, Kosten für Cloud-Computing und letztlich kann auch der CO₂-Fußabdruck verringert werden. Eine Möglichkeit, die Qualität und den notwendigen Umfang für Trainingsdatensätze zu bewerten, haben Wissenschaftler der Stanford Universität vorgeschlagen (Ghorbani/Zou 2020). Hierbei wurden auch unternehmerische Aspekte berücksichtigt.

Die Rolle der Infrastruktur

Die Energieeffizienz von Hardwareinfrastrukturen und Rechenzentren ist eine zentrale Stellschraube, um Energieverbräuche und CO₂-Emissionen bei der Entwicklung von KI-Modellen zu reduzieren (Rohde et al. 2021). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur das Training der Modelle Energie verbraucht, sondern auch die Herstellung und Entsorgung der Hardware sowie die Aufrechterhaltung der Rechenzentren – beispielsweise Kühlung, Beleuchtung etc. – indirekte Emissionen und Nachhaltigkeitswirkungen mit sich bringen. Die Nutzung von Hardware und Rechenzentren, die als ressourceneffizient zertifiziert wurden, sind in diesem Kontext eine Möglichkeit, die Entwicklung von KI-Modellen nachhaltiger zu gestalten. Zu den anerkannten Zertifikaten von GreenIT gehören beispielsweise der Blaue Engel, das Europäische Umweltzeichen, der Energy Star und das TCO-Prüfsiegel der „Tjänstemännens Centralorganisation“. Auch die Zertifizierung von ressourceneffizienten Rechenzentren ist möglich. Eine Auskunft über deren Nachhaltigkeit kann beispielsweise durch Zertifikate wie den Blauen Engel oder den CEEDA (Certified Energy Efficient Datacenter Award) gegeben werden. Darüber hinaus bietet die ISO 30133 eine Leitlinie für die Etablierung von ressour-

ceneffizienten Rechenzentren. In der ISO-Reihe 30134 werden zudem wichtige Leistungsmerkmale für den ressourceneffizienten Betrieb von Rechenzentren spezifiziert, wobei unter anderem die Nutzung von Abwärme und der Einsatz von erneuerbaren Energien eine Rolle spielen. Eine Übersicht über die Standardisierungslandschaft für das Energiemanagement und die Umweltverträglichkeit von Rechenzentren kann in CEN/CLC/ETSI Joint Coordination Group Green DataCentres 2021 nachgeschlagen werden (CEN/CLC/ETSI Joint Coordination Group Green Data Centres 2021). Neben der Hardware ist auch die effiziente Nutzung bzw. Gestaltung der Software ein wichtiger Faktor um Energieverbräuche und damit verbundene Emissionen zu reduzieren (Calero/Piattini 2015). Unter dem Stichwörtern "Green Coding" bzw. "Green Software" wird diese Thematik bereits adressiert. Informationen über Standards, Werkzeuge und bewährte Verfahren für die Gestaltung nachhaltiger Software bietet beispielsweise die Green Software Foundation⁴.

Ressourceneffizienz monitoren und bewerten

Ressourceneffizienz sollte von Anwendenden wie auch von Entwicklerinnen und Entwicklern bei der Entwicklung von Modellarchitekturen und dem Training ebendieser als essenzielles Ziel definiert werden. Um dieses Ziel erreichen und monitoren zu können, ist die Implementierung von standardisierten Werkzeugen zur Messung des Energieverbrauchs und CO₂-Fußabdrucks während des Entwicklungsprozesses von KI notwendig. Bereits heute sind erste Werkzeuge zur Messung von CO₂-Emissionen nutzbar, wie CodeCarbon.io⁵, ML CO₂ Impact-Rechner⁶ oder das Microsoft Emission Impact Dashboard⁷ (Rohde et al. 2021). Auch wenn sich noch keine standardisierte Metrik zum Vergleich zwischen verschiedenen KI-Modellen durchgesetzt hat, helfen diese ersten Werkzeuge, die häufig von einer Open Source Community entworfen wurden, den CO₂-Fußabdruck von KI während der Entwicklungsphase grob abzuschätzen.

Wiederverwendung von KI-Modellen

Die Wiederverwendung von bereits vortrainierten KI-Modellen bietet eine noch wenig genutzte Möglichkeit, den Energie- und den Ressourceneinsatz für die Modellentwicklung gering zu halten. Im KI-Kontext ist die Wiederverwendung oder das „Recycling“ von KI-Modellen über das sogenannte „Transfer Learning“ realisierbar (Wolfangel 2019). Hierbei handelt es sich um eine Deep-Learning-Methode, bei der vortrainierte neuronale Netze zur Lösung neuer Problemstellungen angepasst und genutzt werden. Das Modelltraining fängt also nicht bei null an, sondern baut auf einen gewissen, bereits früher erzielten, Lernfortschritt auf. Dabei kann der neue Anwendungsfall von dem ursprünglichen Zweck, wenn auch nur bis zu einem gewissen Grad, abweichen. Neben ökologischen, sprechen auch ganz pragmatisch-wirtschaftliche Aspekte für den Einsatz von Transfer Learning: Die Trainingszeit von vortrainierten Modellen ist in der Regel kürzer und die Trainingsdatensätze können gewisse „Lücken“ aufweisen. Ob und inwieweit vortrainierte Modelle via Transfer Learning für neue Anwendungsfälle genutzt werden können, ist bislang jedoch schwer prognostizierbar.

4 <https://greensoftware.foundation/>

5 <https://codecarbon.io/>

6 <https://mlco2.github.io/impact/>

7 <https://www.microsoft.com/en-us/sustainability/emissions-impact-dashboard>

5 FAZIT

5 FAZIT

In der vorliegenden Studie werden zwölf Use Cases für den Einsatz Künstlicher Intelligenz vorgestellt, wobei ein besonderer Fokus auf möglichen Beiträgen zum Erreichen von Nachhaltigkeitszielen sowie auf Implementierungsanforderungen innerhalb der jeweiligen Szenarios gelegt wurde (Kapitel 2 und 3). Außerdem werden ausgewählte Stellschrauben für eine nachhaltige Gestaltung von KI-Anwendungen skizziert (Kapitel 4).

KI hat ein hohes Potenzial zur Etablierung in den beleuchteten Einsatzgebieten

Die übergreifende Auswertung der Use Cases zeigt, dass aus Sicht von anwendenden Unternehmen die Investitions- sowie Betriebskosten für KI-basierte Produkte und Dienste handhabbar und wirtschaftlich rentabel sind. Die meisten Unternehmen rechnen mit einem zeitnahem Return on Investment.

Der Reifegrad ist in einem großen Teil der Anwendungsfälle weit vorangeschritten. Die betrachteten KI-Anwendungen sollen in den kommenden Jahren zur Marktreife geführt werden. Die technischen Implementierungsvoraussetzungen sind bei anwendenden Unternehmen meist bereits vorhanden oder können durch geringfügige Anpassungen in bestehenden Wertschöpfungsketten eingerichtet werden. Zudem werden Herausforderungen, wie die Verfügbarkeit von Fachkräften mit Data-Science-Kompetenz oder KI-Expertise von Entwicklerinnen und Entwicklern mitgedacht. Aufseiten der Anwendenden werden in fast allen Fällen keine entsprechenden Kompetenzen für den betrieblichen Einsatz von KI-Anwendungen gefordert.

Nachhaltigkeitspotenziale können durch KI in der Anwendung erschlossen werden

Es konnte gezeigt werden, dass die Use Cases in den Anwendungsdomänen ein breites Set an SDGs adressieren. Hierzu gehören die SDGs: 2 Kein Hunger, 3 Gesundheit und Wohlergehen, 7 Bezahlbare und Saubere Energie, 8 Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum, 9 Industrie Innovation und Infrastruktur, 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 13 Massnahmen zum Klimaschutz und 15 Leben an Land.

Die Intensität der spezifischen Nachhaltigkeitswirkungen ist jedoch sehr heterogen und basiert in der Regel auf Abschätzungen durch die interviewten Expertinnen und Experten, weil verlässliche Messdaten (noch) nicht vorliegen beziehungsweise publiziert sind. Aussagen über den spezifischen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung lassen sich dort besonders gut treffen, wo durch den Einsatz von KI Ressourcen eingespart und damit einhergehend direkte betriebswirtschaftlich relevante Effekte wie Kostensenkungen oder die Erfüllung von Compliancepflichten erzielt werden können. Dies trifft besonders auf die Anwendungsdomäne Industrie und Produktion zu.

Aufgrund sich ändernder Bedingungen auf den Finanzmärkten und im Bereich des regulatorischen Rahmens gewinnt das Thema Nachhaltigkeit zunehmend Relevanz. Bislang wurde jedoch in den wenigsten untersuchten Use Cases eine genaue, quantitative Erfassung von Messdaten vorgenommen, die zu einer indikatorenbasierten Nachhaltigkeitsbewertung entlang der SDGs dienen könnten, weder auf Seite anwendender Unternehmen noch seitens der Anbieterinnen und Anbieter. Hierfür gibt es zwei Hauptursachen: in vielen Anwendungsbereichen sind entsprechende Messungen und Bewertungen sehr aufwendig und spielen Nachhaltigkeitsbewertungen derzeit aus unternehmerischer Sicht häufig noch eine eher untergeordnete Rolle, wenn sie nicht direkt der Wirtschaftlichkeit dienen.

Nachhaltigkeit spielt bei der Gestaltung von KI-Anwendungen eine untergeordnete Rolle

Im Rahmen der Interviews mit den Expertinnen und Experten wurde zudem festgestellt, dass in nur einem Use Case spezifische Nachhaltigkeitsaspekte bei der Gestaltung der KI-Anwendungen eine wesentliche Rolle spielten. In diesem Fall wurde unter anderem explizit darauf geachtet, dass für das Training regenerative Energien eingesetzt werden. Das Ergebnis zeigt, zumindest für die Stichprobe, dass die Optimierung von KI-Anwendungen auf Nachhaltigkeit, insbesondere bezüglich des Ressourcenverbrauchs, bislang noch nicht fest im Bewusstsein von KI-Anbietenden, aber auch KI-Anwendenden verankert ist. Wesentliche Stellschrauben zur nachhaltige Gestaltung von KI-Anwendungen sind in Kapitel 4 dargestellt. Hierzu gehören unter anderem, das Bewusstsein für Nachhaltigkeit in Unternehmen zu schärfen, KI-Produkte und Dienste durch partizipatives,

inklusives Design und Erklärbarkeit fair auszulegen, Datensparsamkeit, die Nutzung ressourceneffizienter Infrastrukturen, ein Monitoring der Ressourceneffizienz sowie die Wiederverwendung von KI-Modellen.

Hohe regulatorische Anforderungen können die Markteinführung verzögern

Die Interviewergebnisse zeigen, dass die Durchdringung einzelner Branchen durch Anwendungen Künstlicher Intelligenz sehr heterogen ist. Dies ist auch auf rechtliche Anforderungen sowie Sicherheitsanforderungen in den entsprechenden Einsatzbereichen zurückzuführen. So zeigt sich im Vergleich der betrachteten Anwendungsfälle, dass in der Gesundheitswirtschaft oder der Wohnungswirtschaft die Verfügbarkeit und der Zugang zu Daten für das Training von KI-Modellen aufgrund regulatorischer Anforderungen eine große Herausforderung darstellen. Gerade in stärker regulierten Anwendungsbereichen dauert es mehrere Jahre länger, bis KI-Produkte und Dienste zur Marktreife geführt beziehungsweise entwickelt werden.

Ausblick

Für die betrachteten Use Cases gilt laut interviewten Expertinnen und Experten, dass die entwickelten KI-Anwendungen bald zur Marktreife geführt werden sollen. Das schließt auch solche KI-Lösungen ein, für die derzeit nur ein Funktionsnachweis besteht. Ebenfalls zeigte sich, dass die Implementierungsanforderungen von anwendenden Unternehmen gut bewältigt werden können.

Dies vorausgesetzt, ist in den kommenden Jahren mit einer tieferen Durchdringung der Einsatzszenarien mit KI erwartbar. In Bezug auf die Potenziale zum Erreichen von Nachhaltigkeitszielen lässt sich feststellen, dass sich mit zunehmendem Grad der Ausbreitung und einem sich ändernden regulatorischen Rahmen in naher Zukunft noch besser quantifizierbare Aussagen zur Nachhaltigkeitswirkung treffen lassen, da mehr Daten zur Bewertung im Nachhaltigkeitskontext erhoben und operationalisiert werden können. Die Frage, ob und inwieweit die möglichen Nachhaltigkeitspotenziale zukünftig in der Praxis auch erschlossen werden, ist aus heutiger Sicht nicht abschließend beantwortbar. Begleitend zur Implementierung der KI-basierten Produkte und Dienste, könnte dies ein wichtiger Forschungsgegenstand sein.

Rebound-Effekte können die Potenziale mindern

Durch sogenannte Rebound-Effekte können die in Kapitel 2 aufgezeigten Potenziale gemindert werden beziehungsweise könnte der breite Einsatz von KI sogar eine nachhaltige Entwicklung hemmen. Solche Effekte bezeichnen eine nicht zufällige Korrelation zwischen Effizienzsteigerung einerseits und wachsendem Ressourcenverbrauch andererseits. Das bedeutet: Mit Effizienzsteigerungen bei der Herstellung von Produkten oder dem Angebot von Diensten kann eine Verlagerung des Ressourceneinsatzes in einen anderen Bereich einhergehen. Werden beispielsweise durch den Einsatz von KI Energie oder Ressourcen bei der Herstellung eines Produktes eingespart und wird das Produkt infolgedessen günstiger angeboten, kann dies im Gegenzug eine Erhöhung der Nachfrage aufgrund der Preissenkungen und somit einen höheren Verbrauch nach sich ziehen. Auf einer übergeordneten Ebene entstehen Rebound-Effekte dadurch, dass Künstliche Intelligenz zwar in vielen Bereichen zu einer gesteigerten Ressourceneffizienz beiträgt, jedoch hierfür auch viel Energie für das Training und den Betrieb von KI-basierten Produkten und Diensten benötigt wird. Zudem werden für den Auf- und Ausbau der notwendigen Hardwareinfrastruktur (kritische) Ressourcen gebunden. Die empirische Schätzung von Rebound-Effekten sind von eingesetzten Methoden und einbezogenen Faktoren abhängig, weshalb eine Abgrenzung zu Wachstums- oder Strukturwandelwirkungen oft schwierig ist (Boll et al. 2022; KI-Bundesverband 2021).

LITERATUR

LITERATURVERZEICHNIS

Adesso SE (2021): Report KI - eine Bestandsaufnahme. Zum Status von KI in D-A-CH. Pläne - Prognosen - Projekte. adesso SE, <https://ki.adesso.de/ki-de/oeffentliche-downloads/ki-eine-bestandsaufnahme-2021.pdf> (18.7.2022)

Barbian, D. (2022): Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit. Informatik-aktuell.de (22.06.2022) <https://www.informatik-aktuell.de/betrieb/kuenstliche-intelligenz/ki-und-nachhaltigkeit.html> (22.08.2022)

Bender, E. M.; Gebru, T.; McMillan-Major, A.; Shmittchell, S. (2021): On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big. In: Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. FAccT, 21: 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. Virtual Event Canada, 03 03 2021 10 03 2021. In: New York, NY, United States: Association for Computing Machinery (ACM Digital Library), S. 610–623, <https://s10251.pcdn.co/pdf/2021-bender-parrots.pdf> (18.7.2022)

Bitkom Research (2022): Hat sich Ihr persönlicher Umgang mit den Themen Strom und Energieverbrauch in Ihrem Haushalt vor dem Hintergrund des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine verändert? <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1304656/umfrage/umfrage-zum-bewussterem-umgang-mit-strom-und-energie/> (24.6.2022)

Boll, S.; Dowling, M.; Faisst, W.; Mordvinova, O.; Pflaum, A.; Rabe, M.; Veith, E.; Nieße, A.; Gülpen, C.; Schnell, M.; Terzidis, O. et al. (2022): Mit Künstlicher Intelligenz zu nachhaltigen Geschäftsmodellen. Nachhaltigkeit von, durch und mit KI. 18.7.22, https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG4_WP_KI_und_Nachhaltigkeit.pdf

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): Deutsche zählen auf Künstliche Intelligenz als Hilfe beim Umweltschutz. BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), <https://www.wissenschaftsjahr.de/2019/neues-aus-der-wissenschaft/juni-2019/deutsche-zaehlen-auf-kuenstliche-intelligenz-als-hilfe-beim-umweltschutz/index.html> (27.6.2022)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Die Umweltpolitische Digitalagenda: Wie ein Problem zur Lösung wird. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Digitalisierung/digitalagenda_bf.pdf (26.7.2022)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit (2021): Fünf-Punkte-Programm „Künstliche Intelligenz für Umwelt und Klima. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Digitalisierung/factsheet_ki_bf.pdf (18.7.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Wirtschaft nachhaltig gestalten. Zweiter Ressortbericht Nachhaltigkeit des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bmwi-Ressortbericht-Nachhaltigkeit%202020.pdf?__blob=publicationFile&v=18 (18.7.2022)

Bundesregierung (2017): Gesetz zur Stärkung der nichtfinanziellen Berichterstattung der Unternehmen in ihren Lage- und Konzernlageberichten (CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz), https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBl_CSR-RiLi_Umsetzungsg.pdf;jsessionid=0EBD862BD47F9AE1E-468D8906378A745.1_cid289?__blob=publicationFile&v=3 (18.7.2022)

Bundesregierung (2020a): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung - Fortschreibung 2020. Bundesregierung, https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html?file=files/downloads/201201_Fortschreibung_KI-Strategie.pdf&cid=947 (18.7.2022)

Bundesregierung (2020b): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1> (18.7.2022)

Bundestag (2021): Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz). LkSG, https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jump-To=bgbl121s2959.pdf#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s2959.pdf%27%5D__1658146920757 (18.7.2022)

Calero, C.; Piattini, M. (Hg.) (2015): Green in Software Engineering.

CEN/CLC/ETSI Joint Coordination Group Green Data Centres (2021): Standardisation landscape for the energy management and environmental viability of data centres. https://www.cenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN%20sectors/Digital%20Society/Green%20Data%20Centres/standardization-landscapegcd_edition8_2021.pdf (22.7.2022)

Creswell, A.; White, T.; Dumoulin, V.; Arulkumaran, K.; Sengupta, B.; Bharath, A. A. (2017): Generative Adversarial Networks: An Overview. In: IEEE Signal Process. Mag. (IEEE Signal Processing Magazine). Nr. 1, <http://arxiv.org/pdf/1710.07035v1> (18.7.2022)

Digisphäre (2019): Digisphäre-Whitepaper - So denken Bürger in Deutschland und Kommunikatoren europaweit über KI. <https://digisphaere.de/wp-content/uploads/2019/10/KI-Whitepaper.pdf> (18.7.2022)

EHI Retail Institute (2021): Keine Wegwerfmentalität im Handel - EHI Retail Institute. 29.4.22, <https://www.ehi.org/news/keine-wegwerfmentalitaet-im-handel/> (18.7.2022)

Europäische Kommission (2021): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinien 2013/34/EU, 2004/109/EG und 2006/43/EG und der Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinien 2013/34/EU, 2004/109/EG und 2006/43/EG und der Verordnung (EU) Nr. 537/2014 hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen Verordnung (EU) Nr. 537/2014 hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen. CSRD, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0189&from=DE> (26.7.2022)

Europäische Kommission (2022): Energy Efficiency Directive (EED). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399375464230&uri=CELEX:32012L0027> (18.7.2022)

Europäische Kommission (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Der europäische Grüne Deal. Brüssel, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (18.7.2022)

Forsa (2012) Verbraucherumfrage zum Thema Energetische Gebäudesanierung und Handwerkerleistungen. <https://cupdf.com/document/verbraucherumfrage-zum-thema-aenergetische-a-media-a-west-ost-mnner.html?page=1>

Friedrich, R.; Ploner, F.; Schäfer, T. C.; Disselhoff, T.; Petkau, A.; Hennemann, C.; Wätzig, T.; Zimmert, O.; Waltersmann, L.; Kiemel, S.; Miehe, R.; Sauer, A. (2021): Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz. VDI - Zentrum Ressourceneffizienz, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/VDI-ZRE_Studie_KI-betriebliche-Ressourceneffizienz_Web_bf.pdf (4.5.2022)

Ghorbani, A.; Zou, J. Y. (2020): What is your data worth? Equitable Valuation of Data. https://qdata.github.io/deep2Read//deep2reproduce/2020trust/Sanchit-What_is_your_data_worth_Equitable_Valuation_of_Data.pdf

Grunwald, A. (2016): Nachhaltigkeit verstehen. Arbeiten an der Bedeutung nachhaltiger Entwicklung.

Haberstock, P. (2019): ESG-Kriterien. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/esg-kriterien-120056/version-369280> (27.6.2022)

Herweijer, C.; Combes, B.; Gillham, J. (2019): How AI can enable a Sustainable Future. <https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf> (2.5.2022)

Hesse, T.; Bleher, D.; Braungardt, S.; Sutter, J.; Winger, C.; Köhler, B.; Saad, N.; Lang, L. J.; Fuchs, N.; Thomsen, J. (2021): Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien in effizienten Gebäuden und Quartieren. Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_27-2022_nachhaltige_nutzung_erneuerbarer_energien_in_effizienten_gebaeuden_und_quartieren.pdf (26.7.2022)

- Holstiege, J.; Manas K. Akmatov; Steffen, A.; Bätzing, J. (2018): Prävalenz der Herzinsuffizienz – bundesweite Trends, regionale Variationen und häufige Komorbiditäten. Zentralinstitut kassenärztliche Versorgung in Deutschland Nr. 18/09 (24.6.2022)
- IHK Frankfurt am Main: CSR-Berichtspflicht. <https://www.frankfurt-main.ihk.de/hauptnavigation/wirtschaftspolitik/csr-und-nachhaltigkeit/csr-berichtspflicht-5284482> (30.6.2022)
- Jetzke, T.; Richter, S.; Ferdinand, J.-P.; Schaat, S. (2019): Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinner der Nachhaltigkeit. Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-04_texte_56-2019_uba_ki_fin.pdf (27.6.2022)
- Kassenärztliche Bundesvereinigung KBV (2022): Telemonitoring für Patienten mit Herzinsuffizienz startet. https://www.kbv.de/html/1150_56619.php (17.6.2022)
- Kettemann, M.; Jaud, P.; Riedl, L.-M.; Fertmann, M.; Hofmann, V.; Mosene, K.; Schmees, J. (2022): UNESCO-Empfehlung zur Ethik Künstlicher Intelligenz - Bedingungen zur Implementierung in Deutschland. (24.6.2022)
- Koehler, F.; Koehler, K.; Deckwart, O.; Prescher, S.; Wegscheider, K.; Kirwan, B.-A.; Winkler, S.; Vettorazzi, E.; Bruch, L.; Oeff, M.; Zugck, C. et al. (2018): Efficacy of telemedical interventional management in patients with heart failure (TIM-HF2): a randomised, controlled, parallel-group, unmasked trial. In: *The Lancet* 392(10152), S. 1047–1057
- Kraus et al. (2021): Erklärbare KI. Anforderungen, Anwendungsfälle und Lösungen. Begleitforschung KI-Innovationswettbewerb, Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-Inno/2021/Studie_Erklaerbare_KI.pdf?__blob=publicationFile (10.5.2021)
- Müller, A.; Neuzner, J.; Oeff, M.; Pfeiffer, D.; Sack, S.; Schwab, J. O.; Zugck, C. (2009): VDE/DGK-Thesepapier TeleMonitoring-Systeme in der Kardiologie. Mikrosysteme in der Medizin; Erfordernisse, Realisierungen, Perspektiven. Frankfurt a.M.
- Patterson, D.; Gonzalez, J.; Le Quoc; Liang, C.; Munguia, L.-M.; Rothchild, D.; So, D.; Texier, M.; Dean, J. (2021): Carbon Emissions and Large Neural Network Training. <https://arxiv.org/pdf/2104.10350>
- Renn, O.; Beier, G.; Schweizer, P.-J. (2020): Thesepapier - Systemische Chancen und Risiken der Digitalisierung. <https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/2020-12/Thesepapier%20Digitaler%20Summit.pdf> (30.6.2020)
- Reuter, M. (2021): Neuer technischer Standard soll intelligente und autonome Systeme ethischer machen. (24.6.2022), <https://netzpolitik.org/2021/ieee-7000-neuer-technischer-standard-soll-intelligente-und-autonome-systeme-ethischer-machen/> (17.08.2022)
- REWE Group AG (2020): REWE Group Nachhaltigkeitsbericht. <https://rewe-group-nachhaltigkeitsbericht.de/2020/en/gri-report/ece/gri-306-waste.html> (17.6.2022)
- Rohde, F.; Wagner, J.; Reinhard, P.; Petschow, U.; Meyer, A.; Voß, M.; Mollen, A. (2021): Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz. Entwicklung eines Kriterien- und Indikatorensets für die Nachhaltigkeitsbewertung von KI-Systemen entlang des Lebenszyklus. Berlin
- Satyam, S.; Nikam, H.; Sahay, S. (2021): Energy-Efficient Implementation of Generative Adversarial Networks on Passive RRAM Crossbar Arrays. <https://arxiv.org/pdf/2111.14484>
- Schmidt, T. G.; Schneider, F.; Leverenz, D.; Hafner, G. (2019): Lebensmittelabfälle in Deutschland - Baseline 2015. Thünen-Report 71, Braunschweig
- Seifert, I.; Bürger, M.; Wangler, L.; Christmann-Budian, S.; Rohde, M.; Gabriel, P.; Zinke, G. (2018): Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland. BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie), Berlin, https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/PAiCE_KI_Studie.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (4.9.18)
- Spethmann, S.; Köhler, F. (2022): Telemedizin bei chronischer Herzinsuffizienz – von klinischen Studien zur Regelversorgung. In: *Der Internist* 63(3), S. 266–273

- Spinaci, S. (2022): Corporate Sustainability Reporting Directive. Europäisches Parlament, <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/review-of-the-non-financial-reporting-directive/report?sid=5901> (18.7.2022)
- Statista (2022a): Dossier- ESG investing. <https://www.statista.com/download/MTY1NTk3OTYyNyMjMzY1MTE0lyM4NTYzNCMjMjMjcGRmlyNTdHVkeQ==> (27.6.2022)
- Statista (2022b): Dossier- Heizungsmarkt in Deutschland. Effizienzstruktur im Heizungsbestand in Deutschland in den Jahren 2019 und 2020. <https://de.statista.com/download/MTY1NTcxODIwOSMjMzY1MTE0lyMyNTUyOCMjMjMjcGRmlyNTdHVkeQ> (18.7.2022)
- Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. 8.6.22, <https://sdg-indikatoren.de/> (26.7.2022)
- Strubell, E.; Ganesh, A.; McCallum, A. (2019): Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. <https://arxiv.org/pdf/1906.02243>
- Tagesschau (2022): Wohnungsverband will Mindesttemperatur senken - Heizen bei Gasmangel. <https://www.tagesschau.de/inland/gasmangel-mindesttemperaturwohnungen-101.html> (24.6.2022)
- The European Chemical Industry Council (2022): The European Chemical industry Facts and Figures 2022. <https://cefic.org/library-item/powerpoint-2021-cefic-facts-and-figures>
- Thieullent, A.-L.; Montalivet, V. de; Robey, J.; Trier, K.; Andriillon, F.; Perrin, J.-B.; Boreel, M.; Vié, P.; van Beaumont, K.; Jones, S.; Rietra, M. et al. (2020): Climate AI - How artificial intelligence can power your climate action strategy. Capgemini, https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2020/11/Report_Climate_AI_Capgemini_Research_Institute.pdf (18.7.2022)
- United Nations General Assembly (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Nr. A/RES/70/1 (27.6.2022)
- Van Whynsberghe, A. (2021): Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. In: AI Ethics 1(3), S. 213–218
- Verband der Chemischen Industrie e.V.(2022): Energiestatistik 2022. <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/energiestatistik-2022.pdf>
- Vinuesa, R.; Azizpour, H.; Leite, I.; Balaam, M.; Dignum, V.; Domisch, S.; Felländer, A.; Langhans, S. D.; Tegmark, M.; Fuso Nerini, F. (2020): The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. In: Nature communications 11(1), S. 233
- WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (2019): Hauptgutachten - Unsere gemeinsame digitale Zukunft. https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/wbgu_hg2019.pdf (30.6.2022)
- Willenbacher, M.; Wohlgemuth, V. (2017): Einsatzmöglichkeiten von Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Optimierung von Stoff- und Energieströmen und prototypische Umsetzung auf der Basis von Stoffstromnetzen. In: Arndt, H.-K.; Marx Gómez, J.; Wohlgemuth, V.; Lehmann, S.; Pleshkanovska, R. (Hg.): Nachhaltige Betriebliche Umweltinformationssysteme. Konferenzband Zu Den 9. BUIS-Tagen. Wiesbaden, S. 97–108
- Wolfangel, E. (2019): KI mit Zauberei. (24.6.2022)
- Wu, C.-J. ,et al. (2022): Sustainable AI: Environmental Implications, Challenges and Opportunities. (24.6.2022)
- Zielinski, O (2021): Grüne Künstliche Intelligenz. <https://www.dfki.de/web/news/gruene-kuenstliche-intelligenz> (26.7.2022)

ANHANG

ANHANG

Unternehmen müssen unabhängig von ihrem Wirtschaftszweig die regulatorischen Anforderungen im Umweltrecht beachten. Die wichtigsten Gesetze und die daraus resultierenden Compliance-Pflichten werden nachfolgend auszugsweise dargestellt.

- Das **Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG)** wurde am 11. Juni 2021 beschlossen und tritt am 01.01.2023 in Kraft. Das Gesetz soll zur Verbesserung der internationalen Menschenrechtslage beitragen, indem es Anforderungen an ein verantwortliches Management von Lieferketten festlegt. Es gilt für Unternehmen mit mindestens 3.000 Arbeitnehmer*innen. Ab dem Jahr 2024 wird dieser Schwellenwert auf 1000 abgesenkt. Digitale Technologien wie Blockchain oder Künstliche Intelligenz können dazu beitragen, die im LkSG vorgesehenen Sorgfaltspflichten umzusetzen und zu dokumentieren.
 - Das **Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)** soll Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen. Es gilt insbesondere für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen, wie Betriebsstätten, Maschinen, technischen Einrichtungen oder Fahrzeugen, die Emissionen verursachen. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz kann dazu beitragen, derartige Anlagen zu optimieren und den Ausstoß von schädlichen Umwelteinwirkungen zu vermindern. Umgekehrt können Anlagen, welche auf KI-Anwendungen beruhen und die emissionsrechtlichen Vorgaben nicht erfüllen, auf Anordnung der Behörden stillgelegt werden.
 - Die **REACH-Verordnung** dient dem Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor den Risiken, die durch Chemikalien entstehen können und soll zugleich die Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie der EU verbessern. Die Verordnung gilt für alle chemischen Stoffe, d. h. nicht nur für die in industriellen Prozessen verwendeten, sondern auch für die im täglichen Leben vorkommenden, zum Beispiel in Reinigungsmitteln, Farben/Lacken sowie in Produkten wie Kleidung, Möbel und Elektrogeräte. Unternehmen der chemischen Industrie müssen die Risiken, die mit den von ihnen in der EU hergestellten und in Verkehr gebrachten Stoffen verbunden sind, identifizieren und beherrschen. Technologien wie Blockchain können dazu beitragen,
- die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen sicherzustellen, entlang der Lieferkette sicherzustellen und zu dokumentieren.
- Das **Chemikaliengesetz (ChemG)** hat zum Ziel, den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Gemische zu schützen, insbesondere sie erkennbar zu machen, sie abzuwenden und ihrem Entstehen vorzubeugen. Es enthält Durchführungsvorschriften zu verschiedenen EU-Verordnungen und regelt Herstellerpflichten im Hinblick auf die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien.
 - Das **Bundesklimaschutzgesetz (KSG)** ist in seiner aktuellen Fassung am 31.08.2021 in Kraft getreten. Es regelt die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele, sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben durch Politik und Wirtschaft. Die Fortschreibung der KI-Strategie der Bundesrepublik Deutschland sieht vor, dass besonders die Entwicklung von KI-Anwendungen, deren Einsatz zum Klimaschutz beitragen kann, vorangetrieben wird.
 - Das **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**, zuletzt geändert am 28.05.2022) regelt die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz und garantiert deren Erzeuger:innen feste Einspeisevergütungen.
 - Das **Umweltschadengesetz (USchadG)** regelt die Vermeidung und Sanierung von unfallbedingten Umweltschäden für Biodiversität, Gewässer oder Böden.
 - Das **Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)** schafft die Grundlagen für den Handel mit Zertifikaten für Emissionen aus Brennstoffen und sorgt für eine Bepreisung dieser Emissionen, soweit sie nicht vom EU-Emissionshandel erfasst sind.
 - Zweck des **Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes (TEHG)** ist es, für Tätigkeiten, durch die in besonderem Maße Treibhausgase emittiert werden, die Grundlagen für den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen in einem gemeinschaftsweiten Emissionshandelssystem zu schaffen, um damit durch eine kosteneffiziente Verringerung von Treibhausgasen zum weltweiten Klimaschutz beizutragen. Es ist die Grundlage für den Berechtigungshandel zur Emission von Treibhausgasen. Es

betrifft das EU-weite Emissionshandelssystem und zielt darauf ab, Treibhausgasemissionen kostengünstig zu mindern.

- Das **Verpackungsgesetz (VerpackG)** gilt in seiner aktuellen Fassung seit dem 01.01.2022. Es adressiert alle Hersteller, Online-Händler sowie Unternehmen, die wiederverwendbare Verpackungen in Umlauf bringen. Es enthält Anforderungen an Produktverantwortung und hat das Ziel, das Verhalten der Verpflichteten so zu regeln, dass Verpackungsabfälle vorrangig vermieden werden und einer Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zugeführt werden.
- Das **CSR-Richtlinien-Umsetzungsgesetz (CSR-RUG)** trat in seiner aktuellsten Fassung am 10.08.2021 in Kraft und betrifft kapitalmarktorientierte Unternehmen, Finanzinstitute und Versicherungen mit mehr als 500 Mitarbeiter:innen. Es fordert im Rahmen einer Ausweitung der Berichtspflicht die Offenlegung von Angaben zu nichtfinanziellen Aspekten. Die Mindestanforderungen betreffen Umwelt-, Arbeitnehmer- und Sozialbelange, Angaben zur Achtung der Menschenrechte und zur Bekämpfung von Korruption sowie Bestechung (§289b ff HGB).
- Ziel des **Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG)** ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen, insbesondere im Bereich der Bau- und Landwirtschaft.
- Das **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** regelt die Ordnung des Wasserhaushalts und somit den Schutz des Grundwassers, das Einleiten von Abwässern in Gewässer sowie die Überwachung industrieller Abwasserbehandlungsanlagen.
- Das **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)** richtet sich an Unternehmen und Kommunen und dient der Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen.
- Das **Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)** adressiert Wirtschaft und Kommunen in Bezug auf das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten.
- Das **Batteriegesetz (BattG)** adressiert insbesondere Unternehmen und Kommunen. Es regelt das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren.
- Das **Gebäudeenergiegesetz (GEG)** legt Anforderungen an beheizte oder klimatisierte Gebäude fest. Insbesondere regelt es Aspekte, die bei Erneuerungen oder Modernisierungen zu beachten sind. Es stellt Vorgaben zu Dämmung, Heizungs- und Klimatechnik sowie Hitzeschutz auf. Ebenso umfasst es Nachrüst- und Austauschpflichten für Bestandsbauten und energetische Vorgaben für Neubauten.
- Das **Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)** regelt die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.
- Das **Düngegesetz (DüG)** adressiert die Industrie sowie die Landwirtschaft und regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln und das Düngen.

Für Unternehmen sind auf europäischer Ebene besonders zwei rechtliche Entwicklungen wichtig:

- Die Taxonomieverordnung der Europäischen Kommission ist in ersten Teilen am 01.01.2022 in Kraft getreten. Sie wurde im Rahmen des European Green Deal verabschiedet, einer Wachstumsstrategie, durch welche die EU sich „in eine faire und wohlhabende Gesellschaft mit einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft umwandeln soll.“ (Europäische Kommission 2021) Die Taxonomieverordnung ist ein Klassifizierungsinstrument für Unternehmensaktivitäten entlang von sechs Umweltzielen und soll nachhaltiges inklusives Wachstum fördern, indem sie nachhaltige Investitionen begünstigen. Dabei adressiert sie sämtliche Unternehmen sowie Akteure des Finanzmarkts und Versicherungen. Sie legt Standards für ökologisches Wirtschaften fest. Anhand der Taxonomie lassen sich Aktivitäten von Unternehmen einordnen. Der Fokus liegt darauf, ob diese Unternehmen einen Beitrag zur ökologisch nachhaltigen Entwicklung in der EU leisten oder nicht.
- Die **Corporate Sustainability Report Directive (CSRD)** befindet sich derzeit noch im Trilog-Ver-

fahren. Wenn sie in Kraft tritt, wird sie die bis jetzt geltende Non Financial Report Directive ablösen. Sie erweitert bestehende Regeln zur nicht-finanziellen Berichterstattung. Nach der Richtlinie müssen alle am EU-regulierten Markt notierten Unternehmen einen Nachhaltigkeitsbericht vorlegen. Durch die CSRD wird Zahl der von der Berichtserstattungspflicht betroffenen Unternehmen perspektivisch weiter steigen. Es werden sämtliche am Kapitalmarkt orientierte Betriebe in der EU betroffen.

Die Berichte müssen die Unternehmensaktivitäten zu Umweltschutz, soziale Verantwortung und Umgang mit Mitarbeiter:innen, Anti-Korruption und Bestechung sowie Diversität in Unternehmensvorständen beleuchten.

