



Der richtige Griff in den Werkzeugkasten

Warum beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz eine Balance gefunden werden sollte und wie einzelne Instrumente helfen, Ressourcen nachhaltiger auszuschöpfen

Von Dr. Christiane Plociennik und Dr. Friedemann Kammler



Künstliche Intelligenz (KI) hält zunehmend Einzug in unseren Alltag. Zu den typischen KI-Anwendungen gehören die stabile Erkennung von Objekten oder biometrischen Merkmalen, Assistenzsysteme mit den Fähigkeiten, gesprochene Sprache zu verstehen und auszugeben, oder Roboter, die eigenständig erforderliche Arbeiten erkennen, planen und ausführen. KI-Anwendungen implementieren hierfür eine Reihe hochtechnisierter Fähigkeiten: Dazu zählt die prinzipielle Erfassung des relevanten Kontexts auf Ebene der Daten, die beispielsweise von verbundenen Sensorsystemen (Kameras, Mikrofone) aufgenommen oder in Form von Dokumenten bereitgestellt werden können. Hinzu kommt die Fähigkeit zur Datenverarbeitung, wobei beispielsweise die Erkennung komplexer Muster oder die Ableitung optimaler Handlungsstrategien und Empfehlungen beabsichtigt sein können.

Durch den Fortschritt in der KI-Grundlagenforschung werden solche Fähigkeiten

kontinuierlich erweitert und in neuen, innovativen Anwendungen erprobt. Entsprechend hat die KI als Lösungsbaustein längst nicht nur Einzug in spezielle Laborumgebungen, sondern auch in alltägliche Produkte und Dienstleistungen gehalten und wird zunehmend flächendeckend verfügbar. In diesem Prozess entstehen jedoch auch intensive Ressourcenbedarfe, indem teure IT-Systeme integriert werden, Rechenaufwand zum Trainieren von Erkennungsmodellen verursacht wird und (spätestens seit Einführung der gesetzlichen Pflicht, für digitale Produkte und Dienstleistungen über Jahre Updates bereitzustellen) kontinuierliche Pflege und Wartung erforderlich ist. Entsprechend schlecht fällt die Bilanz vieler Hightech-Anwendungen aus, sowohl im Verbrauch als auch in der Rückführung genutzter Ressourcen. Zudem besteht die Gefahr, dass extrem kurze Lebenszyklen integrierter KI-Komponenten auch die Lebensdauer von Kernprodukten weiter verkürzen und sich so das Grundproblem verschärft.

Natürlich muss in diesem Zusammenhang kritisch hinterfragt werden, inwiefern KI-Anwendungen durch ihren inhärent hohen Ressourcenbedarf Teil des Problems sind, oder ob sie mit ihrer Fähigkeit, komplexe Systeme in einer dynamischen Welt zu beherrschen, zur Lösung schwieriger Probleme beitragen. Unsere hier vertretene Sicht zielt in der laufenden Diskussion weniger auf die Abwägung ab, ob KI in einzelne Produkte und Dienstleistungen integriert werden sollte. Vielmehr diskutieren wir, wie KI-Anwendungen ihren Ressourceneinsatz legitimieren und schrittweise verbessern können.

Die Potentiale

Ein vielversprechendes Anwendungsgebiet für KI ist die Kreislaufwirtschaft. Sie versucht, Abfall zu vermeiden und Ressourcen möglichst effizient zu nutzen, und gilt daher in einer Welt knapper werdender Rohstoffe als zukunftsfähige Wirtschaftsweise. Praxisanwendungen demonstrieren bereits heute, wie

KI im Abfallmanagement für die Rückführung von Materialien eingesetzt werden kann. So werden Stoffe in vermischten Abfallmengen durch Technologien wie KI-basierte Objekterkennung automatisiert erkannt und – in fortschrittlichen Anwendungen durch geeignete Robotik – zunehmend materialrein sortiert. Zunehmend, weil die voll- und eigenständige Trennung weiterhin vor einer Reihe von Herausforderungen steht. Hierzu zählt die sichere Erkennung von Abfällen auch dann, wenn sie durch andere Abfälle verdeckt, verschmutzt oder verformt sind.

KI kann aber nicht nur helfen, Produkte am Ende ihres Lebenszyklus nachhaltiger zu nutzen. Potentiale ergeben sich auch für die Entwicklung von neuen Produkten und im Verlauf ihrer Nutzung. So werden KI-basierte Verfahren bereits heute eingesetzt, um Produkte während der Konstruktion automatisch so zu optimieren, dass sie neue Qualitäten erreichen oder – bei Erhaltung ihrer Eigenschaften – ihren Materialeinsatz reduzieren. Typische Anwendungen reichen von der iterativen Verbesserung aerodynamischer Bauteile bis hin zum „generativen“ Design von Komponenten.

Insbesondere wissensbasierte Anwendungen können aber auch dazu beitragen, Produkte neu zu denken und gewünschte Eigenschaften – beispielsweise ihre Reparierbarkeit – im Blick zu behalten und vorschlagsbasiert durchzusetzen. Hierfür werden in der Entwicklungsumgebung intelligente Werkzeuge eingesetzt, die die Produktentwicklung evaluieren und mögliche Gestaltungsalternativen bewerten und vorschlagen. Irreversible Klebverbindungen werden so beispielsweise als Hemmnis erkannt und an geeigneter Stelle durch reversible Steck- oder Schraubverbindungen ersetzt.

Schließlich bleibt die Frage, wie KI neben Entwickeln und Entsorgen auch Endkunden bei der nachhaltigeren Nutzung von Produkten unterstützen kann. Die Herausforderung liegt hier darin, Produkte kontinuierlich an sich individuell verändernde tägliche Notwendigkeiten und Bedarfe anzupassen – oder sie unkompliziert an andere Endkunden zur Wiedernutzung zu übertragen. Gerade in letzterem Fall zeigen aktuelle Plattformen am Markt sehr

erfolgreich, wie nicht mehr benötigte Produkte in wenigen Schritten angeboten werden können, wobei intelligente Assistenzsysteme typische Brokerfunktionen wie die Beschreibung, Bepreisung und das letzte Inserat automatisiert beitragen. Hierfür können in Zukunft Informationen aus digitalen Produktpässen die Datengrundlage bilden.

Digitale Produktpässe enthalten Daten über das Produkt, seine Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Sie werden ab 2026 zunächst für Batterien mit einer Kapazität von mehr als zwei Kilowattstunden eingeführt und später um andere Sektoren erweitert. Mit Hilfe der in den Produktpässen enthaltenen Daten können Informationen über das Produkt entlang des Lebenszyklus ausgetauscht werden. Die Daten können beispielsweise auch als Grundlage für KI-Algorithmen dienen, die helfen zu entscheiden, was mit einem Produkt am Ende seines Lebenszyklus geschehen soll: Ist es nachhaltiger, das Produkt weiter zu nutzen, oder sollte es besser recycelt werden?

Ist eine Weiternutzung sinnvoll oder soll ein möglichst guter Preis für gebrauchte Produkte erzielt werden, können Reparatur- und Wiederaufbereitungsschritte notwendig sein. Hierzu zählt beispielsweise der Ersatz eines verkratzten Displays oder eines defekten Akkus vor dem Verkauf eines gebrauchten Smartphones. Auch in diesen Schritten liegt zusätzlicher Aufwand, indem der Zustand zunächst bewertet wird und abgewogen wird, inwiefern eine Wiederaufbereitung ökonomisch sinnvoll und technisch möglich ist. Im zweiten Schritt erfolgt die eigentliche Arbeitsleistung, die entweder durch einen geeigneten Dienstleister zu erbringen ist oder mit Hilfe von Assistenzsystemen selbst erbracht wird oder möglicherweise sogar vollautomatisiert robotisch durchgeführt werden kann.

Weniger erschlossen sind bislang die Möglichkeiten zur Umnutzung. Diese zielt darauf ab, für nicht mehr benötigte Produkte sekundäre Anwendungen zu identifizieren, die einen neuen Nutzen entfalten. Um geeignete Umnutzungsmöglichkeiten automatisiert erkennen und vorschlagen zu können, greifen KI-basierte Assistenzsysteme entweder auf das Erfahrungswissen anderer Endkunden

zurück oder versuchen aus Herstellerwissen wie der Produktstruktur alternative Nutzungskonzepte abzuleiten.

Es bleibt festzuhalten, dass Innovation allein keine verlässliche Messgröße darstellt, um nachhaltigen Fortschritt zu erreichen – es gilt, den Ressourcenverbrauch während des gesamten Produktlebenszyklus mitzubetrachten. Dabei kann KI helfen.

„Rote“ versus „grüne“ KI

Wie bereits angedeutet, liegt das Problem vieler KI-Technologien darin, dass sie selbst große Mengen an Ressourcen benötigen. Deep-Learning-Modelle, die viele Trainingsdaten und viel GPU-Rechenleistung benötigen, sind besonders „ressourcenhungrig“. Unter Ressourcen verstehen wir hier sowohl die Rohstoffe für die Herstellung der Hardware (zum Beispiel Metalle, seltene Erden) als auch den Stromverbrauch für Training und Betrieb der Modelle. Die Entsorgung der Hardware nach deren Lebensende benötigt ebenfalls Ressourcen.

Man schätzt, dass das Training eines großen Sprachverarbeitungsmodells, wie es beispielsweise ChatGPT zugrunde liegt, 300 Tonnen CO₂-Äquivalent verursacht. Dies entspricht in etwa dem CO₂-Ausstoß von fünf Autos über deren gesamte Lebensdauer. Der Betrieb des trainierten Modells verursacht dann immer noch schätzungsweise 23 Kilogramm CO₂-Äquivalent pro Tag. Um das Bewusstsein für diese Ressourcenverbräuche zu steigern und ihnen entgegenzuwirken, hat sich der Begriff der „grünen KI“ – im Gegensatz zur „roten KI“ – etabliert. Unter „roter KI“ versteht man „traditionelles“ Deep Learning ohne Rücksicht auf den Ressourcenverbrauch. Die „rote KI“ ist, nebenbei bemerkt, auch recht exklusiv, da man die notwendigen (auch monetären) Ressourcen benötigt, um beim Wettrennen um immer größere Modelle mit immer genaueren Ergebnissen mithalten zu können. Die „grüne KI“ versucht hingegen einen Kompromiss zu finden zwischen neuen Erkenntnissen, die man auf Basis der KI gewinnt, und dem dafür benötigten Ressourcenverbrauch.

Welche Lösungsansätze gibt es nun für „grüne KI“? Zum einen wären hier methodi-

sche Innovationen zu nennen – beispielsweise sogenannte Tiny Models, die mit weniger Speicher und Rechenaufwand auskommen und auf ressourcenbeschränkten Geräten ausgeführt werden können. Zum anderen muss man über eine Rekalibrierung der Zielgrößen nachdenken: Für viele Anwendungen sollte der Fokus nicht mehr auf der größtmöglichen Genauigkeit, sondern auf der bestmöglichen Effizienz liegen. Suffizienz ist hier das Stichwort – die KI-Modelle sollen so gut sein, dass sie ihre Aufgaben erfüllen können, gleichzeitig aber so ressourceneffizient wie möglich.

Flankierend bedarf es einer Debatte über die Einsatzgebiete von KI. KI zu benutzen oder nicht zu benutzen ist schließlich eine gesellschaftliche Entscheidung. Man muss KI nicht prinzipiell überall einsetzen, wo es möglich wäre. Sollte es beispielsweise erlaubt sein, Modelle zu trainieren, die dann für ethisch zweifelhafte Zwecke benutzt werden wie zum Beispiel automatische Bewerberselektion? Mittelfristig gilt es, beim KI-Einsatz eine Balance zwischen Ethik, Nachhaltigkeit und Ressourceneinsatz zu finden.

Ein Wertversprechen

In der Umsetzung der skizzierten Anwendungen liegt – neben der technischen Machbarkeit – die Herausforderung, attraktive Be-

dingungen für alle Beteiligten zu erreichen. Damit das gelingt, muss einerseits ein klares Wertversprechen herausgestellt werden. Dieses kann in monetären Vorteilen liegen, die beispielsweise durch den Verkauf nicht mehr benötigter Produkte oder durch eingesparte Neuinvestitionen realisiert werden können. Als Teil komplexerer Wertversprechen können aber auch immaterielle Werte betrachtet werden, wie die Reduktion eines persönlichen ökologischen Fußabdrucks. Andererseits steigt die Attraktivität erzeugter Angebote, wenn Aufwände, die durch die Auswahl, Übertragung, Umnutzung, Verbesserung und Rückführung für alle Beteiligten entstehen, weitestgehend reduziert werden.

Gelingt die Definition attraktiver Wertversprechen, kann die darauffolgende Entwicklung neuer Geschäftsmodelle einen Beitrag dazu leisten, das Marktpotential auch wirtschaftlich zu heben. Insbesondere im Endkundensegment zeigen zurzeit sogenannte Servitizationstrategien bereits eine vielversprechende Perspektive, indem Anbieter Produkte in Dienstleistungen integrieren und so flexiblere Rahmenbedingungen schaffen. Der urbane Mobilitätssektor illustriert diesen Effekt sehr treffend, indem unterschiedliche Produkte wie E-Roller, Leihfahrräder und Stadtteilautos in übergeordneten Mobilitätsdienstleistungen angeboten werden. Der technischen Herausforderung, Ressourcen im

Ökosystem dynamisch zu allokkieren, steht hier der direkte Mehrwert der intensiveren Auslastung von Einzelprodukten gegenüber. Hinzu kommt, dass Reparaturen und Ausfälle besser kompensiert werden können und – insbesondere durch aktives Flottenmanagement – Einzelteile verschlissener Produkte in Wartung und Instandhaltung weiterhin genutzter Produkte zurückgeführt werden können. Gelingt die flächendeckende Etablierung derartiger Systeme, zeichnen sich umgekehrt auch Potentiale für die technische Entwicklung einer neuen Generation KI-getriebener Produkte ab. Denn Technologien mit der Fähigkeit, den Kontext ihrer Anwendung und Präferenzen ihrer individuellen Nutzer zu erkennen und sich flexibel daran anzupassen, haben die Aussicht, eine höhere Nutzungsintensität und damit mittelbar eine höhere Wertschöpfung zu erreichen.

Kann Künstliche Intelligenz also dabei helfen, Produkte und Dienstleistungen nachhaltiger einzusetzen? Aus unserer Sicht ist der Fortschritt in der KI als Werkzeugkasten zu begreifen, dessen einzelne Instrumente an unterschiedlichen Stellen im Produktlebenszyklus genutzt werden können, um eingesetzte Ressourcen in Zukunft nachhaltiger auszuschöpfen. Damit die schon heute theoretisch verfügbaren Instrumente zu einem echten gesellschaftlichen Fortschritt beitragen können, besteht jedoch die Notwendigkeit, technische und ökonomische Möglichkeiten kontinuierlich mit ethischen und rechtlichen Bedenken wie dem Eingriff in die individuelle Privatsphäre zu vereinbaren und attraktive, ressourcenschonende Anwendungen zu finden.

Dr. Christiane Plociennik ist beim Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) Senior Researcher im Forschungsbereich Innovative Fabriksysteme in Kaiserslautern.

Dr. Friedemann Kammler ist beim DFKI stellvertretender Leiter des Forschungsbereichs Smart Enterprise Engineering in Osnabrück.