

Smarte Technologie gegen den Klimawandel

15 Fakten über
Künstliche Intelligenz

böll
FAKTEN

Fakt	Seite
Vorwort	4
01 – Was ist Künstliche Intelligenz?	6–7
02 – Wie kann KI gegen den Klimawandel wirken?	8–9
03 – Wie können Klimaschutz und KI zusammenkommen?	10–11
04 – Wie kann KI in der Forschung eingesetzt werden?	12–13
05 – Wie hilft KI bei der Energiewende?	14–15
06 – Kann KI den Ressourcenverbrauch senken?	16–17
07 – Wie funktioniert eine Industrie 4.0?	18–19
08 – Wie kann KI Verkehr und Mobilität verändern?	20–21
09 – Was bringt KI in der Landwirtschaft?	22–23
10 – Gäbe es durch KI mehr Ernährungssicherheit?	24–25
11 – Wie kann KI die Waldwirtschaft verändern?	26–27
12 – Wie kann KI der Artenvielfalt nutzen?	28–29
13 – Warum muss die Digitalwirtschaft den Klimaschutz mitdenken?	30–31
14 – Wie ist KI gestaltet, der wir vertrauen können?	32–33
15 – Wie sähe eine klimaschützende KI-Politik aus?	34–35
Verweise	36–38
Impressum	39

Vorwort

Im Kampf gegen die Klimakrise gibt es neue Hoffnung: Immer mehr Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zeigen Szenarien auf, in denen Maschinelles Lernen Strategien zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel unterstützen könnte – zum Beispiel im Energiesektor, in der Güterproduktion, in der Land- und Forstwirtschaft oder im Katastrophenschutz. So kann Künstliche Intelligenz helfen, die Ernährungssicherheit zu steigern und Ressourcen in der Landwirtschaft und der industriellen Produktion effizienter zu nutzen, aber auch wissenschaftliche Experimente und damit die Entwicklung sauberer Technologien zu beschleunigen. Ob der Einsatz von Künstlicher Intelligenz Ressourcenverbrauch und Emissionen zu senken vermag, anstatt sie noch weiter in die Höhe zu treiben, wird von klugen politischen Strategien, gesetzlichen Rahmenbedingungen und Anreizen abhängen.

Häufig werden Digitalisierung und Klimaschutz noch getrennt voneinander betrachtet. In der Debatte um die Einsatzmöglichkeiten von Künstlicher Intelligenz für den Klimaschutz ist es jedoch wichtig zu verstehen, welche Chancen und Herausforderungen mit der Technologie verbunden sind und wie ihre Entwicklung und Anwendung politisch gestaltet werden sollte. Mit diesem Heft hoffen wir daher, das Interesse an Künstlicher Intelligenz zu wecken und ein besseres Verständnis für ihre Möglichkeiten im Kampf gegen den Klimawandel zu vermitteln.

Vérane Meyer

Referentin für Digitale Ordnungspolitik, Heinrich-Böll-Stiftung

15 Fakten über Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz löst in vielen Bereichen eigenständig komplexe Aufgaben, indem sie Aspekte intelligenten Verhaltens nachahmt.

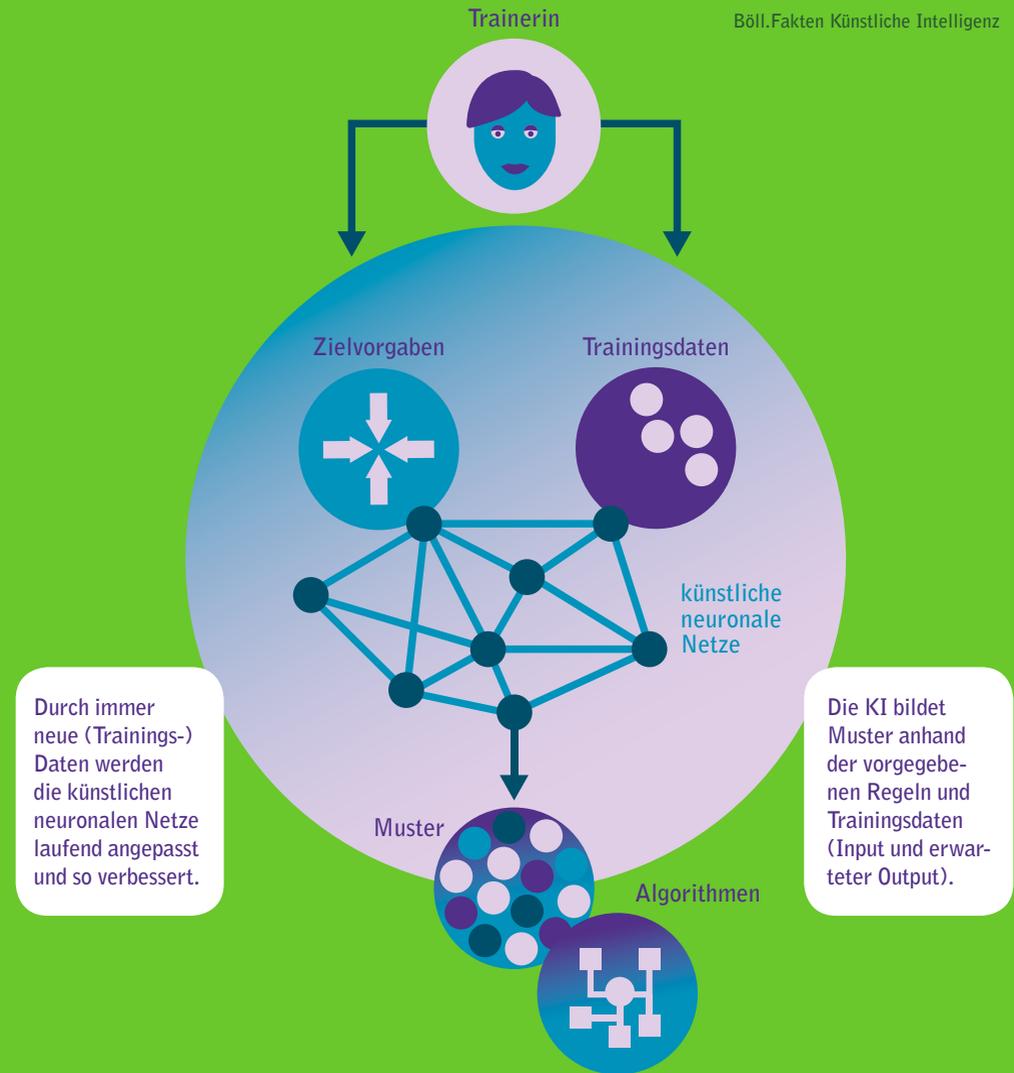
Suchmaschinen unterstützen uns dabei, Informationen zu finden. Navigations-Apps lotsen uns von einem Ort zum nächsten. Die Autokorrektur verbessert unsere Fehler in Textnachrichten. Ohne dass wir es immer bemerken, sind Anwendungen der Künstlichen Intelligenz (KI) Teil unseres Alltags geworden. Sie helfen uns, konkrete Probleme zu lösen.

Künstliche Intelligenz ist ein Sammelbegriff für einen Teilbereich der Informatik. Dieser Bereich beschäftigt sich damit, wie Software bestimmte Aufgaben selbstständig erledigen kann. Die Bezeichnung «Intelligenz» ist hierbei umstritten.⁷¹ Sie spielt darauf an, dass KI-Software ein Problem bzw. eine Aufgabe ohne Eingriffe von Menschen löst. Damit KI-Systeme das leisten können, sind sie auf Vorgaben von Menschen angewiesen.

KI-Systeme können immer nur ein bestimmtes Problem lösen. Übersetzungssoftware kann beispielsweise keine Sportmeldungen verfassen. Eine Suchmaschine kann nicht navigieren. Deshalb werden solche Systeme häufig als «schwache KI» bezeichnet. Eine

starke KI könnte, ähnlich wie wir Menschen, unterschiedliche Aufgaben bewältigen oder würde Probleme besser lösen als wir. Dieses Bild kennen wir aus Science-Fiction-Filmen. In der Realität existiert solche KI nicht, und ihre Entwicklung steht vor zahlreichen und in absehbarer Zeit nicht zu bewältigenden Herausforderungen.⁷²

Zurzeit dominieren Verfahren des Maschinellen Lernens in der KI-Entwicklung. Dabei werden einem Lernsystem Datensätze zur Verfügung gestellt. Das System sucht in den Daten nach statistischen Zusammenhängen. Daraus leitet es ein Ergebnissystem ab, das die Regeln festlegt, nach denen neue Daten in eine Lösung verwandelt werden. Die neuen Daten dienen häufig dazu, die Problemlösung laufend zu optimieren.⁷³ So «lernt» Bilderkennungssoftware beispielsweise durch sehr viele Bilder gesunder und trockener Bäume, wann ein Baum zu vertrocknen droht. Maschinelles Lernen setzt also voraus, dass eine entsprechende Qualität und Menge an Daten sowie hohe Rechenleistungen verfügbar sind.⁷⁴



Wie funktioniert Maschinelles Lernen?

KI lernt mithilfe von Daten und den Zielvorgaben, die man für sie festlegt. Daraus leitet die KI-Anwendung Muster und Algorithmen ab, die sie dann im Einsatz nutzt.

Quelle: Medienportal der Siemens Stiftung: Künstliche Intelligenz – Wie funktioniert Maschinelles Lernen? 2019, online unter: <https://medienportal.siemens-stiftung.org/view/112351>

KI kann die Forschung zum Klimawandel voranbringen und dabei helfen, Energie und Ressourcen einzusparen.

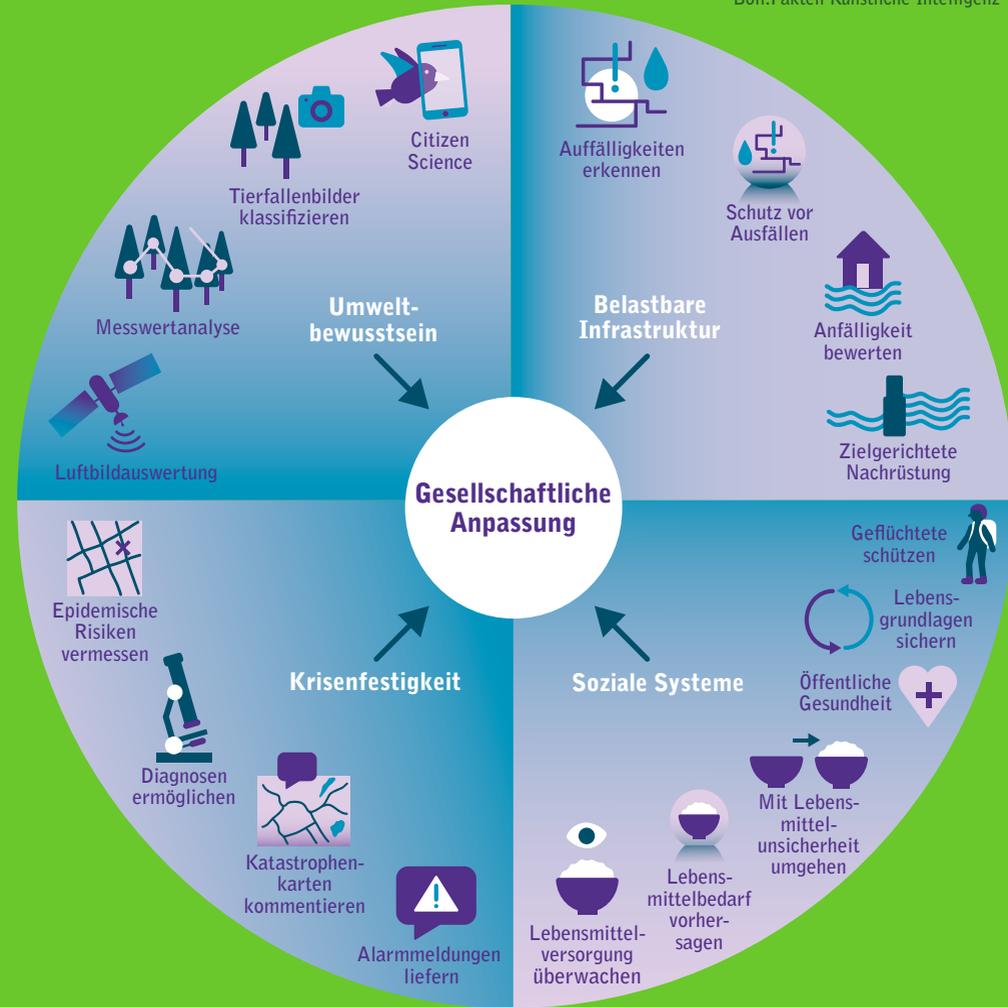
Der Klima- und der digitale Wandel zählen zu den prägendsten Veränderungen der letzten Jahrzehnte und der Gegenwart. Sie werden unser Leben auch in Zukunft stark beeinflussen.⁷⁵ Diese Entwicklungen existieren nicht unabhängig voneinander. Vielmehr bestehen Zusammenhänge, die positive und negative Auswirkungen auf unsere Gesellschaft und unsere Lebensräume haben.

In Verbindung mit KI-Anwendungen ist ihr hoher Energieverbrauch häufig ein Thema. Gegenwärtig benötigen Informations- und Kommunikationstechnologien insgesamt etwa 1 Prozent des weltweiten Strombedarfs. Schätzungen zufolge kann sich der Verbrauch bis 2030 auf 20 Prozent erhöhen.⁷⁶ Ob sich dieser Stromverbrauch deutlich auf das Klima auswirkt, hängt vor allem davon ab, wie der benötigte Strom gewonnen wird. Erneuerbare Energien helfen, einen negativen Effekt auf das Klima bedeutend zu verringern.

Zugleich ist vielfach die Rede von großen Potenzialen, die KI innewohnen – auch beim Klimaschutz. KI-Anwendungen können

beispielsweise den Energie- und Ressourcenverbrauch in der Industrieproduktion verringern. Das geschieht, indem Software hilft, Fertigungsprozesse zu optimieren. Dadurch sinkt der Energieverbrauch, oder Verarbeitungsfehler werden seltener, was den Ausschuss verringert.

Darüber hinaus unterstützen KI-Systeme bei der direkten Auseinandersetzung mit dem Klimawandel: Zum einen erkennen sie in historischen Daten Muster, die Menschen allein nicht finden können. Das hilft beispielsweise dabei, Früherkennungssysteme für Klimaveränderungen zu entwickeln. Zum anderen ist es durch KI-Anwendungen möglich, Klimamodelle so nachzubilden, dass sie weniger Rechenleistung und damit Energie benötigen.⁷⁷ Das hilft der Forschung, den Verlauf des Klimawandels, seine Auswirkungen und den Einfluss von Gegenmaßnahmen zu simulieren. Daraus lassen sich Erkenntnisse ableiten, die der Politik als Entscheidungsgrundlage dienen können.



Mithilfe von KI dem Klimawandel begegnen

Die Herausforderungen, die durch den Klimawandel entstehen, lassen sich strategisch angehen. KI-Systeme, die Maschinelles Lernen nutzen, können uns dabei in vier Bereichen unterstützen.

Quelle: Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 41, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

Damit die KI-Entwicklung den Menschen und dem Planeten nutzt, müssen wir KI und Klimaschutz zusammendenken.

Das Wissenschaftsmagazin *Nature* veröffentlichte im Januar 2020 eine Studie, die die Verbindung von KI und Klimaschutz betrachtet. Sie analysierte die Rolle der KI, um die Ziele für eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen, auf die sich die Vereinten Nationen 2015 geeinigt haben. Die Studie stellte fest: KI kann vor allem im Bereich der Umwelt dazu beitragen, die definierten Ziele zu erreichen: beispielsweise Ölverschmutzungen in den Meeren aufspüren.⁷⁸

KI und Klimaschutz werden aber bisher kaum gemeinsam gedacht. So gibt es verhältnismäßig wenige Fördermittel für klimaschützende oder klimafreundliche KI-Entwicklungen.⁷⁹ Jedoch zeichnet sich in der politischen Debatte eine Kehrtwende ab. So erforscht das vom Bundesumweltministerium geförderte Projekt «Circular Textile Intelligence», wie KI-Software dabei helfen kann, genutzte Kleidung in den Produktionskreislauf zurückzuführen, statt sie wegzuwurfen.⁷¹⁰

Es kann auch die Technologieentwicklung gewinnen, wenn klimaschützende KI verstärkt gefördert wird, da vermehrt finanzielle Mittel in die Weiterentwicklung der Technologie fließen. Die beiden Themen sinnvoll zu verzahnen, hat zudem Modellcharakter: Es können Vorgehensweisen etabliert werden, die sich auf andere gesellschaftliche Herausforderungen übertragen lassen.⁷¹¹ Dazu zählt etwa die Sicherung von Menschenrechten im digitalen Wandel.⁷¹²

Für viele Menschen wird der Klimawandel erst greifbar, wenn die Folgen unmittelbar zu sehen oder zu spüren sind. Das ist jedoch zu spät, um vorbeugende Maßnahmen zu treffen. Deshalb ist es wichtig, die Veränderungen des Klimas und den Zusammenhang zum eigenen Handeln für möglichst viele verständlich zu machen. Auch dabei können KI-Systeme helfen. So ist es beispielsweise möglich, mithilfe von KI-Software die Nachhaltigkeit von Produkten zu bewerten und diese für die Konsumierenden nachvollziehbar zu machen.⁷¹³



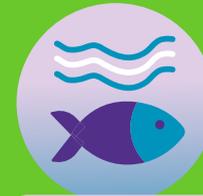
Klimaschutz



4



1



Leben unter Wasser



9



3



Leben an Land



12



4

befähigen
hemmen

Mögliche Einflüsse von KI auf Maßnahmen der UN-Nachhaltigkeitsziele 2030

KI-Systeme können im Bereich Umwelt dazu beitragen, Ziele der Vereinten Nationen zum Klimaschutz und dem Schutz des Lebens an Land und im Wasser zu erreichen.

Quelle: Vinuesa, Ricardo et al.: The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. In: Nature Communication 11, 233, 2020, S. 4, online unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>

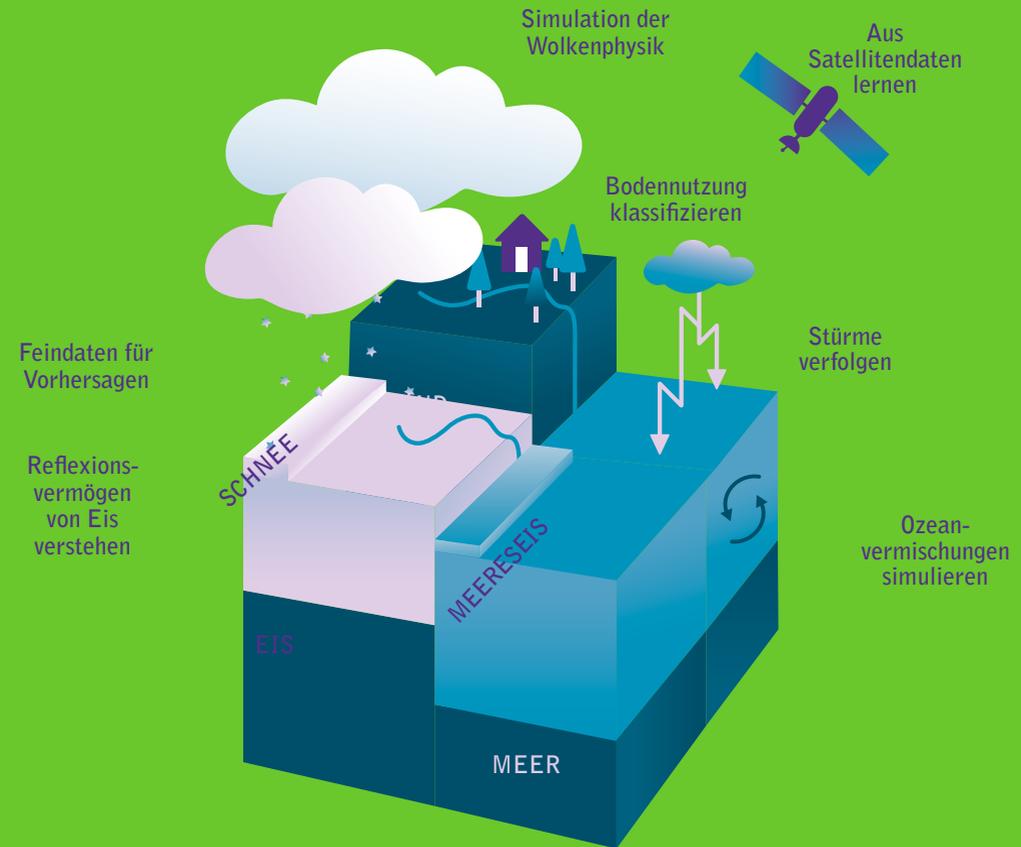
Die Forschung bringt neue KI-Methoden hervor, die Software effizienter machen und Anwendungen für den Klimaschutz ermöglichen.

Die Veränderungen, die der menschengemachte Klimawandel mit sich bringt, sind weltweit erkennbar. Geplante Maßnahmen sollen klimaschädliche Treibhausgasemissionen reduzieren, Ökosysteme schützen und Anpassungen an die Klimaveränderungen ermöglichen. Dabei kommen immer häufiger KI-Methoden zum Einsatz.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln beispielsweise KI-Anwendungen, damit wir bei Katastrophen gezielter handeln können. Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz arbeitet an einem Verfahren, das Daten aus Satellitenbildern mit Daten aus sozialen Medien kombiniert, um Naturkatastrophen früh zu erkennen und ihre Entwicklungen abzuschätzen. Das Ziel: Einsatzkräfte mit Informationen versorgen, damit sie rechtzeitig eingreifen können.⁷¹⁴ An zahlreichen KI-Modellprojekten sind Forschungseinrichtungen beteiligt. So will das Projekt «OpenSurface» Veränderungen bei der Landnutzung schnell erkennen und bewerten. Die Plattform arbeitet mit Daten zur Bodenbedeckung aus verschiedenen Quellen

weltweit, u.a. mit Satelliten- und Drohnenbildern. Mithilfe mehrerer KI-Verfahren erkennt die Software, wie sich Flächen durch Rodungen oder Brände verändern, und berechnet, wo Entwaldungen drohen. Forschende der Hochschule ETH Zürich unterstützen das Projekt.

Um den Nutzen solcher KI-Anwendungen für den Klimaschutz beurteilen zu können, muss man auch ihren Energie- und Ressourcenverbrauch in den Blick nehmen. Es gibt mittlerweile Forschungsvorhaben, die sich darauf spezialisieren, sogenannte «grüne KI» zu entwickeln. Ihr Ziel ist es, aufwendige Rechenprozesse effizienter zu gestalten, indem etwa Trainingsprozesse übertragen werden können, sodass ähnliche Systeme nicht immer wieder neu unter großem Energieaufwand «angelern» werden müssen.⁷¹⁵ Forschungsvorhaben setzen sich derzeit damit auseinander, wie KI-Verfahren verbessert und neue Methoden entwickelt werden können. Gesellschaftliche Auswirkungen, rechtliche, ökologische und ethische Fragen sollten dabei eine Rolle spielen.⁷¹⁶



KI bei Vorhersagen zum Klima

Maschinelles Lernen unterstützt die Klimaforschung dabei, Vorhersagen zum Klima zu erstellen, indem Satellitendaten ausgewertet werden.

Quelle: Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 36, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

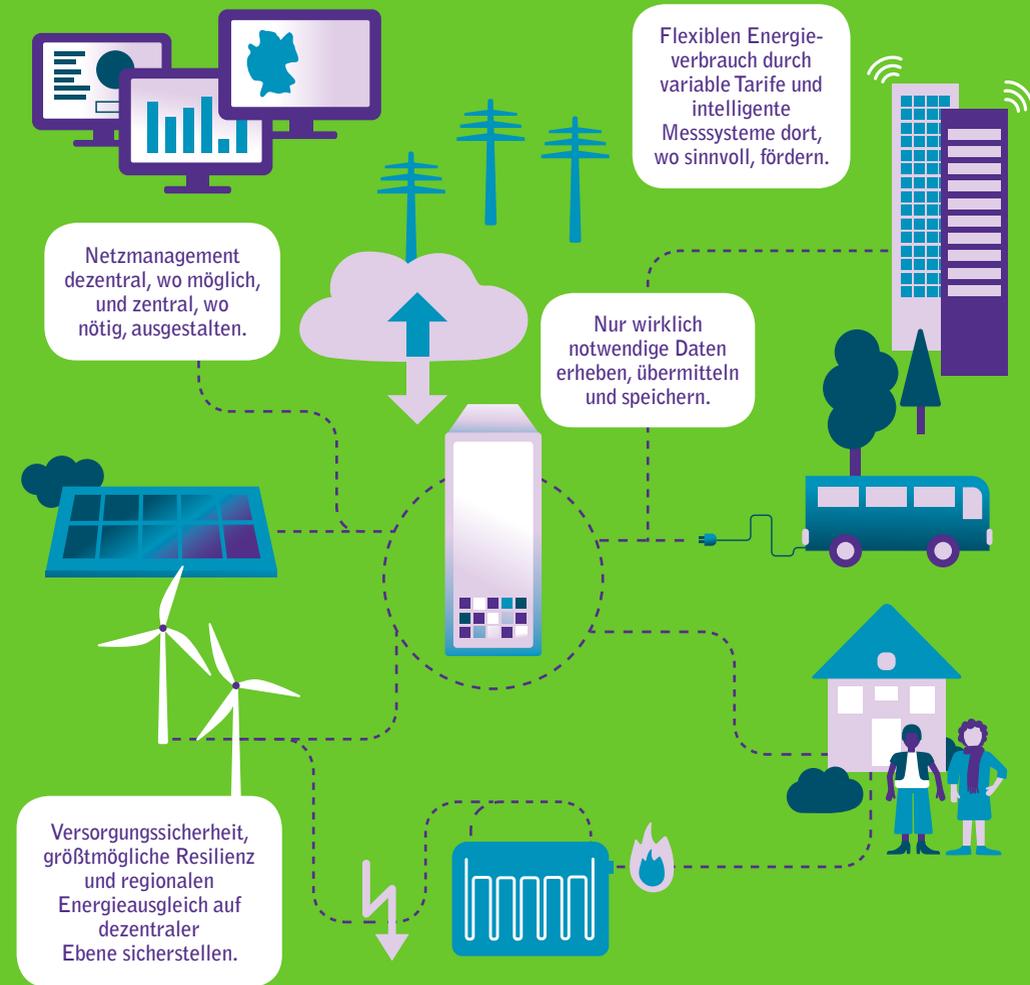
KI kann dazu beitragen, den Energiemarkt umzugestalten und Energie nachhaltig zu nutzen.

KI kann dabei helfen, den Energieverbrauch zu senken und klimaschädliche Emissionen zu verringern. Entsprechende Technologien unterstützen beispielsweise bei der Aufgabe, die Stromversorgung bedarfsgerecht, dezentral und damit flexibel zu gestalten. So analysiert KI-Software den bestehenden Energiebedarf und -verbrauch und kombiniert diese Werte mit anderen Informationen wie Wetterdaten, um daraus Prognosen abzuleiten. Das ermöglicht es, die Energienachfrage an das Angebot anzupassen: Wärmepumpen und Kühlsysteme springen etwa genau dann an, wenn günstiger Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht. Dieses Vorgehen ist im Zusammenhang mit der Energiewende, also der Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energien, besonders bedeutsam. Energie, die aus Wind oder Sonne gewonnen wird, lässt sich nicht jederzeit gleichermaßen erzeugen. KI kann helfen, diesen Nachteil auszugleichen.⁷¹⁷ Damit sich das tatsächlich positiv auf das Klima auswirkt, ist es wichtig, zu überprüfen und abzuwägen, ob KI-Verfahren mehr Energie

einsparen, als sie verbrauchen. Derzeit fehlt es im öffentlichen Strom- und Versorgungsnetz noch an Sensoren, um die notwendigen Daten zu erfassen und zu verarbeiten, damit mithilfe von KI eine energieeffiziente Stromversorgung realisiert werden kann.⁷¹⁸

Eine weitere Herausforderung stellt der Datenschutz dar. Daten über private Haushalte sind sehr persönlich. Deshalb bedarf es rechtlicher Vorgaben, welche Daten wie für die Energieversorgung erhoben, genutzt und verarbeitet werden dürfen. Um persönliche Daten zu schützen, können Verfahren der Anonymisierung eingesetzt werden. Dann sind keine Rückschlüsse auf Personen möglich.⁷¹⁹

Die Energiewende ist eine gewaltige Herausforderung. KI-Anwendungen ermöglichen Simulationen, Prognosen und Steuerungen, die dazu beitragen können, den komplexen Energiemarkt nachvollziehbar und verständlich zu machen. Das wiederum vereinfacht es, diesen Markt den Klimaschutzziele entsprechend umzugestalten.



Energiewende nachhaltig und digital gestalten

Bei der Energiewende können digitale Technologien wie KI sinnvoll eingesetzt werden, um widerstandsfähige, dezentrale und sichere Energiesysteme zu ermöglichen.

Quelle: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH:

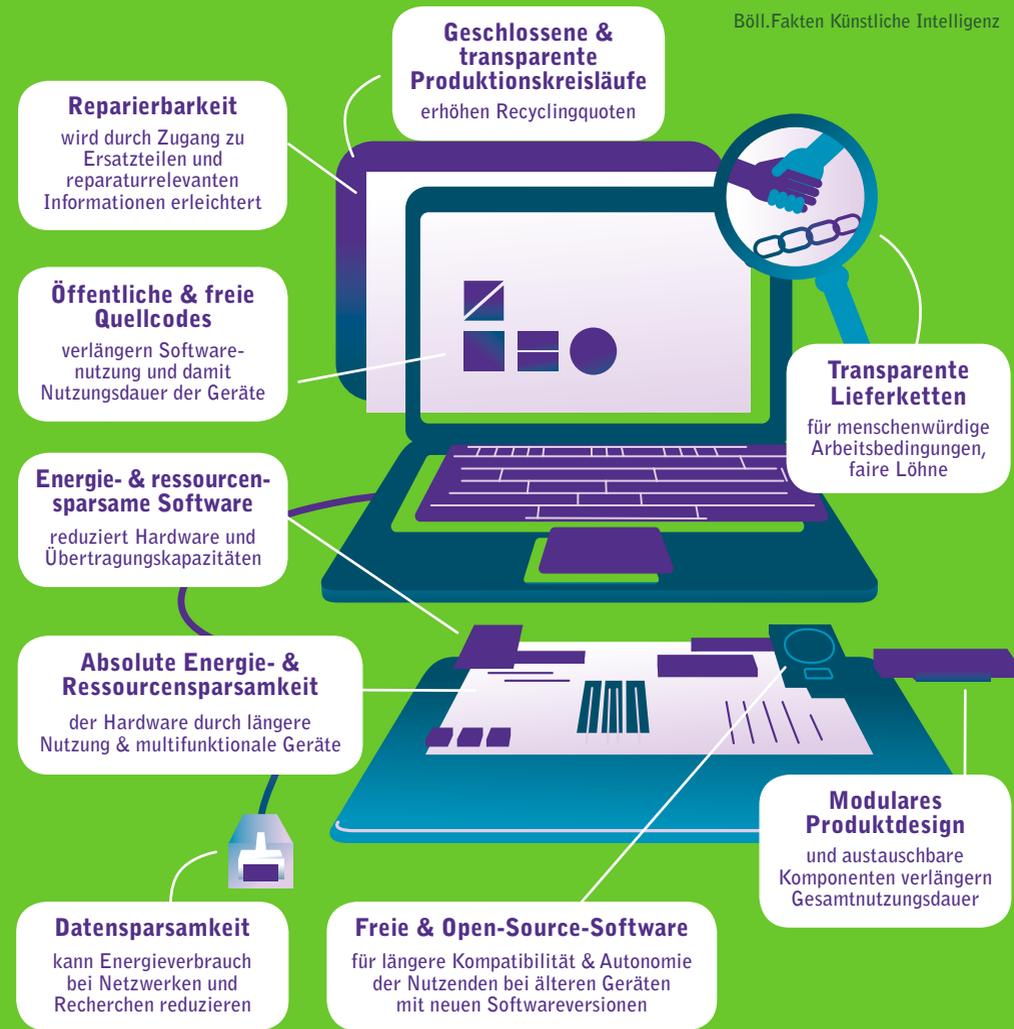
Wie kann die nachhaltige Digitalisierung der Energiewende aussehen? O. D., online unter:

https://www.nachhaltige-digitalisierung.de/fileadmin/digitale_transformation/Publikationen/Infografik_Energiewende_und_Digitalisierung.jpg

KI kann dabei helfen, Ressourcen einzusparen und Recycling zu verbessern.

KI-Systeme funktionieren nur mithilfe von Rechen- und Speicherkapazitäten. Dafür ist neben Software auch Hardware nötig wie Server oder Computer. Ihre Herstellung und Nutzung verbraucht Energie und Ressourcen.⁷²⁰ Damit tragen auch KI-Systeme dazu bei, endliche Ressourcen unserer Erde zu verbrauchen. Allerdings können KI-Anwendungen dabei helfen, Gebäude und Maschinen in der Industrie optimal zu steuern sowie Infrastrukturen möglichst wirksam zu nutzen. Ein Beispiel dafür sind Systeme zur Schadensanalyse: Sie dokumentieren die Fehler an Produkten, die reklamiert werden, und werten die gesammelten Daten hinsichtlich wiederkehrender Muster aus. So können Fehlerquellen entdeckt und Schäden vermieden werden. Solche Verfahren führen dazu, dass der Ressourcenverbrauch sinkt. Damit das auch tatsächlich der Fall ist, dürfen die eingesparten Ressourcen nicht in neue konsumtreibende Wertschöpfungsprozesse investiert werden.⁷²¹ Solche KI-Optimierungssysteme verändern aber nicht die Art, wie wir produzieren und konsumieren. Es bleibt bei dem Prinzip: Wir

nehmen etwas, benutzen es und werfen es anschließend weg. Um die endlichen Ressourcen der Erde ausreichend zu schonen, ist es notwendig, dieses Prinzip aufzubrechen. Das bedeutet vor allem einen Übergang in eine Kreislaufwirtschaft, damit weniger Rohstoffe und Produkte im Abfall landen. Derzeit ist die Entsorgung häufig der kostengünstigste Weg, um mit Überproduktionen, Ausschuss oder Mangelware umzugehen. Dass es auch anders geht, zeigt das Beispiel des US-amerikanischen Unternehmens Smarter Sorting. Es bietet eine KI-basierte Plattform an, die dem Einzelhandel beispielsweise vorschlägt, wie er nicht verkaufte Waren und reklamierte Artikel spenden kann oder wie sie zu recyceln sind.⁷²² Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Ressourcen, die in weggeworfenen Produkten verwendet wurden, zurück in den Herstellungs-kreislauf neuer Produkte zu führen. Das gilt auch für Elektroschrott, der seltene Rohstoffe enthält. Hierbei können speziell dafür entwickelte lernende Systeme helfen – beispielsweise, indem sie Rohstoffe identifizieren, um Abfälle möglichst sortenrein zu trennen.⁷²³



Ressourcensparsame Hardware und Software

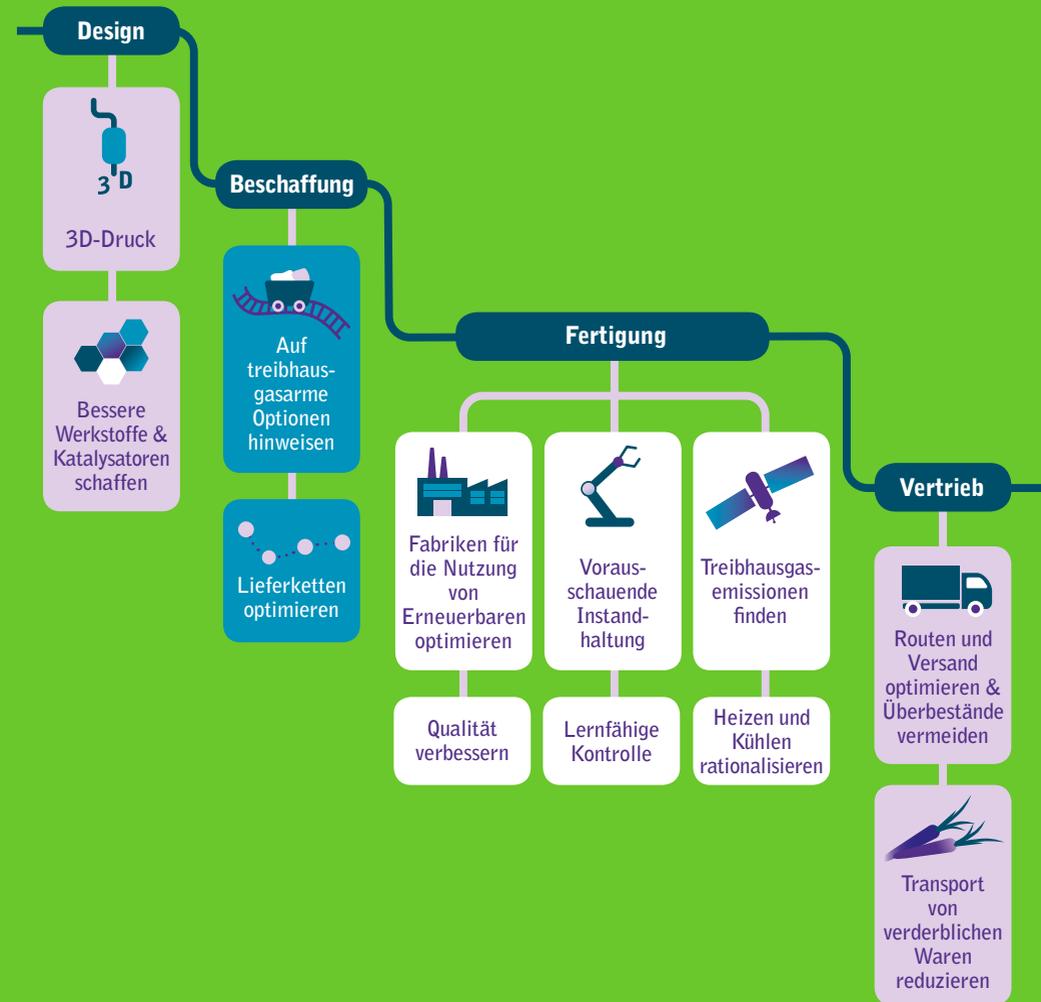
Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Software und Hardware so herzustellen und zu nutzen, dass dabei weniger Ressourcen verbraucht werden und nachhaltige Produkte entstehen.

Quelle: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH: Gestaltungsoptionen für nachhaltige Hard- und Software. O. D., online unter: https://www.nachhaltige-digitalisierung.de/fileadmin/digitale_transformation/Publikationen/Nachhaltige_Hard_und_Software.jpg

Die Industrie 4.0 birgt ökologische Potenziale, doch bislang wird sie zu wachstumsorientiert gedacht.

Die produzierende Industrie setzt seit Jahren vermehrt Informations- und Kommunikationstechnologien ein. Diese Technologien unterstützen Produktion, Logistik und Kundenbetreuung.⁷²⁴ Vernetzungen dieser Art, die über entsprechende KI-Anwendungen, Speicherplätze für Daten und Hardware verfügen, erfasst der Begriff «Industrie 4.0». Dabei steuern und überwachen Menschen die Produktion an zentralen Stellen. Sie erhalten Hinweise, welche Maschinen sie wann warten müssen. Notwendige Bauteilbestellungen erfolgen automatisiert. KI-Systeme tragen in diesen Prozessen dazu bei, die Produktion zu optimieren oder Lieferketten zu straffen. Entsprechende Software erfasst und analysiert beispielsweise den Verbrauch von Materialien, um die Anlieferungen zu verbessern. Dadurch sinkt die Zahl der Transporte, so dass Unternehmen Energie und Ressourcen einsparen.⁷²⁵ In solchen Optimierungen liegen Potenziale für den Klimaschutz. Denn die produzierende Industrie mit ihrer Logistik gilt als Hauptverursacherin des weltweiten Treibhausgasausstoßes.⁷²⁶ Die Industrie 4.0 wird bislang hauptsächlich betriebswirtschaftlich gesehen.

Das bedeutet, dass neue Technologien vor allem dabei unterstützen, Produktionskosten zu senken und Einsparungen in die Herstellung neuer Produkte zu stecken. Damit KI-Systeme in diesem Bereich einen Nutzen für den Klimaschutz haben, ist es notwendig, dass Unternehmen die Einsparungen in Umwelttechnologien investieren.⁷²⁷ Darüber hinaus eignen sich KI-basierte Simulationen dafür, die Umweltfolgen einer Produkteinführung besser einzuschätzen. Sie können zudem ähnliche Materialien oder Produkte vorschlagen, falls sich die Umweltbelastungen als zu hoch erweisen. Um die dafür notwendigen Daten erzeugen und austauschen zu können, müssen die unterschiedlichen Beteiligten bereit sein, zusammenzuarbeiten und sich abzustimmen.⁷²⁸ Die Maßnahmen der Industrie 4.0 enden bislang an den jeweiligen Unternehmensgrenzen mit ihren Zulieferern und Kundendiensten. Doch die eingesetzten KI-Technologien könnten Daten produkt- und produktionsbezogen über alle Prozesse einer Branche hinweg verknüpfen und auswerten. So könnten Energie und Ressourcen über diese Grenzen hinweg eingespart werden.⁷²⁹



KI-Systeme in der Produktion

Von der Gestaltung bis zur Auslieferung von Produkten – KI-Systeme können in verschiedenen Bereichen dazu beitragen, die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Quelle: Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 26, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

KI kann das Verkehrsaufkommen verringern und klimaschonende Alternativen attraktiver machen.

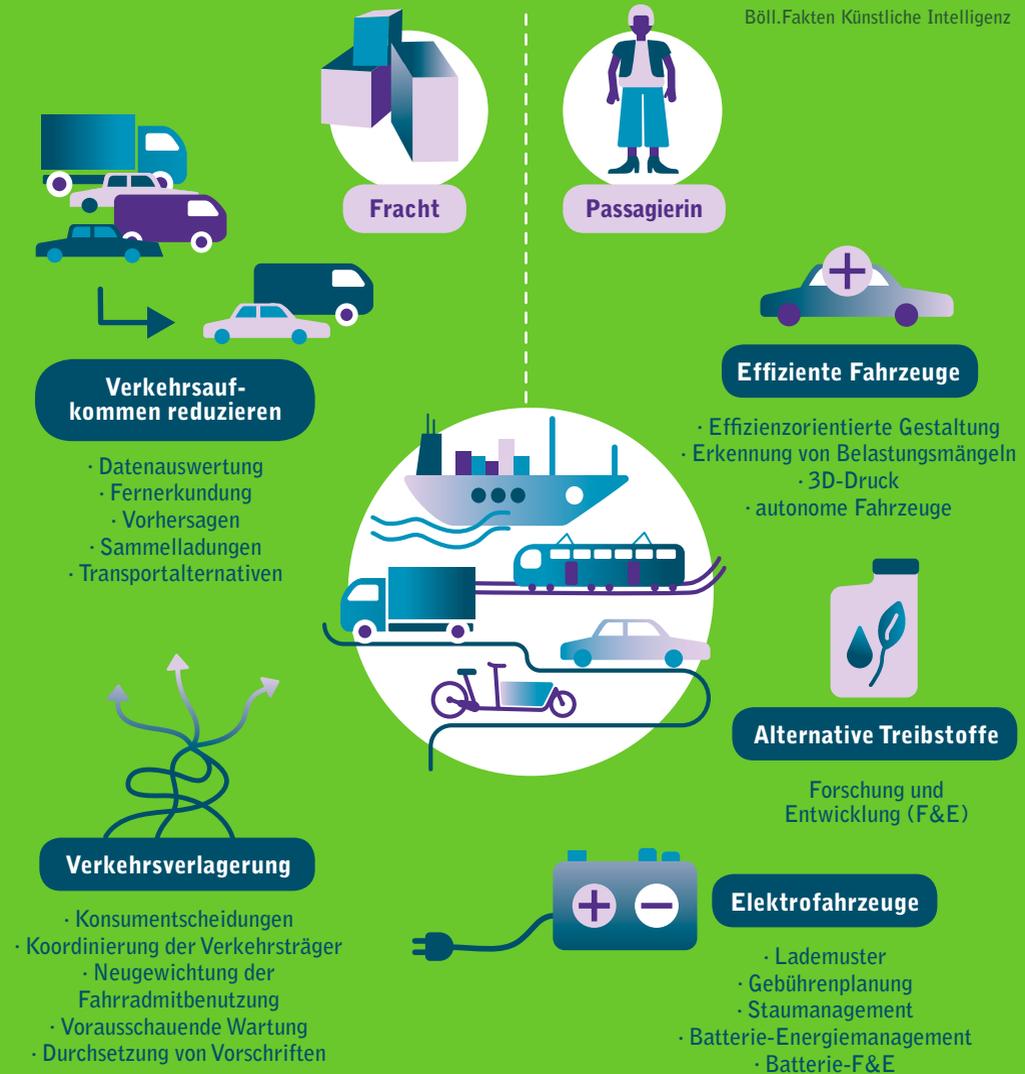
Als wohlhabende Gesellschaft setzen wir voraus, dass wir uns eigenständig, aktiv und zügig von einem Ort zum nächsten bewegen können. Dafür sind aber umfassende Verkehrssysteme notwendig. Weltweit führen sie zu hohen Treibhausgasemissionen: Etwa ein Viertel des energiebedingten CO₂-Ausstoßes ist dem Verkehrssektor zuzurechnen.⁷³⁰

Im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren diskutiert die Öffentlichkeit schon länger neue Möglichkeiten für den Klimaschutz. Der autonom fließende Verkehr wird häufig als energieeffizienter dargestellt, weil durch den Austausch und die Analyse von Daten beispielsweise weniger Staus entstehen.⁷³¹ Diese Formen der Optimierung könnten aber auch dazu führen, dass noch mehr Fahrzeuge am Verkehr teilnehmen und sich der Treibhausgasausstoß dadurch sogar erhöht statt verringert.⁷³² Derzeit sind diese Technologien nicht weit genug entwickelt, um effizient und klimafreundlich eingesetzt werden zu können.

Weitere KI-Anwendungen im Verkehrssektor können dazu beitragen, Fortbewegung und Transport klimafreundlicher zu gestalten

und den Verkehr insgesamt zu verringern. Die zu Land, Luft oder Wasser zurückgelegten Kilometer können reduziert werden, indem KI-Systeme Routen oder Auslastung eines Transportmittels optimieren. Eine weitere Möglichkeit liegt darin, den Energiebedarf der Fahrzeuge zu reduzieren. So helfen KI-Verfahren beim Fahrzeugdesign. Sie tragen durch Simulationen dazu bei, die Aerodynamik von Fahrzeugen zu verbessern.⁷³³

Um die Klimaziele zu erreichen, ist es zusätzlich notwendig, vorrangig Verkehrsmittel zu nutzen, die weniger Kohlenstoff ausstoßen. Das bedeutet, den Autoverkehr durch öffentliche Verkehrsangebote einzudämmen und den Güterverkehr vermehrt auf die Schiene zu verlagern. Dafür muss die Bahn attraktiver werden. Das Schweizer Bahnunternehmen SBB erprobt beispielsweise mithilfe staatlicher Förderungen KI-Methoden, um das bestehende Schienennetz optimal auszulasten. KI-Systeme kontrollieren und korrigieren laufend Fahrpläne oder schlagen Lösungsvarianten bei unvorhergesehenen Störungen vor. Dadurch können Kosten gesenkt werden, und der Zugverkehr wird pünktlicher.⁷³⁴



Weniger Treibhausgase im Verkehr

KI-Verfahren können zahlreiche Maßnahmen unterstützen, die den Ausstoß von Treibhausgasen im Personen- wie Frachtverkehr reduzieren.

Quelle: Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 14, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

KI-Technologien können zu einer ökologischeren Landwirtschaft beitragen.

In der Landwirtschaft kommen zunehmend Technologien zum Einsatz, die die Arbeit optimieren und die Kosten senken sollen. Diese sogenannte Präzisionslandwirtschaft arbeitet mit verschiedenen KI-Anwendungen und birgt Chancen für den Klimaschutz.

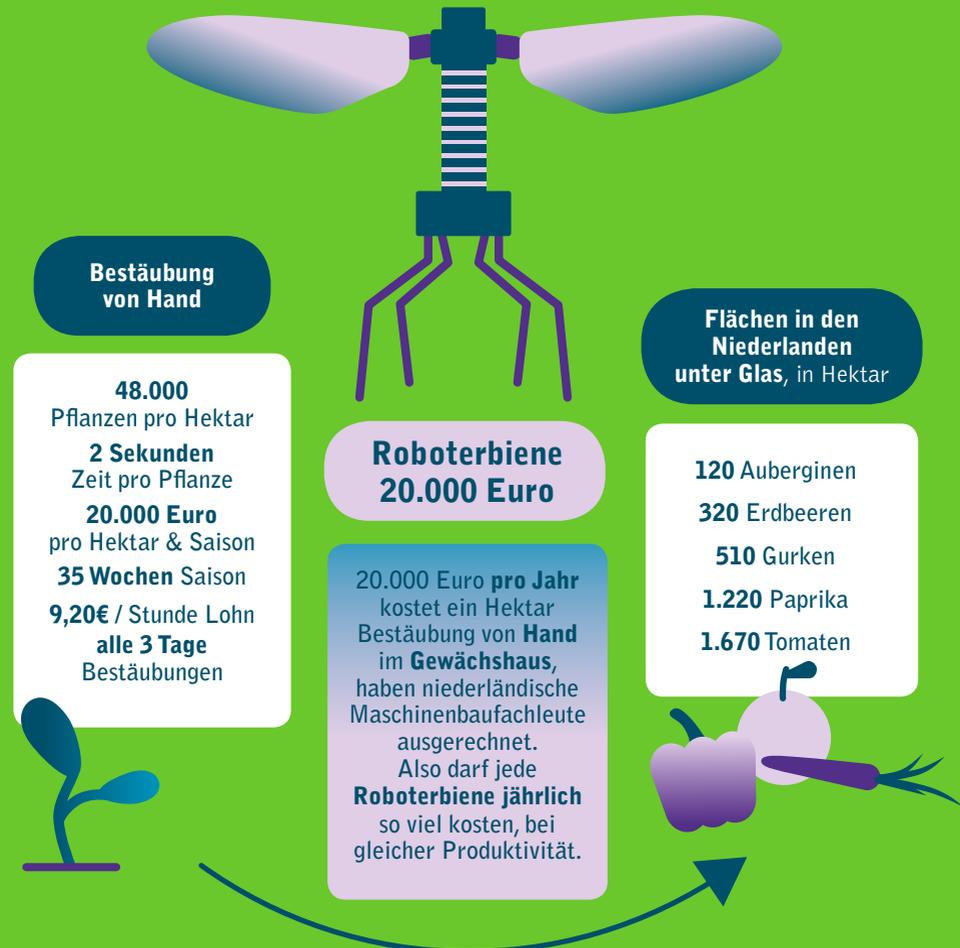
Rund 14 Prozent der Treibhausgasemissionen gehen auf die Landwirtschaft zurück. Um Flächen landwirtschaftlich zu nutzen, werden Bäume gefällt, wodurch der darin gebundene Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt. Auch die Bearbeitung des Bodens setzt CO₂ frei. Gleichzeitig entziehen ihm die Anbaumethoden Nährstoffe. Durch den Einsatz der Düngemittel entsteht zudem das sehr klimaschädliche Lachgas. Darüber hinaus belasten eingesetzte Pestizide die Umwelt und führen zum Sterben wichtiger Insekten für die Bestäubung.³⁵

Mithilfe von KI kann Nahrung auf kleinerem Raum, mit höheren Erträgen und weniger Pflanzen- und Insektenschutzmitteln produziert werden. Verfahren der KI-gestützten Präzisionslandwirtschaft tragen beispielsweise dazu bei, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Monokulturen wie Mais um bis zu

90 Prozent zu reduzieren. Dabei kommen Roboter zum Einsatz, die über Sensoren und Kameras verfügen. KI-Verfahren analysieren die darüber erfassten Daten etwa zum Aussehen der Pflanzen und unterscheiden so Kulturpflanzen von Unkraut. Letzteres entfernt der Roboter gezielt auf dem Feld.³⁶

Ähnlich wie bei der Industrie 4.0 werden die Potenziale von KI-Systemen in der Landwirtschaft bislang stärker aus wirtschaftlicher Sicht vorangetrieben als aus ökologischer. Einige wenige Agrarunternehmen bestimmen den Markt der Präzisionslandwirtschaft. Landwirtschaftliche Betriebe sind daher zunehmend abhängig von diesen Unternehmen.³⁷

Ein politischer Rahmen, der offene Strukturen zum Datenaustausch ermöglicht, könnte den Betrieben auch dabei helfen, mit den Folgen des Klimawandels umzugehen. Denn Dürreperioden oder Hochwasser nehmen zu, Pflanzenkrankheiten und Schädlinge breiten sich stärker aus. KI-gestützte Datenanalysen von Satelliten- und Luftbildern sowie Daten der Betriebe können Werkzeuge sein, Erntebedingungen und -erträge besser zu analysieren und Ernteauffällen vorzubeugen.³⁸



Roboterbienen in Gewächshäusern

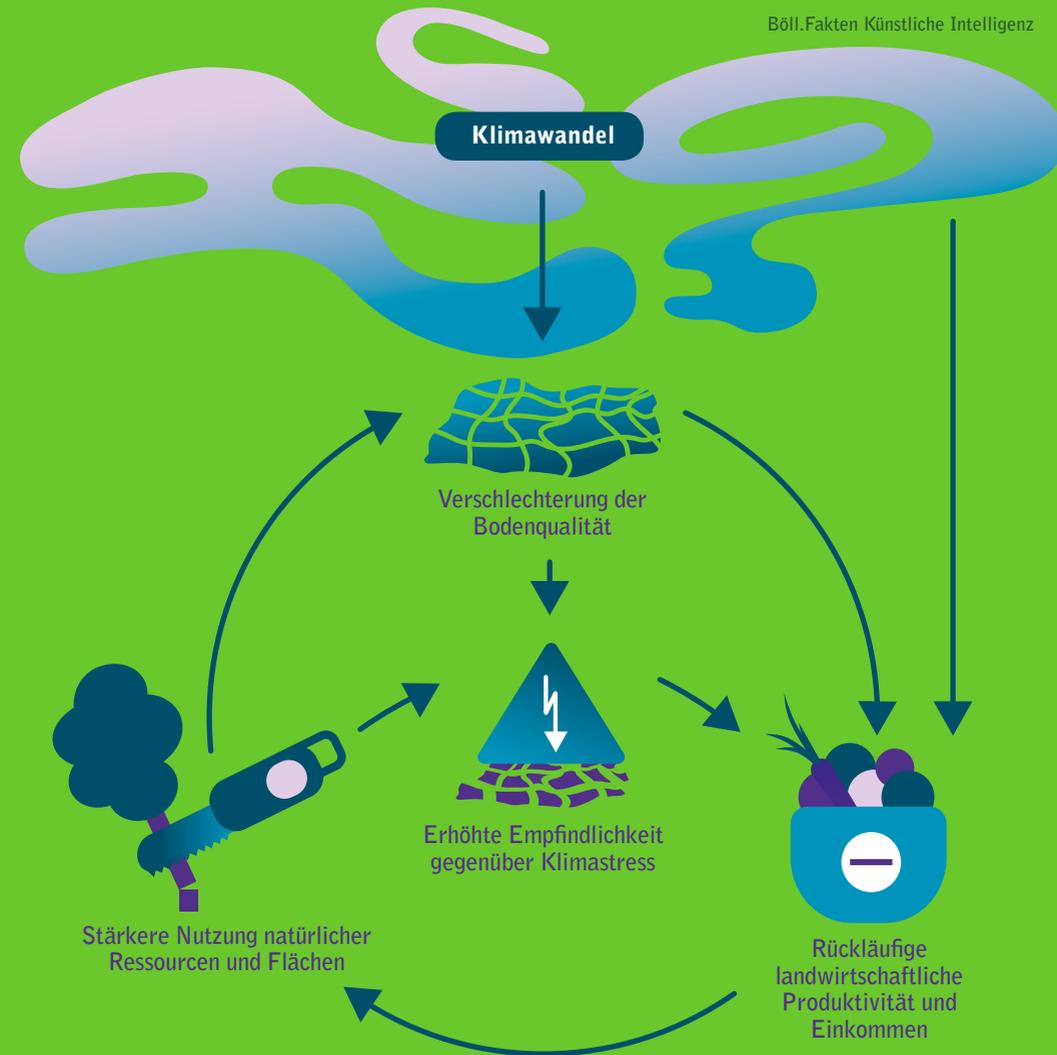
In niederländischen Gewächshäusern kommen Roboterbienen, die unter anderem mithilfe von KI-Verfahren funktionieren, bereits erfolgreich zum Einsatz und steigern die Effizienz. Es wird an Möglichkeiten geforscht, die Technologie auch im Freien zu nutzen, um Bestäubungen und damit Ernten zu sichern.

Quelle: Heinrich-Böll-Stiftung et al.: Insektenatlas 2020. Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft. 2020, S. 45, online unter: https://www.boell.de/sites/default/files/2020-02/insektenatlas_2020_II.pdf?dimension1=ds_insektenatlas

KI hilft, die Landwirtschaft an die veränderten Klimabedingungen anzupassen.

Das Recht auf Nahrung und Trinkwasser zählt zu unseren Existenzrechten. Durch den Klimawandel sinkt die Artenvielfalt, die Ökosysteme verschleißern und Naturkatastrophen nehmen zu. Deshalb ist das Recht auf Wasser und Nahrung für viele Menschen in Gefahr – nämlich für die zwei bis drei Milliarden Menschen, die unmittelbar von der Natur leben.⁷³⁹ Zugleich wächst die Weltbevölkerung stetig weiter. Bis 2050 leben Schätzungen zufolge rund zehn Milliarden Menschen auf der Erde. Dürreperioden und Ernteaufälle aufgrund des Klimawandels betreffen vor allem die ärmere Bevölkerung.⁷⁴⁰ KI kann ein geeignetes Werkzeug sein, um die Ernährungssicherheit zu steigern. Sie kann angewendet werden, um große Mengen von Satelliten- und Luftbildern zu analysieren. Damit können Erntebedingungen und landwirtschaftliche Erträge besser überwacht und Ernteaufälle reduziert werden.⁷⁴¹ Außerdem kann KI-Software kleinbäuerlichen Betrieben helfen, Landwirtschaft unter veränderten Bedingungen zu betreiben. Dafür kommen beispielsweise Apps infrage, die über Bilderkennungsverfahren Schädlinge an Nutzpflanzen identifizieren, die durch ein

verändertes Klima anfälliger sind. Solche Anwendungen sind über Smartphones nutzbar, mit denen die betroffene Pflanze fotografiert wird. Bilderkennungssoftware gleicht das Bild mit vorhandenen Daten ab, um Informationen zur Krankheit und ihrer Behandlung anzuzeigen. Die Apps können Praktiken fernab der chemischen Schädlingsbekämpfung vorschlagen und haben somit auch einen ökologischen Nutzen.⁷⁴² Aufgrund zunehmender Dürreperioden müssen weltweit Bauernhöfe ihre Felder verstärkt bewässern. Mithilfe geeigneter KI-Verfahren und Satellitenbilder ist es möglich, Wasser einzusparen: Analysen von Daten zum Zustand der Böden, der Pflanzen und zum Wetter erlauben es, Pflanzen gezielter zu bewässern.⁷⁴³ Damit KI-Software zur Ernährungssicherheit beitragen kann, sind neben Maßnahmen zum Datenschutz vor allem lizenzoffene Lösungen erstrebenswert. Dadurch können mehr Menschen weltweit die Anwendungen nutzen, und sie lassen sich einfacher an unterschiedliche Bedürfnisse und Umstände anpassen. Viele Länder Afrikas beteiligen sich bereits an Projekten für offene Softwarelösungen.⁷⁴⁴



Klimawandel, Landnutzung und sozioökonomische Bedingungen

Zwischen den Veränderungen des Klimawandels, der Landnutzung sowie den sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen von Menschen bestehen Wechselwirkungen. Um die Ernährungssicherheit zu verbessern, müssen diese Zusammenhänge berücksichtigt werden.

Quelle: Olsson, Lennart/Barbosa, Humberto et al.: Land Degradation. In: Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation ... 2019, S. 379, online unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/07_Chapter-4.pdf

KI kann helfen, Wälder ökologisch zu bewirtschaften und neue Bäume zu pflanzen.

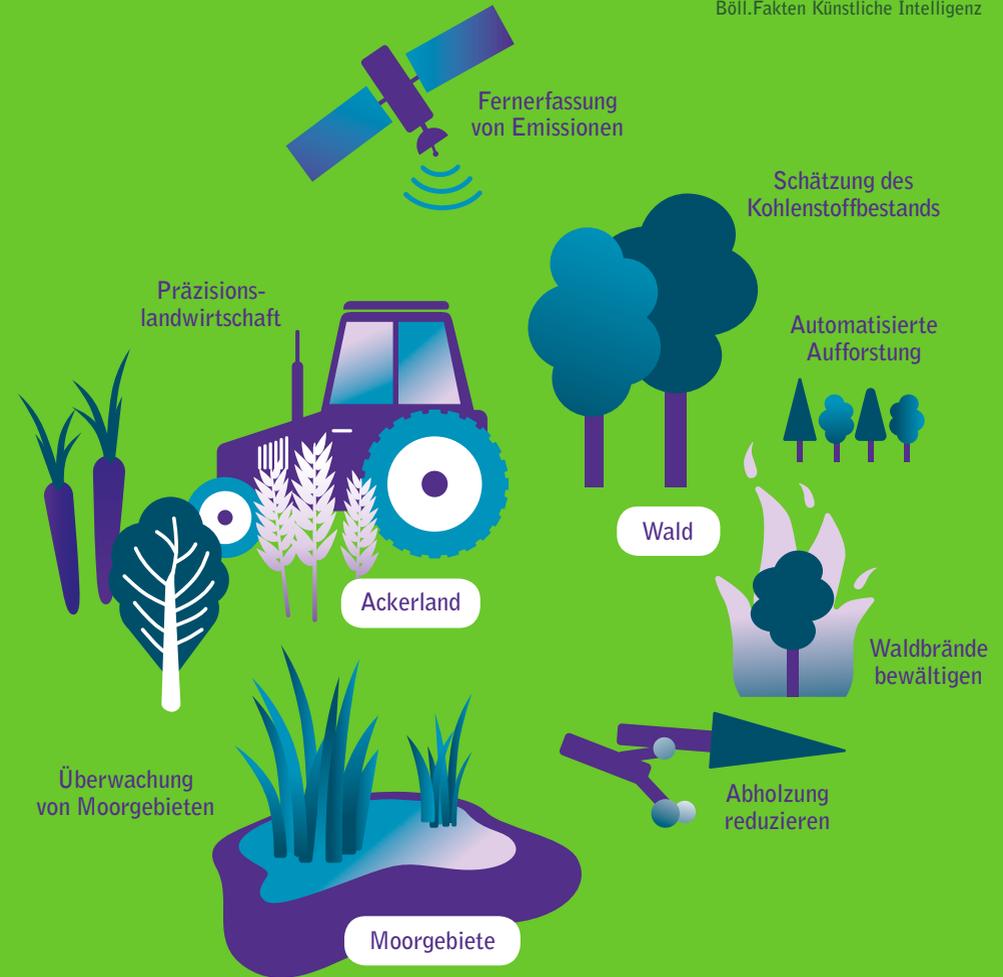
Die Wälder auf unserem Planeten sind durch den Klimawandel bedroht: Bäume sterben aufgrund extremer Hitze, Dürreperioden, Starkregen und Schädlingsbefall. Doch nur intakte Wälder können große Mengen CO₂ speichern. KI-Verfahren können helfen, gegen das Waldsterben vorzugehen. In einem Projekt des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz werten KI-Verfahren Satellitenbilder aus, um den Chlorophyll-Gehalt der Blätter zu ermitteln. Das lässt Rückschlüsse auf die Gesundheit der Bäume zu.⁷⁴⁵

Ein weiteres Beispiel ist das Projekt «Future-Forst», das das Bundesumweltministerium fördert. Es sammelt Daten zu den Baumarten in Waldgebieten, zu deren Vitalität, zur Beschaffenheit des Bodens, zum Schädlingsbefall sowie Klimadaten. KI-Verfahren werten die Informationen aus und vergleichen, welche Baumarten und -gruppen widerstandsfähiger sind. Daraus werden Szenarien abgeleitet, die dabei helfen sollen, den Wald nachhaltig zu schützen und umzugestalten.⁷⁴⁶

Auch große Brände gefährden die Wälder.

Während kleinere Feuer zu den natürlichen Zyklen eines Waldes gehören, zerstören Großbrände alle Bäume und die biologische Vielfalt. KI-Verfahren können durch die Analyse von Daten zu Dürreperioden, Wetterlagen und Satellitenbildern gefährdete Gebiete ermitteln und Brandverläufe prognostizieren. Das ermöglicht der Feuerwehr eine bessere Einschätzung, wann sie ein Feuer löschen und wie sie dabei sinnvoll vorgehen muss. Zugleich reduziert das die CO₂-Emissionen, die durch Waldbrände entstehen.⁷⁴⁷

In der Forstwirtschaft kann KI auch die Effizienz steigern: KI-Software hilft den Forstämtern zu entscheiden, wann sie ernten, düngen und wo sie aufforsten sollen. Die Logistik und der Transport können in der Forstwirtschaft durch KI-Systeme kostengünstiger gestaltet werden. Das hat allerdings nur dann einen positiven Effekt auf das Klima, wenn sich die Menge des geernteten Holzes dadurch nicht erhöht. Vielmehr gilt es, das eingesparte Geld in ökologische Maßnahmen wie die Aufforstung zu investieren.⁷⁴⁸



Einsatz von KI für klimafreundlichere Landnutzung

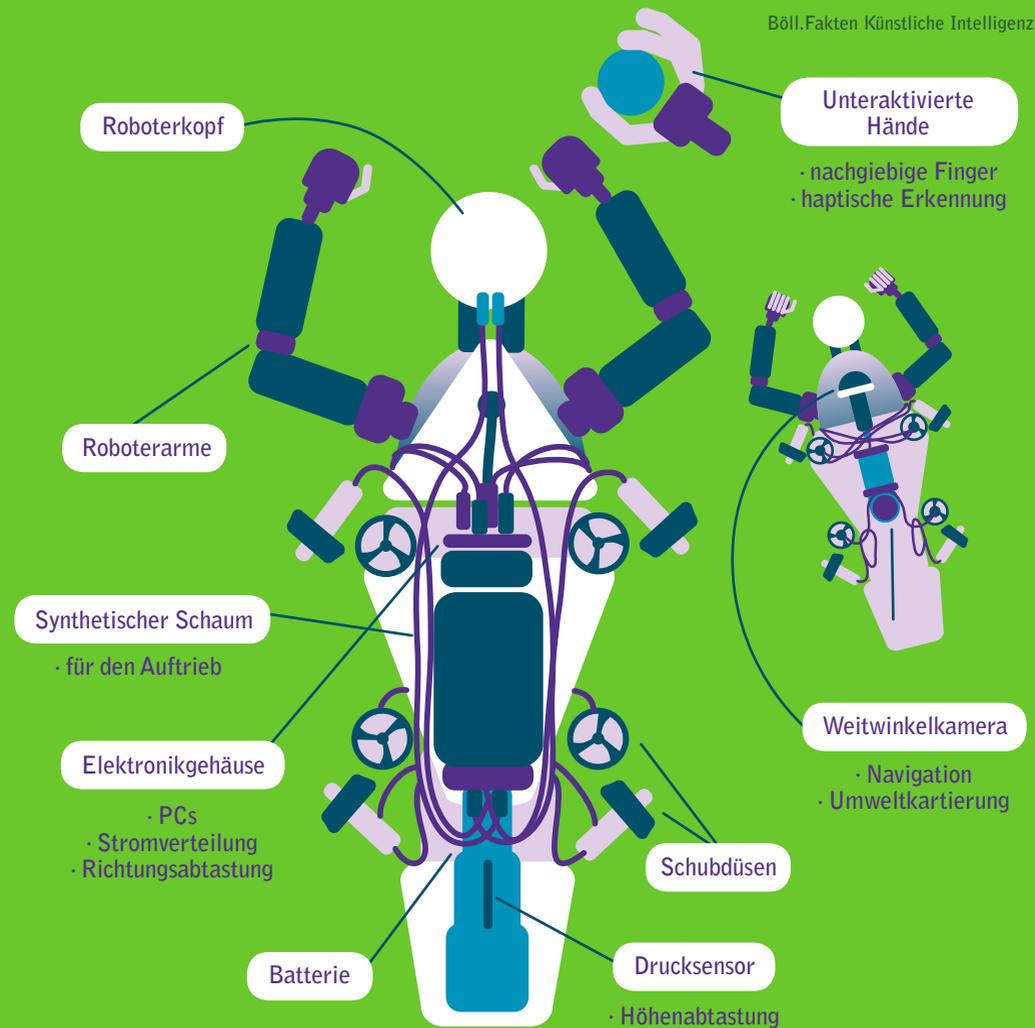
Satellitenbilder und KI-Verfahren, die mit Maschinellem Lernen arbeiten, helfen dabei, den Treibhausgasausstoß durch verschiedene Arten der Landnutzung abzuschätzen. Sie kommen außerdem zum Einsatz, um den Zustand der Wälder und Moore zu überwachen und sie zu schützen.

Quelle: Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 30, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

KI-Systeme können dabei helfen, biologische Systeme zu überwachen und zu schützen.

Vitale Wälder und Meere sind auf funktionierende Ökosysteme angewiesen. In diesen Systemen spielt die Artenvielfalt eine wichtige Rolle. Alle Arten übernehmen bestimmte Aufgaben und bilden gemeinsam ein funktionsfähiges Ganzes. Verschwinden Arten, gerät ein solches System ins Wanken. Expertinnen und Experten schätzen, dass der Klimawandel derzeit zu einem Artensterben von etwa 30 Prozent der Tier- und Pflanzenarten beiträgt.⁷⁴⁹ Um dem Artensterben entgegenzuwirken, ist es wichtig, die Ökosysteme zu überwachen und ihre Funktionsweise zu verstehen. Bestimmte KI-Systeme können die dafür notwendigen Daten erheben, sie analysieren und dadurch neue Erkenntnisse vermitteln. So ersetzen Foto- und Videoaufnahmen von installierten Kameras sowie Satellitenbilder einen Teil der Beobachtungen vor Ort und verhelfen zu neuen Daten. Bilderkennungsverfahren unterstützen deren Auswertung wie das Zählen von Bäumen und Tieren oder das Bestimmen von Arten. Ansonsten aufwendige Artenzählungen erfolgen damit teilautomatisiert.⁷⁵⁰ Ein Beispiel hierfür sind Apps und Plattformen, die Informationen von Bürgerinnen und

Bürgern und das Wissen aus der Forschung miteinander kombinieren. Die Nutzerinnen und Nutzer einer US-amerikanischen Anwendung können etwa Fotos von Pflanzen und Tieren auf eine Plattform hochladen. Die Community bestimmt, um welche Arten es sich auf den Fotos handelt. So entstehen kategorisierte Daten, die dabei helfen, einen Algorithmus zu trainieren. Er bestimmt später selbstständig Arten auf Fotos. Solche Formen der «Citizen Science» werden in Zusammenhang mit KI-Bilderkennungsverfahren im Artenschutz öfter genutzt.⁷⁵¹ Dadurch stehen der Wissenschaft für ihre Arbeit sehr viel umfangreichere Datengrundlagen zur Verfügung. Auch die Ökosysteme der Meere sind massiv durch den Klimawandel bedroht. Ihr Gleichgewicht ist wichtig, um das Klima zu regulieren. Allerdings verändert der Temperaturanstieg das Artenvorkommen in den Meeren stark. Fischarten verschwinden, Korallen sind stark gefährdet.⁷⁵² Um die Meeresökosysteme zu überwachen, werden auch Roboter entwickelt, die KI-Software nutzen. Sie erheben automatisiert Informationen über große oder schwer zugängliche Gebiete.⁷⁵³



Aufbau und Funktionen eines Forschungsroboters für Korallenriffe

Im Jahr 2015 entstand der Prototyp des Meeresroboters Ocean One Rov für die Erforschung der Biosysteme des Meeres – vor allem der Korallenriffe. Er arbeitet unter anderem mit KI-Verfahren, die bei der Datenerhebung und -auswertung helfen.

Quelle: Murphy, David: Deep sea coral reefs more accessible with touch-sensitive underwater robotic platform. 2015, online unter: <https://www.kaust.edu.sa/en/news/robotic-diver-expands-underwater-research>

KI-Technologien können den Klimaschutz bereichern, sofern die Digitalwirtschaft ökologische Aspekte stärker berücksichtigt.

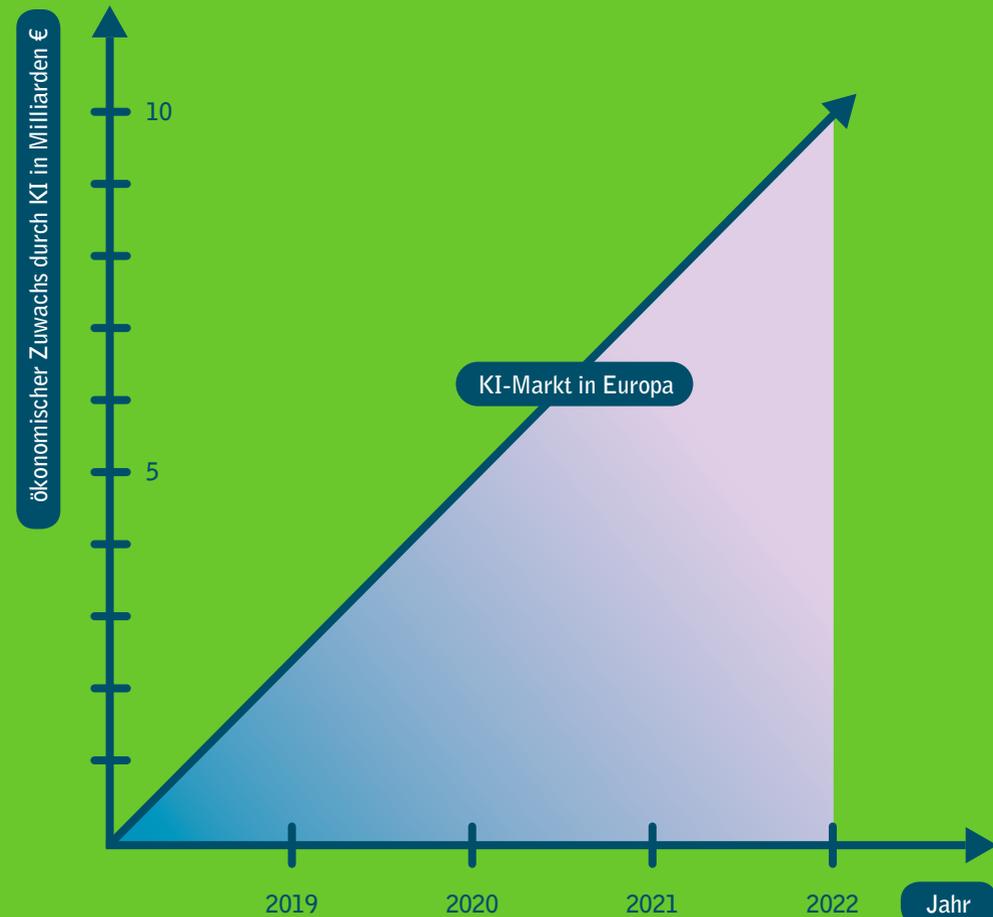
Bei allen KI-Entwicklungen und -Einsätzen muss die Ökobilanz der KI-Systeme selbst stärker in den Mittelpunkt rücken. In die Bilanz zählt der Energie- und Ressourcenverbrauch hinein, aber auch der Nutzen, den die Systeme haben. Eine KI-Software, die Schiffsrouten optimiert, kann die Fahrten verbessern, so dass die Schiffe weniger Treibstoff verbrauchen. Für das Anlernen der Software mit umfangreichen Datenmengen sind aber große Speicher- und Rechenkapazitäten notwendig. Sie verbrauchen Energie, Ressourcen und erhöhen den CO₂-Ausstoß. Ob die Software für den Schiffsverkehr eher zum Klimawandel oder zum Klimaschutz beiträgt, hängt davon ab, ob die Treibstoffeinsparungen größer sind als die benötigte Energie für die Systementwicklung. Je mehr Reedereien das System einsetzen, desto mehr Treibstoff wird eingespart und desto positiver fällt die Ökobilanz des Systems aus.⁷⁵⁴

Darüber hinaus ist es bedeutsam, welche Hardware, Software und Cloud-Anbieter bei der Entwicklung und im Einsatz genutzt werden. Handelt es sich um Anbieter, die erneuerbare

Energien nutzen, fällt die Ökobilanz besser aus. Fragen danach, ob Hardware-Komponenten effizient gestaltet sind und ob sich defekte Einzelteile austauschen oder recyceln lassen, spielen auch eine Rolle.⁷⁵⁵

Nicht zuletzt beeinflussen «Rebound-Effekte» die Ökobilanz einer KI-Anwendung. Damit sind negative Folgen für das Klima gemeint, die durch im Kern klimafreundliche Anwendungen entstehen. Wenn KI-Systeme etwa Energie einsparen, dies aber dazu führt, dass die Firmen mehr Waren produzieren, handelt es sich um einen Rebound-Effekt. Investiert das Unternehmen die Einsparungen in klimaschützende Maßnahmen, tritt dieser Effekt weitgehend nicht auf.⁷⁵⁶

Bei der Digitalisierung in vielen wirtschaftlichen Bereichen haben ökologische Fragen bislang kaum eine Bedeutung. Die Politik kann das ändern. Sie muss Anreize schaffen, damit die Ökobilanz von KI-Anwendungen stärker berücksichtigt wird. KI-Förderungen, die Aspekte der Nachhaltigkeit vorsehen, können dazu beitragen, dass mehr klimaschützende KI-Innovationen entstehen.⁷⁵⁷



KI-Markt in Europa

Laut Prognosen soll der europäische Markt für KI bis 2022 auf 10 Milliarden Euro angewachsen sein.

Quelle: Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten? 2020, online unter: https://reset.org/app/uploads/2020/09/RESET_KI_Infografik-1.pdf

Um Vertrauen in die KI zu schaffen, müssen wir uns auch mit ihren möglichen negativen Folgen auseinandersetzen.

Durch ethische Abwägungen kann man unerwünschte Auswirkungen von KI-Entwicklungen einschätzen und möglicherweise verhindern.⁷⁵⁸ Um solche Überlegungen stärker in die Entwicklung und den Einsatz von KI zu integrieren, hat die High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG) der Europäischen Kommission im Jahr 2019 sieben Anforderungen an eine vertrauenswürdige KI veröffentlicht. Sie gelten auch für klimaschützende Anwendungen und tragen dazu bei, dass KI-Systeme ökologischer gestaltet werden. Eine der Anforderungen ist, sichere Systeme zu schaffen, in denen die verwendeten Daten geschützt sind. Rückschlüsse auf Personen und ihre Lebensumstände dürfen nicht möglich sein.⁷⁵⁹ KI-Anwendungen, die etwa Informationen über unsere Mobilität nutzen, verarbeiten Bewegungsdaten. Diese Daten lassen wiederum Rückschlüsse auf Gewohnheiten zu. Daher gelten sie als sensibel und müssen sicher sein. Das bedeutet, dass die Daten so verarbeitet werden, dass niemand sie mit uns als Person in Verbindung

bringen kann. Dieses Vorgehen schützt vor Missbrauch. Darüber hinaus fordert die AI HLEG, dass das Vorgehen der Systeme sowie ihre Auswirkungen transparent sind. Nutzerinnen und Nutzer müssen nachvollziehen können, wie eine Software funktioniert und welche Auswirkungen ihr Einsatz hat. Im Zusammenhang mit klimaschützender KI kann das bedeuten, dass man erfährt, wie klimaschädlich KI-Systeme sind.⁷⁶⁰ Welchen CO₂-Ausstoß verursachen beispielsweise unsere Suchanfragen oder das Scrollen durch unsere Social-Media-Newsfeeds? Entsprechende Informationen erlauben bewusstere Entscheidungen – vor allem dann, wenn sie direkt beim Kauf oder Einsatz der Systeme angezeigt werden. Bei ethischen Abwägungen steht nicht nur die Anwendung selbst im Mittelpunkt, sondern der gesamte Prozess der Entwicklung und des Einsatzes einer KI. Es gilt auch Antworten auf die Frage zu finden, wie wir KI so gestalten, dass sie mit unserem Ressourcenverbrauch zu vereinbaren ist.⁷⁶¹



Anforderungen an vertrauenswürdige KI

Die unabhängige Expertengruppe AI HLEG der Europäischen Kommission nennt sieben Anforderungen, die KI erfüllen muss, damit sie als vertrauenswürdige KI gelten kann.

Quelle: Europäische Kommission/High-Level Expert Group on Artificial Intelligence: Ethics Guidelines for Trustworthy AI. 2019, S. 15, online unter: https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/196377/AI%20HLEG_Ethics%20Guidelines%20for%20Trustworthy%20AI.pdf

Die Politik kann Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft einen Rahmen vorgeben, durch den klimaschützende KI-Innovationen entstehen.

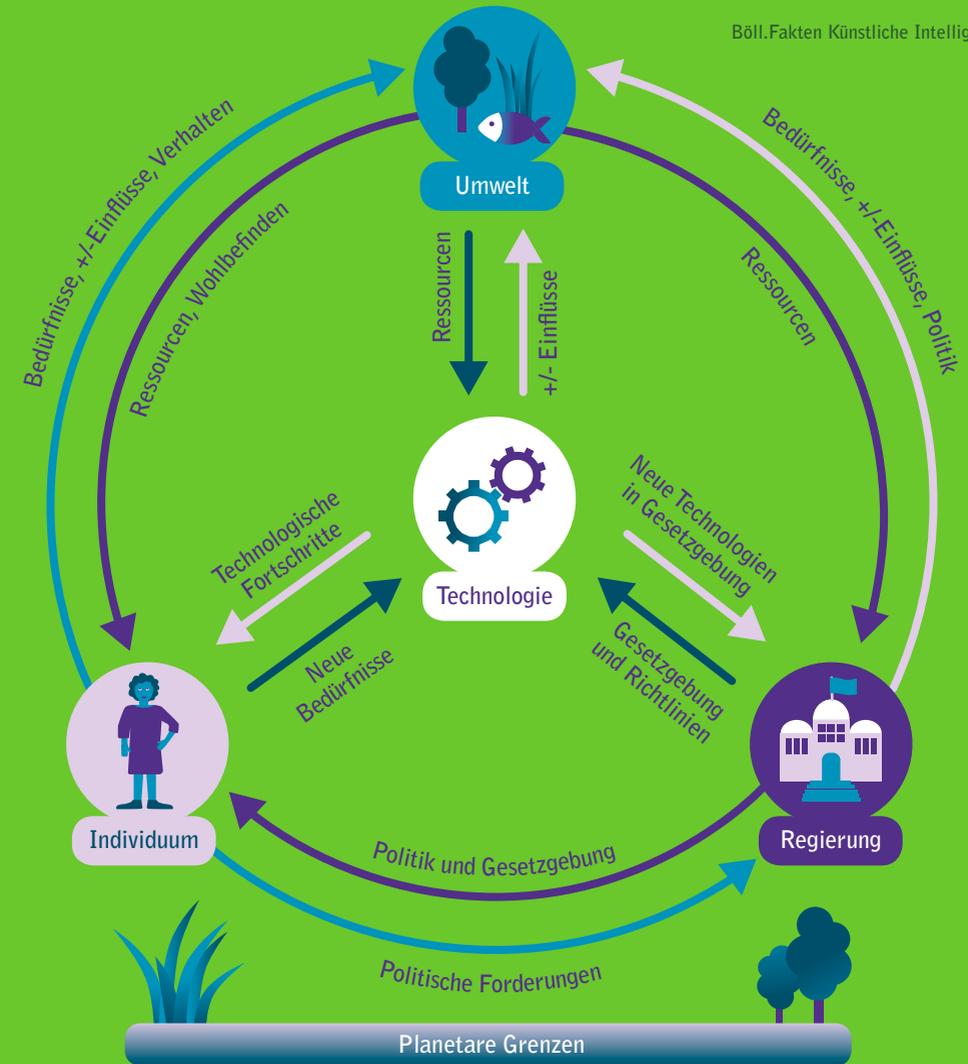
KI kann den Klimaschutz unterstützen. Unsere gegenwärtigen effizienz- und zugleich wachstumsgetriebenen Wirtschaftssysteme bereiten aber weder den Weg hin zu KI-Entwicklungen, die möglichst klimafreundlich sind, noch zu solchen, die den Klimaschutz aktiv vorantreiben. Ökologische KI braucht einen politischen Rahmen.

Für die Wirtschaft können das steuerpolitische Maßnahmen sein. Eine Besteuerung des CO₂-Ausstoßes führt dazu, dass Unternehmen eine gesteigerte Produktivität und die damit freigesetzten Mittel eher in ökologische Maßnahmen investieren. Und entsprechende Anreize beim Konsum können zu klimafreundlicheren Kaufentscheidungen führen.⁷⁶² Zudem sind politische Maßnahmen notwendig, die ressourcenschonende Entwicklungen anstoßen. Ein sinnvolles Vorgehen wäre, offene Datenstrukturen zu schaffen, die von Forschung, Zivilgesellschaft und Wirtschaft gemeinsam genutzt werden können. Offene oder gemeinsame Strukturen führen dazu, dass Speicherung und Verarbeitung

nicht mehrfach stattfinden. Das spart enorme Speicher- und Rechenkapazitäten, verbraucht weniger Ressourcen und mindert die CO₂-Emissionen. Zugleich kann die Qualität der Entwicklungen sogar steigen.⁷⁶³

Das Ziel, KI-Entwicklung ökologischer zu gestalten und zugleich KI-Innovationen zu fördern, die dem Klimaschutz dienen, findet sich auch in immer mehr staatlichen Strategien. Seit 2018 gibt es den Plan, gemeinwohlorientierte und verantwortungsvolle KI-Technologien zu fördern.⁷⁶⁴ Darauf baute das Bundesumweltministerium im Sommer 2021 mit einem Fünf-Punkte-Programm «Künstliche Intelligenz für Umwelt und Klima» auf. In diesem Rahmen fördert es KI-Projekte mit Modellcharakter für den Klimaschutz.⁷⁶⁵

Da der Klimawandel und die Digitalisierung mitsamt der KI-Entwicklung weltweit unser Leben und unseren Planeten verändern, sollten wir diese Themen nicht nur gemeinsam erörtern, sondern auch länderübergreifend politisch gestalten.



Wechselwirkungen bei der KI-Entwicklung

Zwischen Technologien, Staaten und Gesellschaften bestehen zahlreiche Wechselwirkungen. Die Normen und Regeln, die Regierungen vorgeben, beeinflussen die Gestaltung und Nutzung von Technologien. Damit wirken sie sich auf unser aller Leben aus.

Quelle: Vinuesa, Ricardo et al.: The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. In: Nature Communication (11). 2020, S. 7, online unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>

Verweise

- ⁷¹ Jetzke, Tobias et al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Kurzstudie. 2019, online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-04_texte_56-2019_uba_ki_fin.pdf
- ⁷² The European Commission's High Level Expert Group on Artificial Intelligence: A Definition of AI. Main Capabilities and Scientific Disciplines. 2018, online unter: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ai_hleg_definition_of_ai_18_december_1.pdf
- ⁷³ Kaack, Lynn H. et al.: Künstliche Intelligenz und Klimawandel. Wie KI mit den Klimaschutzziele vereinbart werden kann. 2021, online unter: https://www.boell.de/sites/default/files/2021-06/KI%20und%20Klimawandel.pdf?dimension1=division_dop
- ⁷⁴ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten? 2020, online unter: <https://reset.org/kuenstliche-intelligenz-koennen-wir-rechenleistung-unseren-planeten-retten-12112019/>
- ⁷⁵ Jetzke, Tobias et al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich, a.a.0.
- ⁷⁶ Stark, Florian: Mit Künstlicher Intelligenz gegen den Klimawandel. 2020, online unter: <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/artikel/ki-gegen-klimawandel>
- ⁷⁷ Kaack, Lynn H. et al., a.a.0.
- ⁷⁸ Vinuesa, Ricardo et al.: The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. In: Nature Communication 11, 233. 2020, online unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- ⁷⁹ Jungblut, Sarah-Indra: Umwelt- und Klimaschutz. Mit Künstlicher Intelligenz das Klima retten. In: enorm-magazin.de. 2020, online unter <https://enorm-magazin.de/gesellschaft/digitalisierung/kuenstliche-intelligenz/umwelt-und-klimaschutz-mit-intelligenten-algorithmen-das-klima-retten>
- ⁸⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: 40 Millionen Euro für Umweltschutz mit KI. Unsere Förderinitiative «KI-Leuchttürme». In: bmu.de, o. D., online unter: <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/digitalisierung/unsere-foerderinitiative-ki-leuchttuerme>
- ⁸¹ Rolnick, David et al: Tackling Climate Change with Machine Learning. In: arxiv.org. 2019, online unter: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>
- ⁸² Krüger, Juliane/ Treu, Nina: Der «Bits & Bäume» Trägerkreis fordert. Agenda für eine nachhaltige Digitalisierung. In: Höfner, Anja/ Frick, Vivian (Hg.): Was Bits und Bäume verbindet. Digitalisierung nachhaltig gestalten. 2019, online unter: <https://konzeptwerk-neue-oekonomie.org/wp-content/uploads/2019/07/Was-Bits-und-Baeume-verbindet-Konzeptwerk.pdf>
- ⁸³ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ⁸⁴ Zielinski, Oliver: Rettet Künstliche Intelligenz den Planeten? 2020, online unter: <https://www.io-ia.de/quantifiedeverything/ki-und-nachhaltigkeit/>
- ⁸⁵ Schwartz, Roy/Dodge, Jesse/Smith, Noah A./Etzioni, Oren: Green AI. 2019, online unter: <https://arxiv.org/abs/1907.10597>
- ⁸⁶ Lernende Systeme. Die Plattform für Künstliche Intelligenz: Infografiken. 2021, online unter: <https://www.plattform-lernende-systeme.de/infografiken.html> sowie Schwartz, Roy/Dodge, Jesse/Smith, Noah A./Etzioni, Oren: Green AI. 2019, S. 36, online unter: <https://arxiv.org/abs/1907.10597>
- ⁸⁷ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ⁸⁸ KI Bundesverband e. V.: Wie Künstliche Intelligenz Klimaschutz und Nachhaltigkeit fördern kann. 2021, online unter: <https://ki-verband.de/wp-content/uploads/2021/02/KIBV-Klima-Positionspapier.pdf>
- ⁸⁹ Ebd.
- ⁹⁰ Drees, Carsten: Coltan: An fast all unseren Smartphones klebt Blut. 2015, online unter: <https://www.mobilegeeks.de/artikel/coltan-an-fast-all-unseren-smartphones-klebt-blut/>
- ⁹¹ Jetzke, Tobias et. al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Kurzstudie. 2019, online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-04_texte_56-2019_uba_ki_fin.pdf
- ⁹² Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ⁹³ Zielinski, Oliver: Rettet Künstliche Intelligenz den Planeten?, a.a.0.
- ⁹⁴ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ⁹⁵ Schwartz, Roy/Dodge, Jesse/Smith, Noah A./Etzioni, Oren: Green AI. 2019, S. 36, a.a.0.
- ⁹⁶ Ebd.
- ⁹⁷ Jetzke, Tobias et. al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Kurzstudie. 2019, S. 10, a.a.0.
- ⁹⁸ Ebd.
- ⁹⁹ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ¹⁰⁰ Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 41, a.a.0.
- ¹⁰¹ Jetzke, Tobias et. al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Kurzstudie. 2019, S. 10, a.a.0.
- ¹⁰² Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 41, a.a.0.
- ¹⁰³ Ebd.
- ¹⁰⁴ Vetterli, Marc: Wie mit smartrail 4.0 die Effizienz der Bahn erhöht wird. O. D., online unter: <https://litra.ch/de/aktuelles/wie-mit-smartrail-40-die-effizienz-der-bahn-erhoht-wird/>
- ¹⁰⁵ Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 41, a.a.0.
- ¹⁰⁶ Deutscher Bundestag: Unterrichtung der Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale. 2020, online unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/19/237/1923700.pdf>
- ¹⁰⁷ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ¹⁰⁸ Kaack, Lynn H. et al.: Künstliche Intelligenz und Klimawandel. Wie KI mit den Klimaschutzziele vereinbart werden kann, a.a.0.
- ¹⁰⁹ Krüger, Juliane/Treu, Nina: Der «Bits & Bäume» Trägerkreis fordert. Agenda für eine nachhaltige Digitalisierung, a.a.0.
- ¹¹⁰ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ¹¹¹ Kaack, Lynn H. et al.: Künstliche Intelligenz und Klimawandel. Wie KI mit den Klimaschutzziele vereinbart werden kann, a.a.0.
- ¹¹² Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ¹¹³ Ebd.
- ¹¹⁴ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.0.
- ¹¹⁵ Ebd.

⁷⁴⁵ Stark, Florian: Mit Künstlicher Intelligenz gegen den Klimawandel, a.a.O.

⁷⁴⁶ Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH: Future Forst. O. D., online unter: <https://www.z-u-g.org/aufgaben/ki-leuchttuerme/projektuebersicht/futureforst/>

⁷⁴⁷ Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning, a.a.O.

⁷⁴⁸ Ebd.

⁷⁴⁹ NABU – (Naturschutzbund Deutschland) e. V.: Arten im Klimawandel. O. D., online unter: <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/artenschutz/08146.html>

⁷⁵⁰ Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning, a.a.O.

⁷⁵¹ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.O.

⁷⁵² Jetzke, Tobias et al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit, a.a.O.

⁷⁵³ Rolnick, David et al.: Tackling Climate Change with Machine Learning. 2019, S. 30, a.a.O.

⁷⁵⁴ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.O.

⁷⁵⁵ Randhahn, Anette/Kerbusch, Jochen/Gaaß, Markus/Richter, Martin: Digitalisierung – Segen oder Fluch für den Klimaschutz? In: Wittpahl, Volker (Hg.): iit-Themenband. Klima. Politik & Green Deal. Technologie & Digitalisierung. Gesellschaft & Wirtschaft. 2020, S. 180-194, online unter: https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_Book_Klima.pdf

⁷⁵⁶ Ebd.

⁷⁵⁷ Ebd.

⁷⁵⁸ Wynsberghe, Aimee van: Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. In: AI and Ethics (1). 2021, online unter: <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00043-6>.

⁷⁵⁹ Europäische Kommission/High-Level Expert Group on Artificial Intelligence: Assessment List for Trustworthy Artificial Intelligence (ALTAI) for self-assessment. 2020, online unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/assessment-list-trustworthy-artificial-intelligence-ai-tai-self-assessment>

⁷⁶⁰ Fron, Carina: Künstliche Intelligenz gegen den Klimawandel. 2020, online unter: https://www.deutschlandfunk.de/umwelt-kuenstliche-intelligenz-gegen-den-klimawandel.684.de.html?dram:article_id=477738

⁷⁶¹ Wynsberghe, Aimee van: Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI, a.a.O. sowie Europäische Kommission/High-Level Expert Group on Artificial Intelligence: Assessment List for Trustworthy Artificial Intelligence (ALTAI) for self-assessment, a.a.O.

⁷⁶² Bechberger, Micha/Thiele, Yannick Neumann, Kirsten: European Green Deal: Hebel für internationale Klima- und Wirtschaftsallianzen. In: Wittpahl, Volker (Hg.): iit-Themenband. Klima. Politik & Green Deal. Technologie & Digitalisierung. Gesellschaft & Wirtschaft. 2020, S. 72-87, online unter: https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_Book_Klima.pdf

⁷⁶³ Jungblut, Sarah-Indra et al.: Künstliche Intelligenz. Können wir mit Rechenleistung unseren Planeten retten?, a.a.O.

⁷⁶⁴ Jetzke, Tobias et al.: Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit, a.a.O.

⁷⁶⁵ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Fünf-Punkte-Programm «Künstliche Intelligenz für Umwelt und Klima». 2021, online unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Digitalisierung/factsheet_ki_bf.pdf

Alle Links zuletzt aufgerufen am 20. Oktober 2021.

Impressum

Herausgeberin: Heinrich-Böll-Stiftung e.V.
Schumannstraße 8, 10117 Berlin
info@boell.de, www.boell.de, 030/285 34-0

Autorin: Jaana Müller-Brehm
Konzeption und Leitung: Vérane Meyer (Heinrich-Böll-Stiftung)
Redaktionelle Mitarbeit: Rita Hoppe und Stephan Stoll (Heinrich-Böll-Stiftung)

Layout: Grafikladen Berlin
Illustrationen: Kristina Wedel
Druck: Kern GmbH, Bexbach

ISBN 978-3-86928-243-5

V.i.S.d.P.: Annette Maennel, Heinrich-Böll-Stiftung 2022
Dieses Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0

Bestell- und Download-Adresse: Heinrich-Böll-Stiftung e.V.,
Schumannstraße 8, 10117 Berlin, buchversand@boell.de, www.boell.de/publikationen

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**