

E-PAPER

# Künstliche Intelligenz und Klimawandel

Wie KI mit den Klima-  
schutzzielen vereinbart  
werden kann

**VON LYNN H. KAACK, PRIYA L. DONTI, EMMA STRUBELL  
UND DAVID ROLNICK**

Eine Publikation der Heinrich-Böll-Stiftung, Mai 2021



# Künstliche Intelligenz und Klimawandel

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Zusammenfassung	5
1 Was ist KI?	6
2 Künstliche Intelligenz und Klimawandel	7
KI-Anwendungen für den Klimaschutz	7
Potentiell klimaschädliche KI-Anwendungen	11
Der Energieverbrauch von KI	12
3 Politische Maßnahmen	13
4 Weitere politikrelevante Aspekte	15
5 Schlussfolgerung	16
Literaturempfehlungen	17
Literaturverzeichnis	18
Die Autorinnen und Autoren	20

# Vorwort

Der Einsatz digitaler Technologien für eine nachhaltige Transformation der Wirtschaft ist zu einem zentralen Thema der politischen Debatte in Deutschland und Europa geworden.

Die bahnbrechenden Neuerungen der jüngsten Zeit im Bereich des Maschinellen Lernens nähren die Hoffnung, die Künstliche Intelligenz (KI) könnte die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen maßgeblich befördern. Andererseits werden Bedenken laut, KI bzw. KI-getriebene Technologien könnten, je nach Art und Einsatz der Anwendungen, auch zu Treibern für globalen Ressourcenverbrauch und Emissionen werden.

Viele Faktoren werden bei der Gestaltung des tatsächlichen Ergebnisses eine Rolle spielen. Beispielsweise können Algorithmen zur Fernerkundung für die Satellitenbildanalyse eingesetzt werden, um Informationen zu Erträgen der landwirtschaftlichen Produktion zu erheben oder den Energieverbrauch von Gebäuden vorauszuberechnen – sie können aber genauso genutzt werden, um die Erkundung von Öl- und Gasfeldern zu beschleunigen. Selbstfahrende Autos können das Autofahren effizienter machen, aber auch zu einer intensiveren Nutzung privater Fahrzeuge führen.

Die Autor/innen dieses Berichts sind Expert/innen der Bereiche Maschinelles Lernen und Politik bei führenden Forschungsinstituten in Nordamerika und Europa. Sie haben sich der Aufgabe verschrieben, genau diejenigen Einsatzbereiche des Maschinellen Lernens zu bestimmen und zu fördern, die dem Klima zuträglich sind, und vor denjenigen Anwendungen zu warnen, die unseren Planeten schädigen können. Der Bericht bietet einen Überblick über die spezifischen Vorteile von KI-Anwendungen, u.a. in den Bereichen Klimamodellierung, Entwicklung von Batterietechnologien, Stromnetze und Ernährungssicherheit, sowie über die potentiell nachteiligen Auswirkungen der KI auf den Klimaschutz.

Die Autor/innen sehen technologische Lösungen nicht als Allheilmittel für die drängenden Probleme der Erde. Vielmehr verweisen sie darauf, dass die Rolle der Künstlichen Intelligenz auf dem Weg hin zu einer nachhaltigeren Zukunft letztendlich von menschengemachten Entscheidungen abhängt. Ob der Einsatz Künstlicher Intelligenz Ressourcenverbrauch und Emissionen tatsächlich zu senken vermag, anstatt sie noch weiter in die Höhe zu treiben, wird von intelligenten politischen Strategien, gesetzlichen Rahmenbedingungen und Anreizen abhängen.

Wir danken den Autor/innen Priya Donti, Lynn Kaack, David Rolnick und Emma Strubell für die Darstellung der jüngsten Entwicklungen in ihrem Forschungsbereich sowie für die Vorstellung von Ansätzen zur Bewertung sowohl der umweltbezogenen als auch der gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen dieser Technologien. Wir hoffen, dass dieser Bericht eine gemeinsame Grundlage für die Prüfung bestehender politischer Konzepte und

einen Ausgangspunkt für eine informierte Debatte über den politischen Kurs der Zukunft schaffen kann.

Berlin, Washington und Brüssel, im Frühjahr 2021

Vérane Meyer  
*Referentin Digitale Ordnungspolitik*  
*Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin*

Sabine Muscat  
*Programmdirektorin für Technologie und digitale Politik*  
*Heinrich-Böll-Stiftung Nordamerika, Washington DC*

Zora Siebert  
*Leiterin EU Policy Programme*  
*Heinrich-Böll-Stiftung Europäische Union, Brüssel*

# Zusammenfassung

Mit dem zunehmenden Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in verschiedenen Lebensbereichen wird es immer wichtiger zu verstehen, auf welche Weise KI den Klimaschutz beeinflussen und wie die Gesellschaft Entwicklungen diesbezüglich steuern kann. Einerseits kann die KI Ansätze zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel in vielen Bereichen unterstützen, etwa im Energiesektor, in der Produktion von Gütern, in der Land- und Forstwirtschaft und im Katastrophenschutz. Andererseits kann KI genauso zum vermehrten Ausstoß von Treibhausgasemissionen beitragen, nämlich durch Anwendungen, die den emissionsintensiven Wirtschaftszweigen zugutekommen oder den Konsum der Endverbraucher/innen ankurbeln, und durch den Energieverbrauch der KI selbst. Hier möchten wir einen kurzen Überblick über die vielfältigen Zusammenhänge zwischen KI und Klimawandel geben und politische Maßnahmen auflisten, mit welchen der Einsatz von KI mit dem Klimaschutz in Einklang gebracht werden kann.

# 1 Was ist KI?

Der Begriff der Künstlichen Intelligenz (KI) bezeichnet einen Algorithmus zur Ausführung einer komplexen Aufgabe. In letzter Zeit hat das Maschinelle Lernen (ML), ein Unterbereich von KI, wesentliche Fortschritte verzeichnet. ML bezeichnet die Gesamtheit von Vorgängen zur automatischen Extraktion von Mustern aus Datenbeständen. Besonders erfolgreiche KI-Anwendungen kommen aus den Bereichen Computer Vision (Bilderkennung), Verarbeitung natürlicher Sprache (Wort- und Textanalyse), Analyse von Zeitreihen (z.B. Prognosen) sowie Steuerungsaufgaben (Betrieb komplexer Systeme). Viele KI-Tools sind für die genannten Funktionsbereiche bereits heute einsatzfähig. Die KI-Forschung beschäftigt sich auch mit Querschnittsthemen wie der Interpretierbarkeit (= Erklärung, warum das Modell eine Vorhersage getroffen hat), der Quantifizierung von Unsicherheiten (Kalibrieren der Vorhersagesicherheit) sowie dem sogenannten «few-shot learning» (= die Gewinnung von Erkenntnissen aus einer relativ kleinen Datenmenge).

KI-Methoden werden aktuell zum Beispiel eingesetzt, um medizinische Bilder zu verarbeiten, die Erkennung von Hindernissen im autonomen Fahren zu ermöglichen oder um Werbekampagnen zu optimieren. Wie andere wichtige Tools im Bereich Technik und Wissenschaft kann KI für vielfältige Anwendungen eingesetzt werden.

## 2 Künstliche Intelligenz und Klimawandel

Die KI und das Maschinelle Lernen haben ein breit gefächertes Anwendungsspektrum, und die Folgen dieser Technologien hängen stark davon ab, wie die Gesellschaft sie nutzt. Damit die Klimaziele erreicht werden können, müssen auch die möglichen Chancen und Auswirkungen von KI für bzw. auf den Klimaschutz gründlich untersucht werden.

### KI-Anwendungen für den Klimaschutz

KI ermöglicht neue Methoden in Forschung, Technik und Politikberatung und kann da sowohl für Klimaschutz als auch für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels eingesetzt werden. Wir möchten hier einige übergeordnete Anwendungen vorstellen und für jeden Bereich ein Beispiel näher beleuchten.

- **Informationsbeschaffung:** Wenn politikrelevante Informationen nicht auf andere Weise erhältlich sind, können mit KI große Mengen an Rohdaten analysiert und die fehlenden Informationen über Schätzungen erzeugt werden (durch Geodaten, Textdokumente oder Sensordaten). Zum Beispiel kann KI auf Satellitenbilder angewendet werden, um Treibhausgasemissionsquellen zu erkennen, Informationen zur Gebäudeeffizienz zu sammeln und Abholzungsprozesse nachzuverfolgen.

#### *Fallbeispiel: Mit KI die Ernährungssicherheit steigern*

Der Klimawandel wirkt sich zunehmend auf die Landwirtschaft aus – die Häufigkeit und Schwere der Stürme, Dürren und Hochwasserereignisse sowie die Verbreitung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen nehmen zu. Mit der großflächigen Verfügbarkeit hochauflösender Satelliten- und Luftbilder können die Erntebedingungen und landwirtschaftlichen Erträge nun besser überwacht werden; und Frühwarnsysteme können helfen, Ernteauffällen vorzubeugen. Mit KI lässt sich eine Analyse der Bilder automatisieren und damit auch die Anzahl der analysierten Bilder massiv erhöhen. Zusätzlich werden subtile Hinweise im Bildmaterial erkannt, die das menschliche Auge unter Umständen nicht wahrnimmt. Es ist beispielsweise möglich, mithilfe von Expert/innen die Vegetation in einigen wenigen Bildern zu beschriften und den Algorithmus anschließend darauf zu trainieren, dies automatisch auf ein größeres Gebiet anzuwenden. In diesem Bereich engagieren sich einige große Regierungsprogramme (z.B. NASA Harvest<sup>[1]</sup> und Copernicus Land Monitoring Service<sup>[2]</sup>), mehrere

**1** NASA Harvest: <https://nasaharvest.org/>

**2** Copernicus Land Monitoring Service: <https://www.copernicus.eu/en/services/land>

- NGOs (etwa GEOGLAM<sup>[3]</sup>) sowie viele private Unternehmen (wie Indigo Atlas Insights<sup>[4]</sup>).
- **Prognosen:** Durch die Analyse von Mustern in historischen Daten kann KI Prognosen etwa von der Windstromerzeugung, des Verkehrsaufkommens und von Extremwetterereignissen liefern. Diese Prognosen ermöglichen wiederum die dringend gebrauchte Prognosegenauigkeit für die Optimierung der Stromnetze, die Infrastrukturplanung und das Katastrophenmanagement.

*Fallbeispiel: Zeitnahe Voraussagen für die Solarstromerzeugung*

Stromnetzbetreiber orientieren sich zunehmend an kurzfristigen Prognosen der Stromerzeugung – auch «Nowcasts» genannt –, um Netze mit größeren Mengen an PV- und Windstromeinspeisung zu steuern. Mithilfe historischer Daten korreliert KI die Stromerzeugung mit Faktoren wie den örtlichen Wetterverhältnissen und prognostiziert auf dieser Grundlage die zukünftige Stromerzeugung. Die gemeinnützige Organisation Open Climate Fix<sup>[5]</sup> etwa entwickelt Open-Source-Modelle für das Nowcasting, die die Wolkendecke auf Satellitenbildern erkennen und diese Daten mit weiteren Wetter- und Positionsdaten kombinieren, um die Solarstromerzeugung der nächsten Stunden akkurater vorausbestimmen zu können. Noch ein weiteres Beispiel hierzu: Das US-amerikanische Energieministerium leitete gemeinsam mit dem National Center for Atmospheric Research einen Forschungsverbund mit dem Ziel, probabilistische PV-Stromprognosen zu entwickeln, die bis zu 72 Stunden in die Zukunft blicken [Haupt et al. 2016].

- **Betriebliche Effizienz verbessern:** KI kann die Energie- und Ressourceneffizienz realer Systeme durch die Verbesserung der Optimierungsroutinen steigern, zum Beispiel in der Steuerung industrieller Wärme- und Kälteanlagen, in der Logistik und in der Lebensmittelindustrie.

*Fallbeispiel: Steuerung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlagen)*

Mehr als die Hälfte der in Gebäuden verbrauchten Energie geht auf das Konto der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlagen). Die heutige Anlage- und Steuerungstechnik berücksichtigt nur selten Gebäude-Thermodynamik, Nutzer/innenverhalten und Ausrüstung. Eine KI-basierte Steuerung kann die betriebliche Effizienz einer HLK-Anlage deutlich steigern. KI-Techniken wie das

**3** GEOGLAM: <http://earthobservations.org/geoglam.php>

**4** Indigo Atlas Insights: <https://www.indigoag.com/atlas-insights>

**5** Open Climate Fix: <https://openclimatefix.org/>



«Reinforcement-Learning» (Verstärkungslernen)<sup>[6]</sup> [Wang and Hong 2020] sowie die Kombination aus KI und Model-Predictive-Control<sup>[7]</sup> [Drgoňa et al. 2020, Drgoňa et al. 2018] können zur Steuerung von HLK-Anlagen in Wohn- und Geschäftsgebäuden eingesetzt werden. KI-getriebene Steuerungsstrategien finden auch im industriellen Kontext Anwendung: Das britische KI-Unternehmen DeepMind etwa entwickelte ein entsprechendes Konzept für die Rechenzentren von Google, das umfangreiche Energieeffizienzgewinne erbrachte [Gamble and Gao 2018].

- **Vorausschauende Wartung:** Durch die Fehlererkennung im frühen Stadium kann KI die Sicherheit der Infrastruktur erhöhen, Kosten senken und die Energieeffizienz verschiedener Systeme erhöhen. Zum Beispiel wird KI eingesetzt, um Lecks in Gaspipelines zu finden, Unregelmäßigkeiten in der Leistung einzelner PV-Module zu erkennen und Ausfälle industriellen Anlagen vorherzusagen.

*Fallbeispiel: Instandhaltung von Bahnanlagen*

Der Schienenverkehr spielt bei der Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Passagier- und Frachtbeförderung eine zentrale Rolle. Um den Bahnverkehr im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-intensiveren Transportoptionen attraktiv zu machen, braucht es zwar eine Reihe von Konzepten; die vorausschauende Wartung kann hier aber über Effizienzgewinne und die Vermeidung teurer Reparaturen einen Beitrag leisten. KI wird in der vorausschauenden Wartung dafür benutzt, um durch die großflächige Analyse von Sensordaten aktuelle und zukünftige Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Die Deutsche Bahn<sup>[8]</sup> setzt beispielsweise KI ein, um die Daten akustischer Sensoren und Videokameras auszuwerten, mechanische Fehler vorauszusagen sowie den Zustand von Geräten und Anlagen zu überwachen. Forschungsprojekte haben sich auch damit beschäftigt, KI-basierte Analyse von Schwingungsdaten und Videobildern mit Vorwissen über das Schienensystem zu kombinieren, um Wartungsentscheidungen zu unterstützen [Jamshidi et al. 2018].

- **Beschleunigtes wissenschaftliches Experimentieren:** KI kann den Prozess wissenschaftlicher Erkenntnis zum Beispiel dadurch beschleunigen, indem sie aus vergangenen Versuchsreihen lernt und für die Zukunft erfolgversprechende neue Experimente vorschlägt. Insofern kann KI dazu beitragen, die Entwicklung sauberer Technologien voranzutreiben, zum Beispiel Batterien oder Solarzellen der nächsten Generation.

**6** Reinforcement-Learning bezeichnet einen Bereich des Maschinellen Lernens, in dem der Algorithmus über die Interaktion mit einer bestimmten Umgebung Strategien zur Maximierung der Wahrscheinlichkeit eines gewünschten Ergebnisses erlernt.

**7** Model Predictive Control ist eine Methode zur Prozesssteuerung, die auch zukünftige Zustände des Prozesses berücksichtigt. Sie wird in verschiedenen Wirtschaftszweigen großflächig eingesetzt.

**8** Deutsche Bahn: <https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/technologie/kuenstlicheintelligenz-3242310>

*Fallbeispiel: Forschung und Entwicklung für Energiespeichertechnologien*

Die Speicherung elektrischer Energie in Batterien gehört zu den wichtigsten Pfeilern der Emissionsreduktion in Verkehr und Stromwirtschaft. Doch die Technologie weist im Bereich Leistung und Kosten noch erheblichen Optimierungsbedarf auf [Beuse et al. 2020]. KI wird inzwischen auch erfolgreich in der Forschung und Entwicklung (F&E) von Batteriespeichern eingesetzt. Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Verschleißprozess von Batterien, der bislang wenig verstanden ist, über Datenanalysen per KI deutlich besser eingeschätzt werden kann. KI kann auch dazu eingesetzt werden, die Entdeckung neuer Batteriematerialien zu beschleunigen [Jain et al. 2013], zum Beispiel über die Analyse großer Materialdatenbanken. Hieraus können Empfehlungen abgeleitet werden, welche Materialien sich für entsprechende Experimente eignen. Diese KI-getriebenen Ansätze werden in der Batterieentwicklung zunehmend eingesetzt.<sup>[9]</sup>

- **Approximation zeitintensiver Simulationen:** Mit KI können rechenintensive Simulationen etwa von klimaphysikalischen Zusammenhängen oder energietechnischen Systemen beschleunigt werden. KI kann dabei zum Beispiel Komponenten großer Klimamodelle recheneffizient nachbilden oder in Stromnetzoptimierungsmodellen eingesetzt werden. Bereits jetzt reduziert KI so auch die Rechenzeit von einigen Stadtplanungstools massiv und ermöglicht darüber Entscheidungsprozesse in Echtzeit.

*Fallbeispiel: Standortbezogene Klimamodelle*

Klimaforscher/innen verstehen sehr genau, welche Faktoren in Analysen des Klimawandels betrachtet werden müssen (etwa im Bereich der Atmosphären- und Ozeanphysik), doch physikalische Klimamodelle brauchen viel Rechenleistung. Einige dieser Simulationen erfordern extrem leistungsfähige Supercomputer. Auch wenn KI die physikalischen Modelle nicht ersetzen kann, so kann sie doch in einigen Fällen effiziente Approximationen (sprich: Annäherungen) für besonders zeitintensive Teile der Modelle liefern. Zum Beispiel kann KI ein grobes Modell der Wolkenphysik nachbilden (Wolkenphysik ist wichtiger Bestandteil von Klimasimulationen), indem sie die Ergebnisse eines exakten Modells erlernt. Dadurch wird das Klimamodell insgesamt effizienter. Hierdurch werden sehr präzise Vorhersagen der Klimaveränderung an bestimmten Orten auf der Erde möglich, was bei ausschließlich physikalischen Simulationen überproportional zeit- und rechenaufwändig wäre. Damit kann KI auch räumlich höher aufgelöste Informationen liefern und Planungsentscheidungen unterstützen, wie sie zum Beispiel für eine Infrastruktur nötig sind, die gegen Extremereignisse geschützt sein soll. Diese Methoden können auch Energie einspa-

9 Als Beispiel seien die Aktivitäten der Unternehmen Aionics, Accure und Twice genannt.

ren, die für den Betrieb von Supercomputern für exakte Klimamodelle erforderlich wäre. Klimaforscher/innen machen zunehmend Gebrauch von KI (siehe z.B. [Reichstein et al. 2019] und die AI2ES-Initiative<sup>[10]</sup>).

## Potentiell klimaschädliche KI-Anwendungen

Aufgrund ihrer breiten Anwendbarkeit wird KI auch in Verfahren angewandt, die sich negativ auf den Klimaschutz auswirken. In der Exploration und Förderung von Öl- und Gasvorkommen beispielsweise wird sie sehr umfangreich eingesetzt. Auch das autonome Fahren, das in hohem Maße von KI abhängig ist, kann die Emissionen des Transportsektors in die Höhe treiben, je nachdem wie es eingesetzt wird. Zudem erhöhen KI-getriebene Innovationen im Marketing oder in der Fertigung potentiell den Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen und somit auch die hiermit verbundenen Emissionen. Die Auswirkungen dieser KI-Anwendungen auf das Klima sind bislang nicht umfassend erforscht, dürften jedoch als potentiell erheblich eingeschätzt werden.

### *Fallbeispiel: Erkundung und Förderung von Öl- und Gasvorkommen*

Im Bereich der fossilen Kraftstoffe wird KI umfangreich eingesetzt. Ein kürzlich erschienener Bericht beschreibt ausführlich, wie große Technologieunternehmen KI einsetzen, um Öl- und Gasunternehmen bei der Erkennung und Modellierung von Förderstätten, in der Optimierung von Pipelines zur Erweiterung der Transport- und Lagerkapazitäten für fossile Brennstoffe, für Raffinerieprozesse sowie bei der Vermarktung und bei dem Vertrieb fossiler Brennstoffe und der daraus gewonnenen Produkte zu helfen [Greenpeace 2020]. Schätzungen zufolge könnten durch KI und weitere digitale Technologien bis 2025 Beträge in Höhe von 425 Milliarden US-Dollar im Öl- und Gassektor erwirtschaftet werden [Spelman et al. 2017]. Dies wirkt sich auf die Zunahme von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus – und könnte auch der Wettbewerbsfähigkeit fossiler Brennstofftechnologien erneuten Vorschub leisten und den Übergang zu CO<sub>2</sub>-armen Alternativen bremsen [Victor 2019].

### *Fallbeispiel: Autonomes Fahren*

KI ist inhärenter technologischer Bestandteil der autonomen Fahrzeuge. Ohne sie wäre die Entwicklung autonomer Pkws, Lastwagen, Lieferroboter, Drohnen usw. undenkbar. Das autonome Fahren bringt potentiell grundlegende Veränderungen im Personen- und Gütertransport mit sich und wirkt sich auf das Fahrzeugdesign, die Verkehrsströme und die Nachfrage nach Beförderungs- und Transportoptionen aus. Der Einsatz autonomer Fahrzeuge könnte den Energieverbrauch beim Fahren zwar teilweise reduzieren (etwa durch das

**10** NSF AI Institute for Research on Trustworthy AI in Weather, Climate, and Coastal Oceanography (AI2ES): <https://www.ai2es.org/>

sogenannte Platooning<sup>[11]</sup>, durch Eco-Driving oder durch die Kombination autonomer Fahrzeuge mit klimafreundlichen Verkehrsmitteln). Andererseits könnte das autonome Fahren den Energieverbrauch und die Emissionen jedoch auch steigern, da es die Einstiegsbarriere für die Nutzung individualisierter Transportmittel senken und damit die Anzahl der gefahrenen Kilometer potentiell erhöhen und mehr Passagier- und Frachtverkehr von klimafreundlichen Optionen wie dem Schienentransport abwenden kann [Wadud et al. 2016].

## Der Energieverbrauch von KI

Einen KI-Algorithmus laufen zu lassen verbraucht direkt Energie. Hierbei variiert die benötigte Energiemenge stark zwischen den verschiedenen Algorithmen. Viele der meistverwendeten KI-Systeme verbrauchen nur wenig Strom und können auf dem Laptop oder sogar dem Smartphone laufen. Einige Systeme, die hauptsächlich zu Forschungszwecken laufen, benötigen deutlich mehr Energie. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Entwickeln der größten Modelle dieser Art sind mit den Emissionen eines Personenkraftwagens über dessen Gesamtnutzungsdauer vergleichbar [Strubell et al. 2019]. Zwar liegen bislang keine Daten zum Gesamtstromverbrauch von KI vor, aber nach Angaben der Internationalen Energieagentur entfällt derzeit etwa 1 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs auf Rechenzentren [IEA 2019], an dem KI nur einen kleinen Anteil hat. Zusätzlich zum Stromverbrauch sollten auch die durch den Einsatz von Hardware verursachten Emissionen berücksichtigt werden. Die Berechnung des Energieverbrauchs einzelner KI-Modelle ist relativ einfach im Vergleich zum Aufwand, um die Klimaauswirkungen KI-basierter Anwendungen im Ganzen abzuschätzen. Allerdings ist davon auszugehen, dass letztere sich sowohl im positiven als auch im negativen Sinn deutlich umfangreicher auf die Treibhausgasemissionen auswirken könnten. Diese Entwicklung sollte auf jeden Fall genau beobachtet werden.

**11** Platooning bezeichnet das KI-gestützte Fahren mehrerer Lkws in sehr geringem Abstand. Diese Technik reduziert den Luftwiderstand und reduziert damit den Treibstoffverbrauch.

# 3 Politische Maßnahmen

Um die Nutzung von KI mit dem Klimaschutz vereinbar zu machen, empfehlen wir politischen Entscheidungsträger/innen, bei den folgenden drei Bereichen anzusetzen: (a) Förderung von Forschung, Entwicklung und Einsatz von KI-Anwendungen, die ausdrücklich auf den Klimaschutz abzielen; (b) Regulierung der Klimaauswirkungen KI-gesteuerter Technologien, welche in vielen Wirtschaftssektoren neu entstehen oder bereits im Einsatz sind; und (c) Ausbau der Kapazitäten des öffentlichen Sektors zur Regulierung und Innovation an der Schnittstelle zwischen KI und Klimawandel. Wir sind der Auffassung, dass politische Ansätze sowohl im Bereich Klimaschutz als auch im Bereich KI entscheidend für die Gestaltung von wirkungsvollen Anreizen in diesem Bereich sind. Wir schlagen entsprechend folgende Maßnahmen für die Politik vor.

## **Forschung, Entwicklung und Einsatz von KI für den Klimaschutz fördern**

- Interdisziplinäre und angewandte Forschung an der Schnittstelle von Informatik und klimarelevanten Fachbereichen ausbauen (z.B. Ingenieurwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften oder Stadtplanung).
- Durch Forschung, Entwicklung und Pilotprojekte die Marktreife von KI-Anwendungen für den Klimaschutz vorantreiben.
- Administrative Hürden für den Einsatz von KI-Technologien in den Sektoren und Branchen reduzieren, die für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel relevant sind (wie z.B. im Stromsektor).

## **Klimaauswirkungen KI-gestützter Technologien regulieren**

- Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen in die gesetzlichen Vorschriften für KI-getriebene Technologien einbeziehen (etwa für autonome Fahrzeuge oder Shared-Economy-Anwendungen), mit dem Ziel, diese Technologien mit dem Klimaschutz in Einklang zu bringen.
- Wirtschaftliche Anreize und regulatorische Anforderungen schaffen (z.B. durch CO<sub>2</sub>-Steuern oder Cap-and-Trade-Programme), um Treibhausgasemissionen zu senken und Rebound-Effekte bei der Effizienzsteigerung durch KI in der Industrie zu vermeiden.
- Wo angemessen, Transparenz und Berichtspflichten über die Treibhausgasemissionen oder den Energieverbrauch von KI-Systemen vorschreiben (über den gesamten Lebenszyklus und externe Effekte).

## **KI und Datenaustausch im öffentlichen Sektor stärken**

- Wo förderlich, die internen Kapazitäten zur Implementierung von KI bei Behörden und öffentlichen Stellen entwickeln oder ausbauen.
- Bei der Konzeption und der Umsetzung von KI-Projekten gezielt Feedback derjenigen Interessengruppen einbeziehen, die an der KI-Technologie beteiligt oder von ihr betroffen sind (z. B. Zivilgesellschaft, Industrie).
- Standards und bewährte Praktiken entwickeln, die als Entscheidungshilfe rund um den Einsatz von KI dienen können, einschließlich Kriterien zur Bestimmung, wann der Einsatz von KI (im Gegensatz zu einfacheren Alternativen) sinnvoll ist.
- Standards für die Erhebung, Verwaltung und gemeinsame Nutzung von Daten bereitstellen bzw. entwickeln, die den Schutz privater Daten und die Kontrolle über die Verwendung der Daten berücksichtigen.

## 4 Weitere politikrelevante Aspekte

KI-Systeme sind potentiell mit Risiken und unbeabsichtigten Konsequenzen verbunden. So hat beispielsweise die High-Level Expert Group on AI der Europäischen Kommission sieben Anforderungen für eine vertrauenswürdige KI definiert [AI HLEG 2019]; diese Überlegungen gelten für KI-Anwendungen im Klimaschutz genauso wie für KI in anderen Bereichen. Für den Klimaschutz sind darüber hinaus folgende Themen besonders relevant:

- **Kriterien der Klimafolgenabschätzung:** Es besteht eine grundlegende Asymmetrie der verfügbaren Daten hinsichtlich der Auswirkungen von KI auf den Klimaschutz: Der Energieverbrauch von KI-Modellen ist relativ leicht abzuschätzen, aber es gibt nur sehr wenige Daten über die Auswirkungen von KI-Anwendungen. Nichtsdestotrotz sollte die Politik sowohl den Energieverbrauch als auch die anwendungsspezifischen Auswirkungen proaktiv angehen, insbesondere angesichts der rasanten Entwicklung des KI-Sektors.
- **Gerechtigkeit:** Soziale Gerechtigkeit ist ein zentrales Kriterium in jeder Klimaschutzstrategie, und zwar auf allen Regierungsebenen. KI-orientierte Konzepte können Ungerechtigkeiten verschärfen, zum Beispiel durch eine weitere Vertiefung der digitalen Kluft oder durch andere Probleme wie den algorithmischen Bias (sprich: Voreingenommenheit).
- **Machtverschiebung:** Der Einsatz von KI kann zu einer Verschiebung der Machtstrukturen zwischen öffentlichen und privaten Einrichtungen beitragen, zum Beispiel abhängig davon, wer die Kontrolle über Datenbestände in der Hand hat. Auch die (ungleiche) Verteilung von Kapazitäten und intellektuellem Kapital für KI-basierte Analysen der Daten sowie der Zugang zu den Analysen und ihre laufende Pflege sind in diesem Zusammenhang relevant. Da viele Klimastrategien vom und im öffentlichen Sektor umgesetzt werden, sollten öffentliche Einrichtungen, die KI einsetzen wollen, diese Faktoren bei Entscheidungen über den Aufbau interner Kapazitäten berücksichtigen.
- **Kritische Infrastruktur:** Der Energiesektor spielt für den Klimaschutz eine entscheidende Rolle und Energieanlagen werden zumeist als kritische Infrastruktur eingestuft. KI-Anwendungen für kritische Infrastrukturen müssen unter Berücksichtigung von Schutz- und Sicherheitsaspekten entwickelt werden.

## 5 Schlussfolgerung

Wie wir KI in den kommenden Jahren einsetzen, wird für den Fortschritt beim Klimaschutz von entscheidender Bedeutung sein. Als breit gefächertes, leistungsstarkes technisches Mittel kann KI zur Beschleunigung vieler Anwendungen eingesetzt werden – sowohl der zielführenden als auch derjenigen, die dem Klimaschutz entgegenstehen. Der Politik kommt hier eine bedeutende Rolle zu: Sie muss sicherstellen, dass KI-Anwendungen mit dem Klimaschutz sowie mit dem gegenwärtigen und zukünftigen Wohlergehen der Gesellschaft vereinbar sind und bleiben – sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft.



# Literaturempfehlungen

## Zu KI-Anwendungen für den Klimaschutz

- Rolnick, D.; Donti, P.L.; Kaack, L.H.; Kochanski, K. et al. (2019): Tackling climate change with machine learning. arXiv preprint arXiv:1906.05433. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1906.05433>
- IEA (2017): Digitalisation and Energy, IEA, Paris. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- Deutsche Energie-Agentur (2020): Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena\\_ANALYSIS\\_Artificial\\_Intelligence\\_-\\_from\\_Hype\\_to\\_Reality\\_for\\_the\\_Energy\\_Industry.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena_ANALYSIS_Artificial_Intelligence_-_from_Hype_to_Reality_for_the_Energy_Industry.pdf)

## Zur Erhöhung von Emissionen durch KI

- Costas Samaras, verschiedene Artikel zu den Auswirkungen autonomer Fahrzeuge auf Klima und Energiewirtschaft. Verfügbar unter: <https://www.costasamaras.com/autonomous-vehicles>
- Donaghy, T.; Henderson, C.; Jardim, E. (2020): Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction, Greenpeace Reports. Ergebnisse verfügbar unter: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil-in-the-cloud/>

## Zum Energieverbrauch von KI-Anwendungen

- IEA (2019): Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/commentaries/data-centres-and-energy-from-global-headlines-to-local-headaches>
- Strubell, E.; Ganesh, A; McCallum, A. (2019): Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1906.02243>
- Schwartz, R.; Dodge, J.; Smith, N.A.; Etzioni, O. (2019): Green AI. arXiv preprint arXiv:1907.10597. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1907.10597>

## Zu politikrelevanten Aspekten

- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG) (2019): EU Guidelines for Trustworthy AI (2019). Verfügbar unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

# Literaturverzeichnis

- Beuse, M.; Steffen, B.; Schmidt, T.S. (2020): Projecting the Competition between Energy-Storage Technologies in the Electricity Sector. *Joule*, 4 (10), S. 2162-2184.
- Drgoňa, J.; Arroyo, J.; Figueroa, I.C.; Blum, D.; Arendt, K.; Kim, D.; Ollé, E.P.; Oravec, J.; Wetter, M.; Vrabie, D.L.; Helsen, L. (2020): All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control*.
- Drgoňa, J.; Picard, D.; Kvasnica, M.; Helsen, L. (2018): Approximate model predictive building control via machine learning. *Applied Energy*, 218, S. 199-216.
- Gamble, C.; Gao, J. (2018): Safety-first AI for autonomous data centre cooling and industrial control. Verfügbar unter: <https://deepmind.com/blog/article/safety-first-ai-autonomous-data-centre-cooling-and-industrial-control>
- Greenpeace (2020): Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil-in-the-cloud>
- Haupt, S.E.; Kosovic, B.; Jensen, T.; Lee, J.; Jimenez, P.; Lazo, J.; Cowie, J.; McCandless, T.; Pearson, J.; Weiner, G.; Alessandrini, S. (2016): The SunCast solar-power forecasting system: the results of the public-private-academic partnership to advance solar power forecasting. National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder (CO): Research Applications Laboratory, Weather Systems and Assessment Program (US).
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG) (2019): EU Guidelines for Trustworthy AI (2019). Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation/guidelines>
- IEA (2019): Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/commentaries/data-centres-and-energy-from-global-headlines-to-local-headaches>
- Jamshidi, A.; Hajizadeh, S.; Su, Z.; Naeimi, M.; Núñez, A.; Dollevoet, R.; De Schutter, B.; Li, Z. (2018): A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, S. 185-206.
- Jain, A.; Ong, S.P.; Hautier, G.; Chen, W.; Richards, W.D.; Dacek, S.; Cholia, S.; Gunter, D.; Skinner, D.; Ceder, G.; Persson, K.A. (2013): The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials*, 2013, 1(1), 011002.
- Reichstein, M.; Camps-Valls, G.; Stevens, B.; Jung, M.; Denzler, J.; Carvalhais, N. (2019): Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), S. 195-204.
- Severson, K.A.; Attia, P.M.; Jin, N. et al. (2019): Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nat Energy* 4, S. 383-391 (2019).
- Spelman, M.; Ashraf, M.; Weinelt, B. (2017): Digital Transformation Initiative – Oil and Gas Industry. In: World Economic Forum: Geneva.

- Strubell, E.; Ganesh, A.; McCallum, A. (2019): Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.
- Victor, D.G. (2019): How artificial intelligence will affect the future of energy and climate. Verfügbar unter: <https://www.brookings.edu/research/how-artificial-intelligence-will-affect-the-future-of-energy-and-climate>
- Wadud, Z.; MacKenzie, D.; Leiby, P. (2016): Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 86, S. 1-18.
- Wang, Z.; Hong, T. (2020): Reinforcement learning for building controls: The opportunities and challenges. Applied Energy, 269, S. 115036.

# Die Autorinnen und Autoren

**Lynn Kaack** ist Postdoktorandin und Dozentin der Arbeitsgruppe Energiepolitik der ETH Zürich, eine Vorsitzende von Climate Change AI und Mitglied des Österreichischen Rats für Robotik und Künstliche Intelligenz. In ihrer Forschungstätigkeit wendet sie Methoden der Statistik und des Maschinellen Lernens an, um zu Klimaschutzmaßnahmen im Energiesektor beizutragen. Dr. Kaack hat einen PhD in Engineering and Public Policy und einen Master in Machine Learning von der Carnegie Mellon University.

**Priya Donti** promoviert in der Fachrichtung Computer Science and Public Policy an der Carnegie Mellon University. Sie ist eine Vorsitzende von Climate Change AI und Informatik-Stipendiatin des US-amerikanischen Energieministeriums. Ihre Arbeit konzentriert sich auf die Schnittmenge von Maschinellen Lernen, Stromerzeugung und Klimaschutz. Insbesondere untersucht sie die Möglichkeit, Domänenwissen (etwa in der Physik der Stromversorgungssysteme) in Modelle des Maschinellen Lernens einzubinden.

**Emma Strubell** ist Assistant Professor am Language Technologies Institute der Carnegie Mellon University. Ihre Arbeit zur «Grünen KI» am Schnittpunkt von natürlichem Sprachverständnis und maschinellen Lernen wurde von den renommiertesten wissenschaftlichen Gremien als bestes Paper ausgezeichnet und vielfach in der Fachpresse zitiert, unter anderem in der *New York Times* und im *Wall Street Journal*.

**David Rolnick** ist Assistant Professor an der School of Computer Science der McGill University sowie am Mila Quebec AI Institute. Er ist ein Vorsitzender von Climate Change AI und wissenschaftlicher Ko-Direktor von Sustainability in the Digital Age. Dr. Rolnick ist ehemaliger Postdoktorand und Promotionsstipendiat der US-amerikanischen National Science Foundation (NSF) sowie ehemaliger Fulbright-Stipendiat. Er promovierte am MIT im Fach Angewandte Mathematik.

## Impressum

Herausgeberin: Heinrich-Böll-Stiftung, Schumannstraße 8, 10117 Berlin, [www.boell.de](http://www.boell.de)

Kontakt: Vérane Meyer, Referentin Digitale Ordnungspolitik, [Verane.Meyer@boell.de](mailto:Verane.Meyer@boell.de),  
Sabine Muscat, Programmdirektorin für Technologie und digitale Politik, [Sabine.Muscat@us.boell.org](mailto:Sabine.Muscat@us.boell.org),  
Zora Siebert, Leiterin EU Policy Programme, [Zora.Siebert@eu.boell.org](mailto:Zora.Siebert@eu.boell.org)

Erscheinungsorte: <https://www.boell.de/> <https://us.boell.org/> <https://eu.boell.org/>

Erscheinungsdatum: Mai 2021

Coverfoto: © IMAGO/Imaginechina-Tuchong

Übersetzung aus dem Englischen: Kristina Lange/TRANSLATIONES

Lizenz: Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0),  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Dieser Bericht stellt die Sichtweise seiner Autor/innen dar und entspricht nicht automatisch der Auffassung der Heinrich-Böll-Stiftung oder Climate Change AI.

Weitere E-Books zum Downloaden unter [www.boell.de/publikationen](http://www.boell.de/publikationen)