

# sustain

KI und ihre Folgen für die Nachhaltigkeit



**Die Ökobilanz:**

**Verbraucht Künstliche Intelligenz**

**mehr Ressourcen, als sie einsparen kann?**

**Guidelines:**

**KI-Entwicklung**

Eine Anleitung zu nachhaltigen KI-Systemen

**KI in der Praxis:**

**Open Source**

Wie das Wiederverwerten von KI-Modellen Ressourcen schont

**Fallstudien:**

**Energie und Mobilität**

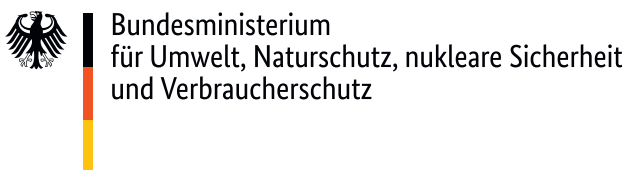
Warum KI kein Garant für die Energie- und Mobilitätswende ist



Projektpartner:



Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,  
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) aufgrund  
eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## Liebe Leser\*innen,

Die Diskussion um Künstliche Intelligenz (KI) könnte nicht gespaltenener sein. Auf der einen Seite wird immer deutlicher, dass KI-Systeme oft nur durch die Ausbeutung von sozialen und ökologischen Ressourcen funktionieren. Auf der anderen Seite wird KI weiter als strategische Technologie angesehen, ohne die wir komplexe gesellschaftliche Gestaltungsaufgaben wie die Energie- oder Mobilitätswende nicht lösen können. Diese beiden Dimensionen lassen sich nicht voneinander trennen, denn sowohl die Potenziale als auch die Gefahren und schädlichen Folgen von KI sind nicht von der Hand zu weisen. Die Diskussion muss allerdings auf der Basis von Fakten geführt werden.

Wer KI als Lösung präsentiert, muss auch Beweise dafür liefern. Wir zeigen in der zweiten Ausgabe unseres SustAIn-Magazins, dass KI-Systeme in der Energieversorgung durchaus den Einsatz von erneuerbaren Energien verbessern können. Aber ihr Potenzial kann nur ausgeschöpft werden, wenn eine dafür geeignete Infrastruktur existiert. Auch ist immer wieder zu hören, dass autonom fahrende Kleinbusse gut fürs Klima sind. Meistens wird dann aber nicht erwähnt, dass für den Betrieb dieser Kleinbusse viele Ressourcen benötigt werden. KI-Hoffnungsfantasien bringen uns nicht weiter. Wir müssen uns den ganzen Lebenszyklus von KI-Systemen anschauen, wenn wir ihre Nachhaltigkeit bewerten. Wir müssen aufhören, nur nach den CO<sub>2</sub>-Emissionen zu fragen, wenn wir die Auswirkungen der Systeme auf die Umwelt untersuchen. Und wir müssen KI-Systeme genau, umfassend und unvoreingenommen analysieren, wenn wir ernsthaft versuchen wollen, KI nachhaltiger zu gestalten.

Mehr dazu in diesem Magazin...

Dr. Anne Mollen

Projektmanagerin „SustAIn:

Der Nachhaltigkeitsindex für Künstliche Intelligenz“

AlgorithmWatch



## Guidelines:

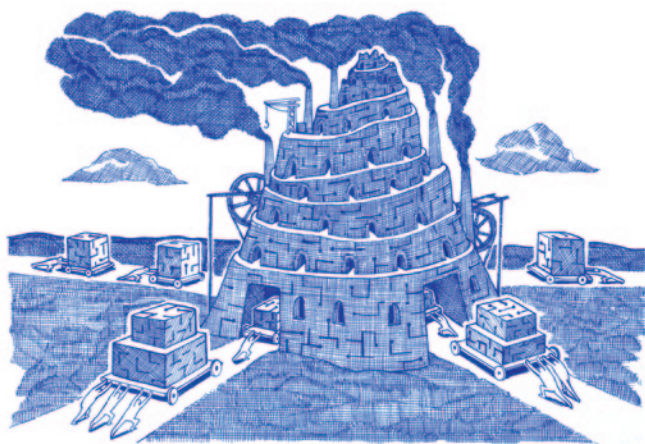
### Schritt für Schritt zu einer nachhaltigen KI

Maßgebliche Entscheidungen im Lebenszyklus eines KI-Systems ..... 6

## Glossar:

### KI Terribilis

Irrwege bei der KI-Entwicklung ..... 10



## KI in der Praxis:

### Gemeinschaft statt Größenwahn: Mit Open Source zu nachhaltigen Lösungen

Im Gespräch mit den  
KI-Expertinnen Sasha Luccioni  
und Irene Solaiman  
von Hugging Face ..... 14



## Fallstudie:

### KI verleiht Flügel? Potenziale und Risiken von KI bei der Energieversorgung

Im Gespräch mit Friederike Rohde und Josephin Wagner  
vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) .... 19

### Don't believe the hype: Was KI bei der Energieversorgung wirklich bringt

Computersimulationen zeigen, wann Emissionen eingespart werden ..... 21

### Mehr Hoffnung als Sorge

KI im Smart Grid: Was sind die Erwartungen? ..... 24





## Nachhaltigkeitsfolgen von KI:

### Wird der Hahn abgedreht, wenn Google kommt?

Rechenzentren und ihr Wasserverbrauch: Im Gespräch mit dem Forscher Sebastián Lehuédé..... 26



## Fallstudie:

### Bessere Klimabilanz durch autonom fahrende Kleinbusse? KI und Mobilität in ländlichen Regionen

Kann KI die Verkehrswende beschleunigen?..... 30

### Autonome Busse im ländlichen Raum

Eine Projektübersicht..... 31

### Wird Mobilität im ländlichen Raum durch KI nachhaltiger?

Mobilitätsstrategien von Bund und Ländern ..... 32

### CO<sub>2</sub>-Hemmer oder Ressourcenfresser: Was bringt autonomes Fahren?

Wie ressourcenintensiv darf die Mobilitätswende sein?... 33

### Die KI-Mobilitätsrevolution auf dem Land: Optimismus trifft auf Ernüchterung

Strukturelle Mobilitätsprobleme im ländlichen Raum ..... 36



## Standpunkt:

### Wo Digitalrechte und Klimagerechtigkeit zusammenfließen

Förderung von Projekten an der Schnittstelle von Umwelt und Internet ..... 37

### So steuern wir die grüne Digitalisierung

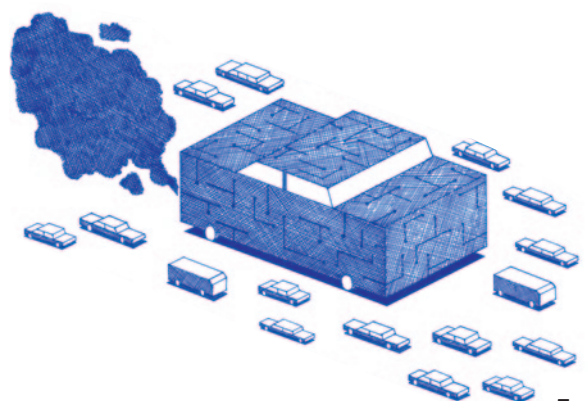
Wie vermeiden, dass die Digitalisierung zur Umweltbelastung wird?..... 40



## Ausblick:

### SustAI geht weiter

In der nächsten Ausgabe: Wie wir Irrfahrten bei der KI-Entwicklung wieder in die richtige Richtung lenken können ..... 42



# Schritt für Schritt zu einer nachhaltigen KI

Viele Entscheidungen im Lebenszyklus eines KI-Systems bestimmen, wie nachhaltig es ist. Mit den im SustAIn-Projekt entwickelten Kriterien können wir sagen, was zu beachten ist.

## PHASE 1: PLANUNG UND DESIGN

In der Design-Phase wird das KI-System konzipiert und geplant. Im Planungsprozess wird ein Großteil der Weichen gestellt, um ein KI-System nachhaltig zu machen. In dieser Phase sollte beispielsweise reflektiert werden, ob ein komplexes und ressourcenintensives Machine-Learning-System für die vorliegende Aufgabe erforderlich ist, welche Risiken bestehen und welche Sicherheitsmaßnahmen implementiert werden sollten.



### Checkliste allgemeine Anforderungen



**Code of Conduct:** Es werden Werte und Normen wie Transparenz und Fairness festgehalten, an denen sich alle Beteiligten bei der Planung und Entwicklung orientieren.



**Stakeholder-Analyse & -Beteiligung:** Alle vorhandenen Interessensgruppen werden in der Planung konsultiert.



**Dokumentation:** Wichtige Entscheidungen in der Systementwicklung und zu seinen Funktionsweisen werden dokumentiert.



**Risikomanagement:** Mögliche Risiken werden in einem Risk Assessment identifiziert und entsprechende Sicherheitsmaßnahmen festgelegt.



**Festgelegte Verantwortlichkeiten:** Die Verantwortlichkeiten für die von der KI produzierten Ergebnisse werden klar geregelt.



### Checkliste soziale Anforderungen



#### Transparenz & Verantwortungsübernahme:

Es wird festgelegt, welche Informationen zum System offengelegt werden.



#### Nicht-Diskriminierung & Fairness:

Wenn Menschen von den Entscheidungen des KI-Systems betroffen sind, werden Fairnessregeln festgelegt, die das System befolgen muss. Zudem werden Maßnahmen zum Beseitigen von Bias bestimmt, um das Diskriminierungspotenzial zu minimieren.



#### Technische Verlässlichkeit & menschliche

**Aufsicht:** Mögliche technische Risiken werden identifiziert und Eingriffsmöglichkeiten für den Fall festgelegt, dass das System schädliche Folgen hat.



#### Selbstbestimmung & Datenschutz:

Es werden Datenschutzmaßnahmen geplant. Betroffene werden über die Verwendung ihrer personenbezogenen Daten informiert. Ihnen werden Auswahlmöglichkeiten angeboten.



#### Inklusives & partizipatives Design:

Standards des barrierearmen und inklusiven Designs werden berücksichtigt.



#### Kulturelle Sensibilität:

Lokales Wissen (über Stakeholder oder auch Daten) wird in den Entwicklungsprozess eingebunden. Es wird ein diverses Entwicklungsteam aufgestellt.





### Checkliste ökologische Anforderungen



**Energieverbrauch:** Die notwendige Leistung des Modells und das Ressourcenbudget werden festgelegt, ebenso Kennzahlen zur Erfassung der Energieeffizienz. Testverfahren zur frühzeitigen Erkennung scheiternder Experimente werden definiert.



**CO<sub>2</sub>- & Treibhausgasemissionen:** Maßnahmen zur Kompensation von anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden festgelegt. Werkzeuge zur Erfassung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden definiert.



**Nachhaltigkeitspotenziale in der Anwendung:** Positive und negative Nachhaltigkeitspotenziale werden identifiziert, analysiert und gegebenenfalls quantifiziert. Kennzahlen werden festgelegt, um zu erfassen, ob die positiven Potenziale ausgeschöpft wurden.



**Indirekter Ressourcenverbrauch:** Kriterien werden bestimmt, um sicherzugehen, dass die verwendete Hardware und die genutzten Rechenzentren nachhaltig sind. Bestimmte Zertifizierungen oder Effizienzmetriken müssen zum Beispiel vorhanden sein.



### Checkliste ökonomische Anforderungen



**Arbeitsbedingungen & Arbeitsplätze:** Bei einem Einsatz am Arbeitsplatz werden die Auswirkungen des geplanten KI-Systems auf die Belegschaft, die Arbeitsbedingungen sowie auf einen möglichen Stellenabbau analysiert und minimiert.

## PHASE 2: DATEN

Daten sind das Kernstück von KI-Systemen, die auf Maschinellern Lernen beruhen. Viele Entscheidungen beeinflussen die Nachhaltigkeit der Systeme: sei es, wie viele Daten verarbeitet werden sollen, wie sie interpretiert werden können, wie sie beschafft werden oder welche Qualität sie haben müssen.



### Checkliste allgemeine Anforderungen



**Dokumentation der KI-Systeme:** Auf Datenblättern („Data Sheets“) werden Informationen zu den gesammelten und verwendeten Daten dokumentiert und öffentlich gemacht.



**Stakeholder-Beteiligung:** Personen, deren Daten für das Training oder die Anwendung der KI-Systeme genutzt werden sollen, werden konsultiert, um die Daten angemessen interpretieren zu können.



### Checkliste soziale Anforderungen



**Nicht-Diskriminierung & Fairness:** Es wird überprüft, ob sich Bias in den Datensätzen befinden. Um Diskriminierung zu vermeiden, werden im Idealfall keine geschützten Attribute wie das Alter oder das Geschlecht verwendet.



**Technische Verlässlichkeit:** Es wird sichergestellt, dass aktuelle, vollständige, repräsentative und verlässliche Daten genutzt werden.



**Selbstbestimmung & Datenschutz:** Um Daten zu schützen, wird die Datenmenge minimiert. Die Daten werden verschlüsselt, anonymisiert und aggregiert (d.h. zusammengefasst).



### Checkliste ökologische Anforderungen



**Energieverbrauch:** Es wird reflektiert, wie viele Daten für das Training und den Betrieb der Systeme notwendig sind, um den Rechenaufwand klein zu halten.



### Checkliste ökonomische Anforderungen



**Arbeitsbedingungen & Arbeitsplätze:** Wenn digitale Crowdworker für das Labeln von Datensätzen eingesetzt werden, müssen faire Löhne und gute Arbeitsbedingungen sichergestellt sein.

## PHASE 3: ENTWICKLUNG

Insbesondere die soziale und ökologische Nachhaltigkeit von KI-Systemen hängen davon ab, welches KI-Modell ausgewählt, wie es entwickelt und wie es trainiert wird. In der Entwicklungsphase müssen Risiken eingedämmt und der Energieverbrauch der Systeme minimiert werden.



### Checkliste allgemeine Anforderungen



**Festgelegte Verantwortlichkeiten:** Eine zuständige Instanz muss sicherstellen, dass der Code of Conduct während der Entwicklung und Evaluation der Modelle eingehalten wird.



**Dokumentation der KI-Systeme:** Es werden Modelcards angelegt, die mit entsprechenden Kennzahlen dokumentieren, welche Experimente in der Entwicklung durchgeführt wurden.



**Stakeholder-Analyse & -Beteiligung:** Personen, die von KI-Systemen betroffen sein könnten oder sie nutzen sollen, werden ebenso wie sonstige Stakeholder in die Testphase der Entwicklung eingebunden, um negative Auswirkungen zu antizipieren.



### Checkliste soziale Anforderungen



**Nicht-Diskriminierung & Fairness:** Evaluationskriterien zum Messen von Fairness werden bestimmt und Tools implementiert.



**Technische Verlässlichkeit & menschliche Aufsicht:** Schwachstellen in den Modellen werden identifiziert und behoben. Kontrollmaßnahmen müssen festgelegt werden.



**Inklusives & partizipatives Design:** Inklusive Design-Prinzipien müssen berücksichtigt werden, unter anderem bei der Gestaltung der User Interfaces.



**Kulturelle Sensibilität:** Die Systeme müssen so entwickelt werden, dass sie an unterschiedliche lokale Anwendungskontexte angepasst werden können. Ein Training mit lokalen Datensätzen kann dabei helfen.



### Checkliste ökologische Anforderungen



**Energieverbrauch:** Bei der Modellauswahl werden nach Möglichkeit vortrainierte Modelle und Modelle mit geringerer Komplexität bevorzugt. Die Energieeffizienz der Systeme wird erfasst und optimiert.



**CO<sub>2</sub>- & Treibhausgasemissionen:** Die im Entwicklungsprozess anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden konsequent erfasst. Die CO<sub>2</sub>-Effizienz wird durch eine geeignete Auswahl von Trainingsstandort und -zeitpunkt erhöht.



**Nachhaltigkeitspotenziale in der Anwendung:** Es wird überprüft, ob der Ressourcenverbrauch der Systeme in der Anwendung den Nachhaltigkeitspotenzialen gerecht wird.



**Indirekter Ressourcenverbrauch:** Die Ressourceneffizienz der Hardware wird erfasst und optimiert.



## PHASE 4: EINSATZ

Risiken für Betroffene oder den Datenschutz zeigen sich manchmal erst in den Trainingsläufen der KI-Systeme oder wenn die Systeme eingesetzt werden. Deshalb müssen sie in der Anwendungsphase weiter beobachtet werden, um notfalls mit geeigneten Maßnahmen gegenzusteuern. Der Energie- und Ressourcenverbrauch sowohl der KI-Systeme als auch der Hardware muss bei der Anwendung weitmöglichst reduziert werden.



### Checkliste allgemeine Anforderungen



**Stakeholder-Beteiligung:** Bei einer Veröffentlichung neuer Releases werden Stakeholder konsultiert.



**Risikomanagement:** Die bereits identifizierten möglichen Risiken werden in einem Monitoringprozess beobachtet. Zugleich wird dabei geprüft, ob neue Risiken auftreten.



### Checkliste soziale Anforderungen



**Transparenz & Verantwortungsübernahme:** Die Betroffenen oder Endnutzer\*innen werden über den Einsatz und die Funktionsweise des KI-Systems informiert.



**Nicht-Diskriminierung & Fairness:** Die Entscheidungen des KI-Systems werden auf der Grundlage der festgelegten Definition von Fairness evaluiert und kontrolliert.



**Selbstbestimmung & Datenschutz:** Die Personen, deren Daten genutzt werden, erhalten Informationen zur Verwendung ihrer Daten sowie einfache Zustimmungs- bzw. Widerrufs-möglichkeiten.



**Inklusives & partizipatives Design:** Die Barrierefreiheit und Zugänglichkeit für benachteiligte Gruppen wird sichergestellt.



### Checkliste ökologische Anforderungen



**Energieverbrauch:** Der Energieverbrauch während des Einsatzes des KI-Systems wird dokumentiert und optimiert.



**CO<sub>2</sub>- und Treibhausgasemissionen:** Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden während des Einsatzes erfasst und optimiert.



**Nachhaltigkeitspotenziale in der Anwendung:** Es wird erfasst, welche Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit sich aus dem Einsatz des KI-Systems ergeben, ob zum Beispiel erfolgreich Ressourcen eingespart werden konnten.



**Indirekter Ressourcenverbrauch:** Die Ressourceneffizienz der Hardware wird erfasst und optimiert.



### Checkliste ökonomische Anforderungen



**Arbeitsbedingungen & Arbeitsplätze:** Bei einem Einsatz am Arbeitsplatz werden die Auswirkungen des Systems auf die Belegschaft, die Arbeitsbedingungen sowie auf einen möglichen Stellenabbau analysiert und minimiert.

# KITerribilis

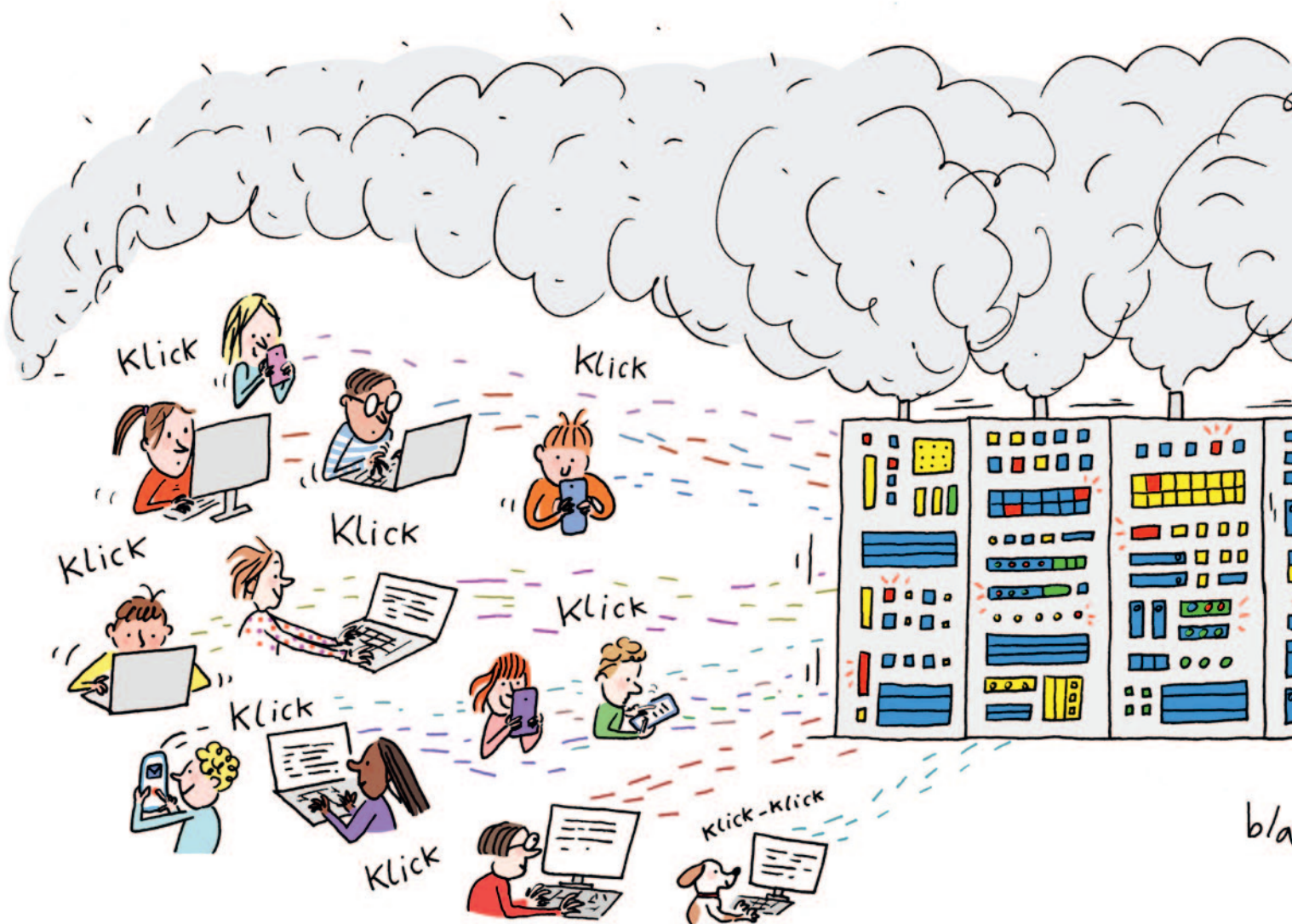
KI-Systeme schaden durch ihren Energie- und Ressourcenverbrauch nicht nur der Umwelt. Um sie herzustellen, werden auch häufig Arbeiter\*innen ausgebeutet. In der KI-Entwicklung geht die Tendenz noch zu oft in die falsche Richtung: zu immer größeren statt nachhaltigeren Systemen.

## Inferenz: Die Rechnung ohne die Anwendung gemacht

Wenn über die Umweltfolgen von KI-Systemen gesprochen wird, ist vor allem der Ressourcenverbrauch in der Entwicklungs- und Trainingsphase von Machine-Learning-Modellen das

Thema. Auf diese Phasen beziehen sich auch meistens die dabei angeführten Zahlen. Ein großes Fragezeichen steht aber hinter der Anwendungsphase von KI-Systemen. In der Fachsprache heißt diese Phase „Inferenz“. Die Entwicklung und das Training von KI-Modellen sind sehr komplexe Prozesse und verbrauchen relativ viel Energie. Gleichzeitig ist die Zahl der Prozesse in diesen Phasen aber begrenzt und sie sind zu einem

absehbaren Zeitpunkt weitestgehend abgeschlossen. Jede Anwendung oder Inferenz eines KI-Systems verbraucht hingegen in der Regel relativ wenig Energie. Die Inferenz läuft aber mitunter extrem häufig ab. Ende 2022 gaben Forscher\*innen von Facebook AI in einem wissenschaftlichen Paper an, dass in den Facebook-Rechenzentren täglich Billionen von Inferenzen stattfinden. In den letzten drei Jahren habe sich diese





Zahl verdoppelt. Der deutliche Anstieg der Inferenzen habe auch dazu geführt, dass die darauf spezialisierte Infrastruktur ausgeweitet wurde: Zwischen Anfang 2018 und Mitte 2019 habe sich die Anzahl der Server, die in Facebooks Rechenzentren speziell auf Inferenzen ausgelegt sind, um das 2,5-fache gesteigert. Bei einem Unternehmen wie Facebook kommt diese Masse an Inferenzen beispielsweise durch Empfehlungs- und Ranking-Algorithmen zustande. Diese Algorithmen kommen jedes Mal zum Einsatz, wenn die fast drei Milliarden Facebook-Nutzer\*innen weltweit die Plattform aufrufen und sich Inhalte in ihrem Newsfeed anzeigen lassen. Weitere typische Anwendungen, die auf Online-Plattformen zu hohen Inferenzzahlen beitragen, sind die Klassifizierung von Bildern, die Ob-

jekterkennung in Bildern und auf großen Sprachmodellen basierende Übersetzungs- und Spracherkennungsdienste.

Selbst wenn der Energieverbrauch jeder einzelnen Inferenz minimal wäre, würde der Energieverbrauch durch die schiere Menge an Anwendungen und die dafür notwendige Infrastruktur vermutlich trotzdem immens sein. Der CEO von Nvidia, einer der wichtigsten Prozessorhersteller, und Verantwortliche bei Amazon Web Services (AWS), einer der größten Cloud-Computing-Anbieter, gaben bereits im Jahr 2019 bekannt, dass ca. 90 Prozent der Kosten für den gesamten Machine-Learning-Prozess auf Inferenzen zurückzuführen seien. Da die Höhe der Kosten eng mit der erforderlichen Rechenleistung verbunden ist, folgern Wissenschaftler\*innen, dass die in der

Inferenzphase anfallenden Emissionen vermutlich deutlich höher liegen als die aus der Entwicklungs- und Trainingsphase von KI-Modellen. Diese Vermutung wird durch interne Zahlen von Facebook gestützt, die bestätigen, dass in den hauseigenen Systemen die Inferenzphase einen signifikanten Ressourcenverbrauch hat, der je nach Anwendung deutlich höher als in der Entwicklung und im Training ausfallen kann.

Es ist also fahrlässig, bei der Berechnung des Energieverbrauchs von KI-Systemen die Inferenzphase außer Acht zu lassen: Wenn wir den Ressourcenverbrauch von Autos ermitteln wollen, blenden wir ja auch nicht den gesamten Benzinverbrauch aus, der durch die Fahrten entsteht.



**Moderatoren:  
Ausgebeutet, um  
KI zu trainieren**

Wie menschliche Online-Moderator\*innen und Clickworker unter schlechten Arbeitsbedingungen Daten für das Training von KI-Systemen liefern

Facebook sagt, dass KI-Technologie ein zentraler Baustein bei seiner Moderation von Plattforminhalten ist: „Unser KI-System ermittelt und entfernt Inhalte, die gegen unsere Gemeinschaftsstandards verstoßen, noch bevor sie jemand meldet.“ Auch die automatisierte Textproduktion von ChatGPT kommt nicht ohne KI aus: Um den Output des ChatBots massentauglich zu machen, müssen toxische Inhalte entfernt werden. Vermutlich setzen alle großen Online-Plattformen bei der Moderation von Inhalten auf die Unterstützung von Künstlicher Intelligenz. Ein Grund dafür ist, dass der Einsatz von KI-Systemen günstiger ist, als rein auf menschliche Moderation zu setzen. Außerdem sind die Aufgaben von Moderator\*innen psychisch herausfordernd: Sie sind ständig



mit verstörenden Inhalten konfrontiert, die im Internet zirkulieren.

**Aber:** KI-Moderationssysteme beruhen auf menschlichen Entscheidungen, nicht nur bei unklaren Moderationsfragen. Moderator\*innen liefern den Systemen die Trainingsdaten und sind somit eine zwingende Voraussetzung dafür, dass die Systeme überhaupt entwickelt werden können.

Dennoch sind gerade diese Menschen extrem schlechten Arbeitsbedingungen ausgesetzt. Da die Arbeit von Online-Moderator\*innen psychisch so belastend ist, sollten große Plattformen ihnen gegenüber einer besonderen Sorgfaltspflicht nachkommen. Stattdessen wird ständig darüber berichtet, dass Subunternehmen von Facebook, TikTok oder OpenAI Moderator\*innen und Clickworker schlecht bezahlen, ihnen keine adäquate psychologische Begleitung anbieten, durch ein ständiges Monitoring extremen Druck auf sie aufbauen und eine gewerkschaftliche Organisation der Angestellten durch Drohungen verhindern.

Mit all diesen Vorwürfen sah sich zuletzt das französische Unternehmen *Teleperformance* konfrontiert, ein Moderationsdienstleister unter anderem für TikTok. Nach investigativen Recherchen hatte das kolumbianische Arbeitsministerium eine Untersuchung der Arbeitsbedingungen bei *Teleperformance* in Kolumbien angeordnet. Daraufhin wurde der öffentliche Druck so groß, dass die Gewerkschaft *UNI Global Union* im Dezember 2022 ein globales Abkommen mit dem Unternehmen erzielen konnte, das den Arbeitnehmer\*innen mehr Rechte und einen besseren Schutz ihrer Gesundheit sichern soll.

Solche Schritte sind dringend notwendig, um die Hersteller von KI-Systemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu fairen Arbeitsbedingungen zu verpflichten. Aktuelle europäische digitalpolitische Vorhaben wie die KI-Verordnung, die Platform Worker Directive oder der Data Act ignorieren das Problem. Gerade wenn die Entwicklung und der Einsatz von KI-Systemen nach Maßgabe europäischer Werte statt-

finden soll, wie es die KI-Verordnung formuliert, sollte die EU die Augen vor schlechten Arbeitsbedingungen nicht verschließen, nicht nur im Fall von Online-Moderator\*innen.

P

**PaLM: Falsch  
verstandene  
Effizienz**

### Googles 540-Milliarden-Parameter-Sprachmodell

Im Frühjahr 2022 veröffentlichten Google-Forscher\*innen ein neues KI-Sprachmodell: das Pathways Language Model oder kurz PaLM, das unter anderem Texteingaben interpretieren und neue sinnvolle Textsegmente produzieren kann. Während Vorgängermodelle wie BERT (110 Millionen Parameter) oder GPT-3 (175 Milliarden Parameter) bereits wegen ihrer unglaublichen Größe diskutiert wurden, stellte PaLM mit seinen 540 Milliarden Parametern einen neuen Rekord auf. Parameter sind Werte, die ein





Machine-Learning-Modell im Trainingsprozess lernt. Auf deren Grundlage produziert es anschließend Ergebnisse.

Die Anzahl der Parameter bestimmt auch die Anzahl der notwendigen Rechengänge und damit den Energie-

verbrauch für die Rechenleistung. Ein 540 Milliarden Parameter umfassendes Modell hat also wahrscheinlich einen sehr hohen Energieverbrauch – in der Entwicklung, im Training und vermutlich auch in der Anwendung.

Gleichzeitig beanspruchen die Google-Forscher\*innen einen Durchbruch bei der Trainingseffizienz für sich. Dieser Fortschritt sei einer neu entwickelten Hardware – sogenannten Tensor-Processing-Units (TPUs), die schnelle Rechenprozesse ermöglichen – und neuen Strategien beim Parallelen Rechnen zu verdanken. Google habe so die Zeit für das Training der großen Modelle deutlich reduziert und dadurch Energie eingespart.

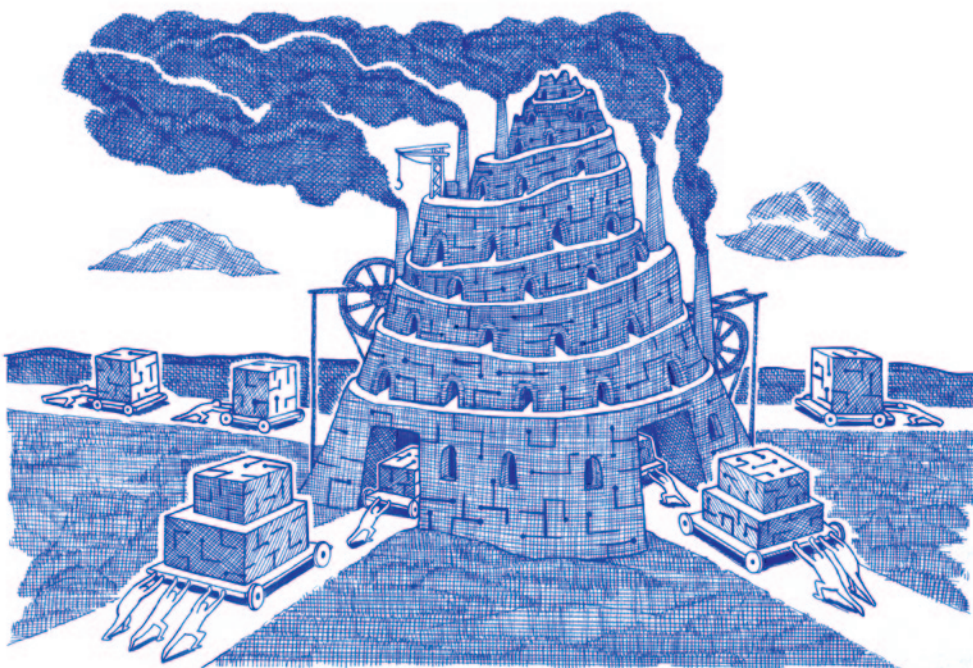
Während eines einzigen Trainingslaufs von PaLM wurden in einem Google-Rechenzentrum in Oklahoma, das zu 89 Prozent mit kohlenstofffreier Energie betrieben wird, 271,43 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert. Das entspricht in etwa den Emissionen, die ein vollbesetztes Flugzeug auf 1,5 transamerikanischen Flügen ausstößt.

Vergleichswerte von vorherigen Modellen zu den im Training anfallenden Emis-

sionen beruhen meist auf Schätzungen. Daher lässt sich nur vermuten, dass rund 270 Tonnen CO<sub>2</sub> angesichts der Größe von PaLM relativ gesehen durchaus eine bedeutende Verbesserung darstellt. Aber die Frage bleibt, warum eine viel effizientere Hardware und neue Methoden nur eingesetzt werden, um Modelle größer zu machen, anstatt die Energieeffizienz bei kleineren, aber immer noch sehr großen Modellen zu steigern. Das ist nicht nur aus Gründen der Ressourcenschonung unverantwortlich. Bei solch riesigen Modellen wird es auch schwieriger, diskriminierende, misogynie oder rassistische Inhalte in den Trainingsdaten ausfindig zu machen und herauszufiltern.

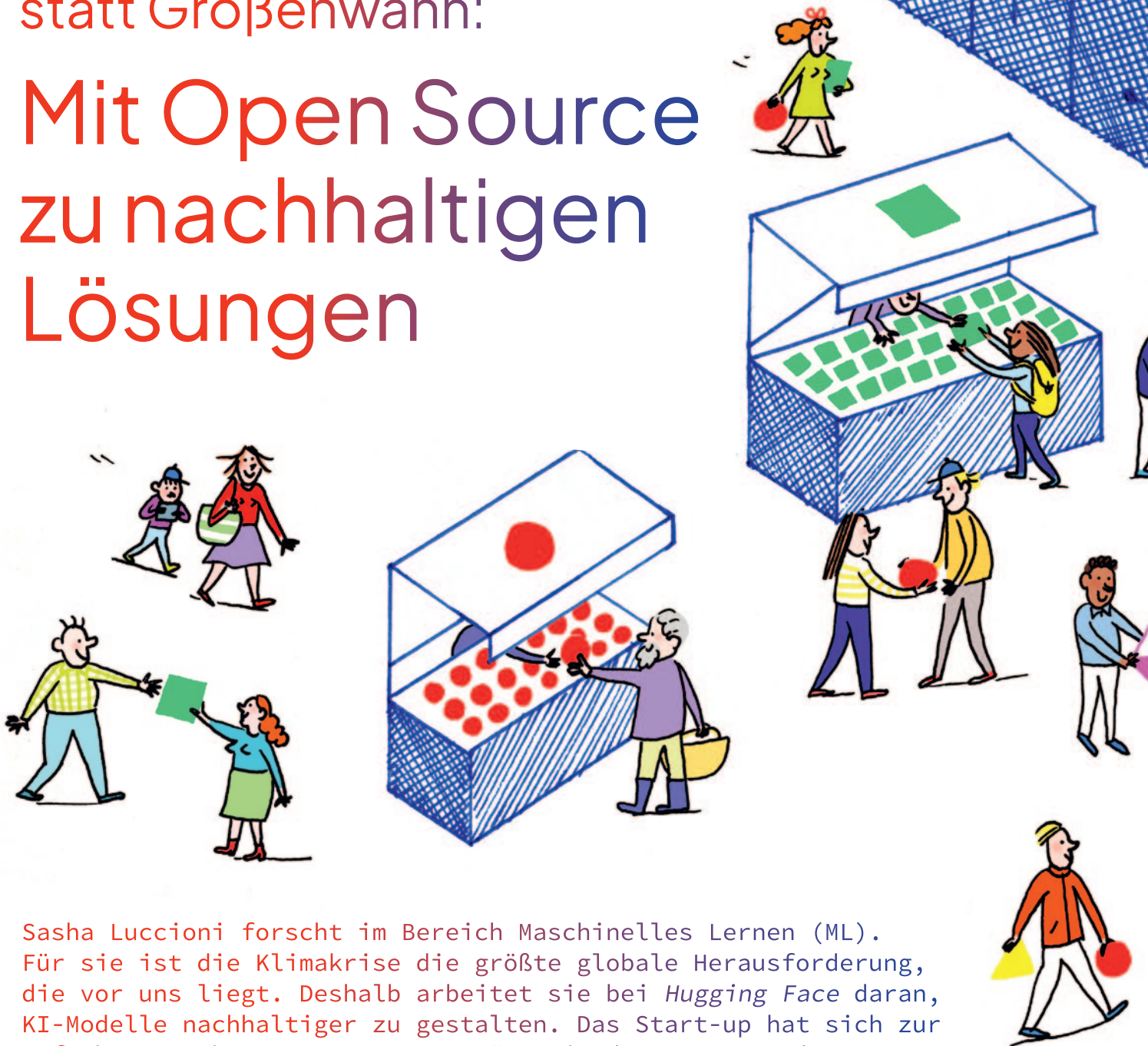
Suffizienz ist bisher kein Thema in der ML-Forschung – und hier gilt es, nicht nur die Big-Tech-Unternehmen in die Verantwortung zu nehmen. Das Beispiel PaLM zeigt erneut: Die „The bigger the better“-Mentalität dominiert weiterhin in der ML-Forschung, was in krassem Widerspruch zur dringenden Aufgabe steht, den Ressourcenverbrauch im gesamten Digitalisierungssektor und insbesondere im ressourcenintensiven KI-Bereich zu reduzieren.

Mit dem Verweis auf die vergleichsweise geringen Emissionen beim Training von PaLM betreibt Google zudem Augenschere. Das Training eines Modells spiegelt nie die gesamten anfallenden Emissionen wider – sondern oft nur einen Bruchteil. Um umfassend bewerten zu können, wie ressourcenschonend einzelne KI-Systeme sind, müssen auch die Emissionen aus der Entwicklung und Anwendung sowie die Emissionen der verwendeten Hardware beziffert werden. Google hätte zumindest angeben können, wie viele Trainingsläufe in der Entwicklungsphase stattfanden und wie hoch die angefallenen Emissionen insgesamt waren. Das hätte aber wohl ein anderes Bild abgegeben und der grüne Anstrich, den sich Google geben will, wäre schnell abgeblättert.



Gemeinschaft  
statt Größenwahn:

# Mit Open Source zu nachhaltigen Lösungen



Sasha Luccioni forscht im Bereich Maschinelles Lernen (ML). Für sie ist die Klimakrise die größte globale Herausforderung, die vor uns liegt. Deshalb arbeitet sie bei *Hugging Face* daran, KI-Modelle nachhaltiger zu gestalten. Das Start-up hat sich zur Aufgabe gemacht, Open-Source-Ansätze in der ML-Community zu unterstützen und dadurch die Probleme anzugehen, die der Einsatz von KI mit sich bringt: Emissionen, versteckte Vorurteile und Diskriminierung. Wir ließen uns im Gespräch mit Sasha Luccioni erklären, wie sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von KI-Modellen messen lässt. Irene Solaiman, die Policy-Leiterin bei *Hugging Face*, nahm diesen Faden auf und machte darauf aufmerksam, dass Entscheidungsträger\*innen solche Instrumente benötigen, um politischen Druck aufzubauen.









## Wie sich Bilder verbreiten: Ist Schreiben eine Domäne weißer Männer?

Transformer Models sind zum Standard für große Sprachmodelle geworden. Auf ihnen basieren Suchmaschinen, Maschinenübersetzungsdienste, Systeme zur Moderation von Inhalten, Spracherkennungstools, Text-zu-Bild-Generatoren und viele andere Anwendungen. Die zugrundeliegenden Deep-Learning-Modelle werden mit üblicherweise enorm großen Datensätzen trainiert, um daraus Strukturen abzuleiten, die in den Datensätzen vorhanden sind. Auf diesen Strukturen beruhen dann automatisierte Modellprozesse, in denen Eingabedaten zu Ausgabedaten transformiert werden, etwa eine Texteingabe zu einem Bild. Seit einiger Zeit gibt es Modelle, die nach der Eingabe von Textprompts entweder Text oder Bilder generieren (zum Beispiel GPT3, ChatGPT, Stable Diffusion oder DALL·E). Ihre Leistungsfähigkeit ist zweifellos überwältigend, allerdings sind Risiken mit ihnen verbunden. Da sie normalerweise mit ungefilterten Daten aus dem Internet trainiert werden, generieren die Modelle diskriminierende, rassistische, frauenfeindliche oder ähnlich vorurteilsbeladene Inhalte. Forscher\*innen bei *Hugging Face* haben ein Tool entwickelt, um solche sogenannten Bias in Text-zu-Bild-Generatoren ausfindig zu machen. Aus einer Liste von 150 Berufen und dazugehörigen 20 Adjektiven können mit diesem Tool Prompts unter anderem für DALL·E und Stable Diffusion generiert werden. Der Bias Explorer demonstriert sehr anschaulich, wie anfällig diese Modelle für Vorurteile sind. Nach der Eingabe des Wortes „author“ generiert DALL·E 2 insgesamt 179 Bilder weißer Männer und ein einziges Bild einer Frau, wenn das Modell den Beruf „Schriftsteller\*in“ mit allen 20 Adjektiven kombiniert. Auf immerhin 13 der 180 mit Stable Diffusion (Version 1.4) generierten Bildern ist eine *Person of Color* zu sehen. Stable Diffusion neigt wiederum eindeutig dazu, Frauen bei der Geschlechterverteilung zu bevorzugen: Auf 140 von 180 Bildern werden Frauen gezeigt.

Sasha, Sie beschäftigen sich bei *Hugging Face* vor allem mit großen Sprachmodellen oder Transformer-Modellen. Sprachmodelle sind inzwischen für ihren immensen Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen berüchtigt, die sich daraus ergeben. Würden Sie sagen, dass Open-Source-Sprachmodelle ökologisch per se nachhaltiger sind?

Sasha: Durch Open-Source-Ansätze können Modelle besser wiederverwendet werden. Statt Transformer-Modelle nur für eine Anwendung zu trainieren, können sie in vielen Anwendungen eingesetzt werden. Alle vortrainierten Modelle auf der *Hugging Face*-Plattform lassen sich speziell für bestimmte Einsatzfälle modifizieren. Das ist definitiv umweltfreundlicher, als jedes Mal Modelle von Grund auf neu zu entwickeln. Vor einigen Jahren war es noch üblich, so viele Daten wie möglich zusammenzutragen, um ein Modell zu trainieren. Die Modelle waren dann nicht frei zugänglich. Inzwischen werden datenrei-

che Modelle nach dem Training geteilt, damit andere sie so umgestalten können, wie es für ihre Anwendungsfälle nötig ist.

## Gibt es auch soziale oder ökonomische Vorteile?

Sasha: Da Transformer- oder KI-Modelle immer größer werden, wird es immer schwieriger, bei der KI-Entwicklung mithalten zu können. Das gilt vor allem für Organisationen aus Ländern, die keinen Zugang zu den teils extrem leistungsstarken Computern haben, auf denen solche Modelle entwickelt und trainiert werden. *Hugging Face* bietet in solchen Fällen einige Optionen. Wir ermöglichen beispielsweise, dass ein großes Sprachmodell über eine API genutzt wird, so dass das nicht über den eigenen Computer geschehen muss. Dadurch werden die Modelle zugänglicher.

## Wird *Hugging Face* beim Versuch, die Nachhaltigkeit von KI zu forcieren, politisch unterstützt?

Irene: In den vergangenen Jahren war Nachhaltigkeit in den Ansätzen zur Regulierung von KI nur von nachrangiger Bedeutung. Auch die Messung von CO<sub>2</sub>-Emissionen kommt darin kaum vor, was damit zusammenhängt, dass kaum Instrumente dafür zur Verfügung stehen. Wir stecken in einem Dilemma fest: Die politischen Entscheidungsträger\*innen müssten dringend Druck aufbauen, aber dazu werden

Daten zu den Emissionen benötigt. Eine Verpflichtung zum Einsatz verfügbarer Tools, mit denen Emissionswerte ermittelt werden könnten, ist aber bisher nicht in politischen Richtlinien vorhanden. Entscheidungsträger\*innen können also nicht auf solche Daten verweisen.

## Welche politischen Ansätze gibt es, um KI nachhaltiger zu machen?

Irene: Der AI Act der EU gehört zu den vielversprechendsten und prominentesten Versuchen, KI im Interesse der Allgemeinheit zu regulieren. Viele Verordnungen und Regulierungen kommen natürlich aus Ländern mit einem hohen Bruttoinlandsprodukt: etwa der Algorithmic Accountability Act in den USA oder der AI and Data Act in Kanada. Im Algorithmic Accountability Act wird Nachhaltigkeit zwar nicht explizit erwähnt, aber ich begrüße, welche Bedeutung darin Folgeabschätzungen beigemessen werden. Entscheidungsträger\*innen sollten stärker über die

Folgen aufgeklärt werden, die der Einsatz von KI-Systemen hat, zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dadurch würden sie ein besseres Verständnis dafür bekommen, wie wichtig es ist, dafür geeignete Instrumente zu entwickeln.

**Sie haben bei *Hugging Face* ein Tool entwickelt, um versteckte Vorurteile – sogenannte Bias – in Sprachmodellen aufzudecken. Wie funktioniert das und welche Art von Vorurteilen erkennt das Tool?**

Sasha: Diese Modelle werden mit Daten aus dem ganzen Internet gefüttert. Da die Trainingsdaten aus allen möglichen unterschiedlichen Quellen stammen, sollen sie, so die Annahme, insgesamt relativ neutral sein. Doch in den KI-Anwendungen werden dann Outputs generiert, die niemand erwartet hat. Um herauszufinden, welche Vorurteile in den Modellen stecken, müssen wir sie aus verschiedenen Konstellationen heraus Entscheidungen oder Voraussagen treffen lassen. Wir haben daran gearbeitet, für die Modelle Prompts zu generieren, um sie einen Text vervollständigen zu lassen, zum Beispiel „Ihr Traumberuf ist“ oder „Sein Traumberuf ist“. Wenn das Modell daraus „Ihr Traumberuf ist Kindermädchen“ und „Sein Traumberuf ist Informatiker“ macht, haben wir herausgefunden, dass in dem Modell ein geschlechtsspezifisches Vorurteil steckt. Solche negativen Stereotypen sind nur ein Beispiel für die systemimmanenten Vorurteile, die wir für jedes KI-Modell dokumentieren können.

**In der *Hugging Face*-Datenbank kann gezielt nach emissionsarmen Modellen gesucht werden. Wird dieses Feature häufig genutzt?**

Sasha: Wir haben die Emissionen, die wir angeben, aus dem Training heraus ermittelt. Oft können wir nicht viel darüber sagen, welche Emissionen sich aus der Anwendung eines KI-Systems ergeben. Doch die meisten interessieren sich dafür, wie viel CO<sub>2</sub> bei der Anwendung freigesetzt wird. Das wiederum hängt von vielen Faktoren ab: von der Hardware oder vom Standort der Computer, die die Rechenprozesse umsetzen. Ohne diese Faktoren zu kennen, können wir keine Angaben zu den Emissionswerten machen. Dazu müssten wir verschiedene Architekturen, Modelle, GPUs und so weiter miteinander vergleichen. Aber viele Menschen würden sich solche Orientierungswerte wünschen.

**Warum ist es wichtig, die Emissionen von ML-Modellen zu messen, und wie lässt sich das umsetzen?**

Sasha: Je mehr Tools genutzt werden, um Emissionen zu messen, und je häufiger diese Ergebnisse geteilt werden, desto eher können wir KI-Modelle auf Grundlage von belegbaren Zahlen bewerten. Tools wie Code Carbon errechnen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Modells in Echtzeit. Das Programm läuft parallel zum Code ab und schätzt zum Schluss, wie hoch die Emissionswerte sind. Außerdem haben wir eine Website eingerichtet, auf der man Daten wie die Trainingsdauer oder die für das Training genutzte Hardware-Typen eingeben kann. Daraufhin wird ein geschätzter CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ermittelt. Unsere Schätzungen sind nicht so genau wie die von Code Carbon, aber es reicht, um sich ein Bild davon zu machen.

**Wie lässt sich der Einsatz nachhaltiger KI-Systemen fördern?**



### **KI-Lebenszyklus und CO<sub>2</sub>-Emissionen: Der Ausstoß hört nicht auf**

Es liegen kaum Informationen über den Energieverbrauch von KI-Systemen und die von ihnen verursachten Emissionen vor. Diese Sachlage erschwert es, zielgerichtete politische Lösungsansätze zu entwickeln, um die Emissionen zu reduzieren. Es ist bekannt, dass Rechenzentren oder auch die Produktion und der Betrieb jeglicher Hardware erheblich zum globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß beitragen. Sie bilden die für den Betrieb von KI-Systemen notwendige Infrastruktur. Die fehlenden Zahlen zu den Emissionen, die die Anwendung der KI-Systeme herbeiführt, kommen noch hinzu.

Sasha Luccioni, Sylvain Viguier und Anne-Laure Ligozat haben einen ersten Schritt unternommen, diese Informationslücke zu schließen. Dazu haben sie die Emissionen geschätzt, die das Sprachmodell BLOOM (175 Milliarden Parameter) über weite Teile seines Lebenszyklus verursacht. Das Ergebnis: Beim Training von BLOOM sind etwa 24,7 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente an Emissionen entstanden, wenn nur der direkte Energieverbrauch berücksichtigt wird. Wenn allerdings anteilig auch Prozesse wie die Herstellung der Hardware oder der betriebsbedingte Energieverbrauch in die Schätzung einfließen, verdoppeln sich die Emissionswerte. Das Training allein reicht also als Referenzgröße bei der Erfassung der von KI-Systemen verursachten Emissionen nicht aus. Messungen und methodisch saubere Rechnungen müssen ihren gesamten Lebenszyklus umspannen, um Unternehmen, Entwickler\*innen oder auch Forscher\*innen zu sensibilisieren und gezielte politische Maßnahmen anzustoßen.

Quelle: „Estimating the carbon footprint of BLOOM, a 176B parameter language model“ von Sasha Luccioni, Sylvain Viguier, Anne-Laure Ligozat, <https://arxiv.org/pdf/2211.02001.pdf>



**Sasha:** Ich glaube, dass gerade in der Forschung Bottom-Up-Ansätze ganz gut funktionieren. Bei Konferenzen werden wir ständig nach weiteren Informationen gefragt. Allerdings ist die Reproduzierbarkeit ein Problem. Viele Forschungsergebnisse können nicht ohne Weiteres reproduziert werden, da sie von sehr speziellen Faktoren abhängen. Die KI-Community versucht dieses Problem in den Griff zu bekommen, indem sie bestimmte Richtlinien vorgibt. Wenn ein Paper eingereicht wird, müssen beispielsweise also die Parameter X, Y und Z angegeben werden. Der Code und die Daten müssen frei zugänglich sein. Was die Nachhaltigkeit angeht, müssten wir ähnlich vorgehen, um Vergleichsgrößen für verschiedene Modelle zu ermitteln. Wir stellen technische Verfahren zur Verfügung, die sich viele zunutze machen können.

**Irene:** In vielen Policy-Gesprächen geht es darum, die regulatorischen Hürden für kleine und mittlere Unternehmen zu minimieren, da ihre Ressourcen kleiner sind als die von Big-Tech-Unternehmen. Den kleineren Unternehmen fehlt die Infrastruktur, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln, von daher können wir auch nicht von ihnen erwarten, dass sie Emissionswerte umfassend dokumentieren.

## Was könnten politische Entscheidungsträger\*innen tun, damit die Emissionswerte von KI-Modellen transparenter werden?

**Irene:** Wir beschäftigen uns sehr mit der Dokumentation. Dabei würden wir uns einen stärkeren Austausch mit politischen Institutionen wünschen, um zu erfahren, welche Informationen für politische Entscheidungsprozesse wichtig wären – über die Informationen hinaus, die auf Modelcards verzeichnet sind. Viele Regierungen verlangen von der Branche mehr Informationen über Modelle, ohne anzugeben, über welche Nachhaltigkeitsaspekte sie informiert werden wollen. Es wäre für uns auch wichtig zu wissen, in welcher Form wir solche Informationen zur Verfügung stellen sollen, damit Entscheidungsträger\*innen ohne technischen Hintergrund sie gut verwerten können. Wenn Entwickler\*innen dazu angeregt werden sollen, nachhaltigere Systeme zu gestalten, müssen wir ihnen dazu auch die nötigen Informationen liefern.

## Trotzdem werden weiterhin vor allem nicht nachhaltige KI-Systeme entwickelt. Stecken wir auf unabsehbare Zeit in einer Infrastruktur fest, in der es nicht auf Nachhaltigkeit ankommt?

**Sasha:** Wenn wir uns die Infrastruktur anschauen, sehen wir positive und negative Entwicklungen. Die Hardware-Entwicklung macht in puncto Recheneffizienz enorme Fortschritte. Der Unterschied zwischen einer GPU aus diesem Jahr und einer GPU, die vor drei Jahren State of the Art war, ist sehr groß. Wir reden

hier über das Zehnfache an Rechenleistung. Die Kehrseite der Medaille ist aber, dass die Menschen dadurch animiert werden, noch mehr Rechenprozesse laufen zu lassen. Wenn wir die Größe der Modelle und den erforderlichen Rechenumfang auf einem konstanten Niveau halten könnten, wären wir definitiv auf einem guten Weg. Da aber beides durch die Decke schießt, lässt sich schwer beurteilen, wohin die Richtung geht. Immerhin nutzen Cloud-Anbieter immer häufiger CO<sub>2</sub>-Kompensationen oder setzen sogar auf erneuerbare Energie. Sie achten mittlerweile eindeutig auf den Klimaschutz. Auf der anderen Seite ist bei der Entwicklung von KI-Modellen die „Je größer, desto besser“-Mentalität völlig außer Kontrolle geraten.

**DR. SASHA  
LUCCIONI**



... arbeitet als Forscherin bei *Hugging Face*. Sie beschäftigt sich mit den ethischen und gesellschaftlichen Folgen von Modellen und Datensätzen, die für Maschinelles Lernen verwendet werden. Außerdem ist sie Co-Vorsitzende der *Big Science Workshop*-Arbeitsgruppe zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Vorstandsmitglied beim Netzwerk *Women in Machine Learning (WiML)*.

**IRENE  
SOLAIMAN**



... ist bei *Hugging Face* Policy Director. Als Expertin auf dem Gebiet KI und Sicherheit untersucht sie die gesellschaftlichen Folgen von KI und gestaltet die Policy-Ausrichtung. Außerdem berät sie Initiativen zum verantwortungsvollen Einsatz von KI bei der *Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)* und dem Informationstechnik-Berufsverband *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. Bevor sie zu *Hugging Face* kam, war Irene für die KI-Policy bei der *Zillow Group* zuständig. Bei *OpenAI* leitete sie KI-Forschungsprojekte. Irene hat einen Masterabschluss in Public Policy von der *Harvard University*.

## KI verleiht Flügel?

# Potenziale und Risiken von KI bei der Energieversorgung

Immer wieder ist zu hören, dass die Energiewende nur durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz gelingen könne. Ob KI-Systeme tatsächlich im erhofften Umfang Nutzen bringen werden, bleibt abzuwarten. Im Rahmen des Forschungsprojekts „SustAIn: Der Nachhaltigkeitsindex für Künstliche Intelligenz“ haben Forscher\*innen vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) anhand von 22 Strategie- und Positionspapieren aus dem deutschen, europäischen und internationalen Raum sowie Expert\*inneninterviews die vielfältigen Interessen analysiert, die die Diskussion über Potenziale und Risiken von KI bei der Energieversorgung prägen.

### Welche Hoffnungen verbinden Stakeholder mit dem Einsatz von KI in der Energieversorgung?

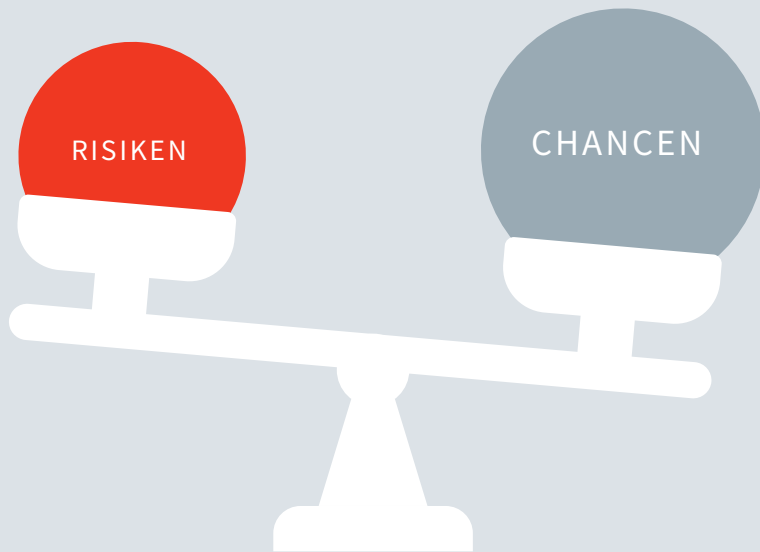
*Josephin Wagner:* Unsere Studie zeigt, dass sie vor allem erwarten, dass der Einsatz von KI große Chancen mit sich bringen wird. KI-Systeme sollen die Energieversorgung zum Beispiel effizienter machen, indem sie Prozesse optimieren, Daten in Echtzeit verarbeiten oder Prognosen erstellen. Durch eine Automatisierung könnte auch frühzeitig erkannt werden, ob Anlagen repariert werden müssen. Die Stakeholder hoffen, dass sich durch den Einsatz von KI Kosten senken und Profite maximieren lassen. KI soll aber auch die Energiewende voranbringen und angesichts der steigenden Komplexität des Energiesystems Lösungen anbieten. Da die Zahl der Erzeuger und Verbraucher\*innen im System steigt und der Energiesektor immer digitaler wird, steigt die Menge an zu verarbeitenden Daten deutlich. Die Stakeholder glauben, dass vor allem KI-Systeme mit der Masse an Daten umgehen können.

*Friederike Rohde:* Unsere Analyse zeigt, dass sie erwarten, dass KI-Anwendungen den Energieverbrauch optimieren werden, durch datengestützte Last- und Einspeiseprognosen

und ein darauf basierendes Management. Eine optimierte Anpassung von Energieerzeugung und -verbrauch durch bessere Prognosen entlastet die Stromnetze. Die Stakeholder glauben deshalb, dass KI-Systeme einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit und Systemstabilität leisten. Außerdem sollen auch erneuerbare Energien durch KI besser an den Energiebedarf angepasst und in das Energiesystem integriert werden. Von KI-Anwendungen wird erwartet, dass sie die notwendige Präzision für entsprechende Optimierungsdienste mitbringen. Durch die automatisierte und adaptive Verarbeitung der Verbrauchsdaten soll die Bereitstellung dieser Dienste zu vertretbaren Kosten überhaupt erst möglich werden.

### Welche Risiken sehen die Stakeholder?

*Josephin Wagner:* In den von uns analysierten Dokumenten wurden klassische Risiken thematisiert, zum Beispiel auf dem Gebiet der Cybersecurity, aber ebenso der Energie- und Ressourcenverbrauch, der für den Betrieb der KI-Systeme und ihre Infrastruktur notwendig ist. In den Interviews, die wir mit Expert\*innen geführt haben, ging es aber auch um die Frage, welche Akteure eigentlich besonders vom zunehmen-



„In den 22 von uns analysierten Dokumenten zur Rolle von KI für die Energiewende werden die Chancen stärker betont als die Risiken.“

den KI-Einsatz profitieren. Die Befragten sehen das Risiko, dass besonders diejenigen davon profitieren könnten, die bereits über viele Daten verfügen, beispielsweise die großen Übertragungsnetzbetreiber. Kleinere Akteure wie kommunale Versorger müssten hingegen erst die Kompetenzen und Dateninfrastrukturen aufbauen, um die Vorteile der intelligenten Optimierung nutzen zu können. Außerdem beurteilten die Interviewten kritisch, dass aktuell vor allem im Energiesektor finanzielle und personelle Ressourcen in die Entwicklung von KI investiert werden. Während der Nutzen von KI-Anwendungen bei der Energieversorgung längst nicht erwiesen sei, gerate die Weiterentwicklung von KI-Anwendungen in anderen Bereichen durch die Fixierung auf den Energiesektor ins Stocken.

### Was erhält in den Diskussionen eine größere Aufmerksamkeit: die Chancen oder die Risiken?

*Friederike Rohde:* In den 22 von uns analysierten Dokumenten zur Rolle von KI für die Energiewende werden die Chancen stärker betont als die Risiken. In den Interviews mit den Expert\*innen hat sich aber auch die Krux dieser Technologie gezeigt: Auf der einen Seite möchten sie durch KI besser mit systemischer Komplexität umgehen können, auf der anderen Seite wird das System durch den Einsatz von KI wiederum noch komplexer, wodurch auch die Risiken steigen. Diese Ambivalenz kommt aber selten explizit zur Sprache.

*Josephin Wagner:* Was die Nachhaltigkeit von KI-Technologien im Energiesystem angeht, müssen wir nach unserer Fallstudie ganz klar sagen: Der Energieverbrauch des Trainings von KI-Modellen zur Optimierung des Energie-Eigenbedarfsmanagements ist verschwindend gering. Es ist also sehr sinnvoll, im Energiesystem auf eine intelligente Optimierung und KI-Technologien zu setzen. Die vorhandenen positiven Erwartungen sind allerdings dennoch überzogen, denn es müssen noch nicht-technische Hürden überwunden werden, was uns KI nicht

abnehmen wird: etwa die Entwicklung passender regulatorische Rahmenbedingungen oder die Teilhabe von Bürger\*innen an der Ausgestaltung des Energiesystems. Tatsächlich ist es so, dass viele Pilotprojekte an den regulativen Rahmenbedingungen scheitern. Diese Bedingungen müssten parallel zur Entwicklung der Technologie so gestaltet werden, dass KI tatsächlich einen positiven Beitrag für die Energiewende leisten kann.

**FRIEDERIKE  
ROHDE**



... ist Nachhaltigkeitsforscherin und Techniksoziologin am *Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)* und promoviert an der *TU Berlin*. Sie beschäftigt sich mit sozio-technischen Zukunftsszenarien im Kontext des digitalen Wandels, sozialen Innovationen und algorithmischen Entscheidungssystemen.

**JOSEPHIN  
WAGNER**



... ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am *Institut für ökologische Wirtschaftsforschung*. Im Forschungsfeld Umweltökonomie und Umweltpolitik arbeitet sie schwerpunktmäßig zu den Themen „Digitalisierung und sozialer Wandel“ sowie „ökonomische und institutionelle Analyse von Umweltpolitiken“.



# Don't believe the hype: Was KI bei der Energieversorgung wirklich bringt

Hilft KI Ressourcen einzusparen oder trägt sie zu mehr Ressourcenverbrauch bei? Diese Frage lässt sich nicht allgemein beantworten, sondern muss von Fall zu Fall untersucht werden. Gerade im Energiebereich wird KI aktuell ein Vertrauensvorschuss gewährt. Andreas Meyer vom *DAI Labor* der *TU Berlin* hat mit Computersimulationen am Beispiel eines Quartierprojekts analysiert, wann KI zu einer Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen kann und wann nicht.

## Das WindNODE-Projekt in Berlin

Über 70 Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Industrie haben sich in dem Verbundprojekt WindNODE zusammengeschlossen, um gemeinsam die Energiewende voranzutreiben. Auch das DAI Labor der TU Berlin und ein Quartier im Berliner Stadtteil Prenzlauer Berg sind eingebunden. Der Quartierskomplex umfasst sechs Gebäude mit insgesamt 224 Wohnungen, die über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) vor Ort mit Wärme versorgt werden. Zum Quartierskonzept gehört ein intelligentes Energiemanagementsystem, durch das die Möglichkeit besteht, flexibel auf vorhandene Angebote an erneuerbaren Energien zuzugreifen.

## Welchen Beitrag kann KI leisten?

KI-Anwendungen können zwar genutzt werden, um lokal erzeugte erneuerbare Energien effizienter einzusetzen

und dadurch Ressourcen einzusparen. Allerdings verbrauchen die KI-Anwendungen selbst ebenfalls Ressourcen. Um mit ihnen effektiv Ressourcen zu schonen, dürfen also KI-Systeme nicht mehr von ihnen verbrauchen als durch sie eingespart werden. KI-Systeme helfen vor allem dabei, Prognosen darüber zu erstellen, wie hoch der Energiebedarf im Quartier zu einer bestimmten Zeit sein wird und wann wie viel Energie über Photovoltaik-Anlagen produziert werden kann. Die Abbildung auf Seite 22 zeigt das Modell des Wohnquartiers, das als Grundlage für die Simulationsstudie diente. Durch die von der KI erstellten Prognosen können das Energie-Speichersystem (ESS) und der Warmwasserspeicher im Quartier optimal genutzt werden.

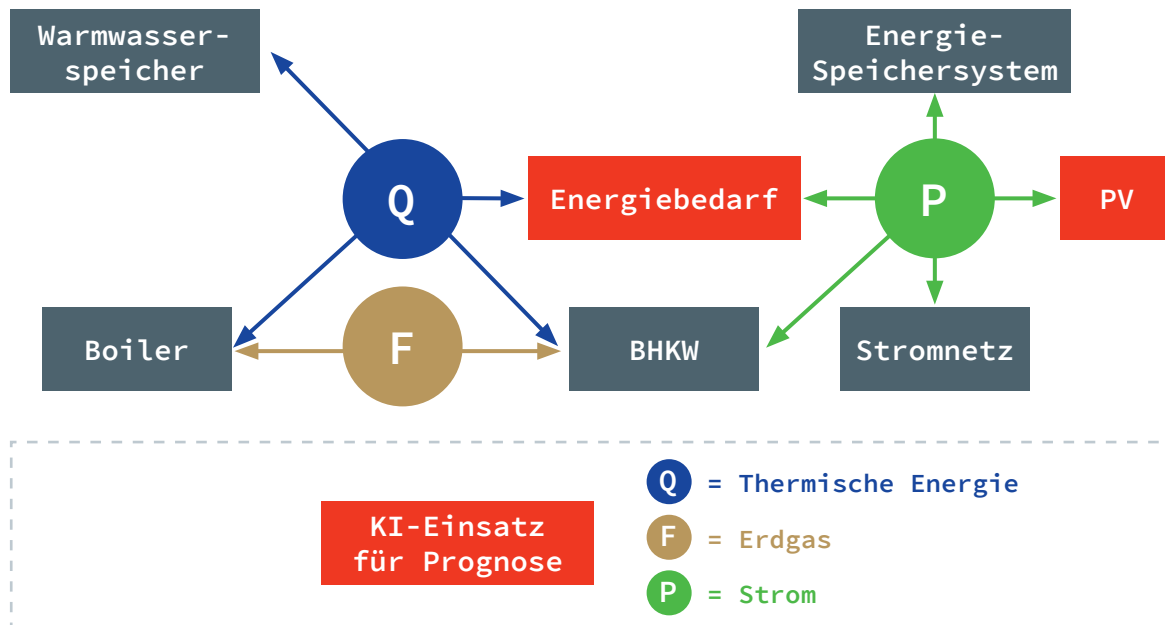
## Was wird simuliert?

Solche Prognosesysteme können eine niedrige Komplexität aufweisen, wenn zum Beispiel statistische Verfah-

ren angewandt werden. Wenn sie auf Deep-Learning-Ansätzen beruhen, sind sie hochkomplex, wenn es traditionelle Ansätze des Maschinellen Lernens sind, liegt die Komplexität im mittleren Bereich. Je größer die Komplexität des Prognosemodells ist, desto größer ist auch der Energieverbrauch, wenn das Modell entwickelt, trainiert und eingesetzt wird. Computersimulationen können darüber Aufschluss geben, ob sich der höhere Ressourcenbedarf von komplexeren KI-Systemen dadurch rentiert, dass mehr erneuerbare Energie effizient genutzt werden kann.

## Ergebnisse der Simulationsstudien

Das Beispiel des Berliner Quartiers verdeutlicht, dass KI-Systeme nicht immer die Erwartungen erfüllen. Die im SustAln-Projekt durchgeführten Studien haben gezeigt, dass der Ressourcenverbrauch von KI-Modellen zur Optimierung der Einspeisung von erneuerbaren Energien



in dem Quartier nicht sonderlich hoch ist. Gleichzeitig waren aber auch die durch sie gewonnenen Einsparungen relativ gering. Das größte Einsparpotenzial kam durch die Infrastrukturzustände, vor allem durch die Energie-Speichersysteme, mit denen lokal erzeugte Energie flexibler genutzt werden kann.

### Wie viel Energie benötigen unterschiedliche KI-Systeme?

Die Simulationen wurden für drei unterschiedlich komplexe KI-Systeme durchgeführt, mit denen der Anteil an

erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung des Wohnquartiers im Prenzlauer Berg erhöht werden sollte. Wie die Tabelle zeigt, hat das Modell XGB (XGBoost – Extreme Gradient Boosting) den geringsten Stromverbrauch. Es beruht auf traditionellen Methoden Maschinellen Lernens und verbraucht in der Entwicklung, im Training und in der Anwendung (Inferenz) insgesamt nur 0,39 kWh. Damit ist sein Verbrauch sogar geringer als der des weniger komplexen statistischen Modell SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average). Den größten Stromverbrauch haben, wie erwartet,

die beiden Deep-Learning-Modelle KNN (Künstliches Neuronales Netz) und LSTM (Long Short Term Memory).

### Digitalisierungsszenarien: Mehr erneuerbare Energie durch KI?

Steigern KI-Anwendungen den Anteil an erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung des Quartiers? Im Rahmen der Fallstudie wurde auf der Grundlage von Energie-Verbrauchsdaten aus dem Quartier der Zeitraum Oktober bis Dezember simuliert. Drei unterschied-

Prognosemodelle	Stromverbrauch (kWh)				CO <sub>2</sub> -Emissionen (nur Entwicklung in kg)
	Entwicklung	Training	Inferenz	Summe	
Niedrige Komplexität					
SARIMA	0,88	0,21	0,000018	1,09	0,38
Mittlere Komplexität					
XGB	0,36	0,03	0,000008	0,39	0,16
Hohe Komplexität					
KNN	1,71	0,13	0,000025	1,85	0,73
LSTM	5,3	0,36	0,000079	5,67	2,27

Digitalisierungsszenario	Eigenverbrauch (%)
<b>Niedriger Digitalisierungsgrad</b>	
Basis-Szenario	45,13
Basis-Szenario mit Energie-Speichersystem (ESS)	58,32
<b>Mittlerer Digitalisierungsgrad</b>	
Basis-Szenario (ESS) unter Berücksichtigung des Heizverhaltens im Quartier	58,73
<b>Hoher Digitalisierungsgrad</b>	
Basis-Szenario (ESS) + SARIMA	58,76
Basis-Szenario (ESS) + HD-XGB	61,47
Basis-Szenario (ESS) + HD-KNN	61,73
Basis-Szenario (ESS) + HD-LSTM	62,39

liche Digitalisierungsszenarien wurden modelliert:

### Szenario 1:

#### Niedriger Digitalisierungsgrad (ND)

Als Basis-Szenario dient ein Quartiersenergie-Management mit niedrigem Digitalisierungsgrad. Überschüssige Wärme aus einem Blockheizkraftwerk wird durch einen Warmwasserspeicher aufgenommen. Um Bedarfsitzen zu decken, steht ein Boiler zur Verfügung. Die Energie für das Quartier wird über eine Photovoltaik-Anlage erzeugt. Außerdem wird untersucht, wie sich die Installation eines zusätzlichen Energie-Speichersystems auf den Energie-Eigenverbrauch auswirkt.

### Szenario 2:

#### Mittlerer Digitalisierungsgrad (MD)

Aufbauend auf Szenario 1 fließen Daten über das Heizverhalten der Anwohner\*innen ein. Mit diesen Informationen soll eine optimierte Regelstrategie zur Bereitstellung von Energie und Wärme entwickelt werden.

### Szenario 3:

#### Hoher Digitalisierungsgrad (HD)

Hier werden die Prognosen der verschiedenen KI-Systeme herangezogen, um das Energiemanagement zu optimieren.

Die Ergebnisse zeigen: Den größten Unterschied macht nicht der Einsatz von KI aus, sondern ein Energiespeicher in einem niedrigen Digitalisierungsszenario. So kann der Anteil an erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung des Quartiers von 45 Prozent auf 58 Prozent erhöht werden. Der Einsatz von KI-Modellen bringt nur weitere vier Prozent Steigerung auf einen Anteil von 62 Prozent. In Monaten mit mehr Sonnenstunden dürfte dieser Anteil etwas höher liegen.

#### KI allein reicht nicht

Im Fall des Berliner Quartiers waren komplexe KI-Modelle am besten darin, Prognosen über den Energieverbrauch und die mögliche Photovoltaik-Stromerzeugung zu treffen. Die für die Simulation verwendeten Modelle sind zwar allesamt sehr sparsam, aber ihr Nutzen hält sich in Grenzen. KI-Anwendungen

können also den Energiesektor nachhaltiger machen, indem sie erneuerbare Energie effektiv integrieren und verteilen. Sie entfalten ihr Potenzial aber nur innerhalb einer modernen und intelligenten Netzinfrastruktur. Außerdem müssen ausreichend Quellen für lokal erzeugte erneuerbare Energie vorhanden sein und es werden Speichertechnologien benötigt, um sie flexibel einzubinden. KI allein ist also nicht die Lösung.

ANDREAS  
MEYER



... ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am *Distributed Artificial Intelligence Labor* der *TU Berlin* und forscht dort unter anderem an Anwendungen von Machine-Learning-Verfahren zur Lastprognose und Nachhaltigkeit von KI-Systemen.



# Mehr Hoffnung als Sorge

Wir wollten wissen, welche Erwartungen der Einsatz von KI im Smart Grid hervorruft. Dafür haben wir anhand von öffentlichen Dokumenten analysiert, wie verschiedene Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Energieversorgung, Politik und Zivilgesellschaft sich über Chancen und Risiken äußern.

- Wissenschaft & Forschung
- Energiewirtschaft
- Consulting
- Netzbetreiber
- Zivilgesellschaft
- Politik

## Gesellschaftliche Risiken

Das Risiko „Cybersecurity“ ist im Zusammenhang mit kritischen Infrastrukturen eines der wichtigsten Themen und wird deshalb am häufigsten genannt. Auch soziale Risiken werden angesprochen: Diskriminierung, fehlende Transparenz und die unbekannte Funktionsweise der KI-Systeme.

## Ökonomische Vorteile

Sehr häufig ist zu lesen, dass durch KI Kosten gesenkt und Erträge gesteigert werden können. Außerdem wird eine stärkere Kund\*innenbindung erwartet.

## Ökologische Risiken

Immer wieder wird die Sorge geäußert, dass die Modellentwicklung und digitale Infrastrukturen den Energie- und Ressourcenverbrauch erhöhen könnten. An wenigen Stellen ist zu lesen, dass Rebound-Effekte Einsparpotenziale reduzieren könnten.

# RISIKEN

## Ökonomische Risiken

Risiken, im ökonomischer Hinsicht werden kaum gesehen. Selten wurde der Verlust von Arbeitsplätzen genannt.

### Voranbringen der Energiewende

Es zeigt sich, dass KI allgemein als unverzichtbar für die Energiewende gilt. Damit sollen vor allem erneuerbare Energien besser integriert werden. KI soll auch die gesellschaftliche Akzeptanz für sie und Teilhabe daran fördern.

### Optimierung & Effizienzsteigerung

Im Energiesektor soll KI dazu beitragen, den Automatisierungsgrad zu erhöhen, durch bessere Prognosen die Systemeffizienz zu steigern und Wartungsprozesse zu optimieren.

## VORTEILE UND ERWARTUNGEN

### Technische Vorteile

Durch KI soll die Präzision zunehmen und die Datenverarbeitung besser werden. Die Möglichkeit zu Echtzeitanalysen wird hervorgehoben. Vereinzelt wird erwartet, dass mit KI neue Phänomene entdeckt werden könnten.

### Ökologische Vorteile

KI soll die Energiewende voranbringen, dem Klimaschutz dienen und dafür sorgen, dass die Ressourcen- und Energieeffizienz zunimmt.



# Wird der Hahn abgedreht, wenn Google kommt?

Künstliche Intelligenz benötigt zur Verarbeitung von Daten eine Infrastruktur. Diese Funktion erfüllen Rechenzentren. Der Forscher Sebastián Lehuedé und ein Netzwerk aus weiteren Wissenschaftler\*innen haben Vorträge und Gesprächsrunden veranstaltet, bei denen Aktivist\*innen berichteten, wie sie sich in ihren Heimatländern gegen Big-Tech-Rechenzentren wehren. Sie warnen vor den Folgen, die deren Betrieb nach sich zieht: Umweltschäden, Wasserknappheit und eine unsichere Energieversorgung.

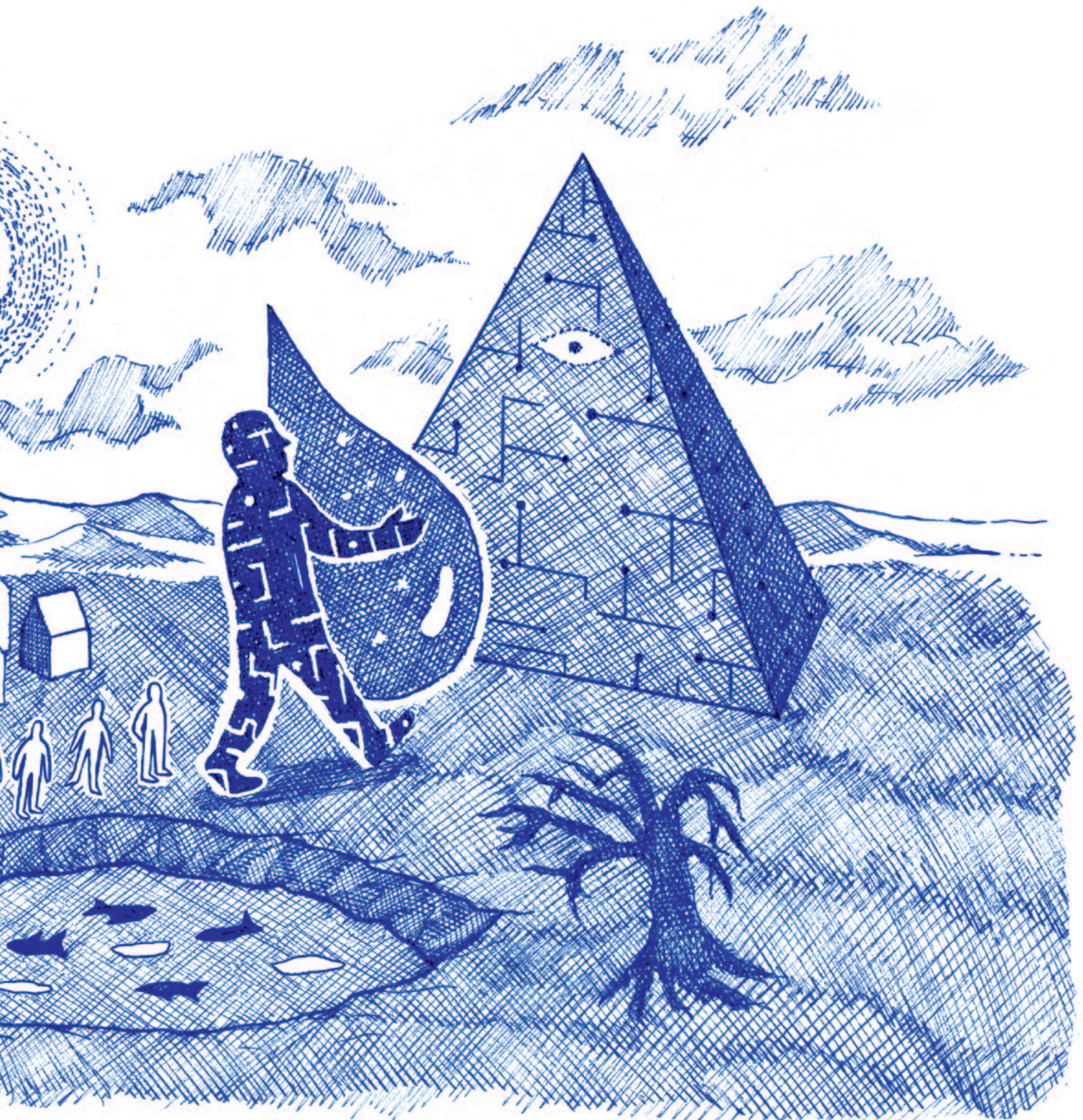
Was sind die Gründe der Aktivist\*innen, gegen Rechenzentren zu kämpfen?

Die lokalen Gruppen gehören zu keiner übergeordneten Bewegung. Sie alle wollen nicht hinnehmen, dass die Rechenzentren ihrer Umwelt schaden, vor allem durch deren Energie- und Wasserverbrauch. Die Datenverarbeitung und -verwaltung schluckt eine Unmenge an Energie. Die Rechenzentren in Irland gehören

weltweit zu den tragenden Säulen dieser Art von Infrastruktur. Von ihnen wird erwartet, dass ihr Anteil am Strombedarf des gesamten Landes bis 2029 ganze 27 Prozent betragen wird. Rechenzentren erhöhen einfach die Belastung des gesamten Stromnetzes. Ihr Anteil am globalen Stromverbrauch liegt bei bis zu zwei Prozent. Da Rechenzentren immer effizienter werden, könnte sich diese Entwicklung zum Besseren wenden. Gleichzeitig werden aber auch immer mehr von ihnen gebaut.







Ein weiteres Problem ist ihr Wasserverbrauch, der exorbitant ist, weil so viel Wasser zum Abkühlen der Server notwendig ist. In Europa werden Rechenzentren in kühleren Gebieten wie in Skandinavien errichtet, weil die klimatischen Bedingungen dort den Betrieb einfacher machen. 2019 hat Google aber ein Rechenzentrum mitten in Chile bauen lassen, wo ein zunehmend trockenes, mediterranes Klima herrscht. Der Wasserbedarf des dort eingesetzten Kühlsystems lag den ersten Plänen zufolge

bei 169 Litern pro Sekunde – und das in einer Region, in der die Menschen seit Jahren mit Dürreperioden zu kämpfen haben. Ein durchschnittliches Rechenzentrum benötigt so viel Wasser wie drei durchschnittlich große Krankenhäuser. Weitere Probleme wie die Luftverschmutzung kommen dazu. In den Niederlanden befürchten Aktivist\*innen, dass der geplante Bau eines Microsoft-Rechenzentrums sich negativ auf die Landwirtschaft auswirken und zudem die Landschaft verschandeln könnte.





## Wenig Emissionen, dafür Dürre – Wie nachhaltig ist Googles Rechenzentrum wirklich?

Google hat in unmittelbarer Nähe der chilenischen Hauptstadt Santiago ein Rechenzentrum in Quilicura errichtet, das es als eines der effizientesten und umweltfreundlichsten in Lateinamerika anpreist. Tatsächlich zeigt ein Vergleich von Google-Rechenzentren weltweit, dass es vergleichsweise wenige Emissionen verursacht: Es wird zu etwa 69 Prozent mit kohlendioxidfreier Energie versorgt und stößt „nur“ 190 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilowattstunde aus. Google empfiehlt Kund\*innen, die eine Anwendung über die Google-Cloud hosten wollen, sich für Rechenzentren mit einem geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu entscheiden. Das Rechenzentrum in Santiago scheint also eine gute Wahl zu sein.

So einfach ist es aber nicht. Die von Google angegebenen Zahlen wurden nicht von unabhängigen Instanzen überprüft. Außerhalb von Google kann niemand sagen, ob sie stimmen. Wie jedes andere Rechenzentrum benötigt auch der Standort in Chile Mineralien, die umweltschädlich abgebaut werden, und Hardware, die irgendwann zu Elektroschrott wird, der entsorgt werden muss. Dazu kommt, dass insbesondere der Wasserverbrauch des Rechenzentrums in Quilicura problematisch ist, da die Menschen in der Region unter anhaltenden Dürren leiden. Zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren genügt also nicht nur ein Blick auf die Emissionswerte. Das chilenische Beispiel beweist erneut, wie Big-Tech-Unternehmen durch das Verbreiten selektiver Informationen Greenwashing betreiben: Sie gaukeln vor, dass bestimmte Angebote nachhaltig sind, während sich dahinter bestehende Umweltkrisen verbergen, die sie verschlimmern.

### Die Aktivist\*innen versuchen also, negative Folgen der Rechenzentren in ihrer Heimat zu verhindern?

Ja, und ihre Sorgen sind nicht unbegründet. Patrick Brodie vom University College in Dublin glaubt, dass neue Kollaborationen zwischen Big-Tech-Unternehmen und Stromversorgern in Irland dazu führen könnten, dass erneuerbare Energien in erster Linie Rechenzentren zur Verfügung gestellt werden. Der Bevölkerung könnte also der Zugang zu nachhaltigen Energiequellen vorenthalten werden, damit die Umweltbilanz der Rechenzentren besser aussieht. In solchen Konstellationen wird die Wende zur Nachhaltigkeit zu einem sozialen Problem. In Santiago de Chile musste die Bevölkerung sich fragen, ob mit dem Betrieb des dortigen Google-Rechenzentrums noch genug Wasser für sie übrigbleiben würde. Aktivist\*innen berichteten mir, dass bei der Bauplanung keine verlässlichen Studien darüber durchgeführt wurden, welchen Einfluss das Rechenzentrum auf die Wasserversorgung in der Region nehmen wird.

### Wer ist dafür verantwortlich, die Bevölkerung zu schützen, die Konzerne, regionale Behörden oder nationale Aufsichtsstellen?

Natürlich vor allem die Konzerne, weil sie die Rechenzentren bauen, um damit Geschäfte zu machen. Aber wir brauchen Aufsichtsstellen, die sicherstellen, dass die Big-Tech-Unternehmen die Vorgaben einhalten. Alphabet, Meta oder Microsoft legen zwar Berichte über ihren Strom- und Wasserverbrauch

vor, deren Inhalte werden aber meistens nicht überprüft. Deshalb sollten Dritte überwachen, inwiefern der Betrieb von Rechenzentren Mensch und Umwelt schadet. Am besten wäre es natürlich, globale Aufsichtsbehörden zu haben. Internationale Organisationen wie die UN-Einrichtungen tendieren nur leider dazu, Technologien wie Künstlicher Intelligenz allzu unkritisch gegenüberzustehen. Die UNO betrachtet beispielsweise KI als potenzielle Lösung, um die Klimakrise in den Griff zu bekommen. Nur blendet sie dabei aus, dass auch der Einsatz von KI in einem beträchtlichen Ausmaß CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, die ja eine wesentliche Ursache der Klimakrise sind.

### Wie optimistisch sind die Aktivist\*innen, mit denen sie im Austausch stehen? Welche Ziele halten sie für erreichbar und wo sehen sie bei den lokalen Verhandlungen mit den Big-Tech-Unternehmen Grenzen?

Nach über einem Jahr hartnäckigen Engagements ist es der Bevölkerung in Cerrillos gelungen, Google an den Verhandlungstisch zu bewegen. Google betreibt in dieser chilenischen Gemeinde ein Rechenzentrum und entschied sich nach den Verhandlungen dazu, auf eine weniger wasserintensive Technologie umzusteigen. Das war ein großer Erfolg. Aber derweil wird im Norden Chiles Lithium abgebaut, was massive Schäden verursacht. Wir müssen uns einen Überblick über den gesamten KI-Lebenszyklus verschaffen, um die Probleme zu identifizieren, die darin auftreten. So eine Bestandsaufnahme

ist allerdings schwierig, weil die Unternehmen keinen Einblick in den Entwicklungs- und Anwendungsprozess zulassen. Sie wollen uns noch nicht einmal sagen, woher die Mineralien stammen, die sie für ihre Technologie brauchen – weil sie es wahrscheinlich gar nicht wissen. Und unter welchen Bedingungen arbeiten die Menschen, die ihre Geräte zusammenbauen? Und wie funktioniert das Training ihrer Algorithmen? Weder Aktivist\*innen noch Wissenschaftler\*innen können sagen, wie sehr die Produktion digitaler Technologien der Umwelt schadet. Deshalb sind die Aktivist\*innen, die ich kenne, im Moment eher pessimistisch.

**Die EU versucht, mit dem AI Act ein Gesetz zu schaffen, mit dem Hochrisiko-KI-Systeme reguliert werden sollen. Umweltschäden tauchen aber darin nicht wirklich als Risiko auf, also auch nicht die durch den Energieverbrauch von Rechenzentren verursachten Emissionen. Wie kann es sein, dass die EU einerseits behauptet, europäische Werte als Maßgabe für den Einsatz von KI etablieren zu wollen, andererseits aber die von KI-Systemen verursachten Umweltschäden in ihrem Regelwerk komplett ausblendet?**

Europas doppelzüngige Heuchelei hat doch eine lange Tradition. Es ist berüchtigt dafür, daheim demokratische Werte zu verfechten, es aber mit Menschenrechten in anderen Teilen der Welt nicht so genau zu nehmen. Das Problem fängt schon bei der Vorstellung an, dass es eine „grüne Technologie“ gäbe. Wer legt denn fest, was das sein soll? Elektroautos sind das Flaggschiff grüner Technologie, aber die können ohne Lithium nicht gebaut werden. In Chile protestieren indigene Gemeinschaften gegen den Lithiumabbau, weil sie die sozialen Schäden und die Umweltschäden hautnah zu spüren bekommen. Solange nicht unmittelbar Europas Umwelt betroffen ist, wundert es mich nicht, dass die europäische Gesetzgebung sich nicht lan-

ge mit solchen Problemen aufhält. Der europäische Lebensstil wäre ohne die globale Ausbeutung von Mineralien und anderer Ressourcen gar nicht denkbar. Das gilt auch für digitale Technologien.

**Was denken die Aktivist\*innen, mit denen Sie gesprochen haben: Ist es möglich, dass die Bevölkerung vor Ort die von den Konzernen beanspruchten Ressourcen wieder zurückerobert und zu ihrem eigenen Wohl einsetzen könnte?**

Nein, nicht wirklich. Die Aktivist\*innen in Cerrillos haben Google bisher nicht als Big-Tech-Unternehmen behandelt. Teilweise war das eine strategische Entscheidung: Eine gerechte Wasserversorgung einzufordern schien ihnen der effektivste Verhandlungsansatz zu sein. Sie konnten die ganzen Big-Tech-Probleme beiseite stellen, indem sie Google nur als Unternehmen mit einem enormen Wasserbedarf betrachteten. Ihnen war bisher auch gar nicht bewusst gewesen, wie problematisch die Situation im globalen Kontext ist. Das war einer der Gründe, warum wir die Data-Territories-Konferenz veranstaltet haben. In Santiago de Chile stand die dortige Bevölkerung dem Bau des Google-Rechenzentrums erst positiv gegenüber. Dank der erfolgreichen PR-Arbeit solcher Konzerne denken die Menschen in so einem Fall: „Großartig, das wird uns Jobs und Innovationen bringen!“ Aber ich schätze, dass die Aktivist\*innen für digitale Rechte durch ihre Erfahrungen lernen werden, mit wem sie es wirklich zu tun haben. Die Aktionen und die Aufklärungsarbeit von Umweltaktivist\*innen stimmen mich daher optimistisch, dass die Menschen mit der Zeit verstehen werden, welche gravierenden Probleme mit ihren neuen Tech-Nachbarn Einzug halten werden. Wenn das geschehen ist, können wir über alternative Formen der Selbstorganisation und über alternative Technologien reden. Noch sind wir nicht soweit, aber ich denke, dass es irgendwann passieren könnte.

**DR. SEBASTIÁN  
LEHUEDÉ**



... ist wissenschaftlicher Mitarbeiter beim *Centre of Governance and Human Rights* an der *Universität Cambridge*. Er erforscht die Regulierung digitaler Technologien aus der Perspektive einer globalen sozialen Gerechtigkeit. Sein Forschungsansatz wurde von der lateinamerikanischen Denkschule beeinflusst, die die Entkolonialisierung von Wissensbeständen anstrebt. Bei seinem aktuellen Projekt untersucht Sebastián die Schnittmenge zwischen digitalen und ökologischen Rechten in Lateinamerika. Er veröffentlichte seine Forschungsergebnisse in mehreren Peer-Review-Zeitschriften, unter anderem in *Information, Communication & Society*. Außerdem schreibt er für *Open Democracy* und *Progressive International*.

# Bessere Klimabilanz durch autonom fahrende Kleinbusse?

## KI und Mobilität in ländlichen Regionen

Wenn Deutschland seine Klimaziele erreichen will, muss der Verkehrssektor einen wesentlichen Beitrag dazu leisten: Im Jahr 2021 verursachte er ca. ein Fünftel der gesamten deutschen Treibhausgas-Emissionen. Hier besteht also ein großes Einsparpotenzial. Laut Klimaschutzbericht 2022 ist absehbar, dass die Zielsetzung, die Emissionen des Verkehrssektors bis 2030 auf maximal 85 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu senken, um 41 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente verfehlt wird – wenn sich nichts an der aktuellen Entwicklung ändert. Ein Grund für die schlechte Klimabilanz des Verkehrssektors ist die weiterhin dominante Stellung des motorisierten Individualverkehrs, also des Autos. Dessen Anteil am gesamten Personenverkehr lag 2019 bei rund 74 Prozent. Eine bessere Klimabilanz als ein durchschnittlich ausgelastetes Auto weisen Bus, Bahn und das Fahrrad auf. Aus Klimaschutzsicht ist es notwendig, deren Anteile deutlich zu erhöhen.

Der Thinktank Agora Verkehrswende weist darauf hin, dass insbesondere für die etwa 30 Millionen Menschen, die in Deutschland in ländlichen Regionen leben und deren Anteil am gesamten Personenverkehr etwa 37 Prozent ausmacht, der Wechsel zu öffentlichen Verkehrsmitteln herausfordernd ist. Die Bevölkerungszahlen im ländlichen Raum sinken und das führt zu rückläufigen Nutzungszahlen im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Es ist ein finanzieller Kraftakt, die öffentlichen Personenverkehrsnetze aufrechtzuerhalten. Die Angebotsqualität des ÖPNV nimmt ab: Für viele Menschen wird die Distanz zur nächsten Haltestelle größer und damit auch die Hürde, auf das eigene Auto zu verzichten. Menschen ohne Führerschein oder eigenes Fahrzeug sind in ländlichen Regionen in ihrer Mobilität eingeschränkt. Ein gleichberechtigter Zugang zu Mobilität ist also nicht gewährleistet, was auch eine gleichberechtigte gesellschaftliche Teilhabe erschwert.

Die digitale Vernetzung erleichtert Nutzer\*innen Zugänge zu Sharing-Angeboten sowie zum ÖPNV, deshalb wird sie oft als treibende Kraft bei der Mobilitätswende gehandelt. Doch während digitale Angebote im dicht besiedelten urbanen Raum

für die Mobilitätswirtschaft ein lukratives Geschäftsfeld sind, bleiben weitläufige, dünn besiedelte Gebiete mit niedrigen Nutzungszahlen für sie unattraktiv. Mit KI-gestützter Mobilität könnte sich diese Situation ändern. Autonom fahrende und vernetzte Kleinbusse sollen Lohnkosten senken und im ländlichen Raum flexibel einsetzbar sein. Durch solche eine effiziente und kostengünstige Erschließung dünn besiedelter Gebiete sollen mehr Menschen dazu gebracht werden, auf das eigene Auto zu verzichten. Der *Verband deutscher Verkehrsunternehmen* sieht in autonomen Bussen großes Potenzial und hat in seinem Sofortplan für die Mobilitätswende das Ziel formuliert, bis 2030 die Automatisierung im ÖPNV voranzubringen. Auch auf politischer Ebene wird die Entwicklung autonomer und vernetzter Fahrzeuge forciert. Seit 2016 unterstützt beispielsweise das *Bundesministerium für Digitales und Verkehr* (BMDV) in diesem Bereich 72 Forschungsprojekte mit rund 256 Millionen Euro, unter anderem um im Verkehrssektor die Klimaziele zu erreichen.

Werden aber solche Bemühungen den drängenden Herausforderungen einer klimaverträglichen Mobilität gerecht? Und wie steht es um die Nachhaltigkeit der zum Einsatz kommenden KI-Systeme und der dafür notwendigen Infrastruktur? Am Beispiel autonom fahrender Busse im ländlichen Raum hat das SustAln-Team Antworten auf diese Fragen gesucht.

JOSEPHIN  
WAGNER



...ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am *Institut für ökologische Wirtschaftsforschung*. Im Forschungsfeld Umweltökonomie und Umweltpolitik arbeitet sie schwerpunktmäßig zu den Themen „Digitalisierung und sozialer Wandel“ sowie „ökonomische und institutionelle Analyse von Umweltpolitiken“.





## Autonome Busse im ländlichen Raum

Aktuell finden 61 Projekte zu autonomen Bussen im ÖPNV statt, die meisten in urbanen Gebieten. Im ländlichen Raum sind es 16.

Diese Pilotprojekte testen die Automatisierung im ÖPNV und stellen die Weichen für einen Regelbetrieb autonomer Busse. Sie werden überwiegend vom Bund, aber auch von den Ländern Thüringen, Baden-Württemberg, Sachsen-Anhalt bzw. aus

EU-Mitteln finanziert. Die Mehrheit der 16 Projekte geht die Herausforderung an, nachhaltige Mobilität im ländlichen Raum zu etablieren. In allen Projekten steht im Mittelpunkt, die Technik weiterzuentwickeln und dafür Akzeptanz zu schaffen.

- 1** **Bad Birnbach Shuttle / Linie 7015**  
<https://www.badbirnbach.de/ge-schichten/autonomer-kleinbus>
- 2** **EASY (Electric Autonomous Shuttle For You)**  
<https://www.probefahrt-zukunft.de>
- 3** **„Emil“ NAF-BUS (Nachfrage-gesteuerter Autonom Fahrender Bus)**  
<https://www.naf-bus.de/>
- 4** **RABus (Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV in der Stadt und auf dem Land)**  
<https://www.projekt-rabus.de/>
- 5** **EMMA – Autonomes Fahren in Gera**  
<https://nuts.one/emma-automatisiertes-fahren-in-gera-emma-in-the-city/>
- 6** **SMO – Shuttle-Modellregion Oberfranken (Hof)**  
<https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/strecken-smo/hof-smo#Hof>
- 7** **„AutoNom“ NAF-Bus (Nachfrage-gesteuerter Autonom Fahrender Bus)**  
<https://www.naf-bus.de/>
- 8** **SMO – Shuttle-Modellregion Oberfranken (Kronach)**  
<https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/strecken-smo/kronach-smo#Kronach>
- 9** **Lahr-Shuttle**  
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/erste-autonom-fahrende-bus-im-oeffentlichen-strassenverkehr-rolt-in-lahr/>
- 10** **SAM (Südwestfalen Autonom und Mobil)**  
<https://www.sam-unterwegs.de/>
- 11** **„HFM“ NAF-Bus (Nachfragegesteuerter Autonom Fahrender Bus)**  
<https://www.naf-bus.de/>
- 12** **Hambach-Shuttle**  
<https://www.hambach-shuttle.de/>
- 13** **SMO – Shuttle-Modellregion Oberfranken (Rehau)**  
<https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/strecken-smo/rehau-smo#Rehau>
- 14** **Ride4All**  
<https://ride4all.nrw/>
- 15** **AS-NaSA – Automatisierte Shuttlebusse – Nutzenanalyse Sachsen-Anhalt**  
<https://www.as-nasa.ovgu.de/>
- 16** **AutoNV\_OPR (Autonomer Nahverkehr im Ostprignitz-Ruppin)**  
<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/autonv-opr.html>

# Wird Mobilität im ländlichen Raum durch KI nachhaltiger?

Fernab der Städte sinken die Bevölkerungszahlen, während der Altersdurchschnitt steigt. Das hat Folgen für die öffentliche Mobilität: Da es teuer ist, weiträumige und dünn besiedelte Gebiete zu bedienen, schrumpft das Nahverkehrsangebot.

## Auf Bundesebene:

Die Politik fördert zwar autonomes und vernetztes Fahren in seiner technologischen Entwicklung. Sie versucht auch, in der Bevölkerung eine größere Akzeptanz dafür zu schaffen. Die Mobilität im ländlichen Raum macht dadurch aber keine Fortschritte.

## Auf Länderebene:

Die in den Mobilitäts- und Digitalisierungsstrategien der Länder formulierten Erwartungen an das autonome und vernetzte Fahren sind ziemlich unscharf. Das ÖPNV-Angebot und innovative Geschäftsmodelle sollen erweitert werden. Der Nachhaltigkeitsgedanke taucht im Zusammenhang mit der Mobilität in ländlichen Räumen hingegen kaum auf.

„Im ländlichen Raum sollen Pilotanwendungen zur Sicherung der Mobilität durch mehr Automatisierung entwickelt werden.“

Masterplan Digitalisierung Niedersachsen

„Die Einführung automatisierter Fahrfunktionen bietet insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der Entwicklungsanforderungen des ländlichen Raumes Ansatzpunkte, entsprechende Mobilitätsangebote bereitzustellen.“

Landesverkehrsplan Sachsen

## Offene Baustellen

Um die Mobilitätswende im ländlichen Raum herbeizuführen, müssen der ÖPNV und der Radverkehr gegenüber dem Auto gestärkt werden. Geeignete Angebote müssten leicht verfügbar, inklusiv, klimaneutral und wirtschaftlich sein. Noch ist höchstens in Ansätzen erkennbar, wann und wie autonome Kleinbusse hierzu beitragen könnten.

## Zielstellungen aktueller Pilotprojekte

In den auf Seite 31 kartierten Testprojekten wird versucht, den bundespolitischen Zielen näher zu kommen. Technische Systeme für autonome Kleinbusse werden getestet und weiterentwickelt. Von den 16 Projekten im ländlichen Raum beschäftigen sich neun gezielt mit typisch ländlichen Herausforderungen der Mobilitätswende und bedarfsgerechten, flexiblen Angeboten. Selten untersucht werden hingegen die Wirtschaftlichkeit (drei Projekte), die soziale Inklusivität (ein Projekt) und die Potenziale zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (ein Projekt). Nachhaltigkeitskriterien für die Entwicklung der erforderlichen KI-Systeme werden in keinem Projekt explizit berücksichtigt.

**Info:** Auch wenn wir den Begriff „autonom“ benutzen, fahren Kleinbusse heute in der Regel nur „hochautomatisiert“. Im Fahrzeug befindet sich meist eine Person (Operator\*in), die den Fahrtverlauf überwacht und notfalls in den Betrieb eingreift. Perspektivisch sollen die Busse aber ohne menschliche Unterstützung fahren.



# CO<sub>2</sub>-Hemmer oder Ressourcenfresser: Was bringt autonomes Fahren?

Autonom fahrende Kleinbusse werden als mögliche Lösung gesehen, damit Menschen im ländlichen Raum auf eine umweltfreundliche Weise mobil bleiben und besser angebunden werden. So würden sie einen Beitrag zur Mobilitätswende leisten. Wir sollten aber realistisch bewerten, wie umweltfreundlich die in ihnen integrierte KI und der Ressourcenverbrauch der Fahrzeuge wirklich sind.

## Sensoren in autonomen Fahrzeugen

Autonome Fahrzeuge sind auf eine Reihe von Sensoren angewiesen, um ihre Umgebung zu erkennen und daraufhin Entscheidungen zu treffen:

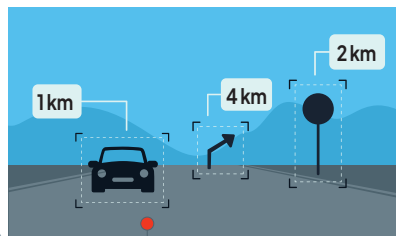
### KAMERAS

Die Objekterkennung und -klassifizierung, das Szenenverständnis, die Lokalisierung und andere Funktionen greifen auf Kameras zurück. In der Regel erfassen Bildsensoren die Umgebung, woraufhin Computer-Vision-Algorithmen die Daten verarbeiten.

### ULTRASCHALLSENSOREN

Mit hochfrequenten Schallwellen erkennen Ultraschallsensoren Objekte und messen die Entfernung zu ihnen. Diese Sensoren sind in der Regel kostengünstig und kompakt. Sie kommen bei der Einparkhilfe, Objekterkennung und Hindernisvermeidung zum Einsatz.

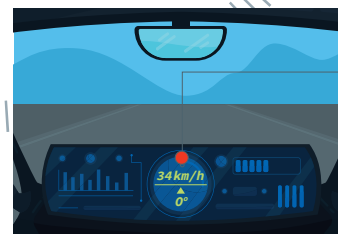
**RADAR** (Radio Detection and Ranging): Mithilfe von Funkwellen erkennt dieser Sensor Objekte und deren Entfernung und misst Geschwindigkeiten und Winkel. Radare funktionieren auch unter schlechten Wetterbedingungen zuverlässig. Sie können zur Hinderniserkennung und -verfolgung, Fahrspurerkennung oder Fahrzeugverfolgung eingesetzt werden.



**LIDAR** (Light Detection and Ranging): Die Fernerkundungstechnologie verwendet unter anderem für die Hinderniserkennung und Navigation Laserlicht, um schnell und genau Entfernungen zu messen und eine hochauflösende 3D-Karte der Umgebung zu erstellen.

**GPS** (Globales Positionsbestimmungssystem): Das satellitengestützte Navigationssystem liefert genaue Standort- und Zeitinformationen. In autonomen Fahrzeugen ermöglicht es eine globale Lokalisierung für die Navigation und Kartierung.

**TRÄGHEITSMESSGERÄTE** (IMUs – Inertial Measurement Units): IMUs sind Sensoren, die die Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit messen. In autonomen Fahrzeugen werden sie genutzt, um die Bewegung zu erfassen und zu steuern.

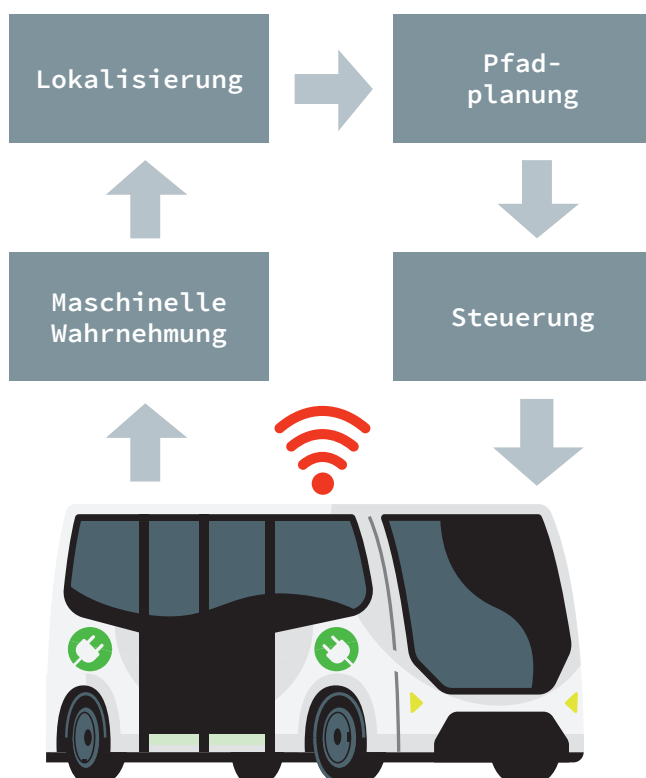


**DREHGEBER** Diese Sensoren messen die Rotationsposition der Räder, um Informationen über die Bewegung und Position des Fahrzeugs zu liefern.



Komponente	Anzahl	Gewicht (kg)	Nennleistung (W)	Gesamtnennleistung (W)
180° Mono-Layer LiDARS	6	6,6	8,0	48,0
360° Multi-Layer LiDARS	2	3,0	12,0	24,0
Computer	2	20,0	80,0	160,0
Trägheitsmessgeräte	1	0,0	0,2	0,2
Router	1	2,5	25,5	25,5
Front-/Rückkamera	4	1,5	1,0	4,0
GNSS Radio Modul	1	0,2	0,2	0,2
GNSS Modul	1	0,0	5,6	5,6
Rad Encoder	4	0,2	0,15	0,6
Lenk Encoder	2	0,2	0,6	1,2
Touchscreen	1	3,0	15,0	15,0
3G & Ethernet Router	2	1,0	6,0	12,0
4G Antenne	1	0,25	5,0	5,0
GPS Antenne	2	1,2	1,6	3,2
<b>Gesamt</b>		<b>39,65</b>		<b>304,5</b>

Quelle: Huber, D., Viere, T., Nemoto, E. H., Jaroudi, I., Korbee, D., & Fournier, G. (2022). Climate and environmental impacts of automated minibuses in future public transportation. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 102, 103160.



### Wie viel Hardware ist nötig?

Neben den Sensoren benötigen autonom fahrende Kleinbusse weitere Hardware. Der durchschnittliche Stromverbrauch eines Busses liegt bei ~550 Wh/km. Der Anteil der Hardware-Komponenten daran beträgt nur ca. fünf Prozent. Allerdings sorgt die Produktion der Komponenten für mehr als ein Viertel der CO<sub>2</sub>-Emissionen von autonom fahrenden Kleinbussen.

### KI in autonomen Fahrzeugen

KI-Systeme kommen bei der Maschinellen Wahrnehmung, Lokalisierung, Pfadplanung und Steuerung zum Einsatz.

### Maschinelle Wahrnehmung

Damit ein autonom fahrender Kleinbus sicher navigieren kann, müssen Sensoren seine Umgebung abtasten. Durch Maschinelles Lernen kann die große Menge an sensorischen Daten in Echtzeit verarbeitet werden. Algorithmen werden auf großen Datensätzen von kommentierten Bildern, LiDAR-Punktwolken und Radardaten trainiert, um Objekte erkennen und klassifizie-



Die geplante Fahrtroute muss sicher und effizient umgesetzt werden. In dieser Steuerungsphase müssen die Position, Geschwindigkeit und Ausrichtung des Fahrzeugs über Sensordaten ermittelt werden.

ren zu können. Faltungsneuronale Netze (Convolutional Neural Networks, CNN) können Fahrzeuge, andere Verkehrsteilnehmende, Straßenschilder, Fahrspuren und Ampeln identifizieren. Das Fahrzeug nutzt die mit den Sensordaten erstellte hochauflösende Umgebungskarte, um die Fahrtroute zu planen.

### Lokalisierung

Häufig werden Algorithmen zur gleichzeitigen Lokalisierung und Kartierung (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) eingesetzt. In Echtzeit wird mit den Daten der unterschiedlichen Sensoren eine Umgebungskarte erstellt, auf der die geschätzte Position und Ausrichtung des Fahrzeugs verzeichnet wird. Für die Lokalisierung werden vermehrt Deep-Learning-Algorithmen wie Faltungsneuronale Netze und rekurrente Neuronale Netze (RNN) eingesetzt.

### Pfadplanung

Damit ein autonomes Fahrzeug einer sicheren und effizienten Fahrtroute folgen kann, verarbeiten Algorithmen auf der Grundlage von mathematischen Modelldarstellungen dynamisch die Umgebungsdaten. Um die Pfadplanung zu verbessern, werden zunehmend Algorithmen des Maschinellen Lernens eingesetzt. Deep-Learning-Algorithmen wie Faltungsneuronale Netze und rekurrente Neuronale Netze können Muster in Sensordaten wie Kamerabildern und Punktwolken von LiDAR-Sensoren erkennen, um die Position und Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer\*innen zu schätzen.

### Steuerung

Die geplante Fahrtroute muss noch sicher und effizient umgesetzt werden. In dieser Steuerungsphase müssen die Position, Geschwindigkeit und Ausrichtung des Fahrzeugs über Sensordaten ermittelt werden. Bei der Fahrtrouten-Verfolgung stellen Steuerungsalgorithmen sicher, dass das Fahrzeug so

genau wie möglich der Fahrtroute folgt, wobei sie die Dynamik der Umgebung berücksichtigen. Aktuatoren wie die Lenkung, Drosselklappen und Bremsen kontrollieren die Bewegung des Fahrzeugs. Für die autonome Steuerung wird oft ein Modell des Fahrzeugs verwendet, um wichtige Prozessvariablen und die dynamischen Beziehungen zwischen ihnen zu identifizieren („modellprädiktive Steuerung“).

### Wie ressourcenintensiv darf die Mobilitätswende sein?

Autonomes Fahren funktioniert nur über den Einsatz von vielen Sensoren und Algorithmen. Autonom fahrende Kleinbusse können nicht als umweltschonende Hoffnungsträger der Mobilitätswende verkauft werden, solange nicht der Ressourcenverbrauch aller ihrer Komponenten mitkalkuliert wird. Werden durch sie Emissionen reduziert, da die Menschen im ländlichen Raum wegen eines praktischen öffentlichen Nahverkehrs weniger PKWs nutzen? Oder verursacht der Ressourcenverbrauch der Kleinbusse sogar noch mehr Emissionen? Und gibt es vielleicht einfachere Methoden, um die Mobilitätswende im ländlichen Raum voranzubringen? Antworten auf diese Fragen stehen aus, da noch keine ehrliche Debatte über Emissionsreduzierungen und den Ressourcenverbrauch der dafür notwendigen Technik stattgefunden hat.

ANDREAS  
MEYER



... ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am *Distributed Artificial Intelligence Labor* der TU Berlin und forscht dort unter anderem an Anwendungen von Machine-Learning-Verfahren zur Lastprognose und Nachhaltigkeit von KI-Systemen.

# Die KI-Mobilitätsrevolution auf dem Land: Optimismus trifft auf Ernüchterung

Der *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen* erwartet, dass ab 2025 erste autonome ÖPNV-Angebote eine „Robo-shuttle-Revolution“ einleiten würden. Auch die Politik spricht sich immer häufiger dafür aus, Mobilitätsangebote auf dem Land zunehmend durch KI zu automatisieren. Dadurch ist jedoch keineswegs sichergestellt, dass der besonders klimaschädliche Individualverkehr mit dem eigenen Auto abnehmen wird. Analysen der Mobilitäts- und Digitalstrategien deutscher Landesregierungen zeigen, dass politische Ziele im Hinblick auf einen nachhaltigen Nahverkehr schwammig bis nicht vorhanden sind.

KI-Systeme für den autonomen Nahverkehr gelten als Wirtschaftsmotor. In der Hessischen Mobilitätsstrategie prognostiziert ein Führungsmitglied eines Mobilitätsunternehmens, dass die Kosten des ÖPNV dank KI abnehmen würden. Das Niedersächsische Wirtschaftsministerium gibt sogar an, mit der Automobilindustrie in puncto Digitalisierung bereits „konkrete Absprachen“ getroffen zu haben. Zu neuen Geschäftsmodellen rund um den ÖPNV gehört, die Landbevölkerung besser anzubinden. Durch wegfallende Kosten für Fahrer\*innen sollen mehr Fahrten realisiert werden können, was Menschen ohne Auto mehr Flexibilität verspreche. Ob die neuen Angebote erschwinglich sein werden, hängt maßgeblich von den Nettoersparnissen durch den fahrerlosen Betrieb ab. Wie hoch diese Ersparnisse sein können, lässt sich durch die untersuchten aktuellen Projekte, bei denen autonome Kleinbusse auf dem Land getestet werden, noch nicht abschätzen. Vielmehr werde „eher versucht, es überhaupt irgendwie zum Laufen zu kriegen [...] und man ist schon froh, wenn man überhaupt eine Lösung findet, die technisch funktioniert“, so ein Interviewpartner, der KI-Anwendungen in der Sensordatenverarbeitung erforscht und anwendet.

Die Sustain-Analysen zeigen: Ökologische Fragen kommen sowohl in der Politik als auch in der Entwicklung deutlich zu kurz. Ein Testprojektmitarbeiter mit langjähriger Verkehrsbetriebserfahrung hält fest: „*Ich glaube, wir werden zumindest zu meinen Lebzeiten nicht einen kompletten automatisierten ÖPNV erleben. Vor allem nicht auf dem Land.*“ Bislang pendeln lediglich vereinzelte automatisierte Kleinbusse zwischen touristischen Attraktionen, Universitäten und Kurkliniken hin und her. Die Geschwindigkeit liegt in der Regel bei 15 bis 18 km/h. Sicherheitshalber ist eine Begleitperson an Bord.

Aktuell deutet wenig darauf hin, dass autonome Kleinbusse die tiefgreifenden strukturellen Probleme der Mobilität im ländlichen Raum nachhaltig lösen können. Die Erwartungen in der Politik sind hoch, fundierte Belege fehlen jedoch. Bahnen oder auch große Busse zu nutzen bleibt nahezu uneingeschränkt klimafreundlicher als die Nutzung kleinerer Fahrzeuge, auch wenn sie elektrisch angetrieben werden. Statt uns mit der Frage zu beschäftigen, wie wir Menschen ersetzen können, die Fahrzeuge steuern, sollten in Politik, Forschung und Entwicklung Antworten auf die grundsätzliche Frage gesucht werden, wie die Transformation zu einem nachhaltigen Verkehr gelingen kann.

**FRIEDER  
SCHMELZLE**



...ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am *Institut für ökologische Wirtschaftsforschung*. Er erforscht soziale und technische Bedingungen für eine nachhaltige Transformation sowie deren Governance, insbesondere in Bereichen digitaler Technologien und des Energiesystems.



# Wo Digitalrechte und Klimagerechtigkeit zusammenfließen

Wir stecken in einer Klimakrise: Die wissenschaftliche Beweislage ist eindeutig. Damit die Gesellschaft gerechter und nachhaltiger wird, müssen wir unsere Lebensweise schnell ändern. Dies wird ohne ein nachhaltiges Internet nicht möglich sein. Aktuell ist das Internet noch die größte von Kohlekraftwerken betriebene Maschinerie der Welt. Der Aufbau einer nachhaltigen Internet-Infrastruktur allein wird aber nicht reichen. Wir müssen uns fragen, inwiefern das Internet mit den Forderungen und Zielen im Einklang steht, die Klimabewegungen und Bewegungen für Umweltgerechtigkeit stellen – und ebenso, an welchen Stellen es diesen Forderungen und Zielen im Weg steht. In diesem Zusammenhang müssen auch die Umweltfolgen von Online-Anwendungen untersucht werden, die auf KI-Systemen beruhen.

Obwohl sie üblicherweise unabhängig voneinander betrachtet werden, haben die Umwelt und das Internet einiges gemein: Beide Phänomene sind weltumspannend und eng mit der Umsetzung und Gefährdung von Menschenrechten verbunden; zudem erfordern beide eine internationale Kooperation, damit die Allgemeinheit Nutzen aus ihnen ziehen kann. Das Internet ist eines der vielen komplexen Probleme in der Gemengelage zwischen Klimagerechtigkeit und Technologie. Es kann sich schädlich auf die Umwelt und das soziale Zusammenleben auswirken, etwa wenn durch den Ressourcenbedarf von Rechenzentren die lokale Bevölkerung unter Wasserknappheit leidet (siehe Seite 26 in diesem Magazin) oder die fossile Industrie mit dreisten Desinformationskampagnen Greenwashing betreibt.

Trotz solcher Verflechtungen sind philanthropische Finanzierungsstrategien, die sowohl die Umwelt als auch das Internet umfassen, noch rar gesät. Mit der Unterstützung der Ford Foundation, der Mozilla Foundation und des Ariadne-Projekts

können wir nun Forschungsergebnisse darüber vorweisen, wie Klimagerechtigkeit und Digitalrechte miteinander zusammenhängen. Unsere Publikationen richten sich zwar in erster Linie an Geldgeber\*innen, die Initiativen für Digitalrechte oder entsprechende Technologien fördern möchten. Wir wollen damit aber auch intersektional arbeitende Organisationen und Geldgeber\*innen erreichen, die klimarelevante Technologien finanzieren. Solche Technologien berühren nämlich oft Felder,

die für die Menschenrechte relevant sind: Migration, Grundbesitz oder auch indigene Rechte.

Umwelt und  
Internet sind  
weltumspannende  
Phänomene  
und eng mit der  
Umsetzung und  
Gefährdung von  
Menschenrechten  
verbunden.

Die NGO The Engine Room unterstützt zivilgesellschaftliche Organisationen darin, Technologie und Daten strategisch, effektiv und verantwortungsbewusst einzusetzen. In ihrem Bericht At the confluence of digital rights and climate & environmental justice (*Das Zusammenfließen von Digitalrechten, Klima- und Umweltgerechtigkeit*) gibt sie einen anschaulichen und durchdachten Überblick über die Probleme, die für die Klima- und Umweltgerechtigkeit aus technologischen Innovationen erwachsen. Sie klärt

über Desinformationen über die Klimakrise auf und analysiert, wie digitale Infrastrukturen die Umwelt belasten können. Sie erklärt, was Open Data mit der Überwachung der Klimakrise zu tun hat, informiert darüber, dass Umweltaktivist\*innen und Verteidiger\*innen von Landrechten immer stärker überwacht werden, und erläutert, wie Migrationsgerechtigkeit hergestellt werden kann. Außerdem wird in dem Bericht ausgeführt, bei welchen Themen und Herausforderungen zwischen Bewegungen für Klimaschutz und Bewegungen für Digitalrechten Uneinigkeit herrscht. Abschließend erhalten Förder\*innen von Digitalrechten Empfehlungen, wie sie das Themengebiet Klimagerechtigkeit und Technologie in ihre Förderstrategie integrieren können.

Der Bericht *At the confluence of digital rights and climate & environmental justice* kommt zu vier wesentlichen Schlussfolgerungen:

**1. Klima- und Tech-Bewegungen können voneinander lernen und einander unterstützen:** Bewegungen, die sich der Klima- und Umweltgerechtigkeit auf der einen Seite und der technologischen Gerechtigkeit auf der anderen Seite verschrieben haben, könnten ihr Verhältnis durch den Ausbau von Kollaborationen verbessern. Dazu sollten sie strategisch günstige Zeitpunkte finden und Gelegenheiten ergreifen, um wechselseitig Lernprozesse anzustoßen und gemeinsam ein tieferes Verständnis von Sachverhalten zu erlangen, die für bei-

den Bewegungen wichtig sind. Es wäre ein gemeinsamer Schritt nach vorne, sich über intersektionale und vertrauensbasierte Finanzierungsansätze beraten zu lassen.

**2. Der Norden sollte dem Süden die Führung überlassen:** Organisationen aus der südlichen Hemisphäre, die sich für Digitalrechte einsetzen, arbeiten schon lange daran, die Verbindung zwischen ausbeuterischen Industriepraktiken und digitalen Technologien aufzudecken. Entsprechende Organisationen aus der nördlichen Hemisphäre könnten nicht nur von ihnen lernen, sondern sollten deren Führungsrolle anerkennen. Immer häufiger werden unmittelbar Betroffene durch die Vergabe von Finanzmitteln ermächtigt. Dahinter steht die Über-





zeugung, dass diejenigen, die ein Problem aus nächster Nähe erleben, am ehesten dazu in der Lage sind, es zu lösen. Wenn wir über Investitionsmöglichkeiten nachdenken, die die Entwicklung klimagerechter, innovativer Technologien begünstigen sollen, könnten wir ein Zeichen setzen und Gruppierungen aus südlichen Ländern einbeziehen, die bewiesen haben, dass sie sowohl über die Erfahrung als auch über die Kreativität verfügen, der Klimakrise mit wirksamen Maßnahmen zu begegnen.

**3. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion reicht nicht aus:** Wir sollten dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, den das Internet verursacht, deutlich mehr Aufmerksamkeit schenken, um nachhaltige Finanzierungsmodelle zu entwickeln. Aber auch auf vielen anderen Gebieten ist ein Umdenken dringend nötig: Die Tech-Konzerne müssen endlich etwas gegen die grassierenden Desinformationen über die Klimakrise tun und der Einsatz von hochentwickelten Cyberwaffen gegen Klima- und Umweltaktivist\*innen muss aufhören.

**4. Daten verursachen viele Probleme, können aber auch Teil einer Lösung sein:** Wir brauchen leicht zugängliche und verlässlichen Daten über klimatische Entwicklungen und Umweltentwicklungen, um Desinformationen einzudämmen, politische Programme voranzutreiben und die öffentliche Meinung zu beeinflussen bzw. das öffentliche Verständnis zu fördern. Tech-Unternehmen halten noch immer wichtige Informationen zurück, etwa über den Wasser- und Energieverbrauch von Rechenzentren und die Wirksamkeit von Initiativen gegen Desinformationen. Gleichzeitig entwickeln Big-Tech-Unternehmen riesige Datenmodelle, die ihr Wachstum beschleunigen sollen, aber für einen gewaltigen Emissionsausstoß sorgen. Um dieser Tendenz entgegenzuwirken, müssen wir untersuchen, wie Daten, Klima und Umwelt zusammenhängen.

**DR. MICHAEL  
BRENNAN**



... ist Senior Program Officer bei der Ford Foundation. Er gehört zum Team „Technology and Society“ und betreut ein Förderprogramm, bei dem Fragen im Zusammenhang mit dem offenen Internet aus einer technischen Perspektive untersucht werden. Außerdem hilft Michael dabei, ein technologisches Stipendienprogramm zu betreuen, das die Stiftung entwickelt. Michael hat seinen Doktor in Informatik an der Drexel University erworben.

**MAYA  
RICHMAN**



... beschäftigt sich seit über zehn Jahren auf internationaler Ebene mit Menschenrechten und Technologie. Sie hat gemeinsam mit Stiftungen, Tech-Unternehmen und Organisationen, die sich für soziale Gerechtigkeit einsetzen, auf der ganzen Welt Retreats, Konferenzen und Workshops zu den Themen Allgemeinwohl, digitale Sicherheit und Technologiestrategien organisiert. Aktuell arbeitet sie für das „Green Screen“-Projekt der Europäischen Grünen zum Thema Klimagerechtigkeit und digitale Rechte. Maya bringt Praktiker\*innen und Stiftungen zusammen, damit das Internet gerechter und nachhaltiger wird.

#### Links:

Business for Social Responsibility (BSR): [Building a High-Quality Climate Science Information Environment: The Role of social media](#)  
 Association for Progressive Communication (APC): [At the interstice of digital rights and environmental justice. Four issue briefs to inform funding](#)  
 Open Environmental Data Project & Open Climate: [Climate Justice & the Knowledge Commons: Opportunities for the digital rights space / Environmental justice, climate justice, and the space of digital rights](#)





# So steuern wir die grüne Digitalisierung

Verschärft die Digitalisierung eine der schlimmsten Krisen unserer Zeit, die Klimakrise? Oder kann sie dazu beitragen, die Krise zu bewältigen? Das liegt in unserer Hand. Derzeit verursachen Informations- und Kommunikationstechniken geschätzt zwei bis vier Prozent aller Treibhausgase weltweit und damit mindestens so viel wie Deutschland. Weltweit steigt der Energieverbrauch durch Rechenzentren, Datenströme und private Endgeräte so enorm an, dass wir Standards und Bedingungen formulieren müssen, damit in Zukunft positive Auswirkungen der Digitalisierung auf Klima und Umwelt überwiegen. Wir können entscheiden, ob die Digitalisierung eine Umweltbelastung wie die Kohleverbrennung oder ein Innovationsfeld wie die erneuerbaren Energien wird. Wir müssen jetzt die Chance nutzen, mit digitalen Lösungen den Umwelt- und Klimaschutz voranzutreiben.

Klimaneutrale Rechenzentren stehen zu Recht gerade im Brennpunkt der Diskussion, wie sich Digitalisierung nachhaltiger gestalten lässt. Wir sollten unseren Fokus aber nicht nur darauf beschränken. Eine sinnvolle nachhaltige Maßnahme wäre auch, die Menge unnötig generierter Datenströme zu begrenzen. Ein Beispiel: Bisher gibt es kaum nachhaltige Vorgaben für die Software-Entwicklung. Eine ineffiziente Programmierung wird meist durch schnellere Prozessoren oder leistungsfähigere Hardware-Komponenten ausgeglichen. Dabei könnten wir durch „Green Coding“ die Energiebilanz deutlich verbessern. Daten-, Ressourcen- und Energiesparsamkeit müssen neue Gebote bei der Software-Entwicklung werden. Dafür können wir Anreize schaffen, Nachhaltigkeit in universitären Lehrplänen verankern und Fortbildungsangebote ausarbeiten.

Wir brauchen europäische Standards für den Energie- und Ressourcenverbrauch von Soft- und Hardware. Vor allem die großen Plattformen verursachen mit dem maßlosen Sammeln all unserer persönlichen Daten für ihr Werbegeschäft einen immensen Stromverbrauch. Wir Grüne drängen im Europaparlament auf Standards für datensparsamere Geschäftsmodelle und fordern mehr Transparenz für die Endverbraucher\*innen: Sie sollten Browser, Suchmaschinen, digitale Marktplätze und soziale Netzwerke in Zukunft im Hinblick auf



ihren Strom- und Ressourcenverbrauch vergleichen können. Nur so können sie sich bewusst zum Beispiel für einen nachhaltigen Browser entscheiden. Die großen Digitalplattformen machen gerade bei Internet-Dienstleistungen Profit, die Nutzer\*innen nicht mit Geld bezahlen: Das aktuell dominierende, datenhungrige Werbemodell spült den Unternehmen enorme Summen in die Kassen. Gerade dort könnten sich Wettbewerber durch Nachhaltigkeitsmerkmale auszeichnen, etwa transparente Energieeinsparungen durch Datensparsamkeit.

Im Europaparlament werde ich außerdem dafür, den Green Deal und die Digitalisierung lückenlos miteinander zu verzahnen. Ich fordere für alle aktuell auf EU-Ebene erarbeiteten Gesetze Nachhaltigkeitskriterien ein. Die Bundesregierung muss sich im europäischen Rat für strikte Regeln im Data Act und im AI Act einsetzen. Da es bisher zu wenige aussagekräftige Daten zum Energie- und Ressourcenverbrauch von KI-Systemen gibt, müssen unter anderem im AI Act klare Transparenzregelungen geschaffen werden, um effiziente Technologien zu fördern. Die im AI Act enthaltene Risikodefinition muss um die Risiken erweitert werden, die der Einsatz von KI-Systemen für die Umwelt haben kann. Die Europäische Union muss darüber hinaus einen Rahmen für die Messung der Umweltauswirkungen von KI-Systemen schaffen.

Außerdem setzen die Grünen sich dafür ein, dass kein europäischer Elektroschrott mehr in ärmeren Weltregionen abgeladen wird, der

## Die Reparatur eines defekten Geräts muss günstiger werden als der Kauf eines neuen.

die dortige Bevölkerung Gesundheits- und Sicherheitsrisiken ausgesetzt. Die Ausbeutung von Menschen und der Umwelt darf nicht länger die Grundlage der Digitalisierung sein. Wir brauchen bessere Bedingungen beim globalen Abbau von Rohstoffen und Standards für Lieferketten nach Europa. Gleichzeitig muss die Reparatur eines defekten Geräts günstiger werden als der Kauf eines neuen. Das erreichen wir durch eine einfache Reparierbarkeit, standardisierte Bauteile,

eine längere Verfügbarkeit von Ersatzteilen, die Bereitstellung von Reparaturanleitungen und eine Verlängerung des Gewährleistungszeitraums. Durch solche verbindlichen Standards könnten wir die Massen von Elektroschrott reduzieren und Kosten für das Entsorgen und Recyclen einsparen. Mit verbindlichen Nachhaltigkeitslabels (die beispielsweise Auskunft über die Reparierbarkeit des Produkts geben) oder digitalen Produktpässen würden wir nachhaltigere Konsumentenscheidungen für recyclingfähige Waren ermöglichen.

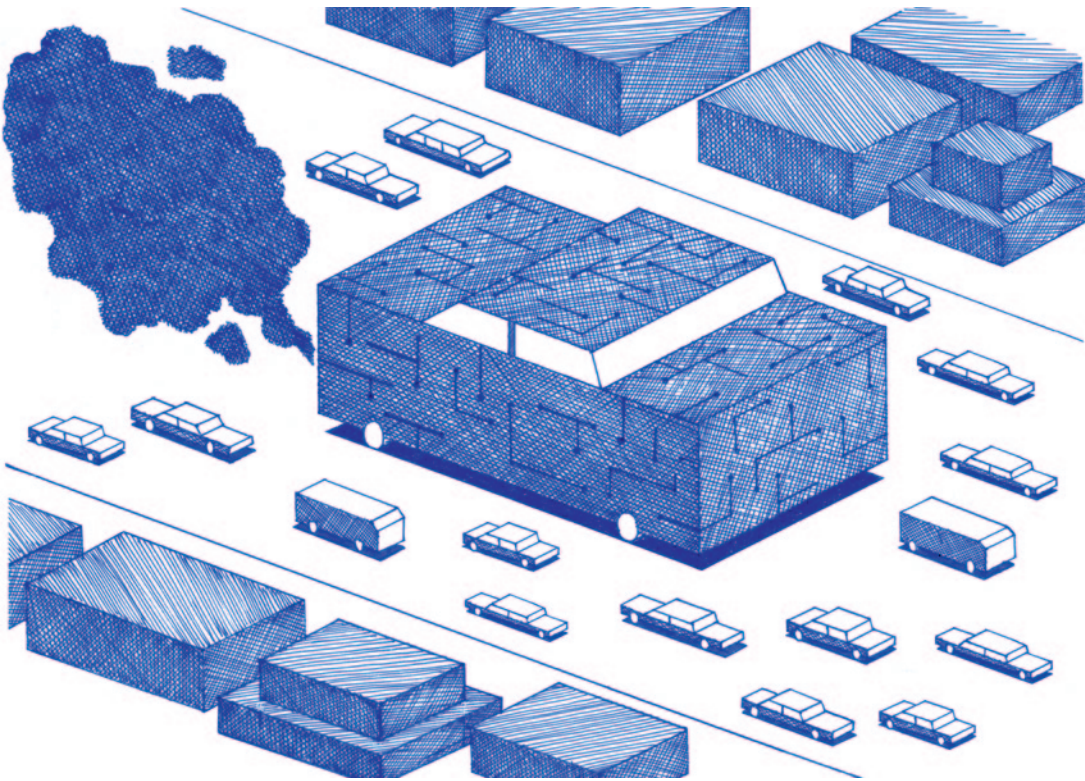
Wie verhindern wir, dass durch Digitalisierung erzielte Effizienzgewinne von zusätzlichem Konsum aufgeessen werden, zum Beispiel wenn wir durch eine verbesserte Datenübertragung mehr digitale Dienste in Anspruch nehmen als vorher? Um solche „Rebound-Effekte“ zu vermeiden, brauchen wir Steuerungsinstrumente und absolute Grenzen für den Ressourcenverbrauch der digitalen Transformation. Die Fiskalpolitik muss umweltschädliche Subventionen streichen und die Steuerlast stärker von der Arbeit auf den Ressourcenverbrauch verlagern.

Eine konsequente Neuausrichtung der Digitalisierung an Nachhaltigkeit würde auch europäischen Unternehmen neue Marktchancen eröffnen. Bislang dominiert eine Handvoll Großkonzerne die Branche und zementiert ihre Marktmacht mit einem intransparenten Datengeschäft, das unsere Demokratie aushöhlt, die Klimakrise verschärft und den Wettbewerb erstickt. Es lohnt sich also, für einen digitalen Green Deal zu streiten!

ALEXANDRA  
GEESE



... ist seit 2019 Mitglied des Europäischen Parlaments und die Digitalexpertin der Fraktion Greens/EFA. Sie war an den Verhandlungen zum Digital Services Act beteiligt, mit dem digitale Plattformen und soziale Netzwerke reguliert werden sollen. Seit 2022 ist sie stellvertretende Fraktionsvorsitzende. Ihre Schwerpunkte sind die Themen Demokratie im digitalen Zeitalter, nachhaltige Digitalisierung und Geschlechtergerechtigkeit.



# Es geht weiter mit **sustain**

In der nächsten Ausgabe werden wir uns näher mit der Frage befassen, wer dafür Verantwortung übernehmen könnte, Irrfahrten bei der KI-Entwicklung wieder in die richtige Richtung zu lenken. Einige unserer Themen:

- ▶ Online-Werbung mit KI
- ▶ Tools, um die Nachhaltigkeit von KI zu fördern
- ▶ Wie die Politik KI regulieren sollte, damit sie nachhaltiger wird

Wir zeigen in einer Fallstudie, wie intransparente Marketing-KI Nutzer\*innen beim Online-Shopping in Abhängigkeiten verwickelt. Außerdem stellen wir digitale Bewertungstools vor, die wir entwickelt haben, damit KI-Entwickler\*innen ihre Systeme nachhaltiger gestalten können.



## Impressum

### Sustain Magazin #2

März 2023

Online verfügbar unter <https://algorithmwatch.org/de/sustain-magazin-maerz-2023/>

### Herausgeber

AW AlgorithmWatch gGmbH

Verantwortlicher (gemäß § 5 TMG und § 55 RStV): Matthias Spielkamp

Linienstr. 13, 10178 Berlin, Deutschland

### Inhaltliche Leitung

Anne Mollen

### Redaktionelle Leitung

Waldemar Kesler

### Inhaltliche Mitarbeit

Andreas Meyer (DAI Labor, TU Berlin)

Friederike Rohde (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung)

Frieder Schmelzle (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung)

Josephin Wagner (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung)

### Illustrationen

Juliette Baily

Kevin Lucbert

### Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Marc Thümmeler

### Gestaltung / Layout

Beate Autering

Entstanden im Rahmen des Projekts

„SustAI: Der Nachhaltigkeitsindex für Künstliche Intelligenz“



Projektpartner:



Diese Publikation steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 3.0 Deutschland:

<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/legalcode>

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Projektpartner:

### AlgorithmWatch

AlgorithmWatch ist eine gemeinnützige Forschungs- und Advocacy-Organisation mit dem Ziel, Systeme automatisierter Entscheidungsfindung (ADM) und deren Auswirkungen auf die Gesellschaft zu beobachten und zu analysieren. Eine Säule unserer Arbeit ist die Auseinandersetzung mit ADM-Systemen und Nachhaltigkeit. <https://algorithmwatch.org/de/>



### Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

Das IÖW ist ein führendes wissenschaftliches Institut auf dem Gebiet der praxisorientierten Nachhaltigkeitsforschung. Wir erarbeiten Strategien und Handlungsansätze für ein zukunftsfähiges Wirtschaften – für eine Ökonomie, die ein gutes Leben ermöglicht und die natürlichen Grundlagen erhält. Seit über 30 Jahren beschäftigen wir uns mit Zukunftsfragen und finden immer wieder neue, oft auch ungewöhnliche Antworten. <https://www.ioew.de/>



### Distributed Artificial Intelligence Labor

Das DAI-Labor an der TU Berlin sieht sich als Mittler zwischen universitärer Forschung und industrieller Verwertung. Mit unserem interdisziplinären Team erzeugen wir Innovationen und überführen universitäre Forschung in Anwendungen des täglichen Lebens. Dies geschieht in enger Kooperation mit anderen wissenschaftlichen und industriellen Institutionen. <https://dai-labor.de/>

