

David Koch | Joachim Lentes | Frauke Schuseil | Lara Waltersmann

Nachhaltigkeit durch KI

Potenziale und Handlungsleitfaden für produzierende Unternehmen

Hrsg.: Thomas Bauernhansl, Marco Huber, Werner Kraus,
Wilhelm Bauer, Matthias Peissner, Thomas Renner

Im Rahmen des

Vorwort



Künstliche Intelligenz (KI) ist eine der zentralen Technologien für die Zukunft. Ihre Einführung und der Einsatz fordern Unternehmen im besonderen Maß heraus. Es gilt, das Potenzial zu erkennen und dieses wirtschaftlich nutzbar zu machen. Lassen Sie sich dabei durch Europas größte Forschungskoope- ration auf dem Gebiet der KI, Cyber Valley, begleiten.

Mit dem KI-Fortschrittszentrum von Fraunhofer IAO und Fraunhofer IPA unterstützen wir Unternehmen, das Potenzial von KI nutzbringend einzusetzen. An der Schnittstelle zwischen anwendungsorientierter Wirtschaft und exzellenter Forschung des Cyber-Valley-Konsortiums entwickeln wir, als Teil des S-TEC, dem Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus, innovative KI-Anwendungen für die Praxis und treiben damit die Kommerzialisierung von KI voran. Erklärtes Ziel ist es, menschenzentrierte KI-Lösungen zu entwickeln. Denn nur wenn Menschen mit einer neuen Technologie intuitiv interagieren und vertrauensvoll zusammenarbeiten, kann ihr Potenzial optimal ausgeschöpft werden.

Die Studienreihe »Lernende Systeme« des KI-Fortschrittszen- trums gibt Einblick in die Potenziale und die praktischen Ein- satzmöglichkeiten von KI. Dabei werden auch übergreifende Themen wie Zuverlässigkeit, Erklärbarkeit, cloudbasierte Platt- formen, Technologien und Einführungsstrategien diskutiert. Zudem werden einzelne Anwendungsbereiche in der Wissens- arbeit, Bauwirtschaft, Produktion und dem Kundenservice im Detail beleuchtet.

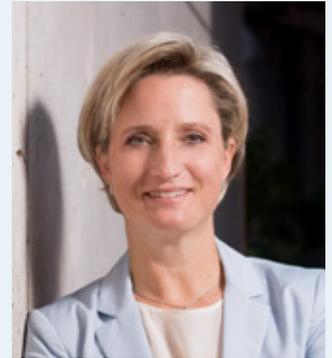
Die vorliegende Studie untersucht Anwendungsfälle von KI zur Optimierung der Nachhaltigkeit von produzierenden Unter- nehmen. Dazu wurden Beispiele aus einer umfangreichen Lite- raturrecherche und Interviews mit Expertinnen und Experten aus Industrie und Forschung ausgewertet. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen Potenziale auf, die insbesondere pro- duzierende Unternehmen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit mithilfe von KI-Methoden heben können. Im Mittelpunkt der Studie steht ein konkreter Handlungsleitfaden, der Unter- nehmen bei der erfolgreichen Einführung von KI unterstützt.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre, und freuen uns, wenn wir in Zukunft auch Sie mit unserer Expertise auf Ihrem Weg zur Nachhaltigkeit mittels KI unterstützen dürfen.

Thomas Bauernhansl, Marco Huber, Werner Kraus
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung IPA

Wilhelm Bauer, Matthias Peissner, Thomas Renner
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Geleitwort von Ministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Klimaschutz, Nachhaltigkeit und die digitale Transformation sind zentrale Aufgaben unserer Zeit. Die Digitalisierung schafft gerade für verarbeitende Unternehmen neue Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zum Klimaschutz. Es ist eine große Chance für die Industrie, die Produktion mit Hilfe digital unterstützter und automatisierter Prozesse und Systeme auf die Zukunft hin auszurichten und klimaneutral zu gestalten.

KI-Technologien spielen hierbei eine Schlüsselrolle. Ihr Einsatz verspricht neben einer besseren Ressourcen-, Material- und Energieeffizienz beispielsweise auch die Vermeidung von Abfällen und die Verringerung von Treibhausgasen. Die Studie des KI-Fortschrittszentrums vermittelt einen eindrucksvollen Überblick über die vielfältigen Anwendungsfelder, in denen KI einen konkreten Beitrag zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen leisten kann.

Das Effizienzversprechen der KI löst sich natürlich nicht von selbst ein, sondern erfordert technologisches und organisatorisches Know-how. Deshalb unterstützt das Land Baden-Württemberg insbesondere kleine und mittlere Unternehmen dabei, die Potenziale dieser Schlüsseltechnologie zu nutzen und so ihre Wettbewerbsfähigkeit, Innovationskraft und Nachhaltigkeit zu sichern und zu stärken.

Das KI-Fortschrittszentrum bietet Ihnen hierfür nicht nur exzellente Expertise, sondern auch tatkräftige Hilfe bei der Entwicklung und Umsetzung von KI-Innovationsprojekten an. Nutzen Sie diese Angebote, um Ihr Unternehmen mit Hilfe von KI in Sachen Nachhaltigkeit voranzubringen. Ich hoffe, die Studie liefert Ihnen hierzu die passende Inspiration und konkrete Ideen.

A handwritten signature in black ink that reads "Nicole Hoffmeister-Kraut".

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut MdB
Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes
Baden-Württemberg

Grußwort des KI Bundesverbandes



Liebe Leserinnen, liebe Leser, liebe KI-Interessierte,

Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind die großen globalen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Im Umfeld von produzierenden Unternehmen sind insbesondere die Aspekte Ressourceneffizienz, Energieverbrauch und Emissionen betroffen. Die zunehmende Verfügbarkeit großer Datenmengen auch in kleineren Unternehmen bietet gute Voraussetzungen zur Identifikation von Optimierungspotenzialen und Umsetzung entsprechender Maßnahmen.

Der KI Bundesverband vernetzt innovative KI-Unternehmen mit der etablierten Wirtschaft und ist mit mehr als 400 KI-Unternehmen das größte KI-Netzwerk Deutschlands. Wir setzen uns für die Anwendung von KI in Europa ein und wollen uns aus der internationalen Abhängigkeit im Bereich der Daten und Technologie lösen, um eine digitale Selbstbestimmtheit und Souveränität zu erreichen, den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken und »KI Made in Germany« zu einer Marke zu machen, die international für Qualität, Innovationskraft und Erfindertum steht.

Daher freuen wir uns sehr, dass das KI-Fortschrittszentrum der Fraunhofer Institute IAO und IPA produzierende Unternehmen mit dieser Studie dabei unterstützt, Künstliche Intelligenz zur Verbesserung ihrer Nachhaltigkeit einzusetzen. Die Recherche zeigt eindrucksvolle Anwendungsbeispiele auf und der Handlungsleitfaden bietet konkrete Unterstützung bei der Einführung von KI-Technologien im Unternehmen.

Wir wünschen Ihnen interessante Erkenntnisse bei der Lektüre!

Herzliche Grüße

Dr. Vanessa Just
Vorstandsmitglied KI Bundesverband



Inhalt

1. Management Summary	6
2. Einleitung	7
2.1. Ausgangslage	7
2.2. Vorgehen	8
3. Grundlagen zu Nachhaltigkeit und Künstlicher Intelligenz	10
3.1. Nachhaltigkeit	10
3.2. Künstliche Intelligenz	12
3.3. Verbindung von Nachhaltigkeit und Künstlicher Intelligenz	13
4. Anwendungsfälle zur Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Künstliche Intelligenz	15
4.1. Grundsätzliche Überlegungen und Überblick	15
4.2. Anwendungsfälle und Potenziale	17
5. Handlungsleitfaden für Unternehmen	27
5.1. Erarbeitung und Einführung einer Nachhaltigkeitsstrategie	28
5.2. Ableitung von Nachhaltigkeitszielen	29
5.3. Nachhaltigkeitsanalyse und technische Problembeschreibung	30
5.4. Zweckmäßigkeit des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz	31
5.5. Prüfung der Voraussetzungen	34
5.6. Projektierung und Technologieauswahl	36
5.7. Projektdurchführung mithilfe CRISP-DM	37
5.8. Best Practices	38
6. Zusammenfassung und Ausblick	42
7. Literaturverzeichnis	44
Anhang A – Auszug aus dem Fragenkatalog der Interviews	50
Anhang B – Handlungsleitfaden für Unternehmen – Kurzfassung	51
KI-Fortschrittszentrum	54
Impressum	55

1. Management Summary

Künstliche Intelligenz (KI) ist längst in der industriellen Produktion angekommen. Die Optimierung von Fertigungsprozessen durch den Einsatz von KI ist nahezu Standard in Unternehmen. Nicht nur aufgrund der breiten öffentlichen Wahrnehmung von Themen wie Klimawandel und Ressourceneffizienz rücken heute Nachhaltigkeitsthemen bei produzierenden Unternehmen immer mehr in den Fokus. Auch im Bereich der Nachhaltigkeit bietet der KI-Einsatz Potenziale, die derzeit aber noch ungenutzt bleiben. Dabei bietet sich deren Anwendung entlang der gesamten Wertschöpfungskette und in Bezug auf alle Aspekte der Nachhaltigkeit an und kann zu deutlichen Effekten führen, wie in der vorliegenden Studie gezeigt wird.

Vielen Unternehmen ist nicht bewusst, welche Möglichkeiten sich ihnen mithilfe von KI bieten, um die eigenen Nachhaltigkeitsbeiträge zu steigern. Indem sie ihre verfügbaren Daten mit KI-Methoden auswerten, können sie ökologische Vorteile, verbunden mit einer gleichzeitigen Verbesserung der Profitabilität, realisieren. Um die Führungsrolle deutscher produzierender Unternehmen im weltweiten Wettbewerb zu erhalten, werden sie den Einsatz dieser modernen Technologien aktiv forcieren und vorantreiben müssen.

Diese Studie richtet sich daher an betriebliche Praktikerinnen und Praktiker, die KI-Anwendungen für Nachhaltigkeitsverbesserungen in ihrem Unternehmen identifizieren und umsetzen wollen. Der Fokus dieser Studie liegt dabei auf ökologischen Nachhaltigkeitsverbesserungen. Im ersten Teil der Studie werden Beispiele für den erfolgreichen Einsatz von KI zur Steigerung der Nachhaltigkeit in allen Phasen der innerbetrieblichen Wertschöpfung aufgezeigt. Zugleich geben Expertinnen und Experten wertvolle Hinweise zu den Potenzialen und Grenzen des Einsatzes von KI. Im Mittelpunkt der Studie steht ein aus den gewonnenen Erkenntnissen entwickelter Handlungsleitfaden mit Best Practices, der Unternehmen konkret dabei unterstützt, KI-Methoden erfolgreich zur Verbesserung der Nachhaltigkeit zu nutzen und dabei alle Stakeholder, insbesondere die Belegschaft, einzubinden.

2. Einleitung

Künstliche Intelligenz (KI) wird heute in produzierenden Unternehmen vorrangig mit einer wirtschaftlichen Zielsetzung wie der Optimierung von Fertigungsprozessen eingesetzt. Bei der Unternehmensführung rückt die ökologische Nachhaltigkeit, auch wegen Energiekosten und Klimawandel, immer mehr in den Fokus. Richtig eingesetzt, kann KI einen ökologischen Mehrwert bieten. Im Folgenden wird zunächst auf die Ausgangslage inklusive der Problemstellung und des Ziels der Studie eingegangen. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird die Methodik dieser Studie erläutert.

2.1. Ausgangslage

Nachhaltigkeit spielt bei der Unternehmensführung eine immer größere Rolle. So muss die Industrie in Deutschland beispielsweise ihre Treibhausgase von 2020 bis 2030 um 37 Prozent senken, um die Ziele des Klimaschutzgesetzes zu erreichen (Umweltbundesamt 2022). Neben dem Gesetzgeber fordern auch immer mehr Kundinnen und Kunden sowie Investoren eine Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten und konkrete Nachhaltigkeitsziele von Unternehmen. So geraten neue Technologien in den Blick, die Nachhaltigkeitsverbesserungen versprechen. Hierbei kommt auch KI mit den sich neu eröffnenden Möglichkeiten ins Spiel. Es ergeben sich also konkrete Fragen: Wie können die Nachhaltigkeitsziele von Unternehmen mit KI effektiv unterstützt werden? Und wie können Unternehmen diese Potenziale identifizieren und heben?

Im Hinblick auf die Verbesserung von Nachhaltigkeitsaspekten ist die Auswahl der richtigen Werkzeuge entscheidend. Dabei sind die intelligente Verknüpfung und Auswertung von bestehenden Unternehmensdaten von besonderer Bedeutung. Neben unternehmensinternen Daten werden auch Nachhaltigkeitsdaten aus der Lieferkette und der Energieversorgung sowie dem Lebenszyklus der Produkte bis hin zum Recycling immer wichtiger. Sowohl Umfang als auch Komplexität stellen Unternehmen vor immer größere Herausforderungen. KI kann Unternehmen gerade bei der Beherrschung der komplexen Datenlage unterstützen. Dazu stehen verschiedene KI-Technologien zur Verfügung, die in Unternehmen z. T. heute schon eingesetzt werden.

Doch während KI-Technologien große Potenziale – auch im Bereich Ressourceneffizienz – zugeschrieben werden, ist die Motivation für die KI-Anwendung in Unternehmen häufig kosten- und effizienzgetrieben. Die Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten steht dabei häufig noch nicht im Fokus. So wurden bei einer Umfrage im Rahmen der Studie »Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für betriebliche Ressourceneffizienz« (Friedrich et al. 2021) Energie- und Materialeinsparungen selten als Motivation zum Einsatz von KI angegeben (siehe Abbildung 1).

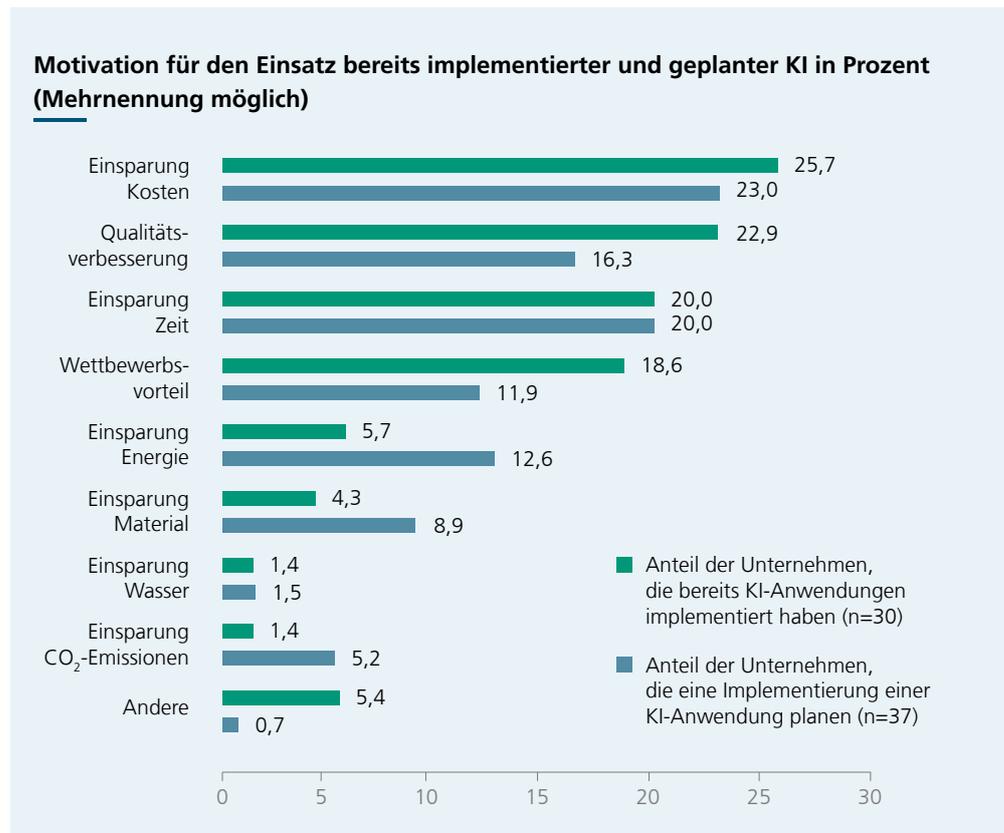


Abbildung 1: Motivation zu dieser Studie – KI und Nachhaltigkeit (Friedrich et al. 2021).

Hinzu kommt, dass die Verbindung von Nachhaltigkeit und KI – sowohl Nachhaltigkeit von KI (auch Green AI genannt) als auch Nachhaltigkeit durch KI – ein sehr junges Forschungsgebiet ist (vgl. Boll et al. 2022). Bei Nachhaltigkeit von KI geht es darum, KI möglichst nachhaltig zu entwickeln, also zum Beispiel, möglichst wenig Energie beim Training einer KI zu verbrauchen. Bei Nachhaltigkeit durch KI sollen Anwendungen umgesetzt werden, die mit Ressourceneinsparungen verbunden sind. Der Fokus dieser Studie liegt – wie im Titel bereits angedeutet – auf letzterem Aspekt und betrachtet hier die ökologischen Potenziale. Es werden daher zum einen Nachhaltigkeitspotenziale von KI in Form von Anwendungsfällen aufgezeigt, zum anderen wird Unternehmen ein Ansatzpunkt in Form eines Handlungsleitfadens, um Nachhaltigkeit mithilfe von KI zu verbessern, geboten.

2.2. Vorgehen

Dieser Beitrag richtet sich an betriebliche Praktikerinnen und Praktiker, um sie dabei zu unterstützen, KI-Anwendungen für ökologische Nachhaltigkeitsverbesserungen in ihrem Unternehmen zu identifizieren und umzusetzen. In Form von Anwendungsbeispielen werden KI-Potenziale konkretisiert (Kapitel 4) und es wird ein Leitfaden für die Einführung von KI zur Steigerung der Nachhaltigkeit produzierender Unternehmen vorgestellt (Kapitel 5).

Die Erarbeitung gliederte sich in drei Phasen (siehe Abbildung 2). Zunächst wurden die wissenschaftlichen Grundlagen durch eine Literaturrecherche erarbeitet, bei der 99 Veröffentlichungen mit einem Bezug zu KI-Anwendungen für die Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit in Unternehmen identifiziert wurden. Auf die Auswertung der ersten Phase sowie auf die

identifizierten Anwendungen und Potenziale wird in Kapitel 4 eingegangen. Diese Anwendungsfälle in Kapitel 4 werden durch die Erkenntnisse aus den durchgeführten Interviews der zweiten Phase ergänzt (eine Auswahl von Interviewfragen findet sich im Anhang). Zur Übersicht werden sie in Anlehnung an die Wertschöpfungskette nach Porter gruppiert (Porter 1998). Für die Interviews wurden überwiegend Expertinnen und Experten aus der Praxis befragt. Sowohl große als auch kleine und mittelständische Unternehmen haben an den Interviews teilgenommen. Darüber hinaus hatten alle Unternehmen bereits Erfahrung mit KI und sind entweder direkte Anwender oder Anbieter von KI-Lösungen. Zusätzlich wurden ein Verband und ein wissenschaftliches Institut befragt. Die Namen und Unternehmen der Expertinnen und Experten können Tabelle 1 entnommen werden.



Abbildung 2: Vorgehen bei der Bearbeitung der Studie.

In der dritten Phase wurden die gesammelten Erkenntnisse systematisiert und ein Handlungsleitfaden erarbeitet. Dieser Handlungsleitfaden soll Unternehmen dabei unterstützen, KI-Anwendungsfälle für Nachhaltigkeitsverbesserungen zu identifizieren, zu bewerten und umzusetzen (Kapitel 5). Im Rahmen der Interviews wurden außerdem Best Practices identifiziert, die in Kapitel 5.8 zusammengefasst werden.

Interviewpartnerin oder -partner	Rolle im Unternehmen	Unternehmen/ Forschungsinstitut ¹
Andreas Neuber	Director Environmental Services	Applied Materials, Inc.
Bertram Stern	Sustainability Manager	Arburg GmbH & Co. KG
Steffen Gerstenberg	Head of Innovation Resources Management	Balluff GmbH
Christoph Thurner	Group HSE Engineer	Ceratizit S.A.
Corina Apachite	Head of Strategy and Communication	
Elif Ocakci	Program Head AI and Data	Continental AG
	Head of International Engineering and Digital Transformation	Henkel Global Supply Chain B.V.
Wolfgang Weber	Business Development Manager Digital Products	MULTIVAC Sepp Haggenmüller SE & Co. KG
Simon Stark		plus10 GmbH
Felix Müller	CEO	Fraunhofer-Institut für Optoelektronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Elisabeth Peinsipp-Byma	Abteilungsleitung »Interaktive Analyse und Diagnose«	
Dr. Vanessa Just	Vorstandsmitglied	
Lucas Spreiter	Leiter AG Klima & Nachhaltigkeit	KI Bundesverband (KIBV)

Tabelle 1: Interviewpartnerinnen und -partner im Rahmen des Beitrags.

¹ Auf Unternehmen und Institute wird im Fließtext über Kurzbezeichnungen referenziert.

3. Grundlagen zu Nachhaltigkeit und Künstlicher Intelligenz

Um die identifizierten KI-Anwendungen zu verstehen und den Handlungsleitfaden nachvollziehen zu können, wird im Folgenden Grundlagenwissen zu Nachhaltigkeit, KI und auch der Verbindung von Nachhaltigkeit und KI, inklusive dem Forschungsbereich Green AI, zusammengefasst.

3.1. Nachhaltigkeit

Das Schlagwort Nachhaltigkeit ist allgegenwärtig. Die am häufigsten verwendete Definition stammt von der Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen aus dem Jahre 1987. »Nachhaltige Entwicklung« wird hier definiert als »Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart erfüllt, ohne dass sie die Möglichkeit zukünftiger Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu erfüllen, beeinträchtigt« (Brundtland 1987). Um diese Definition weiter zu spezifizieren, wurden drei Dimensionen der Nachhaltigkeit identifiziert (Elkington 1994): Ökologie, Ökonomie und Soziales (siehe Abbildung 3).

Ökologische Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Sinne, dass die Gesundheit der Ökosysteme durch den heutigen und zukünftigen Ressourcenbedarf nicht beeinträchtigt werden darf. Dies zielt also auf eine Schonung von Ressourcen und den Schutz von natürlichen Lebensräumen ab. Im Hinblick auf ökonomische Entwicklungen müssen diese folgerichtig auch wirtschaftlich langfristig tragbar sein, um nachhaltig zu sein. Der soziale Aspekt strebt eine Befriedigung menschlicher Bedürfnisse an und bedeutet für Unternehmen meist konkret eine Berücksichtigung der Interessen aller Stakeholdergruppen.

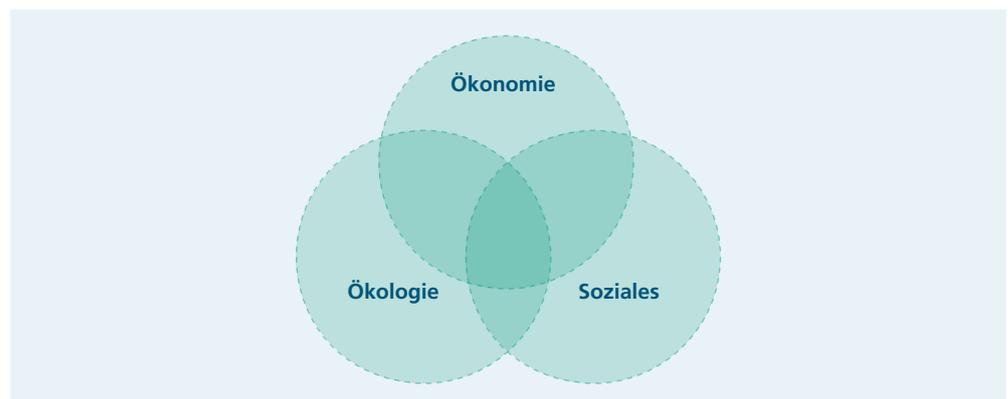


Abbildung 3: Aspekte der Nachhaltigkeit (nach Elkington 1994).

Für Unternehmen bedeutet ökologische Nachhaltigkeit insbesondere eine Entwicklung hin zu geringeren Umweltbelastungen, z. B. durch das Einsparen von Treibhausgasen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007). Vor dem Hintergrund einer zunehmenden CO₂-Bepreisung hat dieser Aspekt auch unmittelbar wirtschaftliche Implikationen. Auch steigt das öffentliche Interesse an den Nachhaltigkeitsaktivitäten eines Unternehmens. Neben Eigentümerinnen und Eigentümern sowie der Politik erwarten zunehmend weitere Stakeholder – wie NGOs und die Öffentlichkeit im Allgemeinen –, dass sich Unternehmen mit Nachhaltigkeitsthemen befassen (Schaltegger et al. 2012).

Eine weitere Initiative der Vereinten Nationen sind die Sustainable Development Goals (SDGs), die im Rahmen der Agenda 2030 verabschiedet wurden (siehe Abbildung 4) (United Nations 2015). Immer mehr Unternehmen nehmen diese SDGs als Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen ihrer wirtschaftlichen Tätigkeiten und ihres Beitrags zu den globalen Nachhaltigkeitszielen.



Um nachhaltige Aktivitäten in Unternehmen voranzutreiben, sind allerdings umfangreiche Datenauswertungen und komplexe Optimierungen der Geschäftsprozesse notwendig. Zudem sind vermehrt umfangreiche Anforderungen an Nachhaltigkeitsberichte zu erfüllen. Um die Nachhaltigkeitsaktivitäten zu optimieren und das volle Nachhaltigkeitspotenzial eines Unternehmens zu heben, bietet sich unter anderem der Einsatz von KI-Methoden an (Boll et al. 2022).

Abbildung 4: Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen (Quelle: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>)

3.2. Künstliche Intelligenz

Für den Begriff Künstliche Intelligenz (KI) bzw. Artificial Intelligence (AI) gibt es bisher keine einheitliche Definition. Aus Sicht der praktischen Anwendung lässt sich KI als »die Eigenschaft eines IT-Systems, »menschenähnliche«, intelligente Verhaltensweisen zu zeigen« (Bitkom 2017) definieren. Etwas präziser ausgedrückt handelt es sich bei KI um die »Fähigkeit einer Maschine, kognitive Aufgaben auszuführen, die wir mit dem menschlichen Verstand verbinden. Dazu gehören Möglichkeiten zur Wahrnehmung sowie die Fähigkeiten zur Argumentation, zum selbstständigen Lernen und damit zum eigenständigen Finden von Problemlösungen.« (Kreutzer & Sirrenberg 2019)

Häufig werden KI-Funktionalitäten in vier Bereiche unterteilt (Schmid et al. 2021): Erkennen bzw. Wahrnehmen, Verarbeiten und Verstehen, Handeln bzw. Reagieren sowie Kommunizieren. Während sich typische KI-Einsatzfelder durch die Verarbeitung von natürlicher Sprache, Bildverarbeitung, Expertensysteme und Robotik (Kreutzer & Sirrenberg 2019) grob klassifizieren lassen, unterscheiden sich KI-Applikationen je nach Anwendungsszenario – Beispiele sind ein autonomes System zur selbstadaptierenden Planung, die vorausschauende Instandhaltung für eine frühzeitige Erkennung von Anomalien, oder ein Assistenzsystem zur Unterstützung der menschzentrierten Aktivitäten. Welche Elemente der KI zuzuordnen sind, lässt sich Abbildung 5 entnehmen.

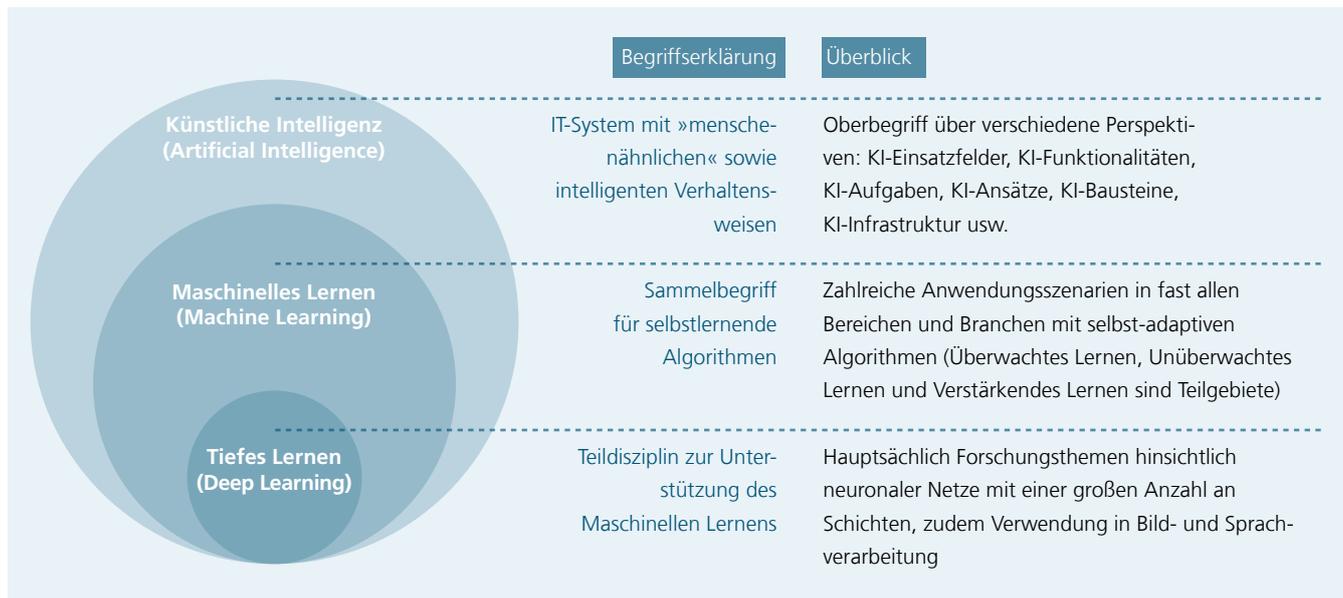


Abbildung 5: Überblick über den Umfang des Begriffs Künstlicher Intelligenz (angelehnt an <https://www.fabriksoftware.info/node/1159>, zuletzt geprüft am 07.07.2022).

Maschinelles Lernen (Machine Learning) ist ein Sammelbegriff für eine Gruppe von selbstlernenden Algorithmen, die ohne explizite Programmierung zukunftsrelevante Rückschlüsse aus existierenden Daten ziehen können (Welsch et al. 2018). Während bei der traditionellen Programmierung durch die bestimmte Verarbeitung von eingegebenen Daten eine Ausgabe von Ergebnissen erfolgt, kommen beim Maschinellen Lernen spezifische Algorithmen zum Einsatz – selbst-adaptive Algorithmen, die zu einem selbstständigen Lernen einer Maschine beitragen, ohne dass eine Programmiererin oder ein Programmierer sich einschalten muss (Kreutzer & Sirrenberg 2019). Maschinelles Lernen wird wegen seiner guten Reproduzierbarkeit in vielen Gebieten angewendet, z. B. bei der Zustands- und Qualitätsüberwachung in Fertigung und im Betrieb, bei der Stimmungsanalyse in Social Media, bei der Betrugserkennung im Finanzsektor, bei der Diagnose im medizinischen Kontext usw.

Eine Teildisziplin des Maschinellen Lernens ist das tiefe Lernen (Deep Learning), das durch den Bedarf großer Datenmengen und die Verwendung von tiefen neuronalen Netzen (Deep Neural Networks) gekennzeichnet ist. Die Bezeichnung »Tief« bzw. »Deep« verweist auf die vielen Schichten eines tiefen neuronalen Netzes. Diese Netze können eine große Anzahl an Eingabedaten, über mehrere Schichten verteilt, verarbeiten. Es handelt sich um spezielle Optimierungsmethoden, die eine noch umfangreichere innere Struktur besitzen als traditionelle neuronale Netze. Tief eingebettete Muster sowie Korrelationen können dabei entdeckt werden (Kreutzer & Sirrenberg 2019). Während die Ansätze des Maschinellen Lernens ohne tiefe neuronale Netze in vielen Anwendungsfällen durch zahlreiche Applikationen in die Praxis umgesetzt werden, ist das Themengebiet Deep Learning im Vergleich dazu gegenwärtig häufig Gegenstand der Forschung. Große Fortschritte konnte tiefes Lernen aufgrund seiner großen Aussagekraft hingegen in der Bild- und Sprachverarbeitung erzielen (Kersting & Tresp 2019).

3.3. Verbindung von Nachhaltigkeit und Künstlicher Intelligenz

Bisher lag der Fokus von KI-Anwendungen zumeist im wirtschaftlichen Bereich, d. h. Effizienzsteigerung, Kostenreduktion oder Prozessautomatisierung waren vordergründige Motive des KI-Einsatzes durch Unternehmen. Ein Teil der Entwicklung zu immer genaueren Verfahren ist jedoch ein gestiegener Bedarf an Rechenleistung, der im Folgenden zu immer höheren CO₂-Emissionen führt. Die Berücksichtigung der globalen ökologischen Nachhaltigkeit wird gleichzeitig immer wichtiger für Unternehmen. Durch gesetzliche bzw. politische Rahmenbedingungen – z. B. Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), European Green Deal (Europäische Kommission), Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) – und entsprechende Erwartungen von Kundinnen und Kunden, sind Unternehmen gezwungen, ihren ökologischen Fußabdruck unter die Lupe zu nehmen und die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Der Einsatz von KI ist eine Möglichkeit, um dieses Ziel zu erreichen, jedoch hat die Nutzung der Verfahren oft selbst negative Auswirkungen auf die Umwelt. Strubell et al. zeigen auf, wie klimaschädlich das Training einer KI-Anwendung (am Beispiel eines Transformer-Netzes mit neuronaler Architektursuche) im Vergleich zu anderen Aktivitäten des täglichen Lebens sein kann. Das Training einer KI-Anwendung kann unter Umständen so viele CO₂-Emissionen produzieren, wie fünf Pkw im Verlauf ihrer Nutzungsdauer inklusive der erzeugten CO₂-Emissionen durch den Kraftstoff (siehe Abbildung 6) (Strubell et al. 2019). In den meisten Fällen verbraucht das Training einer KI-Anwendung jedoch deutlich weniger Energie und ist von der Größenordnung eher vergleichbar mit dem Streaming eines einstündigen Videos (Rohde et al. 2021). Auch wenn solche rechenintensiven Trainingsphasen also eher selten stattfinden, sollten sich Unternehmen trotzdem bewusst sein, dass Einsatz und Training von KI mit Energieverbräuchen und somit CO₂-Emissionen verbunden sind.

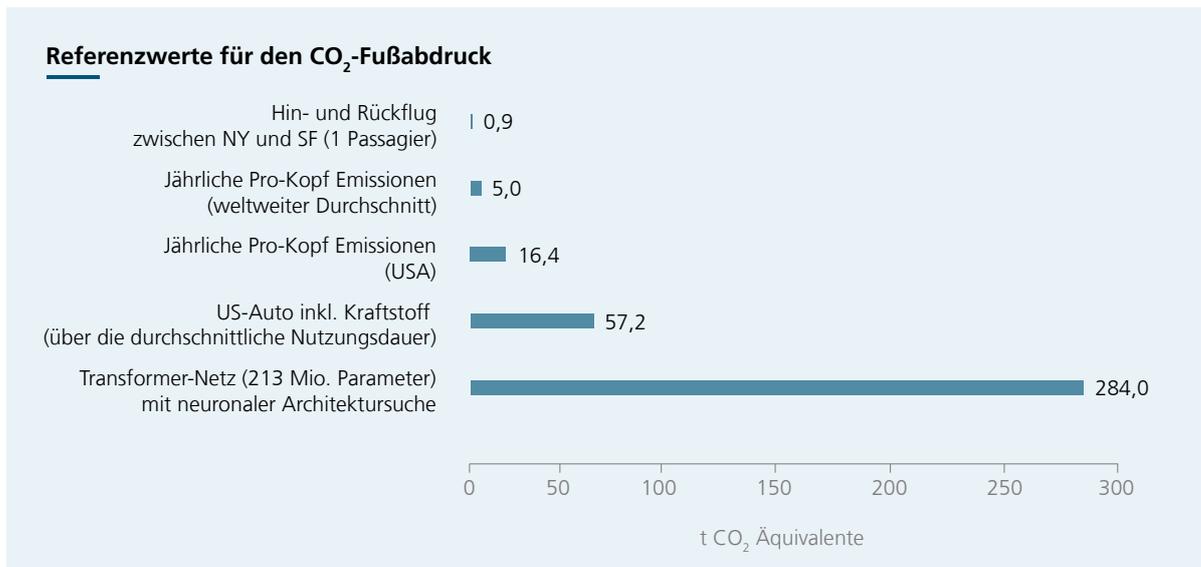


Abbildung 6: Vergleich des CO₂-Fußabdrucks einer beispielhaften KI-Anwendung mit anderen Referenzwerten (MIT Technology Review, Strubell et al. 2019).

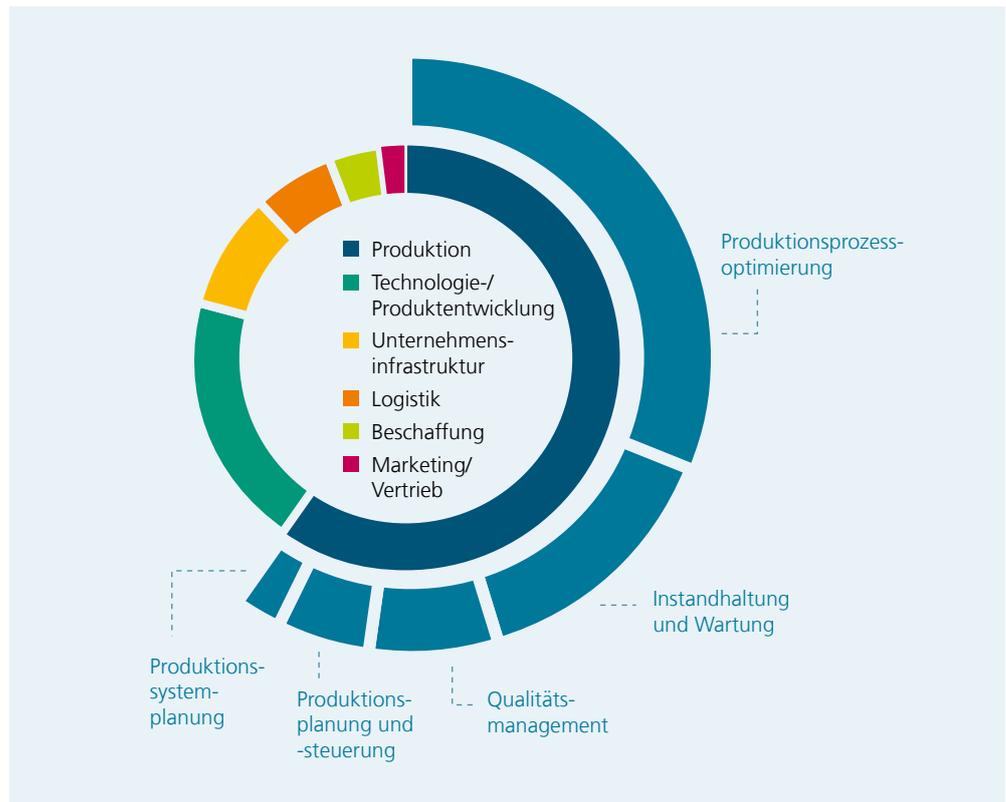
Green AI kann eine Alternative sein, um diese Nachhaltigkeitsaspekte in der Entwicklung von Verfahren und Anwendungen mit KI zu berücksichtigen und dennoch wirtschaftliche Interessen zu verfolgen. Der Begriff »Green AI« bezeichnet jene KI-Forschung, die unter Berücksichtigung der Rechenkosten zu neuartigen Ergebnissen und damit zu einer Verringerung der eingesetzten Ressourcen führt (Schwartz et al. 2020). Im Gegensatz zur Entwicklung von herkömmlichen KI-Anwendungen sollte die ökologische Nachhaltigkeit als einer der Grundsätze für eine verantwortungsvolle Entwicklung und Anwendung von KI betrachtet werden (Dhar 2020). Wie kann Green AI gelingen? Bei der Beantwortung dieser Frage steht die Forschung noch relativ am Anfang. Ein erster Schritt in diese Richtung ist, dass Entwicklerinnen und Entwickler aufzeigen, wie ressourcenintensiv ihre KI-Berechnungen sind (z. B. indem Trainingszeiten, Rechenressourcen, Modelleffizienz usw. bekannt gemacht werden) (Strubell et al. 2019; Schwartz et al. 2020). Es geht darum, Nutzerinnen und Nutzern die ökologische Effizienz aufzuzeigen und ihnen gleichzeitig eine Vergleichsmöglichkeit zu anderen KI-Modellen zu liefern.

4. Anwendungsfälle zur Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Künstliche Intelligenz

Die Nachhaltigkeit eines Unternehmens zu optimieren, ist eine komplexe Aufgabe. Zum einen können Zielkonflikte zwischen den drei Aspekten der Nachhaltigkeit bestehen, zum anderen hat prinzipiell jeder Unternehmensbereich Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsbilanz eines Unternehmens. Aufgrund dieser Komplexität ist intuitiv davon auszugehen, dass KI-Methoden sich zur Verbesserung der Unternehmensnachhaltigkeit anbieten. Im Folgenden wird ein Überblick über die grundsätzlichen Überlegungen aus der Literatur gegeben. Dann werden die Anregungen und Erkenntnisse aus den Interviews zusammengefasst, bevor einzelne KI-Anwendungsbeispiele und ihre Nachhaltigkeitspotenziale vorgestellt werden.

4.1. Grundsätzliche Überlegungen und Überblick

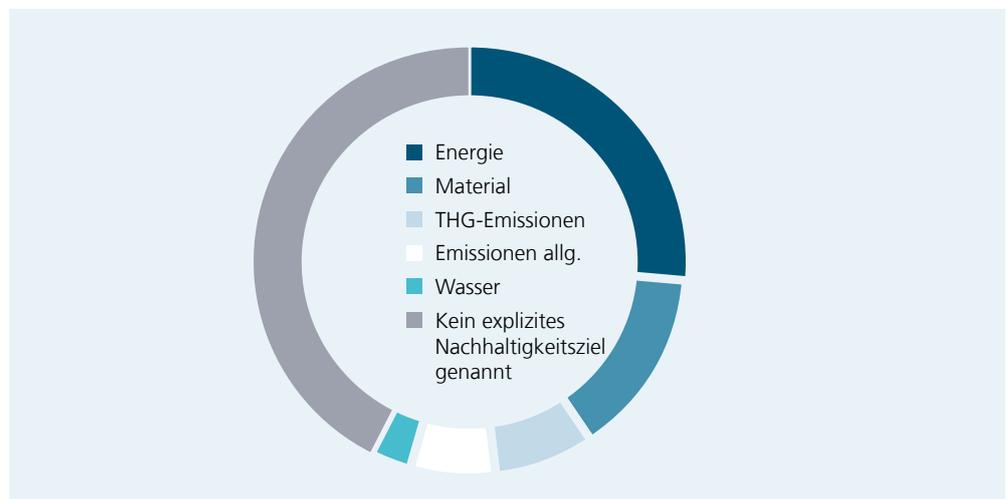
Insbesondere könnte KI dabei unterstützen, unternehmensweit, d. h. unter Berücksichtigung aller Unternehmensbereiche und -funktionen, Potenziale zu identifizieren und zu heben. In der Praxis zeigt sich allerdings, dass dies nicht im erwarteten Umfang der Fall ist (Friedrich et al. 2021; Waltersmann et al. 2021). Von den 99 Anwendungsfällen der Literaturrecherche sind ca. 60 Prozent dem Produktionsumfeld und ca. 20 Prozent der Produktentwicklung zuzuordnen (dabei gibt es Mehrfachzuordnungen). Andere Phasen der Wertschöpfung des Unternehmens sind oftmals entweder gar nicht berücksichtigt (Kundendienst, Personalwirtschaft), oder deutlich unterrepräsentiert (Abbildung 7).



»Vor allem die Produktionssupport-Bereiche werden etwas stiefmütterlich behandelt.«
 Andreas Neuber, Applied Materials

Werden die Ergebnisse der Literaturrecherche unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit betrachtet, so stellt sich heraus, dass Nachhaltigkeitsverbesserungen nur bei etwa der Hälfte der untersuchten Literatur als ein explizites Ziel ausgewiesen werden. Bei der anderen Hälfte steht meist die ökonomische Verbesserung im Vordergrund und Nachhaltigkeit wird als ein Nebeneffekt gesehen.

Unter der Literatur mit explizitem Fokus auf Nachhaltigkeitsverbesserungen werden Energieeinsparungen als häufigstes Ziel angegeben. Es folgen Materialeffizienz und Treibhausgasemissionen mit deutlichem Abstand (Abbildung 8). Andere Aspekte der Nachhaltigkeit stehen bislang nicht im Mittelpunkt der Optimierung.



Ursächlich für die unterschiedliche Priorisierung der Nachhaltigkeitsaspekte ist vor allem die meist sehr ausgeprägte Fokussierung auf Kostenoptimierung seitens der Unternehmen. In vielen Fällen dominiert immer noch die Sorge um die Kostensituation die Nachhaltigkeitsüberlegungen. In der Regel lässt sich diese Diskrepanz nur dann auflösen, wenn erhöhte Nachhaltigkeitsanstrengungen auch zu Einsparungen führen oder sich auf Grund der Außenwirkung höhere Preise erzielen lassen.

»Bisher war Kostenoptimierung die Hauptmotivation unserer Kunden, unsere Software zu kaufen. Nachhaltigkeitsaspekte standen in der Regel nicht im Vordergrund, sondern sind Sekundäreffekte der erreichten Produktionsprozessverbesserungen.«
Felix Müller, plus10

Außerdem stellt sich in der Praxis oft heraus, dass nicht alle Anwendungsfälle, die auf den ersten Blick gut geeignet für eine Optimierung durch KI-Methoden erscheinen, am Ende die Voraussetzungen dazu erfüllen. Häufig verhindern lokale Besonderheiten die Übertragbarkeit von Ergebnissen von Modellen auf andere Standorte. Oder Modellergebnisse stellen sich als schlecht übertragbar heraus, weil sich Randbedingungen ergeben haben, die in den Trainingsdaten der Modelle nicht in dieser Form vorlagen.

»Wasser² ist aus meiner Sicht schwierig, weil es eine große Bandbreite an Qualitäten und Spezifikationen gibt. Die Verbräuche hingegen kann man gut fassen, aber die Optimierungsprozesse sind von so vielen lokalen Parametern abhängig. Energie hingegen ist das perfekte Thema, um es digital zu beschreiben und KI-gestützt zu optimieren.«
Wolfgang Weber, Henkel

4.2. Anwendungsfälle und Potenziale

Die Ergebnisse aus der Literatur wurden in Anlehnung an die Phasen der Wertschöpfung nach Porter und die jeweils tangierten Nachhaltigkeitsaspekte gebündelt. Die entsprechenden Cluster werden im Folgenden kurz erläutert. Die ersten fünf Cluster sind der Produktionsphase zuzuordnen (vgl. Abbildung 7).

Zu den größten Potenzialen in der Produktion mittels Einsatzes von KI und Maschinellern zählen Innovationssteigerung, Prozessoptimierung, Ressourcenoptimierung und Qualitätsverbesserung (Cioffi et al. 2020). Nachhaltigkeitsbestrebungen rücken dabei zunehmend in den Fokus, wobei eine intelligente Fertigung außerdem das Potenzial besitzt, Ressourcenknappheit und Produktivitätsverbesserungen anzugehen. KI und Maschinelles Lernen können dabei unterstützen, z. B. durch die intelligente Nutzung von Materialien, Reduzierung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen, Überwachung und Bewertung des ökologischen Fußabdrucks usw. (Cioffi et al. 2020)

² Anm. d. Red.: Wasser als betrachteter Nachhaltigkeitsaspekt in einem KI-Anwendungsfall

Instandhaltung in der Produktion

Die Instandhaltung soll die Funktionsfähigkeit von Maschinen und Anlagen gewährleisten. Nach DIN 31051 (DIN 31051) sind hierfür die folgenden Maßnahmen vorgesehen: Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung.

»In der vorbeugenden Wartung hat man mit Ein-Parameter-Analysen begonnen. Nun werden komplexere und lernende Algorithmen eingesetzt, um die Unmengen an Daten auszuwerten.«

Andreas Neuber, Applied Materials

Im Produktionskontext kann KI zur vorausschauenden Instandhaltung (Predictive Maintenance) eingesetzt werden: Mit einer exakten Prognose lässt sich der optimale Zeitpunkt der Instandhaltungsaktivitäten festlegen, um so unerwartete Ausfälle und Schäden an Maschinen und Anlagen zu vermeiden. Ein Anwendungsfall der vorausschauenden Instandhaltung ist die Erkennung von nahenden Pumpenausfällen z. B. in der Halbleiterindustrie. Häufig werden solche Pumpen zur Erzeugung eines Vakuums auf Verschleiß gefahren, jedoch können gerade prozessierte Silizium-Wafer zerstört werden, wenn eine Pumpe ausfällt. Solche Wafer sind allerdings teuer, daher sollen zum einen weder unnötig Pumpen ausgetauscht werden, die noch funktionieren, zum anderen verursacht der Ausfall einer Pumpe selbst hohe Kosten. Ausgewählte Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial sind, kurz beschrieben, Tabelle 2 zu entnehmen.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Vorausschauende Instandhaltung: Erkennung von Pumpenausfällen über lernende Algorithmen	Reduktion nötiger Ersatzteile, Verbesserung von Laufzeiten	Applied Materials
Instandhaltung mithilfe Process Mining und Maschinellen Lernens bei binären Datenwerten	Effiziente Nutzung von Energie und Material durch verbesserte Reaktionsgeschwindigkeiten und Adressierung auftretender Anomalien	Literaturrecherche (Wanner et al. 2019)
Überwachung des Maschinenzustands mithilfe von KI-Methoden (Clustering und Deep Learning) zur effektiven Erkennung anomalen Maschinenverhaltens und besserer Vorhersage von Maschinenausfällen	Vermeidung von plötzlichen Ausfällen, Maschinenstillstandszeiten und unnötigen Kosten und damit verbunden Einsparung von Energie und Material durch störungsfreien Prozessablauf	Literaturrecherche (Cheng et al. 2019)
Zuverlässige Überwachung des Leistungsabfalls in dynamischen Systemen wie Fertigungsmaschinen und anschließender Vorhersage der Restnutzungsdauer (Remaining Useful Life RUL), basierend auf Deep Learning	Proaktive Koordination der Ressourcen zur Gewährleistung eines maximalen Produktionsvolumens und gleichzeitiger Reduktion der Wartungskosten und damit verbundenen Materialeffizienz	Literaturrecherche (Zhang et al. 2018)
Zwei Methoden zur Erkennung und Identifizierung von Sensorfehlern, basierend auf KI (Support-Vector-Maschinen (SVM))	Schnellere Erkennung von Sensorfehlern (»online«), um darauf basierende falsche Entscheidungen zu vermeiden und somit Gewährleistung der Sicherheit und Produktivität des Systems. Weiterhin dadurch erhöhte Energie- und Materialeffizienz	Literaturrecherche (Deng et al. 2017)
Erkennung von Abweichungen in der Produktion (z. B. Ausfälle, Werkzeugverschleiß, Auftragsänderungen, usw.) sowie energieeffiziente Produktionsentscheidungen über Edge-Computing und ein Netzwerk für ein langes Kurzzeitgedächtnis (long short-term memory network)	Durch die Kombination von Energieverbrauchsdaten und der Erkennung von Abweichungen im Produktionssystem kann die Fertigungsqualität und -produktivität sowie die bestmögliche Energieleistung gewährleistet werden.	Literaturrecherche (Zhang & Ji 2020)

Tabelle 2: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Instandhaltung der Produktion.

Produktionssystemplanung

Bei der Planung von Produktionssystemen gibt es vielfältige Potenziale zur Optimierung mithilfe von KI-Methoden. Im Gegensatz zur Produktionsplanung und -steuerung geht es dabei nicht um die Optimierung des Produktionsprogramms, sondern z. B. um die Auslegung der Produktionsanlagen. Die Auswahl einer optimalen Konfiguration von Energiequellen und -verbrauchern kann großen Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf eines Produktionssystems haben.

Während Rüstvorgängen werden häufig Rohmaterialreste ausgespült und entsorgt. Je nach Aufbau des Produktionssystems können insbesondere in Mehrprodukt-Produktionssystemen Rüstvorgänge unterschiedlich oft notwendig sein. Es kommt daher zu unnötigem Ressourcenverbrauch. Aufgrund der potenziell hohen Komplexität von derartigen Produktionssystemen kann KI schon bei der Auslegung solcher Anlagen sinnvoll eingesetzt werden. Tabelle 3 führt die Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial im Bereich der Produktionssystemplanung auf.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
KI-gestützte Optimierung der Fließbandauslegung in einem Mehrprodukt-Produktionssystem	Durch die optimierte Auslegung eines Mehrproduktproduktionssystems können Reinigungsintervalle verlängert bzw. Reinigungsprozesse verkürzt werden. Die Reinigung ist mit Materialverlust verbunden.	Literaturrecherche (Gould et al. 2017)
Auslegung der Energieversorgung und Bestückung der Produktion mit Kühlaggregaten	Energieeinsparpotenzial durch optimierte Dimensionierung und Auslegung von Energieversorgung und Kühlkapazitäten	Literaturrecherche (Kuhlmann & Sauer 2019)

Tabelle 3: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Produktionssystemplanung.

Produktionsplanung und -steuerung

Ziel der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) ist es u. a., Produktionsprozesse zu planen, zu gestalten und operativ umzusetzen, um die Produktion mit den Anforderungen von Kunden in Einklang zu bringen. Um dies leisten zu können, muss die PPS in der Lage sein, dynamisch auf wechselnde Anforderungen und Umgebungen zu reagieren. (Bueno et al. 2020).

Dabei zieht die PPS Nutzen aus einer fundierten Datenbasis in Verbindung mit der Analyse und Auswertung dieser Daten. Für die Planung von Abläufen und Ressourcen werden z. B. Informationen über aktuelle Systemzustände benötigt. Die Produktionsplanung ist ein Unternehmensbereich, in dem neue Möglichkeiten der Industrie 4.0 genutzt werden können, wie z. B. bei der intelligenten Planung, durch Echtzeitfunktionen, durch eine verteilte dynamische Planung, durch eine Cyber-Physical-System-Fähigkeit (CPS), oder durch eine adaptive Produktionsplanung (Bueno et al. 2020). Insbesondere bei der Bedarfsprognose wird dabei auf KI-Methoden zurückgegriffen, um u. a. die Genauigkeit der Vorhersagen zu verbessern (Bueno et al. 2020).

Ein Anwendungsbeispiel für die Nutzung von KI in der Produktionsplanung und -steuerung ist die Steuerung von Produktionsprozessen dahin gehend, dass sie eine optimale Energieeffizienz aufweisen. Das Produktionsumfeld ist derart komplex und abhängig von vielerlei Sensordaten, dass eine KI diese Steuerung deutlich besser übernehmen kann, als es eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter könnte. Anwendungsbeispiele der PPS und ihr Nachhaltigkeitspotenzial sind in Tabelle 4 zu finden.

»Bei der energieintensiven Sprühtrocknung von Pulverwaschmitteln gibt es einige Anwendungen, bei denen Daten dabei helfen, Prozesse vergleichbar und mit optimalem Energie-Footprint auszuführen.«

Wolfgang Weber, Henkel

Tabelle 4: Ausgewählte Anwendungsfälle in Produktionsplanung und -steuerung.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Steuerung von Produktionsprozessen zur Energieoptimierung	Reduktion des Energieverbrauchs durch optimierte Prozesssteuerung	Henkel
Reduzierung der Aufheizphasen von Öfen durch KI-optimierte Planung der Produktreihenfolge	Reduzierung des Energieverbrauchs durch kürzere Aufheizphasen	Kundengespräche Literaturrecherche (Yu et al. 2016)
Einsatz neuronaler Netze zur Auswertung der Produktions- und Gerätedaten	Optimierung des Energieverbrauchs	

Qualitätsmanagement in der Produktion

Das Qualitätsmanagement kann einen erheblichen Einfluss auf die Energie- und Ressourceneffizienz eines Unternehmens haben, indem es zum einen die Produktionsqualität sicherstellt und dadurch energieintensive Nacharbeiten und Ausschuss verhindert. Zum anderen kann es durch die frühzeitige Erkennung von Produktionsmängeln in der Prozesskette verhindern, dass mangelhafte Produkte zunächst weiterverarbeitet werden, was zusätzlichen Aufwand an Energie und Roh- und Hilfsstoffen bedeutet, bevor sie schließlich entsorgt werden müssen.

Typische Anwendungsfälle für KI-Methoden in diesem Zusammenhang sind beispielsweise optische Überwachungssysteme, die durch KI-basierte Bildverarbeitungssysteme Produktionsanomalien erkennen können. Tabelle 5 fasst ausgewählte Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial zusammen.

Tabelle 5: Ausgewählte Anwendungsfälle im Qualitätsmanagement der Produktion.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Bildverarbeitung für die Qualitätsbeurteilung (Ausschuss/Gutteil)	Verringerung von Ausschuss	Fraunhofer IOSB
Erkennung von Oberflächendefekten an Stahlprodukten durch den Einsatz von faltenden neuronalen Netzwerken (Convolutional Neural Networks CNN). Die Erkennung der Oberflächendefekte erfolgt schneller und sicherer als mit herkömmlichen Methoden.	Verbesserte Ressourceneffizienz und Energieeinsparung durch sichere und rechtzeitige Erkennung von Oberflächenfehlern	Literaturrecherche (Lee et al. 2019)
Optische Überwachung der additiven Fertigung von Metallprodukten hinsichtlich des Vorliegens von Produktionsfehlern, wie z. B. Rissen, Gaseinschlüssen oder mangelhaftes Aufschmelzen des Metallpulvers	Verbesserte Ressourceneffizienz und Energieeinsparung durch schnelle Erkennung von Produktionsfehlern während der additiven Fertigung	Literaturrecherche (Cui et al. 2020)
Erkennung von Anomalien bei Ätzprozessen in der Halbleiterfertigung	Verbesserte Ressourceneffizienz und Energieeinsparung durch sichere Identifikation von Ausschuss	Literaturrecherche (Susto et al. 2017)

Produktionsprozessoptimierung

Der Zweck der Produktion ist es, über wertschöpfende Produktionsprozesse Eingangsfaktoren (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe und Zwischenprodukte) zu Erzeugnissen umzuwandeln. Bei einer Produktionsprozessoptimierung ist das Bestreben, den Output bei gleichzeitig niedrigerem Bedarf an Eingangsfaktoren (z. B. durch materialeinsparende Prozesse) zu steigern. Über die Digitalisierung lassen sich immer mehr Informationen und Daten auswerten, um Prozesse transparenter und effizienter gestalten zu können und damit die Produktivität zu steigern (Weber et al. 2018).

Zumeist sind Produktionsprozesse energieintensiv und bieten Raum für Entwicklungsmöglichkeiten in den Bereichen Emissionen und Effizienz. Auch die Potenziale zur Reduzierung von Treibhausgasen werden in diesem Cluster als sehr hoch eingeschätzt, weil Produktionsprozesse treibhausgasintensiv sind (z. B. aufgrund eines treibhausgasintensiven Strommixes). Prozessoptimierungen bieten sich daher z. B. über eine automatisierte Maschinenabschaltung in Leerzeiten an (Bieser et al. 2020).

Ein Anwendungsfall in der Produktionsprozessoptimierung ist die Unterstützung der Maschinenbedienerinnen und -bediener bei der Konfiguration von Maschinenparametern an einer oder an mehreren miteinander verknüpften (Verpackungs-)Maschinen. Aufgrund von Materialwechseln in der Produktionslinie oder Schwankungen der Materialeigenschaften sind Prozessanpassungen und damit verbunden geänderte Parametereinstellungen notwendig. Dies kann sich zu einem recht komplexen Vorgang ausweiten. Die richtige Parametrierung kann dabei eine halbe bis eineinhalb Stunden dauern, ohne Garantie auf eine gute Rezeptmischung. Meist erfordert dieser Prozess außerdem Erfahrungswissen, und gerade Neueinsteigerinnen und Neueinsteigern fallen solche Tätigkeiten schwer.

»Die Parametereinstellungen (wie beispielsweise Form, Druck, Siegeltemperatur, Formtemperatur, Schließzeiten, und so weiter) werden von der Anwendung vorgenommen, der Nutzer muss nur noch sagen, welche Folie verwendet wird, welches Produkt verpackt werden soll und wie groß die Verpackungstiefe ist – also anhand von ganz einfachen Variablen, die jeder eigentlich kennen sollte, wird die gesamte Parametrierung im Hintergrund gemacht.«
Simon Stark, Multivac

Durch einen derart optimierten Einstellungsvorgang lassen sich sowohl Materialverschwendung und Ausschuss reduzieren als auch Stromeinsparungen erzielen. Ausgesuchte Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Unterstützung der Maschinenbediener bei der Konfiguration von Maschinenparametern	Reduktion von Materialverschwendung durch optimierte Einstellung der Maschine, Stromeinsparungen	Multivac, Arburg
Prozessnachführung/-nachregelung beim Spritzgießen bei Verwendung von hohen Rezyklatanteilen bzw. Post-Consumer-Rezyklaten (PCR) mithilfe von KI	Verarbeitung von Rezyklat wird ermöglicht, das vorher aufgrund großer Schwankungen der Materialeigenschaften nicht verarbeitbar gewesen wäre	plus10
Sortierung im Schüttgutbereich, Trennung von Abfall durch Bilderkennung (z. B. Recycling, Glas, Bauschutt, usw.)	Effizienzsteigerung, Verbesserung der Recyclingquote, Förderung der Kreislaufwirtschaft	Fraunhofer IOSB
Einsatz eines künstlichen neuronalen Netzes, in Kombination mit Fuzzy Logic und Evolutionären Algorithmen zur Analyse (Erkennung von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Parametern des betrieblichen Umweltmanagements) und Optimierung von Stoff- und Energieströmen (Ermittlung von Optimierungspotenzialen innerhalb der ablaufenden Prozesse)	Unterstützung von produzierenden Unternehmen, ressourcen- und energieeffizienter zu arbeiten	Literaturrecherche (Wiltenbacher & Wohlgemuth 2017)
Verwendung von Algorithmen des Maschinellen Lernens zur Identifizierung der Ursachen von Effizienzschwankungen in einer großen Photovoltaik-Produktionsumgebung	Optimierung des elektrischen Wirkungsgrades von Solarzellen	Literaturrecherche (Klöter 2018)

Tabelle 6: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Produktionsprozessoptimierung.

Logistik

Ein Anwendungsbeispiel für die Nutzung von KI in der Logistik ist die Kombination von grüner Logistik (»green logistics«) und intelligenter Logistik (»smart logistics«) zur Betrachtung einer grünen dynamischen Tourenplanung (Green Vehicle Routing Problem). Dadurch können sowohl Fahrrouten optimiert geplant als auch CO₂-Emissionen reduziert und die Energieeffizienz erhöht werden. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass eine geeignete Planung die Lieferzeit und Kosten effektiv senken, die CO₂-Emissionen begrenzen und die Ressourcennutzung verbessern kann (Su & Fan 2020). Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial finden sich in Tabelle 7.

*»Nachhaltigkeit entsteht auch durch unsere Produkte. Bei unseren Autonomous Mobile Robots (AMR) zum Beispiel. Dort werden die Intralogistikabläufe mit Künstlicher Intelligenz optimiert.«
Corina Apache, Continental*

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Automatisierte Abläufe in der Intralogistik mithilfe von KI	Energieeffizienzsteigerungen	Continental
Grüne Tourenplanung mithilfe grüner und intelligenter Logistik	Eindämmung der CO ₂ -Emissionen und verbesserte Energieeffizienz	Literaturrecherche (Su & Fan 2020)
Verwendung von KI zur Optimierung des Betriebs von Fahrerlosen Transportfahrzeugen (Automated Guided Vehicles AGV)	Optimierte Routenplanung der Fahrzeuge, insbesondere bei elektrisch betriebenen AGVs	Literaturrecherche (Bechtsis et al. 2017)
Mobile Terminals (»Scannergeräte«), die beim Einsatz in Kühlhäusern vereisen können, werden häufig mit einer Folienheizung samt ineffizienter Energiebilanz ausgestattet. Direkt auf dem Gerät installierte KI (»Edge AI«), die Temperaturerfassungslogik mit Deep Learning verbindet, kann den Abtauvorgang genauer steuern.	Verbesserung der Energieeffizienz bzw. Reduktion des Energieverbrauchs (mit dem Testgerät in einem Verhältnis 14:1 zur herkömmlichen Vorgehensweise)	Literaturrecherche (Choi & Kim 2020)

Tabelle 7: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Logistik.

Marketing und Vertrieb

In Marketing und Vertrieb können Ressourceneinsparungen realisiert werden, indem Kundenfeedback optimiert verarbeitet und ausgewertet wird. Wenn Kundenerwartungen und Kundenrückmeldungen besser verstanden werden, können auch die Marketing- und Vertriebsaktivitäten zielgerichteter und treffsicherer geplant und umgesetzt werden. In der Folge können so Ressourcen geschont werden, da Ineffizienzen vermieden werden. Tabelle 8 führt ein Anwendungsbeispiel und dessen Nachhaltigkeitspotenzial auf.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Automatisierte Auswertung und Klassifizierung von unstrukturiertem schriftlichem Kundenfeedback mithilfe von transformatorbasiertem tiefen Lernen	Ressourceneinsparung durch zielgerichtete Marketing- und Vertriebsmaßnahmen durch besseres Verständnis von Kundenwünschen	Literaturrecherche (Ha et al. 2021)

Tabelle 8: Ausgewählter Anwendungsfall in Marketing und Vertrieb.

Unternehmensinfrastruktur

Deutschlands Energieversorgung besteht zu großen Teilen noch aus treibhausgasintensiven Energieträgern. Dadurch ergeben sich Nachhaltigkeitspotenziale durch die Optimierung der Energieeffizienz von Unternehmensinfrastrukturen, z. B. durch die Automatisierung der Gebäudesteuerung (Bieser et al. 2020). Eine nachhaltige Gestaltung der Unternehmensinfrastruktur mithilfe von KI kann z. B. durch die Optimierung der Beleuchtung einer Produktionsanlage über eine Simulation verschiedener Beleuchtungsalternativen mittels einer Regressionsanalyse erreicht werden.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel in der Unternehmensinfrastruktur stellt die Vorhersage von Belastungen des Stromnetzes und der Gebäudenutzung dar.

»Ziel ist die Steigerung der Gebäudeeffizienz und die Senkung der Emissionen. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz lassen sich Vorhersagen über die Belastung des Stromnetzes für mehrere Tage und Vorhersagen über die Gebäudenutzung treffen. Daraus kann eine Optimierung durch die Verschiebung des Gebäudeenergiebedarfs in Zeiträume höherer Energieverfügbarkeit mit geringerem Emissionsfaktor erreicht werden. Der Energiebedarf kann durch Kenntnis von Raumelegungen und so weiter minimiert werden.«
 Lucas Spreiter, KIBV

Ausgesuchte Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial finden sich in Tabelle 9.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Vorhersage Stromnetzauslastung und Gebäudenutzung	Steigerung der Gebäudeeffizienz und Senkung der Emissionen	KI Bundesverband
Erfassung und KI-basierte Analyse von Energie- und Wasserverbräuchen der Werke sowie Maschinen und Prozessanlagen	Ökobilanzierung, Identifizierung von Nachhaltigkeitspotenzialen	Henkel
Thermostatregelung mittels verstärkten Lernens (Reinforcement Learning) für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme in Büros (mit einem rückgekoppelten neuronalen Netzwerk (recurrent neural network))	Energie- und komfortoptimierte Regelung einer Gebäudeklimatisierung (Die Ergebnisse deuten an, dass der Regler den thermischen Komfort um durchschnittlich 15 % und die Energieeffizienz um durchschnittlich 2,5 % im Vergleich zu anderen Strategien verbessern kann)	Literaturrecherche (Wang et al. 2017)

Tabelle 9: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Unternehmensinfrastruktur.

Technologie- und Produktentwicklung

Produkt- bzw. Technologieentwicklung bezeichnet den Prozess, der zur Entstehung eines Produkts bzw. einer Technologie führt. Gerade in der Produktentwicklung bietet es sich an, Nachhaltigkeit bereits von Anfang an mitzudenken (Nachhaltigkeit by Design). Bei der Entwicklung von kreislaufwirtschaftsfähigen oder nachhaltigen Produkten kann KI unterstützen, etwa durch die Verwendung von biogenen und bioabbaubaren Materialien. Dadurch wird die Recyclingfähigkeit der Produkte verbessert. (Boll et al. 2022)

Ein Anwendungsbeispiel in der Technologie- und Produktentwicklung ist sowohl die Entwicklung als auch die Verwendung und Verarbeitung alternativer und kreislauffähiger Materialien und Komponenten wie z.B. Rezyklate, Biokunststoffe und Papierfaserverbünde. Mithilfe von Maschinellen Lernen lassen sich dabei Designprozesse optimieren und ein schnelles Prototyping und Testen ermöglichen. In Tabelle 10 sind ausgesuchte Anwendungsfälle und ihr Nachhaltigkeitspotenzial aufgelistet.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Entwicklung und Verarbeitung neuer Materialien	Begünstigung der Bioabbaubarkeit, Recycling	Literaturrecherche (Boll et al. 2022)
Integration von Maschinellern Lernen zur Verbesserung der modellprädiktiven Steuerung (MPC) für die Steuerung und Kalibrierung von Verbrennungsmotoren	Unterstützung bei der Einhaltung künftiger strenger Emissionsziele moderner Verbrennungsmotoren	Literaturrecherche (Norouzi et al. 2021)
Transparente Gestaltung von Stoffkreisläufen über eine digitale Lebenszyklusakte und Optimierung von Abfallsortierung mithilfe KI	Gestaltung recyclingfreundlicher Produkte, automatisierte Ökobilanzen, Verbesserung der Recyclingquote, Förderung der Kreislaufwirtschaft	Literaturrecherche (ReCircE; Zielinski et al. 2022)

Tabelle 10: Ausgewählte Anwendungsfälle in der Technologie- und Produktentwicklung.

Beschaffung

Die Beschaffung bzw. der Einkauf befasst sich grundsätzlich mit allen Aufgaben, die mit der Versorgung des Unternehmens mit externen Gütern zu tun haben. Dabei nimmt diese Unternehmensfunktion eine immer wichtigere Rolle ein – hin zu einer »integralen strategischen Komponente der Wertschöpfungskette, die in zentraler Schnittstellenfunktion fungiert und deren Entscheidungen den langfristigen Unternehmenserfolg maßgeblich beeinflussen« (Möller & Bogaschewsky 2019). Um Nutzen mit KI stiften zu können und mit ökologischer Nachhaltigkeit zu vereinen ist es vorteilhaft, den Einkauf nicht abgeschottet zu sehen, sondern im Kontext eines ganzen Unternehmens und der (gesamten) Supply Chain. Dabei kann KI vielfältig zum Einsatz kommen: Beispielsweise zur Auswertung von Unternehmensberichten, zur Aufdeckung von Beschaffungsrisiken, zur Auswahl von Leistungsindikatoren, zur Schaffung von Transparenz in der Lieferkette durch den Einsatz von smarten Sensoren und zum Aufbau stabiler und flexibler Lieferketten.

Ein Anwendungsbeispiel in der Beschaffung ist z. B. die Vorhersage über den Bedarf von Produkten.

»Der Bedarf der Produkte im Markt unterliegt gewissen Regelmäßigkeiten und Zyklen. Damit diese besser in Supply-Chain-Planungsprozesse integriert werden können, ist es sinnvoll, historische Daten gut zu verstehen, sie mit Algorithmen zu interpretieren und zu versuchen, daraus Vorhersagen für die Zukunft zu machen.«

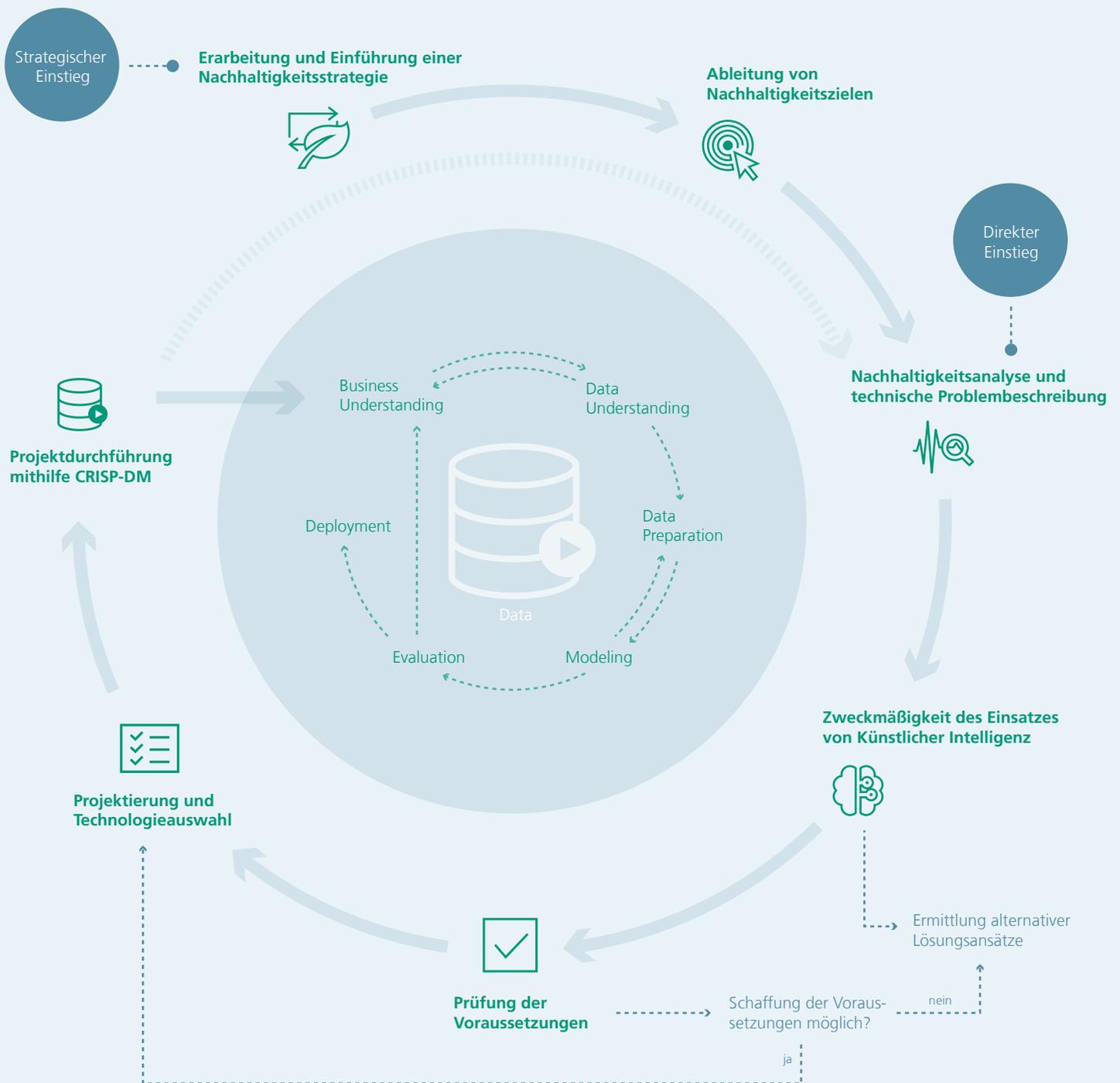
Wolfgang Weber, Henkel

Dabei besteht das Ziel darin, den Bedarf und den Absatz eines bestimmten Artikels in der Zukunft zu prognostizieren und die Parameter zu identifizieren, die ebenjene beeinflussen. Die Vorhersage ist nur ein Baustein, im erweiterten Sinne ist es sinnvoll, Planungsprozesse effizient zu steuern. Dies kann sich dann über Analysen, bspw. im Logistik-Bereich, erstrecken. Dort kann KI nützlich sein, Belieferungsmuster für Kunden zu optimieren. Es gibt jeweils ein bestimmtes Verfügbarkeitsmuster der eigenen Artikel und ein spezifisches Bestellmuster der Kunden, außerdem können sowohl die geografische Struktur der Auslieferungslager als auch die Drop-Points der Kunden berücksichtigt werden. Ein Ziel kann hier sein, die Lkw-Auslastung möglichst zu maximieren (Cost-to-Serve-Analysis). Ein Tool kann dabei unterstützen, im Dialog mit Kunden die Belieferungsschemata hinsichtlich Aufwand, Nachhaltigkeitsimpact usw. zu optimieren. Weitere Anwendungsfälle können Tabelle 11 entnommen werden.

Anwendungsfall	Nachhaltigkeitspotenzial	Quelle
Supply-Chain-Planungsprozesse (Vorhersagen über Bedarf und Absatz von Produkten, um diese Vorhersagen für Supply-Chain-Planungsprozesse zu nutzen)	Ressourcenschonung, Auslastungsmaximierung von Lieferfahrzeugen zur CO ₂ -Reduktion Überblick über Nachhaltigkeitsperformance der Lieferanten, Erstellung von Handlungsempfehlungen für die Nachhaltigkeitsentwicklung der Lieferanten oder Vorschlag alternativer Anbieter, Aufdeckung von Greenwashing	Henkel Literaturrecherche (Möller & Bogaschewsky 2019)
Erstellung automatischer Reports zum Vergleich verschiedener Lieferanten		

Tabelle 11: Anwendungsfälle in der Beschaffung.

5. Handlungsleitfaden für Unternehmen



Im Folgenden wird ein Handlungsleitfaden und Best-Practices für die Entwicklung einer KI-Anwendung zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Unternehmen vorgeschlagen. Eine Kurzversion des Handlungsleitfadens ist im Anhang zu finden.

Der Einstieg in diesen Handlungsleitfaden ist entweder über strategische Vorüberlegungen oder direkt über einen Anwendungsfall möglich. In den nächsten Abschnitten werden die einzelnen Schritte bzw. Phasen für die Entwicklung einer KI-Anwendung zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Detail erläutert. Da diese Studie den Fokus auf ökologische Nachhaltigkeit legt, wird im weiteren Verlauf immer von ökologischer Nachhaltigkeit die Rede sein, es sei denn, weitere Dimensionen der Nachhaltigkeit sind explizit erwähnt.



5.1. Erarbeitung und Einführung einer Nachhaltigkeitsstrategie

Eine Nachhaltigkeitsstrategie ist die Grundlage für Nachhaltigkeitsaktivitäten in einem Unternehmen. Sie gibt Orientierung zur Festlegung langfristiger Ziele, für deren Erreichung entscheidende Maßnahmen bzw. Pläne ausgewählt und Ressourcen bereitgestellt werden. Sie sollte darauf abzielen die Bedürfnisse der Stakeholder von Unternehmen in der Gegenwart und in der Zukunft zu befriedigen (Shrivastava 1986; Dyllick & Hockerts 2002). Studien belegen, dass eine Nachhaltigkeitsstrategie zudem dazu beiträgt, einen signifikanten Wettbewerbsvorteil zu erlangen (Dyllick & Hockerts 2002).

Falls im Unternehmen noch keine Nachhaltigkeitsstrategie existiert, sollte diese beim strategischen Einstieg zunächst erarbeitet und eingeführt werden. Hierbei müssen die Herausforderungen für das Unternehmen identifiziert werden, die unter anderem durch externe Faktoren, wie Markt, Wettbewerb, Kundinnen und Kunden, Gesetzgeber und Regularien, oder interne Faktoren wie Prozesse, Ressourcen oder Kompetenzen, beeinflusst werden (Epstein et al. 2010). Diese Herausforderungen können mithilfe einer Stakeholderanalyse und Wesentlichkeitsmatrix ermittelt werden. Stakeholder sind in diesem Fall alle Anspruchsgruppen eines Unternehmens. Eine Wesentlichkeitsmatrix veranschaulicht hierbei die Ergebnisse der Stakeholderanalyse, indem eine Dimension die Relevanz für die Stakeholder bzw. die Stakeholder-Erwartungen aufzeigt. Die andere Dimension stellt die Relevanz der Themen für das Unternehmen selbst bzw. ihre wirtschaftlichen Aktivitäten dar. Abbildung 10 veranschaulicht die Wesentlichkeitsmatrix anhand eines Beispiels.

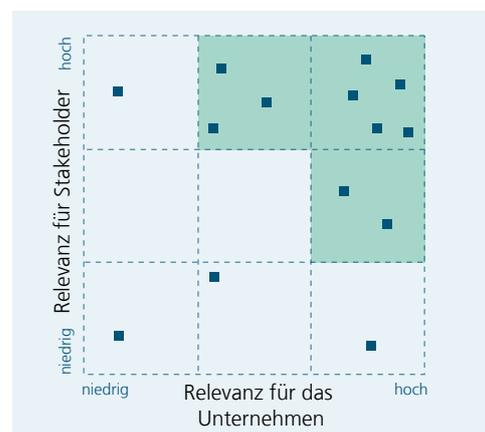


Abbildung 10: Beispiel einer Wesentlichkeitsmatrix.

Die Umsetzung und Integration einer Nachhaltigkeitsstrategie muss langfristig angegangen werden. Auch muss berücksichtigt werden, dass Schulungen, also ein Aufbau von Kompetenzen im Bereich Nachhaltigkeit und Prozessanpassungen, notwendig sein können (Stead & Stead 2000; Engert et al. 2016). Die folgenden Schritte sollten durchlaufen werden, um die Nachhaltigkeitsstrategie langfristig im Unternehmen zu verankern und notwendige Anpassungen sicherzustellen (Rodrigues & Franco 2019):

1. **Formalisierung:** Die Formalisierung ist eng verbunden mit der Verwendung geeigneter Werkzeuge zur Analyse des Unternehmens, wie der Wesentlichkeitsmatrix (Radomska 2013). Die Nachhaltigkeitsstrategie wird in diesem Schritt erarbeitet und formuliert.
2. **Einführung:** Für eine erfolgreiche Einführung der Strategie werden Pläne und Maßnahmen definiert, die die langfristige Integration im nächsten Schritt sicherstellen. Hierbei sind vor allem ausreichend finanzielle und personelle Ressourcen zu berücksichtigen.
3. **Integration:** In diesem Schritt wird die Strategie langfristig in Prozesse und in das Unternehmen als Ganzes integriert.
4. **Bewertung:** Die Umsetzung der Strategie muss überwacht und bewertet werden, um ggf. gegensteuern zu können und die Strategie entsprechend anzupassen. Somit kann eine Rückkehr zu Schritt 1 notwendig werden.

Leitfragen:

- Existiert eine Nachhaltigkeitsstrategie und wurde diese ins Unternehmen integriert?
- Wurde die Nachhaltigkeitsstrategie intern (und ggf. extern) kommuniziert, sodass sie insbesondere den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bekannt ist?
- Wurden alle relevanten Stakeholder bei der Erarbeitung der Nachhaltigkeitsstrategie berücksichtigt? U. a. sind dies Kundinnen und Kunden, Mitarbeitende, Anwohnerinnen und Anwohner, Lieferanten, Gesetzgeber, Verbände, Gesellschaft.
- Wird die Nachhaltigkeitsstrategie nachverfolgt und fortlaufend angepasst?

5.2. Ableitung von Nachhaltigkeitszielen



Nach der Erarbeitung und Einführung einer Nachhaltigkeitsstrategie müssen daraus konkrete Nachhaltigkeitsziele abgeleitet werden, sodass die Strategie nachverfolgt werden kann. Zudem erleichtern konkrete Nachhaltigkeitsziele die Identifikation von KI-Anwendungen für Verbesserungen im Unternehmen, da kritische Handlungsfelder und -potenziale bereits bestimmt wurden. Ein konkretes Ziel eines Unternehmens kann beispielsweise die Erreichung der Klimaneutralität der eigenen Produktion bis 2025 sein. Mittlerweile existieren hierfür zahlreiche Rahmenwerke, an denen sich Unternehmen orientieren können. Ein sehr übergeordnetes Rahmenwerk bieten die UN Sustainable Development Goals (siehe auch Abbildung 4), mithilfe derer Unternehmen ihren Beitrag zum Erreichen der globalen Entwicklungsziele ableiten können.

Im besten Fall werden die Nachhaltigkeitsziele in ein Nachhaltigkeitsmanagement eingebettet. Die ISO 14001 (DIN EN ISO 14001) oder das Eco Management and Audit Scheme (EMAS) (Umweltgutachterausschuss (UGA)) geben einen guten Rahmen für das Umweltmanagement vor, indem Verantwortlichkeiten und Prozesse definiert werden müssen. Durch das Durchlaufen des Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA-Zyklus) werden ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess angeregt und umgesetzte Maßnahmen evaluiert.

Um konkrete Kennzahlen für das Monitoring abzuleiten, eignen sich Richtlinien und Rahmenwerke zur Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten. In diesen Dokumenten wird auf Themen verwiesen, auf die Unternehmen im Bereich Nachhaltigkeit achten sollten. Darüber hinaus werden Kennzahlen vorgegeben, die für das interne Monitoring und zusätzlich für externe Berichte genutzt werden können. Im Folgenden werden einige verbreitete Beispiele von solchen Rahmenwerken genannt:

- Eco Management and Audit Scheme (EMAS) (Umweltgutachterausschuss (UGA)): EMAS ist ein Umweltmanagementsystem der Europäischen Union, das gleichzeitig konkrete Kennzahlen für die jährliche Umwelterklärung vorgibt. Diese betreffen Daten zur Umwelt, wie Emissionen, Abfälle, biologische Vielfalt, Ressourcen-, Wasser- und Energieverbräuche.
- Global Reporting Initiative (GRI) (Global Reporting Initiative): GRI hat Richtlinien für die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten erarbeitet. Mittlerweile gibt es universelle und sektorspezifische Standards, die für jede Unternehmensgröße anwendbar sind.
- Deutscher Nachhaltigkeitskodex (DNK) (Rat für Nachhaltige Entwicklung): Der DNK wurde vom Rat für nachhaltige Entwicklung erarbeitet und stellt einen Standard für eine branchenübergreifende Berichterstattung dar.
- UN Global Compact (UN Global Compact): Der UN Global Compact (dt. Globaler Pakt der Vereinten Nationen) ist eine Vereinbarung zwischen UN und Unternehmen für ein sozial gerechteres und ökologischeres Wirtschaften.

Leitfragen:

- Sind aus der Nachhaltigkeitsstrategie konkrete Nachhaltigkeitsziele für das Unternehmen abgeleitet worden?
- Wurden konkrete Kennzahlen definiert?
- Wird ein Nachhaltigkeitsstandard berücksichtigt? Wenn ja, welcher?
- Werden die Nachhaltigkeitsziele in einem definierten Zyklus nachverfolgt?



5.3. Nachhaltigkeitsanalyse und technische Problembeschreibung

Ausgehend von der erarbeiteten Nachhaltigkeitsstrategie und den formulierten Nachhaltigkeitszielen müssen die Nachhaltigkeitsherausforderungen des Unternehmens identifiziert und beschrieben werden. Bei diesem Schritt können Unternehmen auch direkt einsteigen, wenn sie bereits einen potenziellen KI-Anwendungsfall für sich identifiziert haben. Gleichwohl sollten sie, ausgehend von der erarbeiteten Nachhaltigkeitsstrategie und ihren Nachhaltigkeitszielen, die Nachhaltigkeitsherausforderungen des Unternehmens bereits identifiziert und beschrieben haben.

Wenn Klarheit über die konkreten Nachhaltigkeitsdefizite und -potenziale herrscht, müssen die Herausforderungen in konkrete technische Fragestellungen umformuliert werden.

Aus dem Nachhaltigkeitsziel »Reduzierung der CO₂-Emissionen« bzw. »Erreichung der Klimaneutralität« könnte das konkretisierte Nachhaltigkeitsziel »Unsere Produktion emittiert zu viel Kohlenstoffdioxid, wir möchten die CO₂-Emissionen reduzieren« abgeleitet werden. Daraus könnte die konkrete technische Problembeschreibung formuliert werden: »Unsere Produktion ist ineffizient, wir verbrauchen zu viel Energie und unser Energieverbrauch verursacht mehr CO₂ als notwendig, da unser Strommix einen hohen Anteil Kohlestrom und zu wenig regenerativen Strom enthält, obwohl wir über eine PV-Anlage verfügen.« Die Optimierungsaufgabe, die ggf. mit KI-Unterstützung gelöst werden sollte, lautet dann »Wie können wir die Energieeffizienz der Produktion erhöhen und den Stromverbrauch zeitlich so optimieren, dass hohe Energieverbräuche in Zeiten anfallen, in denen wir über einen hohen Anteil an Solarstrom von unserer PV-Anlage verfügen können?«.

Dies wäre ein konkret aus den Nachhaltigkeitszielen abgeleitetes technisches Optimierungsproblem. Die Fragestellung und Struktur ist aufgrund der vielen unterschiedlichen Optimierungsparameter hinreichend komplex, sodass eine Bearbeitung der Aufgabe mit KI-Methoden sinnvoll sein könnte. Ob der Einsatz von KI tatsächlich sinnvoll ist, muss im nächsten Schritt geprüft werden.

Leitfragen:

- Sind Nachhaltigkeitsdefizite und -potenziale identifiziert worden?
- Wurden die Herausforderungen in eine konkrete technische Problemstellung übersetzt?
- Wurde daraus eine konkrete technische Optimierungsaufgabe formuliert?
- Kann die Optimierungsaufgabe im Hinblick auf den möglichen Einsatz von KI untersucht werden?

5.4. Zweckmäßigkeit des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz



An dieser Stelle empfiehlt es sich, eine bewusste und begründete Entscheidung für oder gegen den Einsatz von KI für eine konkrete Problemstellung bzw. einen konkreten Anwendungsfall zu treffen. Nicht immer ist KI eine sinnvolle Wahl, um einem Problem zu begegnen, z. B. wenn es einfacher lösbar ist. KI sollte kein Selbstzweck sein, und daher lohnt sich ein kritischer Blick auf die zu entwickelnde Anwendung, um eine qualifizierte Wahl treffen zu können. Im Folgenden werden einige technische und ökologische Kriterien vorgestellt, die bei der Entscheidung helfen sollen, ob KI ein zweckmäßiger Ansatz für die Problemstellung sein kann.

Komplexität einer Aufgabe

Grundsätzlich ist es hilfreich zu hinterfragen, ob die vorliegende Aufgabenstellung ausreichend komplex ist, damit KI einen Mehrwert schafft. Die folgenden Aussagen sollen eine Hilfestellung geben:

- Das Problem kann nicht einfacher gelöst werden.
- Das Problem lässt sich nicht einfach (formal) beschreiben.
- Das Umfeld ist unübersichtlich.
- Es müssen viele Variablen/Parameter berücksichtigt werden.

Je mehr Aussagen auf Zustimmung treffen, desto eher ist der Einsatz von KI hilfreich. In Umgebungen mit einem hohen Grad an Komplexität ist KI und im Besonderen Maschinelles Lernen am nützlichsten (Agrawal et al. 2017). Jedoch muss stets Folgendes berücksichtigt werden: Je komplexer ein Modell ist, desto geringer sind die Interpretierbarkeit eingesetzter Verfahren sowie das Verständnis darüber (Maedche et al. 2019). Weiterhin steigen mit der Komplexität auch der Aufwand und u. U. der Energieverbrauch, die KI zu trainieren, und damit auch die negativen Auswirkungen der Anwendung auf die Nachhaltigkeit (s. auch Kapitel 3.3).

Art der Aufgabe

Ein weiteres Kriterium zur Wahl des Ansatzes ist die Art der Aufgabe bzw. Problemstellung, die gelöst werden soll. Da sich KI an den kognitiven Fähigkeiten des Menschen orientiert, lassen sich KI-Fähigkeiten grob in vier Bereiche unterteilen (Schmid et al. 2021):

- Erkennen/Wahrnehmen
- Verarbeiten und Verstehen
- Handeln/Reagieren
- Kommunizieren.

Sind zur Lösung der Aufgabe Fähigkeiten notwendig, die normalerweise von Menschen übernommen werden müssen, so kann sie ein guter Kandidat für eine KI-Anwendung sein. Eine weitere Überlegung ist die benötigte Methode (Schmid et al. 2021):

- Problemlösung, Optimierung, Planung oder Entscheidungsfindung
- Wissensrepräsentation und Schlussfolgerung
- Maschinelles Lernen
- Hybrides Lernen.

Wenn beispielsweise ein Prozess optimiert werden soll oder eine Vorhersage eines zukünftigen Ereignisses oder eines unbekanntem jetzigen Zustands benötigt wird, ist die Verwendung von KI eine meist hilfreiche Option. Auch für Anwendungen, bei denen Lernen (Maschinelles Lernen, Hybrides Lernen) eine große Rolle spielt, ist KI gut geeignet.

Gewünschter Automationsgrad

Der gewünschte Automationsgrad der zu entwickelnden Anwendung ist ein weiterer Faktor, der in die Evaluation miteinbezogen werden kann. Aufgaben, bei denen sich das Ergebnis leicht beschreiben lässt und die nur bedingt menschliche Beurteilung oder Entscheidung benötigen, lassen sich einfacher automatisieren (Agrawal et al. 2017). Hier gibt es ein Spektrum an möglichen Entscheidungsfreiheitsgraden. Die zu verwendende Ausprägung hängt dabei vom gewünschten Ergebnis des KI-Modells sowie vom geplanten Verwendungszweck ab. Die Datenethikkommission der Bundesregierung schlägt eine Unterscheidung von Anwendungen in drei Autonomielevel vor (Datenethikkommission der Bundesregierung 2019):

- algorithmenbasierte Entscheidungen
- algorithmengetriebene Entscheidungen
- algorithmendeterminierte und damit vollautomatisierte Entscheidungen.

Algorithmenbasierte Entscheidungen spielen eine große Rolle in Entscheidungsunterstützungssystemen und sind Assistenzwerkzeuge, bei denen der Mensch die Entscheidungshoheit innehat und selbst eine Entscheidung trifft. Bei algorithmengetriebenen Entscheidungen handelt es sich um Entscheidungen, die weiterhin durch den Menschen getroffen werden, aber durch algorithmische Ergebnisse geprägt sind. Das heißt, der Entscheidungsspielraum und die Selbstbestimmung des Menschen sind eingeschränkt und es verbleiben begrenzte Handlungsspielräume für Entscheidungen. Die letzte Ausprägung, die algorithmendeterminierte Entscheidung, zeichnet sich dadurch aus, dass sie unabhängig vom Menschen Entscheidungen treffen kann und somit vollautomatisiert ist.

Kritikalität des Systems

Es empfiehlt sich weiterhin, die Kritikalität des KI-Systems im Voraus einzuschätzen. Denn daraus ist ableitbar, ob eine Anwendung mit geringem Gefährdungspotenzial und damit verbundenen geringen Einschränkungen möglich ist. Die Datenethikkommission der Bundesregierung schlägt dazu ein Stufenmodell (eine Kritikalitätspyramide) mit fünf Kritikalitätsstufen vor (Datenethikkommission der Bundesregierung 2019). Die Kritikalitätspyramide reicht von Anwendungen

ohne oder mit geringem Schädigungspotenzial (Stufe 1) bis zu Anwendungen mit unverträglichem Schädigungspotenzial (Stufe 5). Die möglicherweise entstehenden Schäden können in materielle und immaterielle Schäden unterschieden werden. Materielle Schäden sind z. B. Schäden an materiellen Gütern, Schäden an kritischen Infrastrukturen, ökologischen Schäden oder Umweltkatastrophen. Immaterielle Schäden umfassen z. B. eine Verletzung von Persönlichkeitsrechten, eine Verletzung sozialer Normen wie Gerechtigkeit und Fairness oder eine Verletzung normativ-regulativer Vorgaben sowie die Gefährdung der Stabilität der Demokratie (Heesen et al. 2021).

Nachhaltigkeitsnutzen

Wie in Kapitel 4.2 dargelegt, existieren einige KI-Anwendungsfälle, mit denen positive Nachhaltigkeitspotenziale erzielt werden können. Diesen Potenzialen können jedoch auch – zwar meist geringere – negative Auswirkungen, zum Beispiel der Energieverbrauch beim Training einer KI, entgegenstehen. Zur Bewertung der konkreten KI-Anwendung hinsichtlich des Nachhaltigkeitsnutzens für das Unternehmen sollten daher zwei Aspekte betrachtet werden:

- die (zusätzlichen) Ressourcen, die die KI-Lösung benötigt
- die potenziellen Einsparungen, die durch die KI-Lösung erreicht werden können.

Eine Abschätzung der potenziellen Einsparungen ist in vielen Fällen schwierig. Hier sollte sich daher zunächst auf die größten Verbräuche und Umweltauswirkungen konzentriert werden, da in diesen Bereichen die größten Verbesserungen zu erreichen sind. Die Bewertung des Nachhaltigkeitsnutzens der Umsetzung einer KI-Maßnahme ist dabei nicht trivial, da den positiven Auswirkungen in einem Bereich negative Auswirkungen bei anderen Nachhaltigkeitsaspekten gegenüberstehen können (Dusseldorp 2018). Zum Beispiel kann eine Maßnahme zu Verbesserungen im Bereich Energie und Treibhausgasemissionen führen und gleichzeitig eine Erhöhung der Schadstoffemissionen zur Folge haben.

Die wichtigsten ökologischen Aspekte, die bei der Entwicklung, dem Training und der Anwendung von KI berücksichtigt werden sollten, sind (Rohde et al. 2021): Energieverbrauch und -effizienz des ausgewählten KI-Modells sowie Treibhausgasemissionen und CO₂-Effizienz. Zudem sollten folgende Aspekte, die zu ökologischen Verbesserungen führen, einbezogen werden (Rohde et al. 2021):

- Ressourceneinsparungen (Energie, Material, Wasser)
- Reduktion von Treibhausgasemissionen
- Erhöhung der Produktqualität und/oder -lebensdauer.

Leitfragen:

- Eignet sich ein KI-Einsatz grundsätzlich, um die Aufgabe bzw. Problemstellung zu lösen (Prüfung z. B. über die Kriterien: Komplexität einer Aufgabe, Art der Aufgabe, gewünschter Automationsgrad, Kritikalität und Nachhaltigkeitsnutzen)?
- Können alternative Lösungsansätze verfolgt werden und wenn ja, wie können potenzielle Ergebnisse hinsichtlich der Ergebnisqualität bewertet werden? Welcher Lösungsansatz liefert bessere Ergebnisse – KI oder herkömmliche Methoden?
- Welche Erwartungen bestehen bezüglich der Nachhaltigkeitspotenziale bzw. des Nutzens und wie lassen sich Verantwortliche im Unternehmen hierfür sensibilisieren? Inwiefern können die Nachhaltigkeitspotenziale quantifiziert werden?
- Mit welchen finanziellen Aufwänden ist zu rechnen? Könnte die Maßnahme an zu geringen monetären Kostenvorteilen scheitern? Falls ja, wie lassen sich Verantwortliche motivieren? Im Zweifel lohnt es sich, das Thema im Zweijahresrhythmus (aufgrund des hohen Entwicklungstempos in Kombination mit sinkenden Kosten) wieder vorzulegen.



5.5. Prüfung der Voraussetzungen

Sobald eine grundsätzliche Entscheidung für den Einsatz von KI als Lösungsansatz getroffen wurde, ist es hilfreich, einige Voraussetzungen zu prüfen. Dabei ist es wichtig, diese Prüfung ergebnisoffen durchzuführen. Im weiteren Verlauf ist es immer wieder möglich, zu dem Urteil zu kommen, dass etwaige Voraussetzungen nicht gegeben sind oder eine Implementierung ein ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis darstellt. Mögliche zu prüfende Voraussetzungen werden im Folgenden dargestellt:

IT-Infrastruktur

»Nichts ist frustrierender als eine wackelig aufgebaute IT-Infrastruktur. Sobald Entscheidungsprozesse auf eine digitale Basis gehoben werden, ist eine stabile Infrastruktur unverzichtbar. Künstliche Intelligenz stellt IT-Architekturen vor Herausforderungen, die es vorher so nicht unbedingt gab.«

Wolfgang Weber, Henkel

Drei Aspekte sind im Besonderen für den Einsatz von KI im Kontext der IT-Infrastruktur zu berücksichtigen (Jöhnk et al. 2021):

- ausreichend Datenspeicherkapazitäten, um große Datenmengen zu erzeugen und zu speichern
- Netzwerkfähigkeiten, um schnell auf Daten zuzugreifen, sie zu verarbeiten und zu transportieren
- skalierbare Rechenleistung, um KI-Lasten zu bewältigen.

Weiterhin ist es wichtig, die Sicherheit des IT-Systems zu gewährleisten, insbesondere den unbefugten Zugriff auf Daten und die Steuerung der Unternehmensprozesse zu verhindern (Sivalingam et al. 2020).

Personal

»Es ist hilfreich, bei der Einführung einer KI-Anwendung die zukünftige Zielgruppe in die Entwicklung miteinzubeziehen. Das nimmt Ängste und hilft Verständnis aufzubauen. Wenn man das nicht macht, trifft das eher auf Ablehnung und die Mitarbeiter beschäftigen sich dann eher damit nachzuweisen, dass der Algorithmus sich irrt.«

Wolfgang Weber, Henkel

Eine weitere Voraussetzung für die Einführung und den Einsatz von KI ist das eigene Personal. Ist im Unternehmen selbst ausreichend KI-Know-how und -Erfahrung vorhanden und steht für die Entwicklung und den Betrieb genügend Kapazität zur Verfügung? Eine Möglichkeit wäre, vorausgesetzt es stehen eigene Entwicklerinnen und Entwickler zur Verfügung, die Anwendung selbst zu entwickeln. Denkbar wäre es aber auch, neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einzustellen oder vorhandenes Personal weiterzubilden. Die Alternative zur Eigenentwicklung ist der Zukauf der geplanten Anwendung, was möglicherweise mit Kostenvorteilen verbunden ist. Andererseits schafft man sich dadurch eine höhere Abhängigkeit von Marktpartnern, die die notwendige KI-Expertise bündeln (Abdelkafi et al. 2019). Man muss sich also die Frage stellen, wer die Anwendung entwickelt, aber auch, wer sie betreibt und sie nach der Einführung wartet. Weiterhin bietet sich eine regelmäßige Evaluation der KI-Anwendung an, denn mithilfe der Erfahrung der Beschäftigten lassen sich nachfolgende Innovationsprozesse (wie z. B. die fortschreitende Verbesserung von Prozessen oder die Entwicklung neuer Produkte oder Geschäftsmodelle) erreichen (Stowasser et al. 2020).

Bereits an dieser Stelle empfiehlt es sich, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einzubinden, diese an der Planung des KI-Einsatzes teilhaben zu lassen und deren Bedürfnisse zu berücksichtigen, um Transparenz und damit Akzeptanz schaffen zu können (s. auch Kapitel 5.8) (Abdelkafi et al. 2019). Als Konsequenz der Einführung von KI ergibt sich folgender Handlungsbedarf: Das Personal muss für die neuen Aufgaben vorbereitet und qualifiziert werden, neue Aufgaben- und Tätigkeitsprofile müssen gestaltet und die Arbeitsorganisation muss bei Bedarf angepasst werden (Stowasser et al. 2020).

Daten und Prozesse

Die Grundvoraussetzung zur Einführung von KI im Unternehmen sind vorbereitete Prozesse und geeignete Daten. Die Ausgangsbasis ist der Einsatz von vernetzten Systemen und die Möglichkeit Daten maschinell erheben zu können, vorausgesetzt dies wird nicht ohnehin schon getan (z. B. durch vorhandene Sensorik). Sobald eine KI-Anwendung zum Einsatz kommen soll, muss diese in bestehende oder neue Arbeitsprozesse integriert werden. (Stowasser et al. 2020)

Bei den zu verwendenden Daten sind vier Faktoren zu berücksichtigen:

■ Datenverfügbarkeit und Datenzugang

Zum einen gilt es zu prüfen, ob die benötigten Daten bereits vorliegen oder ob diese erst noch erzeugt werden müssen. Sind sie noch nicht vorhanden, können bestehende Informationen digitalisiert oder unter Umständen fehlende Daten erzeugt werden (z. B. über Simulationen o. ä.). Außerdem sollte die Zugänglichkeit der Daten (ein schneller und einfacher Zugang) gewährleistet sein. Hilfreich dafür ist eine Zentralisierung der Daten (z. B. über ein »Data Lake« oder ein »Data Warehouse«) anstatt der Verteilung von Daten in Datensilos. (Jöhnk et al. 2021)

■ Datenmenge, Datenqualität und Datentyp

Die Datenmenge spielt häufig eine wichtige Rolle, vor allem bei lernenden Verfahren. Es ist daher sinnvoll zu erheben, wie viele Daten in welcher Qualität vorliegen und wie diese vorliegen (als Sensordaten, als Bild, als Text usw.). Grundsätzlich lässt sich sagen, je höher die Datenqualität ausfällt, desto bessere Ergebnisse sind zu erwarten. Dimensionen zur Evaluation der Datenqualität sind beispielsweise Vollständigkeit und Korrektheit. Vor allem historische Daten liegen allerdings häufig in geringer(er) Qualität vor. (Jöhnk et al. 2021)

Verschiedene Datentypen sind geeignet für unterschiedliche KI-Anwendungen. Strukturierte Daten (z. B. Excel-Dateien) eignen sich vor allem für standardisierte Lösungen, unstrukturierte Daten (z. B. Audio, Video, Bild) eignen sich für fortgeschrittene Anwendungen wie Objekterkennung usw. (Jöhnk et al. 2021)

■ Datenquelle

Ein weiteres Thema ist die Prüfung der Datenquelle. Je nachdem, wo die Daten herkommen, ist nicht unbedingt die Datenhoheit gewährleistet – hier sollte eruiert werden, ob die Maschinendaten dem Besitzer, dem Betreiber oder dem Hersteller der Maschine gehören. Je nach Datenquelle ist auch die Vertrauenswürdigkeit der Daten zu prüfen. Häufig ist es außerdem nicht ausreichend, eine KI-Anwendung ein einziges Mal zu trainieren, denn es kann ein kontinuierlicher Datenfluss (von der Quelle zur Anwendung) vonnöten sein. Hilfreich sind hierfür definierte ETL-Prozesse (»Extract, Transform, Load«), etablierte Datenpipelines sowie kontinuierliche und automatisierte Datenströme. (Jöhnk et al. 2021)

■ Datensensibilität

Der Umgang mit sensiblen Daten (z. B. personenbezogene Daten, Kundendaten usw.) sollte wohlüberlegt sein. Eine mögliche Herangehensweise ist »Privacy by Design«, also die Berücksichtigung von Persönlichkeitsrechten schon bei der Entwicklung der KI-Anwendung und die Schaffung von größtmöglicher Transparenz über verwendete Daten (Stowasser et al. 2020).

Leitfragen:

- Sind die notwendigen Voraussetzungen (IT-Infrastruktur, Personal, Daten und Prozesse) geschaffen worden, um KI zur Steigerung der Nachhaltigkeit einzusetzen?
- Sind zu optimierende Prozesse und Maschinen sowie die IT-Infrastruktur bereits KI-fähig und falls nicht, welche Maßnahmen sind diesbezüglich erforderlich? (Sind Prozesse digital abgebildet, können Maschinendaten z. B. mittels Sensorik abgegriffen werden, und ist die IT-Infrastruktur geeignet?)
- Liegen benötigte Daten bereits vor und falls nicht, welche und wie viele Daten werden konkret benötigt und wie soll die Erfassung, Akquise oder Erzeugung dieser Daten gelingen?
- Liegen genügend Kapazitäten und Kompetenzen des eigenen Personals vor, um eine KI-Lösung zu entwickeln, einzusetzen und zu warten und falls nicht, ist es möglich, das eigene Personal entsprechend zu schulen bzw. wie soll die Akquise fähigen Personals ausgestaltet werden?



5.6. Projektierung und Technologieauswahl

Wenn die Voraussetzungen für den Einsatz von KI geprüft oder auch geschaffen wurden, kann zu diesem Zeitpunkt die Projektierung der KI-Entwicklung stattfinden. Dabei stellt sich die Frage, ob die Anwendung selbst entwickelt werden soll oder der Zukauf einer Standardlösung infrage kommt (s. auch Kapitel 5.5 Personal).

In einem weiteren Schritt gilt es, gerade wenn die KI-Entwicklung im eigenen Haus erfolgen soll, sich bereits grundsätzliche Gedanken zur »KI-Technologie« zu machen. Je nach Anwendungsfall bzw. zu lösender Problemstellung eignen sich zu verwendende Hilfsmittel unterschiedlich gut. Es gibt viele unterschiedliche KI-Verfahren, Algorithmen, Toolkits und Bibliotheken (Libraries), die sorgfältig auszuwählen sind – nach Eignung (Anwendungsfall, Daten, IT-Infrastruktur), aber auch gewünschter Lizenz (Closed Source, Open Source). Hier kann nun keine Empfehlung ausgesprochen werden, welche Konstellation sich für welchen Anwendungsfall konkret eignet. Kapitel 4.2 enthält aber dazu einige Anregungen durch Anwendungsfallbeispiele und wie diese im Einzelfall gelöst werden konnten.

An dieser Stelle sei noch einmal auf die Problematik hingewiesen, dass KI zwar ein Hilfsmittel zur Verbesserung der Nachhaltigkeit sein kann, ein KI-System an sich aber auch Umweltauswirkungen im Hinblick auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen verursacht (s. auch Kapitel 3.3) (Rohde et al. 2021). Daher sollte eine KI-Anwendung sorgfältig geplant und die Umweltauswirkungen bereits in dieser Planung berücksichtigt werden, damit das entwickelte System folglich nicht höhere Emissionen verursacht, als sie einspart.

Leitfragen:

- Soll die KI-Anwendung selbst entwickelt werden oder soll eine Marktlösung zugekauft werden?
- Wie soll die KI-Architektur aussehen – welche Schnittstellen zu anderen Systemen oder Anwendungen gibt es, wie gestaltet sich das Datenmodell und welche Software- und KI-Komponenten werden benötigt?
- Welche Toolkits und Libraries sollen für die Feinplanung berücksichtigt werden, gibt es Einschränkungen bezüglich Lizenzierungsfragen?

- Mit welchen Emissionen und Energieverbräuchen ist bei Entwicklung, Training, Verbesserung und Optimierung der KI-Modelle zu rechnen und welche ökologischen Einsparpotenziale bietet die Anwendung?

5.7. Projektdurchführung mithilfe CRISP-DM



Der »Cross-Industry Standard Process for Data Mining« (CRISP-DM) (Wirth & Hipp 2000) ist ein einheitliches Standardmodell und wurde ursprünglich entwickelt, um Data-Mining-Projekte zu realisieren. Auch heute noch ist er der De-facto-Standard, sowohl für Data Mining als auch – mit leichten Abwandlungen – für Data Science-Projekte. Der Begriff Data Science wird heute häufiger verwendet, er erweitert klassisches Data Mining um die Interaktion von daten- und wissensgetriebenen Phasen (Martínez-Plumed et al. 2021). Da KI-Anwendungen i. d. R. Daten verarbeiten, wird dieses Vorgehensmodell vorgeschlagen. Es kann selbstverständlich auch ein anderes Modell zur Projektdurchführung gewählt werden. CRISP-DM unterscheidet sechs Phasen: »Business Understanding«, »Data Understanding«, »Data Preparation«, »Modeling«, »Evaluation« und »Deployment«. Weitere Details zur Umsetzung von KI-Projekten mit CRISP-DM finden sich beispielsweise im Quick Guide KI-Projekte (Fink 2020) und in Structuring and Delivering AI Projects (Haller 2022).

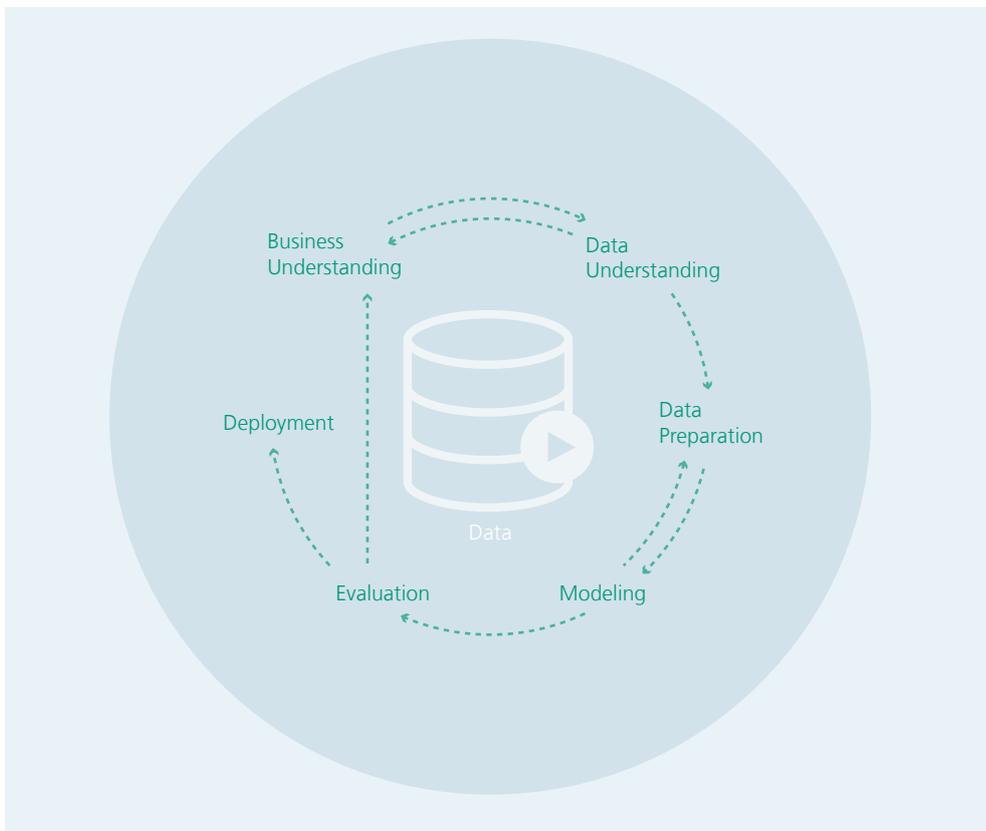


Abbildung 11: Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) (Wirth & Hipp 2000) – ein einheitliches Standardmodell für die Entwicklung von Data-Mining-Projekten.

Leitfragen:

- Sind die Ausgangssituation und die Problemstellung ausreichend detailliert beschrieben?
- Ist die Datenbasis geschaffen, um die Problemsituation verbessern zu können, bzw. liegen die notwendigen Daten in hoher Qualität und im richtigen Datenformat vor?
- Wie lässt sich die Problemstellung technisch abbilden, und welche Algorithmen, Modelle und Libraries sind hierfür geeignet?
- Bringt die KI-Anwendung den gewünschten Nutzen und kann sie in den produktiven Einsatz im Unternehmen überführt werden?

5.8. Best Practices

Ergänzend zum vorgeschlagenen Handlungsleitfaden für die Einführung von KI zur Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit konnten über die durchgeführten Interviews einige hilfreiche Best Practices gesammelt werden, die bei Beachtung zum Erfolg des KI-Projektes beitragen können.

Change Management

Eine frühzeitige Integration und Sensibilisierung sowie ferner eine zielgruppengerechte Schulung der betroffenen Nutzerinnen und Nutzer beziehungsweise Kundinnen und Kunden sowie weiterer Stakeholder ist essenziell zur Schaffung von Verständnis, Akzeptanz und Vertrauen.

»Der Kunde will die Methode, aber auch Methodik, die dahintersteht, um zu den Lösungen zu kommen, verstehen. Ein wichtiger Punkt ist, dass ein Vertrauensverhältnis entstehen muss (ein gutes Gefühl), es muss Transparenz über Informationen herrschen, KI darf keine Blackbox sein. Wenn sich die KI irrt, muss der Kunde das auch selbst erkennen können.«

Andreas Neuber, Applied Materials

Auf der einen Seite ist es daher wichtig, die »[...] Beschäftigten und ihre Interessenvertretungen frühzeitig auf ihre neuen Aufgaben vorzubereiten und mit geeigneten Qualifizierungsmaßnahmen das volle Potenzial von KI-Technologien zu heben und Akzeptanz zu stärken.« (Stowasser et al. 2020)

»Es ist grundsätzlich sehr wichtig, die Leute auf dem Shopfloor abzuholen, denn man will natürlich nicht, dass sie nachher am Prozess mit der neuen Technologie vorbei arbeiten und zudem ist es nicht die Idee, die Antwort der Technologie zuerst zu geben, sondern rauszufinden, wo die Probleme und Herausforderungen im täglichen Doing sind. Ganz oft kennen die Leute auf dem Shopfloor die viel besser als ein Projektsponsor. Deswegen ist es enorm wichtig, ebenjene mit ins Boot zu holen. Nachher sind das nämlich auch diejenigen, die Angst haben, dass so eine KI ihren Arbeitsplatz ersetzt, was ganz häufig ja gar nicht der Fall ist. Man muss also frühzeitig diese Angst nehmen und ein Bild davon vermitteln, wie das neue Arbeiten aussieht.«

Dr. Vanessa Just, KIBV

Auch die Aufgaben- und Tätigkeitsprofile der Beschäftigten gilt es anzupassen, da sich diese häufig durch die Einführung neuer Technologien verändern (gerade auch in Bezug zum Verhältnis Mensch – Maschine) (Stowasser et al. 2020). In diesem Zusammenhang seien Themen wie Upskilling (Höherqualifizierung) und lebenslanges Lernen erwähnt.

Übung mithilfe kleinerer Projekte

Bei der Einführung von KI sind zu Beginn Pilot- und Experimentierphasen zur Sammlung von Erfahrungswerten sinnvoll. Bei KI-Projekten handelt es sich um Innovationsprojekte, wobei ein Erfolg nicht von vornherein absehbar ist, Risiken birgt und von einigen häufig unbekanntem Einflussfaktoren abhängt (Weißberger 2021). Wertvoll sind daher kleine und abgegrenzte Pilotprojekte insbesondere, um positive Erkenntnisse zu gewinnen und den Nutzen zu erkennen, aber auch um nachteilige Konsequenzen auszuschließen oder abzuschwächen. Weiterhin ist eine solche Pilotphase hilfreich, um Informationen zu der Funktionsweise der KI zu sammeln und eine ausführliche Potenzial- und Folgenabschätzung machen zu können. (Stowasser et al. 2020)

»Man sollte klein anfangen – zum Beispiel mit Pilotprojekten – einen kleinen Use Case identifizieren, diesen bearbeiten und prüfen, wie gut das funktioniert, und anschließend skalieren und inkrementelle Verbesserungen erzeugen.«

Lucas Spreiter, KIBV

»Pilot- und Experimentierphasen sind aufgrund der hohen Dynamik der technologischen Entwicklung im Bereich der Künstlichen Intelligenz von großer Bedeutung: Das Probieren, Experimentieren, Bewerten, Annehmen – aber auch das möglichst frühe Verwerfen und Lernen – sollte auch Teil des Change-Prozesses bei Künstlicher Intelligenz sein.« (Stowasser et al. 2020)

Wissensmanagement

Der Einsatz eines Wissensmanagements für die Wiederverwendung von Daten auf der einen Seite und Know-how und Expertise auf der anderen Seite sind hilfreich bei KI-Projekten.

»Wiederverwendung ist auch ein Aspekt von Nachhaltigkeit. Auch die Wiederverwendung von Daten, die Wiederverwendung von Wissen, die Wiederverwendung von Expertise. Zum Beispiel durch die Auswertung von vorhandenen Berichten oder Projektergebnissen. Wir gehen das sehr systematisch mit Big-Data-Ansätzen und KI an.«

Corina Apachite, Continental

Austausch mit Externen

»Bei der Entwicklung von KI-Anwendungen sind Zuverlässigkeit der Software und systematische, dokumentierte Entwicklungsprozesse zur Vermeidung von Fehlern unumgänglich. Dies gilt speziell für die industrielle Produktion. Ein Prototyp ist meist schnell aufgebaut, aber eine stabile Serienlösung für den Dauerbetrieb in der Produktion zu implementieren, ist extrem aufwendig und erfordert viel Know-how und Disziplin. Das haben wir bei plus10 über Jahre auch im Rahmen von Kooperationen mit internationalen KI- bzw. Softwareexperten und Forschungseinrichtungen aufgebaut.«

Felix Müller, plus10

Ein unternehmensübergreifender Austausch von Daten, Wissen und Anwendungsfällen ist eine gute Möglichkeit, um von Unternehmen mit ähnlichen Herausforderungen zu lernen.

»Das Schöne ist, dass branchenübergreifend eine Zusammenarbeit stattfindet, gerade bei den Themen Recycling und Energie. Da findet schon ein sehr intensiver Austausch statt, um dann auch entsprechend Best Practices abzuleiten, die übergeordnet für eine Verpackungsindustrie, eine Automobilindustrie usw. verfügbar sind. Da sind dann die Themen Datenaustausch, Datentransport und Kommunikation für die Entwicklung eines etablierten Standards zentral.«

Bertram Stern, Arburg

Erwartungsmanagement

Die Nutzung eines Erwartungsmanagements kann helfen, frühzeitig übertriebene oder falsche Erwartungen an die KI-Anwendung zu erkennen und anzugleichen. So können Enttäuschungen und Ängste bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie anderen Stakeholdern vermieden bzw. reduziert werden.

»Ob der erwartete Nutzen mit dem tatsächlichen Nutzen einer entwickelten KI-Lösung übereinstimmt? Nicht immer, ein Erwartungsmanagement gegenüber Nutzern oder Unternehmen ist notwendig und sinnvoll.«

Lucas Spreiter, KIBV

Entwicklung eines Anwendungsfalls

Bei der Entwicklung von Anwendungsfällen für den Einsatz von KI stehen Unternehmen häufig vor Herausforderungen: Zum einen fehlt ein tieferes Verständnis über Geschäftspotenziale, die sich mit KI ergeben – dies kann in der Folge zu Unter- oder Überschätzungen dieser Potenziale führen. Zum anderen ist es wichtig, dass ein Anwendungsfall sowohl technisch umsetzbar, aber auch wirtschaftlich ist und zum Unternehmen und zum individuellen Problem passt. Ein reines Kopieren von Anwendungsfällen ist daher nicht ratsam. (Hofmann et al. 2020)

»Künstliche Intelligenz ist ein spannendes Thema. Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist es in Ordnung, wenn KI ausprobiert wird. Doch irgendwann sollte es darüber hinausgehen und es sollten Anwendungsfälle gefunden werden, die entweder nicht ohne den Einsatz von KI lösbar sind oder einen sonstigen, deutlichen Mehrwert für unsere Kunden bieten.

KI sollte kein Selbstzweck sein!«

Steffen Gerstenberg, Balluff

In einem jeden Projekt sollte die Frage nach dem Einsatzgebiet bzw. dem Anwendungsfall (Welches Problem soll gelöst werden?) grundsätzlich vor der Technologieentscheidung und somit vor der Entscheidung für eine KI-Lösung (Wie soll das Problem gelöst werden?) stehen.

»Stand heute ist unser Lessons Learned vor allem, zuerst den Anwendungsfall zu finden und dann die KI-Anwendung darauf aufzubauen. Es ist nicht zielführend, das Framework im Vorfeld umfangreich aufzubauen, wenn es keine Einsatzmöglichkeit und keinen Nutznachweis dafür gibt. Der prototypische Beweis, dass es bei einer Problemstellung weiterhilft, ist zielführender.

Auch sollte ehrlich bewertet werden, ob man den Anwendungsfall auch anders hätte lösen können.«

Steffen Gerstenberg, Balluff

»Wichtig ist: Wir kommen von der Fachthematik und nicht von der Technologie. Man kann nicht sagen, KI ist immer die Lösung für alles. Und vor allem muss man auch immer wieder die Nachhaltigkeitsfrage der KI selbst im Hinterkopf haben und das Bewusstsein dafür weiter schärfen.«

Dr. Vanessa Just, KIBV

Eine Identifikation bzw. Entwicklung eines Anwendungsfalls kann sich mit prozessfremden, gegebenenfalls sogar externen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern anbieten, um eine »Betriebsblindheit« auszuschließen.

»Es ist am besten, einen Anwendungsfall mit jemandem umzusetzen, der keine Ahnung vom zu optimierenden Prozess hat. Damit vermeidet man eine Kalibrierung auf eine bestimmte gedankliche Richtung.«

Wolfgang Weber, Henkel

Ein weiterer wertvoller Gedanke ist, den Kundennutzen als Basis zu verstehen und darauf aufbauend den Anwendungsfall zu entwickeln.

»Es findet ein permanentes Screening der Supply Chain statt, um gute Anwendungsfälle zu finden.«

Wolfgang Weber, Henkel

»Der Kunde sollte immer im Mittelpunkt stehen. Häufig sind Anbieter in ihre eigene Lösung »verliebt«. Man bietet somit dem Kunden das an, was man selbst für ein großartiges Produkt hält. Das sollte besser umgekehrt sein. Es gilt zuzuhören, die Bedürfnisse und das Problem des Kunden zu verstehen und anhand dieser Informationen ein für den Kunden wertschöpfendes Produkt zu entwickeln.«

Simon Stark, Multivac

Anpassung der Umgebung

Unter Umständen kann es nützlich sein, eine Anpassung der Umwelt oder Umgebung bzw. der Bedingungen vorzunehmen, um

- a) KI einsetzen zu können (z. B. Grenzen setzen bei Mährobotern, Einsatz von »Wake-up-Phrases« bei Sprachassistenten)
- b) KI überflüssig zu machen (z. B. vorsortierte Anlieferung, damit eine KI-basierte Sortierung nicht notwendig ist)

»Einem Mähroboter, aber auch einem Staubsaugerroboter muss man Grenzen setzen. Das zeigt uns, dass KI ein besonderes Umfeld benötigen kann und auch der Nutzer sich ggf. der KI anpassen muss. Wir sprechen beispielsweise deutlicher, wenn wir einen Sprachassistenten bedienen.«

Corina Apachite, Continental

Bewertung der Effektivität

Zum Schluss ist es zweckmäßig, das Ergebnis der Optimierung mit KI mit dem Zustand vor der Maßnahme zu vergleichen. Auch ein Vergleich mit einer alternativen Optimierung – ohne KI – kann sinnvoll sein, um eine KI-Lösung unter Berücksichtigung des Istzustands zu evaluieren.

»Der Nutzen der Lösung lässt sich in der Regel durch die Aufnahme einer Baseline vor dem KI-Einsatz und dem Vergleich mit der Situation nach dem KI-Einsatz ermitteln. Auch ist ein Vergleich mit einer Optimierung ohne KI sinnvoll, zum Beispiel um zu klären, ob KI überhaupt sinnvoll ist.«

Lucas Spreiter, KIBV

6. Zusammenfassung und Ausblick

Längst ist KI in deutschen Unternehmen angekommen. Vorrangig wird sie dort für ökonomische Optimierungszwecke eingesetzt, jedoch wird auch die ökologische Nachhaltigkeit bei der Unternehmensführung immer wichtiger. Die Industrie muss ihre Treibhausgase entscheidend senken, um die Klimaschutzziele erreichen zu können. Überdies werden die Rufe der Verbraucherinnen und Verbraucher nach umweltfreundlicheren Produkten lauter. Der Gedanke, dort mit neuen Technologien wie KI anzusetzen, war bis vor Kurzem noch nicht weit verbreitet. Ebenda stehen Unternehmen vor einigen Herausforderungen: Praktikerinnen und Praktiker stellen sich insbesondere die Frage, in welchen Unternehmensbereichen dies zweckdienlich ist und wie eine Umsetzung gelingen kann. Ziel der Studie war es, Unternehmen eine entsprechende Orientierung an die Hand zu geben.

Die Studie zeigte auf, dass KI das Potenzial besitzt, ökologische Nachhaltigkeit zu steigern. Es wurden potenzielle Anwendungsfälle von KI zur Förderung der Nachhaltigkeit von produzierenden Unternehmen vorgestellt. Hierzu wurden sowohl Anregungen aus der Literaturrecherche als auch Interviews mit Unternehmen, einem Verband und einem Forschungsinstitut berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung konnten einerseits Potenziale aufzeigen, die insbesondere produzierende Unternehmen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit mithilfe von KI-Methoden heben können, und andererseits konnte ein Handlungsleitfaden erarbeitet werden, der bei der erfolgreichen KI-Einführung unterstützt.

Gerade bei der Instandhaltung in der Produktion und der Produktionsprozessoptimierung lassen sich große Potenziale verorten. Auch in den Bereichen Unternehmensinfrastruktur sowie Beschaffung konnten einige Anwendungsfälle identifiziert werden. Entwicklungsperspektiven sind hingegen vor allem in Bereichen wie Kundendienst, Marketing und Vertrieb oder Personal zu erkennen. Nachhaltigkeitsbestrebungen zielen aktuell vor allem auf die Aspekte Energie- und Materialeffizienz ab. Die Reduzierung von Treibhausgasemissionen stellt aber einen nicht vernachlässigbaren Teil der Bemühungen dar. Zum Beispiel im Zusammenhang mit der Optimierung von Wasserverbräuchen lassen sich Stand heute nur wenige Anwendungsfälle ausmachen. Eine mögliche Erklärung hierfür lässt sich in der Abhängigkeit der Optimierungsansätze von vielen lokalen Parametern finden. Häufig überwiegt noch immer der wirtschaftliche Nutzen den Nachhaltigkeitsüberlegungen. Meist lässt sich diese Problematik nur auflösen, wenn gesteigerte Nachhaltigkeitsbemühungen gleichermaßen zu Kostensenkungen führen.

»Nachhaltigkeit ist ein sehr guter Anwendungsfall für KI. Bei der systematischen Verbesserung des Sustainability-Footprints, hinsichtlich Abfalls, Wasser, Energie oder CO₂-Äquivalenten ist es gut geeignet. Bei der Energie gibt es beispielsweise eine 1:1-Beziehung zwischen Verbräuchen und Effizienzen, industrielle Prozesse sind hinreichend bekannt und die Datenlage ist sehr gut und lässt sich datentechnisch sehr gut erfassen.«

Wolfgang Weber, Henkel

Ein weiterer Aspekt, der nicht vernachlässigt werden darf, ist die Nachhaltigkeit der KI-Technologien selbst. Hierfür wird es vermehrt notwendig sein, Lösungen zu entwickeln, um ebensolche nachhaltiger zu gestalten (Green AI). Es ist nicht hilfreich, wenn KI zum Zwecke der Nachhaltigkeit eingesetzt wird und am Ende selbst zu höheren CO₂-Emissionen führt. Diesen Zwiespalt zu lösen, wird zunehmend wichtiger, sodass sich dies gleichzeitig die Wissenschaft zur Aufgabe machen muss.

Der entwickelte Handlungsleitfaden mit seinen insgesamt sieben Schritten bietet Unternehmen eine Anleitung zur Umsetzung von KI für Nachhaltigkeitsverbesserungen. Er richtet sich sowohl an Unternehmen, die noch keine Nachhaltigkeitsstrategie und -ziele entwickelt haben, als auch an Unternehmen, die bereits einen konkreten KI-Anwendungsfall in diesem Kontext identifiziert haben. Erstere können den strategischen Einstieg, letztere den direkten Einstieg in den Handlungsleitfaden nutzen.

In Zukunft werden außerdem Ansätze zur Kreislaufwirtschaft immer gefragter: Auch hierbei kann KI eine Unterstützung bieten. Erste Bestrebungen werden bereits heute angegangen. Themen zur Begünstigung des KI-Einsatzes in Deutschland, wie der Datenaustausch und die Standardisierung sowie ethische und rechtliche Fragestellungen zur Nutzung von KI, gehören zukünftig ebenso verstärkt auf die Forschungsagenda.

7. Literaturverzeichnis

Abdelkafi et al. 2019	Abdelkafi, Nizar; Döbel, Inga; Drzewiecki, Johannes David; Meironke, Anja; Niekler, Andreas; Reis, Sonja, 2019. Künstliche Intelligenz (KI) im Unternehmenskontext: Literaturanalyse und Thesenpapier. Leipzig
Agrawal et al. 2017	Agrawal, Ajay; Gans, Joshua S; Goldfarb, Avi, 2017. What to Expect From Artificial Intelligence. MIT Sloan Management Review 58 (3), S. 1–9
Bechtsis et al. 2017	Bechtsis, Dimitrios; Tsolakis, Naoum; Vlachos, Dimitrios; Iakovou, Eleftherios, 2017. Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. Journal of Cleaner Production 142, S. 3970–3984 DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.057
BEHG	Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen – Brennstoffemissionshandelsgesetz
Bieser et al. 2020	Bieser, Jan; Hintemann, Ralph; Beucker, Severin; Schramm, Stefanie; Hilty, Lorenz; 2020. Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken: Kurzstudie. Bitkom e.V. DOI: 10.5167/UZH-190091
Bitkom 2017	Bitkom e.V. (Hrsg.) & DFKI (Hrsg.), 2017. Künstliche Intelligenz. Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung. Berlin.
Boll et al. 2022	Boll, Susanne; Dowling, Michael; Faisst, Wolfgang; Mordvinova, Olga; Pflaum, Alexander; Rabe, Martin; Veith, Eric; Nieße, Astrid; Gülpen, Christian; Schnell, Markus; Terzidis, Orestis; Riss, Uwe; Eckerle, Christin; Manthey, Sarah; Pehlken, Alexandra; Zielinski, Oliver, 2022. Mit Künstlicher Intelligenz zu nachhaltigen Geschäftsmodellen – Nachhaltigkeit von, durch und mit KI. Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme, München. https://doi.org/10.48669/pls_2022-1
Brundtland 1987	Brundtland, Gro Harlem, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations General Assembly document A/42/427.
Bueno et al. 2020	Bueno, Adauto; Godinho Filho, Moacir; Frank, Alejandro G., 2020. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering 149, DOI: 10.1016/j.cie.2020.106774
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2007. Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Von der Idee zur Praxis; Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. ISBN: 9783935630603
Cheng et al. 2019	Cheng, Yiwei; Zhu, Haiping; Wu, Jun; Shao, Xinyu, 2019. Machine Health Monitoring Using Adaptive Kernel Spectral Clustering and Deep Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics 15 (2), S. 987–997 DOI: 10.1109/TII.2018.2866549

Choi & Kim 2020	Choi, Inyeop & Kim, Hyogon, 2020. An On-Device Deep Learning Approach to Battery Saving on Industrial Mobile Terminals. <i>Sensors</i> (Basel, Switzerland) 20 (14), DOI: 10.3390/s20144044
Cioffi et al. 2020	Cioffi, Raffaele; Travaglioni, Marta; Piscitelli, Giuseppina; Petrillo, Antonella; Felice, Fabio de, 2020. Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions. <i>Sustainability</i> 12 (2) DOI: 10.3390/su12020492
Cui et al. 2020	Cui, Wenyuan; Zhang, Yunlu; Zhang, Xinchang; Li, Lan; Liou, Frank, 2020. Metal Additive Manufacturing Parts Inspection Using Convolutional Neural Network. <i>Applied Sciences</i> 10 (2) DOI: 10.3390/app10020545
Datenethikkommission der Bundesregierung 2019	Datenethikkommission der Bundesregierung, 2019. Gutachten der Datenethikkommission der Bundesregierung. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/gutachten-datenethikkommission.html Zugriff am: 05.07.2022
Deng et al. 2017	Deng, Fang; Guo, Su; Zhou, Rui; Chen, Jie, 2017. Sensor Multifault Diagnosis With Improved Support Vector Machines. <i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i> 14 (2), S. 1053–1063 DOI: 10.1109/TASE.2015.2487523
Dhar 2020	Dhar, Payal, 2020. The carbon impact of artificial intelligence. <i>Nature Machine Intelligence</i> 2 (8), S. 423–425 DOI: 10.1038/s42256-020-0219-9
DIN 31051	DIN 31051:2019-06. Grundlagen der Instandhaltung.
DIN EN ISO 14001	DIN EN ISO 14001:2015-11. Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.
Dusseldorp 2018	Dusseldorp, Marc, 2018. Die Krux mit Zielkonflikten: Für eine Revision des Integrativen Konzepts nachhaltiger Entwicklung. <i>TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis</i> 27 (2), S. 61–67 DOI: 10.14512/tatup.27.2.61
Dyllick & Hockerts 2002	Dyllick, Thomas & Hockerts, Kai, 2002. Beyond the business case for corporate sustainability. <i>Business Strategy and the Environment</i> 11 (2), S. 130–141 DOI: 10.1002/bse.323
Elkington 1994	Elkington, John, 1994. Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. <i>California Management Review</i> 36 (2), S. 90–100 DOI: 10.2307/41165746
Engert et al. 2016	Engert, Sabrina; Rauter, Romana; Baumgartner, Rupert J., 2016. Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: a literature review. <i>Journal of Cleaner Production</i> 112, S. 2833–2850 DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.031
Epstein et al. 2010	Epstein, Marc J; Buhovac, Adriana Rejc; Yuthas, Kristi, 2010. Implementing sustainability: the role of leadership and organizational culture. <i>Strategic Finance</i> 91 (10), S. 41–47
Europäische Kommission	Europäische Kommission. Europäischer Grüner Deal: Erster klimaneutraler Kontinent werden. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de Zugriff am: 05.07.2022
Fink 2020	Fink, Verena, 2020. Quick Guide KI-Projekte – einfach machen: Künstliche Intelligenz in Service, Marketing und Sales erfolgreich einführen. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler. Quick Guide. ISBN: 9783658288648 DOI: 10.1007/978-3-658-28865-5

- Friedrich, Robert; Ploner, Florian; Schäfer, Christian Thomas; Disselhoff, Tim; Petkau, Andreas; Hennemann, Constantin; Moecke, Jakob; Wätzig, Tobias; Zimmert, Oliver; Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Miehe, Robert; Sauer, Alexander, 2021. Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE). Berlin
-
- Friedrich et al. 2021**
- Global Reporting Initiative (GRI). www.globalreporting.org. Verfügbar unter: <https://www.globalreporting.org/>
-
- Global Reporting Initiative**
- Zugriff am: 04.07.2022
-
- Gould, Oliver; Simeone, Alessandro; Colwill, James; Woolley, Elliot; Willey, Roy; Rahimi-fard, Shahin, 2017. Optimized Assembly Design for Resource Efficient Production in a Multiproduct Manufacturing System. *Procedia CIRP* 62, S. 523–528
-
- Gould et al. 2017**
- DOI: 10.1016/j.procir.2016.06.114
-
- Ha, Sooji; Marchetto, Daniel J; Dharur, Sameer; Asensio, Omar I., 2021. Topic classification of electric vehicle consumer experiences with transformer-based deep learning. *Patterns* 2 (2)
-
- Ha et al. 2021**
- DOI: 10.1016/j.patter.2020.100195
-
- Haller, Klaus, 2022. Structuring and Delivering AI Projects, S. 23-60. In: *Managing AI in the Enterprise*: Apress, Berkeley, CA
-
- Haller 2022**
- DOI: 10.1007/978-1-4842-7824-6_2
-
- Heesen, Jessica; Müller-Quade, Jörn; Wrobel, Stefan; Dabrock, Peter; Decker, Michael; Damm, Werner; Grunwald, Armin; Heine, Klaus; Houdeau, Detlef; Matzner, Tobias; Rost, Peter; Schauf, Thomas; Zweig, Katharina; Krafft, Tobias; Poretschkin, Maximilian, 2021. Kritikalität von KI-Systemen in ihren jeweiligen Anwendungskontexten – Ein notwendiger, aber nicht hinreichender Baustein für Vertrauenswürdigkeit. *Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme*, München.
-
- Heesen et al. 2021**
- DOI: 10.48669/pls_2021-3
-
- Hofmann, Peter; Jöhnk, Jan; Protschky, Dominik; Stähle, Philipp; Urbach, Nils; Buck, Christoph, 2020. KI-Anwendungsfälle zielgerichtet identifizieren. *Wirtschaftsinformatik & Management* 12 (3), S. 184–193
-
- Hofmann et al. 2020**
- DOI: 10.1365/s35764-020-00257-z
-
- Jöhnk, Jan; Weißert, Malte; Wyrтки, Katrin, 2021. Ready or Not, AI Comes— An Interview Study of Organizational AI Readiness Factors. *Business & Information Systems Engineering* 63 (1), S. 5–20
-
- Jöhnk et al. 2021**
- DOI: 10.1007/s12599-020-00676-7
-
- Kersting, Kristian & Tresp, Volker, 2019. Maschinelles und Tiefes Lernen: Der Motor für »KI made in Germany«. *Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme*. München
-
- Kersting & Tresp 2019**
- Klöter, Bernhard, 2018. Application of machine learning for production optimization: 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC): (a joint conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), S. 3489-3491
ISBN: 978-1-5386-8529-7
-
- Klöter 2018**
- DOI: 10.1109/PVSC.2018.8547467
-
- Kreutzer, Ralf T. & Sirrenberg, Marie, 2019. Künstliche Intelligenz verstehen: Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey. Wiesbaden: Springer Gabler.
ISBN: 978-3-658-25561-9
-
- Kreutzer & Sirrenberg 2019**
- DOI: 10.1007/978-3-658-25561-9
-
- Bundes-Klimaschutzgesetz. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz>
-
- KSG**
- Zugriff am: 07.09.2022
-
- Kuhlmann, Timm & Sauer, Alexander, 2019. Design and assessment of energetic agility measures in factories based on multivariate linear regression. *Procedia CIRP* 80, S. 162–167
-
- Kuhlmann & Sauer 2019**
- DOI: 10.1016/j.procir.2019.01.009
-

- Lee, Soo Young; Tama, Bayu Adhi; Moon, Seok Jun; Lee, Seungchul, 2019. Steel Surface Defect Diagnostics Using Deep Convolutional Neural Network and Class Activation Map. *Applied Sciences* 9 (24)
DOI: 10.3390/app9245449
-
- Lee et al. 2019**
- Maedche, Alexander; Legner, Christine; Benlian, Alexander; Berger, Benedikt; Gimpel, Henner; Hess, Thomas; Hinz, Oliver; Morana, Stefan; Söllner, Matthias, 2019. AI-Based Digital Assistants: Opportunities, Threats, and Research Perspectives. *Business & Information Systems Engineering* 61 (4), S. 535–544
DOI: 10.1007/s12599-019-00600-8
-
- Maedche et al. 2019**
- Martínez-Plumed, Fernando; Contreras-Ochando, Lidia; Ferri, César; Hernández-Orallo, José; Kull, Meelis; Lachiche, Nicolas; Ramírez-Quintana, María José; Flach, Peter, 2021. CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 33 (8), S. 3048–3061
DOI: 10.1109/TKDE.2019.2962680
-
- Martínez-Plumed et al. 2021**
- Möller, Jasmin & Bogaschewsky, Ronald, 2019. Digitale Trends und ihre Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsperformance in der Beschaffung. In: Wellbrock, Wanja; Ludin, Daniela (Hrsg.) *Nachhaltiges Beschaffungsmanagement*. Springer Gabler, Wiesbaden, S. 345-368.
ISBN: 978-3-658-25187-1
-
- Möller & Bogaschewsky 2019**
- Norouzi, Armin; Heidarifar, Hamed; Shahbakhti, Mahdi; Koch, Charles Robert; Borhan, Hoseinali, 2021. Model Predictive Control of Internal Combustion Engines: A Review and Future Directions. *Energies* 14 (19)
DOI: 10.3390/en14196251
-
- Norouzi et al. 2021**
- Porter, Michael E., 1998. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. 2. Auflage. Riverside: Free Press.
ISBN: 9781416595847
-
- Porter 1998**
- Pufé, Iris, 2017. *Nachhaltigkeit* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). UVK Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz und München.
ISBN 978-3-8252-8705-4
-
- Pufé 2017**
- Radomska, Joanna, 2013. Formalisation in strategy implementation – the key to success or an unnecessary limitation? *International Journal of Contemporary Management* 12 (3), S. 80–92
-
- Radomska 2013**
- Rat für Nachhaltige Entwicklung. *Deutscher Nachhaltigkeitskodex*. Verfügbar unter: <https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/>
Zugriff am: 04.07.2022
-
- Rat für Nachhaltige Entwicklung**
- ReCircE. *Digital Lifecycle Record for the Circular Economy*. Verfügbar unter: <https://www.recirce.de/>
Zugriff am: 05.07.2022
-
- ReCircE**
- Rodrigues, Margarida & Franco, Mário, 2019. The Corporate Sustainability Strategy in Organisations: A Systematic Review and Future Directions. *Sustainability* 11 (22)
DOI: 10.3390/su11226214
-
- Rodrigues & Franco 2019**
- Rohde, Friederike; Wagner, Josephin; Reinhard, Philipp; Petschow, Ulrich; Meyer, Andreas; Voß, Marcus; Mollen, Anne, 2021. Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz: Entwicklung eines Kriterien- und Indikatorensets für die Nachhaltigkeitsbewertung von KI-Systemen entlang des Lebenszyklus. *Schriftenreihe des IÖW*, 220/21, Berlin.
ISBN: 978-3-940920-24-9.
-
- Rohde et al. 2021**
- Schaltegger, Stefan; Hörisch, Jacob; Windolph, Sarah Elena; Harms, Dorli, 2012. *Corporate Sustainability Barometer 2012: Praxisstand und Fortschritt des Nachhaltigkeitsmanagements in den größten Unternehmen Deutschlands*. Corporate Sustainability Barometer 2012. Lüneburg: CSM Centre for Sustainability Management.
ISBN: 9783942638265
-
- Schaltegger et al. 2012**

	Schmid, Thomas; Hildesheim, Wolfgang; Holoyad, Taras; Schumacher, Kinga, 2021. The AI Methods, Capabilities and Criticality Grid. A Three-Dimensional Classification Scheme for Artificial Intelligence Applications. <i>KI - Künstliche Intelligenz</i> 35 (3), S. 425–440 DOI: 10.1007/s13218-021-00736-4
Schmid et al. 2021	DOI: 10.1007/s13218-021-00736-4
	Schwartz, Roy; Dodge, Jesse; Smith, Noah A; Etzioni, Oren, 2020. Green AI. <i>Communications of the ACM</i> 63 (12), S. 54–63 DOI: 10.1145/3381831
Schwartz et al. 2020	DOI: 10.1145/3381831
	Shrivastava, Paul, 1986. Is Strategic Management Ideological? <i>Journal of Management</i> 12 (3), S. 363–377 DOI: 10.1177/014920638601200305
Shrivastava 1986	DOI: 10.1177/014920638601200305
	Sivalingam, Keran; Legler, Tatjana; Heid, Manuel; Theis, Larissa, 2020. Künstliche Intelligenz für den Mittelstand – ein Praxisleitfaden. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Kaiserslautern
Sivalingam et al. 2020	
	Stead, Jean Garner & Stead, Edward, 2000. Eco-Enterprise Strategy: Standing for Sustainability. <i>Journal of Business Ethics</i> 24 (4), S. 313–329 DOI: 10.1023/A:1006188725928
Stead & Stead 2000	DOI: 10.1023/A:1006188725928
	Stowasser, Sascha; Suchy, Oliver; Huchler, Norbert; Müller, Nadine; Peissner, Matthias; Stich, Andrea; Vögel, Hans-Jörg; Werne, Jochen, 2020. Einführung von KI-Systemen in Unternehmen: Gestaltungsansätze für das Change-Management. Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme, München 2020.
Stowasser et al. 2020	
	Strubell, Emma; Ganesh, Ananya; McCallum, Andrew, 2019. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. <i>Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics</i> , S. 3645-3650. DOI: 10.18653/v1/P19-1355
Strubell et al. 2019	DOI: 10.18653/v1/P19-1355
	Su, Yi & Fan, Qi-Ming, 2020. The Green Vehicle Routing Problem From a Smart Logistics Perspective. <i>IEEE Access</i> 8, S. 839–846 DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2961701
Su & Fan 2020	DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2961701
	Susto, Gian Antonio; Beghi, Alessandro; McLoone, Seán, 2017. Anomaly detection through on-line isolation Forest: An application to plasma etching: 2017 28th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC): IEEE, S. 89-94 DOI: 10.1109/ASMC.2017.7969205
Susto et al. 2017	DOI: 10.1109/ASMC.2017.7969205
	Umweltbundesamt, 2022. Treibhausgasminderungsziele Deutschlands. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands Zugriff am: 05.07.2022
Umweltbundesamt 2022	Zugriff am: 05.07.2022
	Umweltgutachterausschuss (UGA) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Eco-Management and Audit Scheme (EMAS). Verfügbar unter: https://www.emas.de/der-uga Zugriff am: 04.07.2022
Umweltgutachterausschuss (UGA)	Zugriff am: 04.07.2022
	UN Global Compact. Reporting - UN Global Compact. Verfügbar unter: https://www.unglobalcompact.org/participation/report Zugriff am: 04.07.2022
UN Global Compact	Zugriff am: 04.07.2022
	United Nations, 2015. TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Verfügbar unter: https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981 Zugriff am: 31.08.2022
United Nations 2015	Zugriff am: 31.08.2022
	Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Stuhlsatz, Julian; Sauer, Alexander; Mieke, Robert, 2021. Artificial Intelligence Applications for Increasing Resource Efficiency in Manufacturing Companies—A Comprehensive Review. <i>Sustainability</i> 13 (12) DOI: 10.3390/su13126689
Waltersmann et al. 2021	DOI: 10.3390/su13126689

- Wang, Yuan; Velswamy, Kirubakaran; Huang, Biao, 2017. A Long-Short Term Memory Recurrent Neural Network Based Reinforcement Learning Controller for Office Heating Ventilation and Air Conditioning Systems. *Processes* 5 (3)
DOI: 10.3390/pr5030046
-
- Wang et al. 2017**
-
- Wanner, Jonas; Herm, Lukas-Valentin; Hartel, Dennis; Janiesch, Christian, 2019. Verwendung binärer Datenwerte für eine KI-gestützte Instandhaltung 4.0. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 56 (6), S. 1268–1281
DOI: 10.1365/s40702-019-00560-3
-
- Wanner et al. 2019**
-
- Weber, Marc-André; Jeske, Tim; Lennings, Frank, 2018. Nutzen der Digitalisierung für die Gestaltung produktiver Produktionsprozesse. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 113 (6), S. 426–430
DOI: 10.3139/104.111929
-
- Weber et al. 2018**
-
- Weißberger, Barbara E., 2021. Künstliche Intelligenz als Zukunftstechnologie im Controlling. *Controlling & Management Review* 65 (2), S. 8–17
DOI: 10.1007/s12176-021-0366-9
-
- Weißberger 2021**
-
- Welsch, Andreas; Eitle, Verena; Buxmann, Peter, 2018. Maschinelles Lernen. Grundlagen und betriebswirtschaftliche Anwendungspotenziale am Beispiel von Kundenbindungsprozessen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 55 (2), S. 366–382
DOI: 10.1365/s40702-018-0404-z
-
- Welsch et al. 2018**
-
- Willenbacher, Martina & Wohlgemuth, Volker, 2017. Einsatzmöglichkeiten von Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Optimierung von Stoff- und Energieströmen und prototypische Umsetzung auf der Basis von Stoffstromnetzen, S. 97-108. In: Arndt, Hans-Knud; Gómez, Jorge Marx; Wohlgemuth, Volker; Lehmann, Stefanie; Pleshkanovska, Roksolana (Hrsg.): Nachhaltige Betriebliche Umweltinformationssysteme. Wiesbaden: Gabler
ISBN: 978-3-658-20379-5
DOI: 10.1007/978-3-658-20380-1_10
-
- Willenbacher & Wohlgemuth 2017**
-
- Wirth, Rüdiger & Hipp, Jochen, 2000. CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining, S. 29-40. *Proceedings of the Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining*
DOI: 10.1.1.198.5133
-
- Wirth & Hipp 2000**
-
- Yu, Chih-Min; Chien, Chen-Fu; Kuo, Chung-Jen, 2017. Exploit the value of production data to discover opportunities for saving power consumption by production tools: *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 30 (4), S. 345-350
ISBN: 978-1-5090-4511-2
DOI: 10.1109/ISSM.2016.7934536
-
- Yu et al. 2016**
-
- Zhang, Chaoyang & Ji, Weixi, 2020. Edge Computing Enabled Production Anomalies Detection and Energy-Efficient Production Decision Approach for Discrete Manufacturing Workshops. *IEEE Access* 8, S. 158197–158207
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3020136
-
- Zhang & Ji 2020**
-
- Zhang, Jianjing; Wang, Peng; Yan, Ruqiang; Gao, Robert X., 2018. Long short-term memory for machine remaining life prediction. *Journal of Manufacturing Systems* 48, S. 78–86
DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.05.011
-
- Zhang et al. 2018**
-
- Zielinski, Oliver; Plociennik, Christiane; Vollmer, Sebastian, 2022. Mit KI an der Schraube Nachhaltigkeit drehen. *Nachhaltige Industrie* 3 (1), S. 10–15
DOI: 10.1007/s43462-022-0325-3
-
- Zielinski et al. 2022**

Anhang A – Auszug aus dem Fragenkatalog der Interviews

Im Folgenden ist ein Auszug der wesentlichen Fragen, die in den Interviews gestellt wurden, aufgelistet.

- Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Einsatz von KI in Ihrem Unternehmen?
- Welcher Aufwand ist bei der Einführung der KI-Lösung angefallen?
- Welchen Nutzen hat die KI-Lösung gebracht und wie haben Sie den Effekt bzw. Mehrwert (oder die Auswirkungen) der KI-Lösungen evaluiert?
- Stimmt der erwartete Nutzen mit dem tatsächlichen Nutzen der KI-Lösung überein?
- Welche KI-Technologien kommen in Ihrem Unternehmen zum Einsatz?
- Warum setzen Sie KI in Ihrem Unternehmen ein?
- Wie hoch ist der Stellenwert von Nachhaltigkeit in Ihrem Unternehmen (strategische Verankerung etc.)?
- Inwieweit bearbeiten Sie Nachhaltigkeitsthemen, die über die ökonomischen Aspekte der Nachhaltigkeit (Effizienz, Versorgungssicherheit, Kostenoptimierung) hinausgehen?
- Können Sie sich vorstellen, KI einzusetzen, um gezielt den Umwelteinfluss ihres Unternehmens zu reduzieren? Wenn ja, in welchen Abteilungen/Unternehmensfunktionen würde das infrage kommen?
- In welchem Bereich/für welche Anwendungen sehen Sie einen Nutzen von KI für Nachhaltigkeit in Unternehmen? Wie hoch schätzen Sie diesen Nutzen ein?
- Wie sind Sie bei der Einführung von KI-Anwendungen vorgegangen?
- Haben Sie Best Practices bei der Einführung von KI identifizieren können?
- Was hindert Sie daran, KI für Nachhaltigkeit einzusetzen?
- Was befähigt Sie, KI für Nachhaltigkeit einzusetzen?



Erarbeitung und Einführung einer Nachhaltigkeitsstrategie

Leitfragen:

- Existiert eine Nachhaltigkeitsstrategie und wurde diese ins Unternehmen integriert?
- Wurde die Nachhaltigkeitsstrategie intern (und ggf. extern) kommuniziert, sodass sie insbesondere den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bekannt ist?
- Wurden alle relevanten Stakeholder bei der Erarbeitung der Nachhaltigkeitsstrategie berücksichtigt, u. a. Kundinnen und Kunden, Mitarbeitende, Anwohnerinnen und Anwohner, Lieferanten, Gesetzgeber, Verbände, Gesellschaft?
- Wird die Nachhaltigkeitsstrategie nachverfolgt und fortlaufend angepasst?



Ableitung von Nachhaltigkeitszielen

Leitfragen:

- Sind aus der Nachhaltigkeitsstrategie konkrete Nachhaltigkeitsziele für das Unternehmen abgeleitet worden?
- Wurden konkrete Kennzahlen definiert?
- Wird ein Nachhaltigkeitsstandard berücksichtigt? Wenn ja, welcher?
- Werden die Nachhaltigkeitsziele in einem definierten Zyklus nachverfolgt?



Nachhaltigkeitsanalyse und technische Problembeschreibung

Leitfragen:

- Sind Nachhaltigkeitsdefizite und -potenziale identifiziert worden?
- Wurden die Herausforderungen in eine konkrete technische Problemstellung übersetzt?
- Wurde daraus eine konkrete technische Optimierungsaufgabe formuliert?
- Kann die Optimierungsaufgabe im Hinblick auf den möglichen Einsatz von KI untersucht werden?



Zweckmäßigkeit des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz

Leitfragen:

- Eignet sich ein KI-Einsatz grundsätzlich, um die Aufgabe bzw. Problemstellung zu lösen (Prüfung z. B. über die Kriterien: Komplexität einer Aufgabe, Art der Aufgabe, gewünschter Automationsgrad, Kritikalität und Nachhaltigkeitsnutzen)?
- Können alternative Lösungsansätze verfolgt werden und wenn ja, wie können potenzielle Ergebnisse hinsichtlich

der Ergebnisqualität bewertet werden? Welcher Lösungsansatz liefert bessere Ergebnisse – KI oder herkömmliche Methoden?

- Welche Erwartungen bestehen bezüglich der Nachhaltigkeitspotenziale bzw. des Nutzens und wie lassen sich Verantwortliche im Unternehmen hierfür sensibilisieren? Inwiefern können die Nachhaltigkeitspotenziale quantifiziert werden?
- Mit welchen finanziellen Aufwänden ist zu rechnen? Könnte die Maßnahme an zu geringen monetären Kostenvorteilen scheitern? Falls ja, wie lassen sich Verantwortliche motivieren? Im Zweifel lohnt es sich, das Thema im Zweijahresrhythmus (aufgrund des hohen Entwicklungstempos in Kombination mit sinkenden Kosten) wieder vorzulegen.



Prüfung der Voraussetzungen

Leitfragen:

- Sind die notwendigen Voraussetzungen (IT-Infrastruktur, Personal, Daten und Prozesse) geschaffen worden, um KI zur Steigerung der Nachhaltigkeit einzusetzen?
- Sind zu optimierende Prozesse und Maschinen sowie die IT-Infrastruktur bereits KI-fähig und falls nicht, welche Maßnahmen sind diesbezüglich erforderlich? Sind Prozesse digital abgebildet, können Maschinendaten z. B. mittels Sensorik abgegriffen werden, und ist die IT-Infrastruktur geeignet?
- Liegen benötigte Daten bereits vor und falls nicht, welche und wie viele Daten werden konkret benötigt und wie soll die Erfassung, Akquise oder Erzeugung dieser Daten gelingen?
- Liegen genügend Kapazitäten und Kompetenzen des eigenen Personals vor, um eine KI-Lösung zu entwickeln, einzusetzen und zu warten? Falls nicht: Ist es möglich, das eigene Personal entsprechend zu schulen bzw. wie soll die Akquise fähigen Personals ausgestaltet werden?



Projektierung und Technologieauswahl

Leitfragen:

- Soll die KI-Anwendung selbst entwickelt werden oder soll eine Marktlösung zugekauft werden?
- Wie soll die KI-Architektur aussehen – welche Schnittstellen zu anderen Systemen oder Anwendungen gibt es, wie gestaltet sich das Datenmodell und welche Software- und KI-Komponenten werden benötigt?
- Welche Toolkits und Libraries sollen für die Feinplanung berücksichtigt werden, gibt es Einschränkungen bezüglich Lizenzierungsfragen?
- Mit welchen Emissionen und Energieverbräuchen ist bei Entwicklung, Training, Verbesserung und Optimierung der KI-Modelle zu rechnen und welche ökologischen Einsparpotenziale bietet die Anwendung?



Projektdurchführung mithilfe CRISP-DM

Leitfragen:

- Sind die Ausgangssituation und die Problemstellung ausreichend detailliert beschrieben?
- Ist die Datenbasis geschaffen, um die Problemsituation verbessern zu können bzw. liegen die notwendigen Daten in hoher Qualität und richtigem Datenformat vor?
- Wie lässt sich die Problemstellung technisch abbilden und welche Algorithmen, Modelle und Libraries sind hierfür geeignet?
- Bringt die KI-Anwendung den gewünschten Nutzen und kann sie in den produktiven Einsatz im Unternehmen überführt werden?

KI-Fortschrittszentrum

Das KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« unterstützt Firmen dabei, die wirtschaftlichen Chancen der Künstlichen Intelligenz und insbesondere des Maschinellen Lernens für sich zu nutzen. In anwendungsnahen Forschungsprojekten und in direkter Kooperation mit Industrieunternehmen arbeiten die Stuttgarter Fraunhofer-Institute für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sowie für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO daran, Technologien aus der KI-Spitzenforschung in die breite Anwendung der produzierenden Industrie und der Dienstleistungswirtschaft zu bringen. Unterstützt werden sie dabei vom Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart. Finanzielle Förderung erhält das Zentrum vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg.

Mission

Das KI-Fortschrittszentrum ist der anwendungsorientierte Zweig von Cyber Valley, Europas größter Forschungs Kooperation im Bereich der Künstlichen Intelligenz. Das KI-Fortschrittszentrum schlägt die Brücke von der KI-Spitzenforschung in den Mittelstand und macht KI-Technologien für die Wirtschaft in Baden-Württemberg und darüber hinaus nutzbar. Als führender Innovationspartner für den Mittelstand arbeitet das Zentrum an Themen, die für den Einsatz von KI und Robotik branchenübergreifend von zentraler Bedeutung sind, beispielsweise Autonomie, Effizienz und Nachhaltigkeit, Mensch-Maschine-Interaktion sowie Vertrauen. Das KI-Fortschrittszentrum informiert Unternehmen über Technologietrends und deren Einsatzpotenziale und unterstützt sie bedarfsgerecht und niedrigschwellig bei der Entwicklung und Umsetzung von ambitionierten KI-Innovationen, damit sie die wirtschaftlichen Chancen der KI künftig noch besser nutzen können.

Vision

Das KI-Fortschrittszentrum ist ein Leuchtturm für erfolgreichen Technologietransfer in den Mittelstand und ermöglicht Unternehmen einen wirtschaftlichen und verantwortungsvollen Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Robotik – für unternehmerischen Erfolg sowie individuellen und gesellschaftlichen Nutzen.

Studienreihe »Lernende Systeme«

Die Studienreihe »Lernende Systeme« gibt Einblick in die Potenziale und die praktischen Einsatzmöglichkeiten von KI. Nähere Informationen und die aktuellen Versionen der Studien finden Sie unter: <https://www.ki-fortschrittszentrum.de/de/themen/studien.html>

Das KI-Fortschrittszentrum ist Bestandteil von S-TEC, dem Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus: www.s-tec.de

Impressum

Kontaktadresse

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Lara Waltersmann

Telefon +49 711 970-1756
lara.waltersmann@ipa.fraunhofer.de

Joachim Lentes

Telefon +49 711 970-2285
joachim.lentes@iao.fraunhofer.de

Herausgeber

Thomas Bauernhansl, Marco Huber, Werner Kraus,
Wilhelm Bauer, Matthias Peissner, Thomas Renner

Titelbild

© monsitj – stock.adobe.com

Satz und Gestaltung

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

Fraunhofer-Publica

<https://doi.org/10.24406/publica-301>

Gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit
und Tourismus Baden-Württemberg

CC-BY-NC-ND-Lizenz



Kontakt

KI-Fortschrittszentrum
Fraunhofer IPA und Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ki-fortschrittszentrum.de

Lara Waltersmann
Gruppenleiterin Management
nachhaltiger Wertschöpfungssysteme
Tel. +49 711 970-1756
lara.waltersmann@ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Joachim Lentjes
Leiter Digital Engineering
Tel. +49 711 970-2285
joachim.lentes@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de



Gefördert durch



Partner

