

# EXTRA NACHHALTIGE INDUSTRIE

Forschung | Technologie | Wirtschaft

DIGITALISIERUNG ALS ENABLER

## Mit KI zu mehr Nachhaltigkeit



# MIT KI AN DER STELLSCHRAUBE NACHHALTIGKEIT DREHEN

OLIVER ZIELINSKI / CHRISTIANE PLOCIENNIK / SEBASTIAN VOLLMER

**Künstliche Intelligenz befähigt Unternehmen, ihre Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Ein Physiker, eine Germanistin und Informatikerin sowie ein Mathematiker vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz zeigen anhand von Datenmanagement und Kreislaufwirtschaft, wie das funktionieren kann, und plädieren für eine „grüne Governance“ im maschinellen Dialog.**

Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) ist auf dem Gebiet innovativer Softwaretechnologien, die auf Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) basieren, die führende wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung Deutschlands. In zahlreichen der insgesamt über 400 Forschungsprojekte wird bundesweit an innovativen KI-Methoden gearbeitet, die einerseits zu mehr Nachhaltigkeit in der Gesellschaft führen und andererseits auch die KI selbst nachhaltiger gestalten sollen. Um die Expertise des DFKI auf diesem Gebiet zu bündeln, gibt es seit 2020 das Kompetenzzentrum KI für Umwelt und Nachhaltigkeit, kurz DFKI4planet ([www.dfki.de/dfki4planet](http://www.dfki.de/dfki4planet)). (Abb. 1) Im Rahmen dessen werden zahlreiche Themen rund um nachhaltige KI-Methoden erforscht, wie die folgenden Beispiele zeigen.

## Beispiel 1: Die Machine Economy

Maschinen im 21. Jahrhundert sind zunehmend intelligent, vernetzt und können autonom am Marktgeschehen teilnehmen. (Abb. 2) Eine aktuelle Prognose sagt für 2030 über 50 Milliarden vernetzte Endgeräte voraus, von denen mehr als die Hälfte sogenannte „Smart Things“ ausmachen und die alle in den maschinellen Dialog eintreten. [1], [2] Wenn smarte Maschinen in der Lage sind, eigene Vorhersagen über benötigte Zulieferungen oder Reparaturen zu treffen, diese eigenständig anzufragen

und zu bezahlen, dann werden sie zu autonomen Marktteilnehmern und können sektorübergreifend Wertschöpfung transformieren. Die Machine Economy bezeichnet genau dieses wirtschaftlich autonome Handeln von Maschinen in Wirtschaftsprozessen. In einem aktuellen Positionspapier stellen sich die Autorinnen und Autoren die Frage, wie dieser Transformationsprozess ökologisch nachhaltig gestaltet werden kann. [3] Dabei identifizieren sie drei Umweltwirkungen der Machine Economy und stellen sie in den Zusammenhang zu Wertschöpfung und Akteuren. (Abb. 3)

Eine unmittelbare Wirkung ergibt sich durch die zugrunde liegenden Technologien: das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT), Methoden der künstlichen Intelligenz (KI, einschließlich der Analyse großer Datenmengen) und Distributed-Ledger-Technologies (DLT, bekannt insbesondere durch die Blockchain-Technik). Diese drei Technologien benötigen Materialien und Energie für ihren Betrieb. Die Verringerung der Energie und damit der direkten Umweltwirkung digitaler Infrastrukturen ist in den vergangenen Jahren stark in den Fokus gerückt – zum Beispiel in der Green-IT-Debatte –, oft allerdings reduziert auf den Energiebedarf von größeren Rechnerarchitekturen, insbesondere Cloud-Servern. Gerade aber der wachsende Bereich von intelligenten Endgeräten bedarf einer erweiterten Erforschung grüner KI an der „Edge“, also direkt an den smarten Objekten. [4] Digitale Infrastrukturen haben keinen



► Abb. 1 / Im Kompetenzzentrum DFKI4planet geht künstliche Intelligenz mit Umwelt und Nachhaltigkeit Hand in Hand

Selbstzweck, sie sind eine Reaktion auf von Akteuren geschaffene Geschäftsmodelle, die wiederum durch Daten, Analysen und Applikationen ermöglicht werden. Letztere können somit als Treiber der Umweltwirkung angesehen werden, welche den Bedarf an den bereits zuvor erwähnten Technologien erzeugen. Zudem haben neue Geschäftsmodelle in der Machine Economy auch eine indirekte Umweltwirkung, die durch neue physische Elemente, wie zum Beispiel neue Fertigungsanlagen oder Lieferprozesse, entsteht.

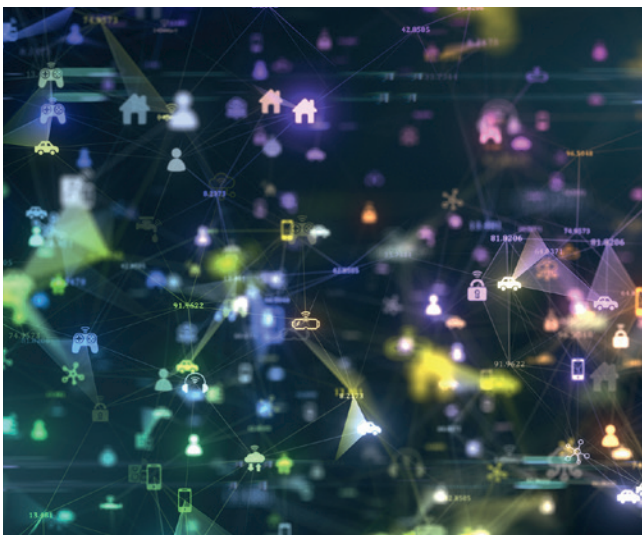
Die dargestellten Wechselwirkungen zeigen deutlich, dass für eine ökologisch positive Wirkung und Gestaltung der aufkommenden Machine Economy eine ganzheitliche Betrachtungsweise nötig ist. Akteure, Treiber, direkte und indirekte Wirkungen greifen eng ineinander und sind weder in ihren separaten Umweltwirkungen derzeit ausreichend bekannt, noch werden die ökologischen Wirkungen des Gesamtsystems ver-

## Der wachsende Bereich von intelligenten Endgeräten bedarf einer erweiterten Erforschung grüner KI direkt an den smarten Objekten.

standen. Um diese neuen Mechaniken und Regeln im Gewerk der Machine Economy auf die Nachhaltigkeitstransformation ausrichten zu können, braucht es eine grüne Governance der Machine Economy, also ein ökologisch und nachhaltig orientiertes Zusammenspiel von Technologien für den maschinellen Dialog sowie die damit verbundenen Prozesse und Infrastrukturen. [3]

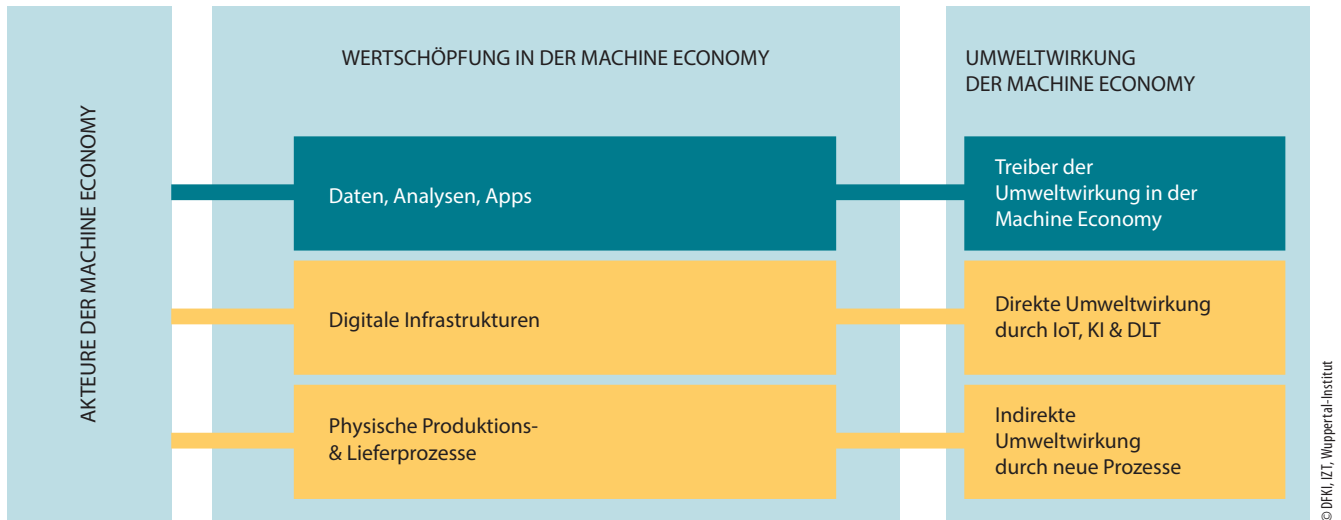
### Beispiel 2: Die Kreislaufwirtschaft

Egal ob Auto, Flugzeug, Smartphone, Kühlschrank oder Lederschuh: In fast allen Produkten steckt Kunststoff. Diesen später nachhaltig zu trennen, zu entsorgen und zu recyceln, ist schwierig. Denn zum einen ist er meist kompliziert verbaut, zum anderen erkennen Recyclinganlagen den Kunststoff zum Teil nicht richtig. Mithilfe von künstlicher Intelligenz wird derzeit an einem umfassenden Recyclingverfahren gearbeitet, in dessen



► Abb. 2 / Die Machine Economy beschreibt das wirtschaftlich autonome Handeln smarter Maschinen

► Abb. 3 / Umweltwirkungen in der Machine Economy im Zusammenhang mit Wertschöpfung und Akteuren



Mittelpunkt eine sogenannte Lebenszyklusakte steht, in der alle Daten des Produkts zusammenfließen.

Die Digitalisierung erlaubt es, Daten, die an unterschiedlichen Stellen erhoben werden, zusammenzuführen und miteinander in Beziehung zu setzen. Ein Ziel von Industrie 4.0 ist es, branchenübergreifend Fabriken horizontal und vertikal zu vernetzen. So können Medienbrüche vermieden und die Datendurchgängigkeit verbessert werden. Wenn man diesen Gedanken konsequent in Richtung Nachhaltigkeit weiterdenkt, dann sollte diese Art der Vernetzung jedoch nicht beim Hersteller des Endprodukts aufhören, sondern sich über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts erstrecken. Die Digitalisierung kann damit zum entscheidenden Enabler für eines der wichtigsten Zukunftsthemen der Industrie werden – die Kreislaufwirtschaft.

In einer Welt der begrenzten Ressourcen ist die Transition von einer linearen Wirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft die einzige Möglichkeit, Produktion und Konsum nachhaltig zu gestalten. [5] Die Kreislaufwirtschaft und ihre Digitalisierung werden von der EU im Rahmen des European Green Deals und des Circular Economy Action Plans vorangetrieben. [6], [7] Auch die umweltpolitische Digitalagenda des Bundesumweltministeriums nennt die Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft als wichtiges Ziel. [8] Die Idee hierbei ist, dass nicht nur Produkte, sondern auch die Daten zu den Produkten im Kreis geführt werden – etwa durch eine sogenannte digitale Lebenszyklusakte. [9] Als digitaler Zwilling ist sie die Drehscheibe für alle Daten zum Produkt. Unterschiedliche Stakeholder – von der Auftragsvergabe über die Herstellung bis zur Entsorgung und

## Nicht nur Produkte, sondern auch die Daten zu den Produkten werden im Kreis geführt – etwa durch eine sogenannte digitale Lebenszyklusakte.

zum Recycling – können lesend und schreibend auf die Lebenszyklusakte zugreifen. (Abb. 4) Anhand der Daten zur Materialzusammensetzung, die der Hersteller beigesteuert hat, kann der Entsorger dann zum Beispiel seine Sortieranlagen parametrisieren. Daten aus dem Recycling des Produkts helfen wiederum dem Hersteller, sein Produkt recyclingfreundlicher zu gestalten. Der Zugriff erfolgt über eine Cloud-Plattform, die es ermöglicht, feingranulare Zugriffsrechte zu vergeben, damit jeder nur die Daten sieht, die er sehen darf. Dies erlaubt es den Beteiligten, Geschäftsmodelle auf den Daten aufzubauen, indem zum Beispiel der Hersteller künftig nicht nur sein Produkt, sondern auch die Daten dazu verkaufen kann. Die Cloud bietet zudem Dritten das Potenzial, Mehrwertdienste auf Basis der Daten im Sinne einer Plattformökonomie anzubieten. Denkbar sind hier automatisierte Ökobilanzen oder auch das Aufdecken von Inkonsistenzen in den Daten mittels Verfahren der künstlichen Intelligenz. Somit kann die Digitalisierung entscheidend dazu beitragen, Recyclingquoten zu verbessern und die Potenziale der Kreislaufwirtschaft zu heben.

Zusammen mit der TU Darmstadt, dem Fraunhofer IWKS sowie den Firmen GreenDelta und Cirecon arbeitet das DFKI

derzeit in dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz geförderten Projekt ReCircE (Digital Lifecycle Record for the Circular Economy – Transparente Gestaltung von Stoffkreisläufen und Optimierung von Abfallsortierung mithilfe künstlicher Intelligenz) an einem nachhaltigen Recyclingverfahren. (Abb. 5) Die digitale Lebenszyklusakte kann im Rahmen von ReCircE ([www.recirce.de](http://www.recirce.de)) von interessierten Unternehmen erprobt werden und soll langfristig auf andere Branchen übertragbar sein.

### Beispiel 3: Das Datenmanagement

Künstliche Intelligenz eröffnet neben der beschriebenen Anwendung in der Kreislaufwirtschaft viele weitere Möglichkeiten: bei Übersetzungstools, der Navigation im Auto, der Kommunikation mit Chatbots beim Online-Einkauf, bei personalisierten Medizinprodukten, smarten Wirtschaftsprüfungstools und nicht zuletzt in der Landwirtschaft. Eine Frage aber gilt für alle Anwendungen: Inwiefern kann KI zur Nachhaltigkeit beitragen?

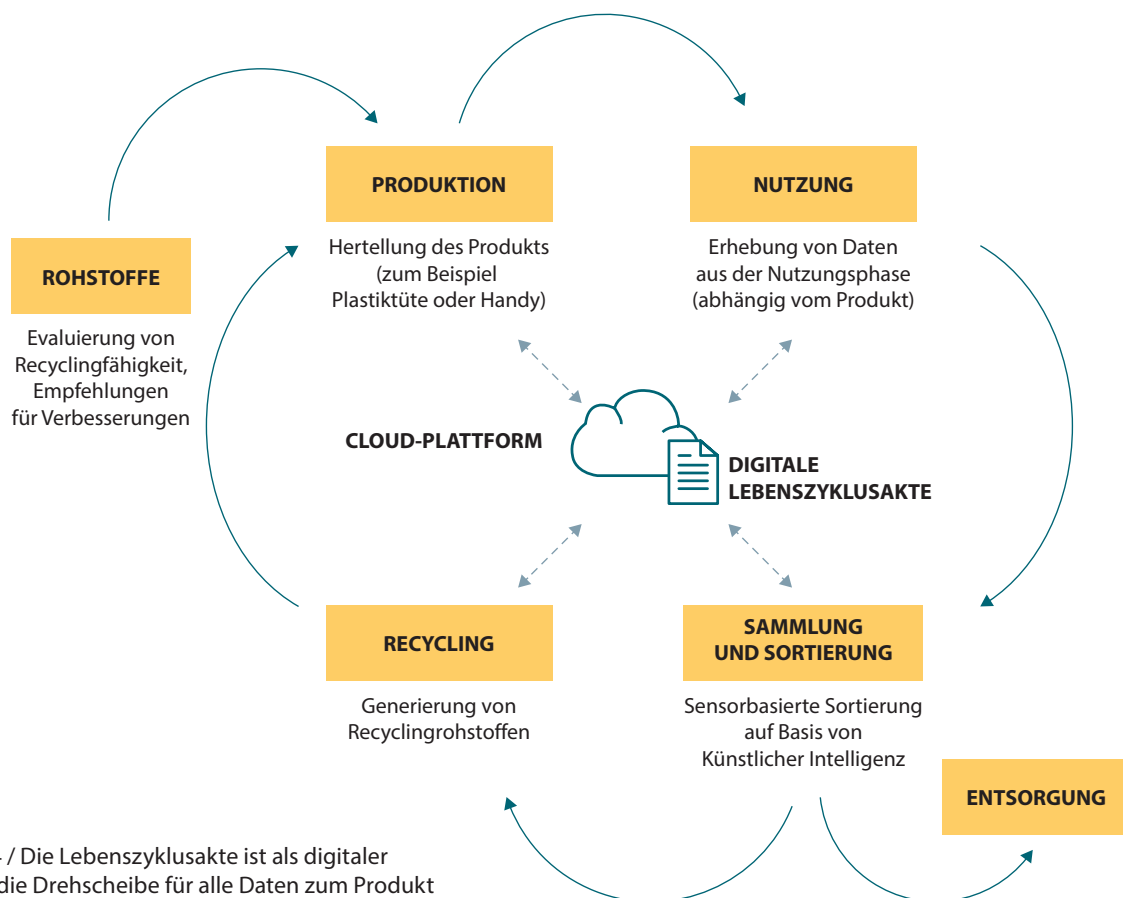
Die gute Nachricht vorweg: KI-Methoden lassen sich wie beschrieben für Fragestellungen im Kontext der Ökologie und Ressourcenschonung sehr gut einsetzen – sofern einige Grundbedin-

## INFO

### HORIZONTALE UND VERTIKALE VERNETZUNG

Horizontal meint dabei die Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette, also zum Beispiel vom Zulieferer zum Hersteller des Endproduktes; vertikal meint das Ineinanderfließen von Prozessen innerhalb eines Betriebes. Wichtig ist, dass Daten mit Austauschformaten erfasst und weitergegeben werden, die für unterschiedliche Systeme lesbar sind.

gungen berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist es aus einer technischen Perspektive heraus betrachtet irrelevant, ob eine KI-Methode zur Profitmaximierung oder Ressourcenschonung wie der Reduktion von Müll- oder Treibhausgasen genutzt wird. In beiden Fällen ist die Voraussetzung für das Gelingen der Anwendung, dass Einsparpotenziale erkannt und Prozessabläufe verbessert oder kontinuierlich optimiert werden können. Damit die Anwendungsentwicklung zielführend ist und nicht an der falschen Stelle optimiert wird, benötigt man eine gute Datengrundlage. Hier gilt die Regel „Garbage in = Garbage out“, was bedeutet, dass ein Systemergebnis nur so gut sein kann wie die Daten,



► Abb. 4 / Die Lebenszyklusakte ist als digitaler Zwilling die Drehscheibe für alle Daten zum Produkt



**Damit die Anwendungsentwicklung zielführend ist, benötigt man eine gute Datengrundlage. Hier gilt die Regel „Garbage in = Garbage out“, was bedeutet, dass ein Systemergebnis nur so gut sein kann wie die Daten, mit denen es gefüttert wird.**

► Abb. 5 / Multi-Sensor-Sortieranlage am Fraunhofer IWKS im bayerischen Alzenau

mit denen es gefüttert wird. Dabei sind nicht zwingend immer viele Daten notwendig, manchmal ist Qualität entscheidender als Quantität.

Folgendes Beispiel soll den Zusammenhang erläutern: Bei der zeit- und kostenintensiven Schätzung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Lebensmitteln wurde festgestellt, dass Lammfleisch aus Neuseeland eine bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz haben kann als Fleisch aus Deutschland. [10], [11] Dieses durchaus überraschende Ergebnis zeigt, dass Menschen, die in Deutschland leben und aus einem Nachhaltigkeitsbewusstsein heraus regionales Lammfleisch kaufen, offenbar eine nachhaltigere Alternative hätten, was ihnen jedoch nicht zwangsläufig bewusst ist. Die Schätzung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks alleine, unabhängig davon, wie genau sie ist, wirkt also erst dann positiv und nachhaltig, wenn sie den Konsumentinnen und Konsumenten bekannt ist. [12] Übertragen auf die Konzeptionierung und Entwicklung von KI-Systemen verdeutlicht dies, dass es nicht einzig auf die korrekte Vorhersage ankommt – oftmals ist auch eine ungefähre Schätzung ausreichend –, sondern die Vorhersagen immer auch im Ergebnis zu einer effektiven Verbesserung führen müssen. Dazu müssen Projekte vorab genau definiert, geplant und evaluiert werden, um ungewollte Nebeneffekte auszuschließen.

Ein anderes, fiktives Beispiel ist die smarte Müllabfuhr, die mittels bedarfsabhängiger Abholung die Fahrtstrecken reduziert, um Kosten zu senken. Ohne detaillierte Vorabplanung könnten der ungewollte Nebeneffekt unsachgemäßer Müllentsorgung sowie Frust bei der Müllabfuhr und den Bürgerinnen und Bürgern entstehen.

Natürlich lässt sich die Nachhaltigkeit eines Unternehmens auch beziehungsweise zusätzlich stärken durch Maßnahmen,

die ganz ohne KI auskommen, wie etwa Solaranlagen, Mobility Budget anstatt Firmenwagen oder Carbon-Offsetting. Letzteres erlaubt den Ausgleich von einer Tonne CO<sub>2</sub> (entspricht 5000 km mit einem Benziner) durch 23 Euro. [13]

Für ein erfolgreiches Anwenden von KI ist ein tiefes Verständnis des jeweiligen Prozesses und der dazugehörigen Stellschrauben unabdingbar. Innerhalb eines Unternehmens ist es daher ratsam, zunächst Vertrauen zu schaffen, indem kleinere Projekte durch KI optimiert werden, deren positive Bilanz einfach und verständlich dargestellt werden kann. Diese Herangehensweise ist keinesfalls als eine Optimierung zweiter Klasse zu verstehen, denn viele kleine Veränderungen können zu einer großen Wirkung beitragen.

Durch Initiativen wie DFKI4planet, grünere Rechenzentren und das Data Science for Social Good Programm trägt das DFKI zur Transformation in Richtung Nachhaltigkeit bei. [14], [15] ↗

#### Literaturhinweise

[1] Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030. Online: <https://www.statista.com/statistics/802690/worldwide-connected-devices-by-access-technology>, aufgerufen am 14.01.2022

[2] Cisco Annual Internet Report 2018—2023). Online: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>, aufgerufen am 14.01.2022

[3] Wurm, D.; Zielinski, O.; Lübben, N.; Jansen, M.; Ramesohl, S.: Wege in eine ökologische Machine Economy: Wir brauchen eine ‚Grüne Governance der Machine Economy‘, um das Zusammenspiel von Internet of Things, Künstlicher Intelligenz und Distributed Ledger Technology öko-

logisch zu gestalten. In: Wuppertal Report No 22 (2021). Online: [https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/Positionspapier\\_WEGE-IN-EINE-ÖKOLOGISCHE-MACHINE-ECONOMY-1.pdf](https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/Positionspapier_WEGE-IN-EINE-ÖKOLOGISCHE-MACHINE-ECONOMY-1.pdf), aufgerufen am 14.01.2022

[4] Zielinski, O.: Grüne Künstliche Intelligenz, Gastbeitrag für ThePioneer, (2021). Online: <https://www.dfki.de/web/news/gruene-kuenstliche-intelligenz>, aufgerufen am 14.01.2022

[5] Berg, H.; Bendix, P.; Jansen, M.; Blévennec, K. L.; Bottermann, P.; Magnus-Melgar, M.; Pohjalainen, E.; Wahlström, M.: Unlocking the potential of Industry 4.0 to reduce the environmental impact of production (2021)

[6] The European Commission, The European Green Deal. Online: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF) (2019)

[7] The European Commission, The Circular Economy Action Plan. Online: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-1aa75ed71a1.0017.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-1aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF) (2020)

[8] Digitalagenda. Online: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/broschuere\\_digitalagenda\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/broschuere_digitalagenda_bf.pdf) (2020)

[9] Plociennik, C.; Pourjafarian, M.; Nazeri, A.; Windholz, W.; Knetsch, S.; Rickert, J.; Ciroth, A.; do Carmo Precci Lopes, A.; Hagedorn, T.; Vogelgesang, M.; Benner, W.; Gassmann, A.; Bergweiler, S.; Ruskowski, M.; Schebek, L.; Weidenkaff, A.: Towards a Digital Lifecycle Passport for the Circular Economy. Akzeptiert zur Veröffentlichung bei der 29. CIRP Life Cycle Engineering Conference (2022)

[10] Ökobilanz von Lebensmitteln. Online: <https://www.ugb.de/lebensmittel-im-test/oekobilanz-fuer-lebensmittel-regional-nur-zweite-wahl>, aufgerufen am 17.01.2022

[11] Online: <https://ourworldindata.org/food-choice-vs-eating-local>, aufgerufen am 17.01.2022

[12] Online: <https://www.turing.ac.uk/research/publications/data-study-group-final-report-codecheck>, aufgerufen am 20.01.2022

[13] Online: [https://www.atmosfair.de/en/faqs/on\\_co2\\_calculation](https://www.atmosfair.de/en/faqs/on_co2_calculation), aufgerufen am 17.01.2022

[14] Online: <https://www.dfki.de/web/forschung/kompetenzzentren/ki-fuer-umwelt-und-nachhaltigkeit>, aufgerufen am 20.01.2022

[15] Online: <https://sebastian.vollmer.ms/dssg> und <https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsbereiche/data-science-und-ihre-anwendungen/data-science-for-social-good>, aufgerufen am 17.01.2022



#### PROF. DR. OLIVER ZIELINSKI

leitet am DFKI-Labor Niedersachsen den Forschungsbereich Marine Perception sowie das Kompetenzzentrum Künstliche Intelligenz (KI) für Umwelt und Nachhaltigkeit, kurz DFKI4planet. An der Universität Oldenburg hat der promovierte Physiker und Meeresforscher eine Professur für Marine Sensorsysteme inne. Zielinskis Forschungsgebiet umfasst die Umweltphysik von aquatischen Ökosystemen. Sein Fokus liegt auf der Verbindung von Umweltforschung mit intelligenten Technologien.



#### DR. CHRISTIANE PLOCIENNIK

studierte Informatik und Germanistik an der Technischen Universität Chemnitz und promovierte an der Universität Rostock im Themengebiet Ubiquitous Computing. Seit 2015 ist sie Senior Researcher am DFKI in Kaiserslautern. Dort widmet sie sich den Themen Mensch-Technik-Interaktion, digitales Wissensmanagement, KI in der Fabrik und grüne KI.



#### PROF. DR. SEBASTIAN VOLLMER

leitet am DFKI Kaiserslautern den Forschungsbereich Data Science und ihre Anwendungen. Nach Aufhalten in Großbritannien an den Universitäten Warwick und Oxford sowie dem Alan Turing Institute, hat er seit Oktober 2021 eine Professur im Fachbereich Informatik an der TU Kaiserslautern inne. Vollmer studierte Mathematik in Göttingen und England. Sein Forschungsschwerpunkt ist der interdisziplinäre Ansatz zwischen Informatik, Mathematik, Sozialwissenschaften und Naturwissenschaften.

#### DANKSAGUNG

Wir danken der Grafikerin Annemarie Popp sowie den beiden Co-Autorinnen Laura Maria Schaal und Simone Wiegand für ihre Unterstützung.

#### IMPRESSUM:

Sonderausgabe 2022 in Kooperation mit DFKI GmbH / DFKI4planet, Marie-Curie-Straße 1, 26129 Oldenburg; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811484199

#### GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabus

TITELBILD: © willyam - stock.adobe.com