

Digitalisierung nachhaltig gestalten

Ein Impulspapier des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

Fax: +49 340-2103-2285

buergerservice@uba.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Abschlussdatum: Juni 2019

Redaktion: Sylvia Veenhoff, Matthias Koller, Kora Kristof,
Evelyn Hagenah

Mit Beiträgen von: Dorothee Arenhövel, Dr. Christopher Blum,
Dieter Cohors-Fresenborg, Martina Eick, Evelyn Hagenah, Bi
anca Herrmann, Christian Hoyer, Claudia Kiso, Matthias Koller,
Regina Kohlmeyer, Doris Meurer, Tina Mutert, Marina Köhn,
Lisa Frie-Kossolobow, Juri Krack, Dr. Kora Kristof, Christian
Löwe, Andreas Lorenz, Douglas Martyn, Matthias Menger, Dr.
Ines Oehme, Marco Schäfer, Inke Schauser, Ulrike von Schlip
penbach, Dr. Christian Schneider, Dr. Thomas Schultz-Krutisch,
Dr. Christian Schweitzer, Dr. Cornelia Sedello, Christoph Töpfer,
Sylvia Veenhoff, Dr. Julia Vogel, Ulrike Wachotsch, Ralf Weiss

Journalistische Bearbeitung: Marinela Potor

Zitierweise für diese Publikation: Umweltbundesamt (2019):
Digitalisierung nachhaltig gestalten. Ein Impulspapier des
Umweltbundesamtes. Dessau: UBA

Bildquellen:

Seite 1 (Cover): www.depositphotos.com/@lightsource

Seite 17: www.fotolia.de/©tiero

Seite 22: www.depositphotos.com/@jamesteohart

Seite 24: www.depositphotos.com/@iakovenko123

Seite 27: www.depositphotos.com/@zhuzhu

Seite 29: www.depositphotos.com/@Joykid

Seite 32: www.depositphotos.com/@HighwayStarz

Seite 34: www.fotolia.de/©artens

Seite 37: www.fotolia.de/©FLIsom

Seite 39: www.depositphotos.com/@alexraths

Seite 41: www.depositphotos.com/@budabar

Seite 43: www.depositphotos.com/@budabar

Seite 45: www.depositphotos.com/@Wavebreakmedia

Seite 49: www.depositphotos.com/@pariwatlp

Seite 49: www.depositphotos.com/@Goodluz

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 2363-832X

Dessau-Roßlau, November 2019

Digitalisierung nachhaltig gestalten

Ein Impulspapier des Umweltbundesamtes



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Vorwort.....	7
1 Ausgangslage.....	8
2 Digitalisierung als neuen Schwerpunkt der Umweltpolitik etablieren.....	10
3 „Strategische Vorausschau“ zur Früherkennung möglicher Chancen und Risiken der Digitalisierung.....	12
4 Umweltpolitische Handlungsfelder der Digitalisierung.....	15
4.1 Umweltverträgliche und ressourcenschonende Informations- und Kommunikationstechnik	17
4.2 Nachhaltigkeit und vernetzte Infrastrukturen	22
4.3 Digitalisierung und Umweltschutz in der Kreislaufwirtschaft	24
4.4 Digitale Transformation der industriellen Produktion	27
4.5 Digitalisierung und betriebliches Umweltmanagement	29
4.6 Umweltschonender Konsum 4.0	32
4.7 Nachhaltige Mobilität und Logistik 4.0	34
4.8 Umweltverträgliche Energieinfrastruktur 4.0.....	37
4.9 Digitalisierung und umweltgerechte Chemie.....	39
4.10 Umweltverträgliche Landwirtschaft 4.0	41
4.11 Ressourcenbewusste Wasserwirtschaft 4.0	43
4.12 Digitale Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung	45
5 Digitalisierung im Dienste von Umweltpolitik und Verwaltung	47
5.1 Digitalisierung und Umweltmonitoring und -information	49
5.2 Elektronische Verwaltung und Bürgerbeteiligung.....	52
6 Ausblick.....	54
7 Quellenverzeichnis	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Der Einfluss von KI auf die Gesellschaft	S. 14
Abbildung 2	Bundesweite IKT-Umsätze 2018 nach Branchen	S. 19
Abbildung 3	Anteil der ausgetauschten Haushaltsgroßgeräte an Gesamtersatzkäufen	S. 20
Abbildung 4	Lebensphasen eines Produktes in einem erweiterten Verständnis von Kreislaufwirtschaft	S. 25
Abbildung 5	Marktanteil von autonomen Neufahrzeugen	S. 35
Abbildung 6	Interesse an Datennutzung in der Landwirtschaft	S. 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ausstattung privater Haushalte in Deutschland mit IKT	S. 18
Tabelle 2	Die Stufen der Automatisierung	S. 34

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality (Erweiterte Realität)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNE	Bildung für Nachhaltige Entwicklung
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
ERP	Enterprise Ressource Planning Software
GEOSS	Global Earth Observastion System of Systems
HDE	Handelsverband Deutschland
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community (Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft)
IoT	Internet of Things (Internet der Dinge)
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnik
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
MR	Mixed Reality
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKW	Personenkraftwagen
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (EU-Chemikalienverordnung)
SDG	Sustainable Development Goals (Agenda 2030)
SOS	Sensor Observation Services
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur)
VDI	Verein deutscher Ingenieure e.V.
VR	Virtual Reality (Virtuelle Realität)
WLAN	Wireless LAN

Vorwort

Die Digitalisierung durchdringt bereits alle Bereiche unserer Gesellschaft. Die schnellen Weiterentwicklungen von digitalen Technologien wie künstlicher Intelligenz, Big Data oder Virtual Reality werden außerdem dafür sorgen, dass die Digitalisierung künftig eine noch stärkere Rolle spielen wird. Umso wichtiger ist es daher, dass die gesellschaftliche Debatte zur Digitalisierung sich nicht nur auf technische oder wirtschaftliche Aspekte beschränkt, sondern umfassend ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen (wie zum Beispiel die zunehmende Gefährdung der Privatsphäre) mit einbezieht. Neben den viel diskutierten Fragen zum Datenschutz sowie ethischen und gesellschaftlichen Fragen (zum Beispiel hinsichtlich der Transparenz und Zulässigkeit von automatisierten Entscheidungssystemen) sind dabei auch die möglichen unmittelbaren und mittelbaren ökologischen Auswirkungen und ihre Bedeutung für die Umweltpolitik in den Blick zu nehmen. Die Digitalisierung bietet Potenziale für den Umwelt- und Klimaschutz und die Ressourcenschonung, birgt aber auch Risiken. Werden diese unterschätzt oder gar nicht bedacht, ist es wahrscheinlich, dass die Digitalisierung eine negative Umweltbilanz aufweist. Wenn man das verhindern und gleichzeitig die Chancen und positiven Auswirkungen der Digitalisierung auf die Umwelt ausschöpfen will, müssen

Umwelt und Nachhaltigkeit bei digitalen Prozessen von Anfang an mit bedacht und in der Praxis berücksichtigt werden.

Alle gesellschaftlichen Akteure wie etwa Unternehmen, Wissenschafts- und Bildungseinrichtungen, zivilgesellschaftliche Organisationen etc. stehen vor der Aufgabe, sich mit den vielfältigen Aspekten der Digitalisierung zu befassen und entstprechende Kompetenzen und Kapazitäten aufzubauen. Dies gilt auch für die Bundesregierung und ihre jeweiligen Ressorts und nachgeordneten Behörden. Daher ist auch das Umweltbundesamt (UBA) gefordert, die Chancen und Risiken der Digitalisierung für die Umwelt in seiner Arbeit systematisch in den Blick zu nehmen. Mit diesem Impulspapier möchte das UBA gemäß seines Mottos „Für Mensch und Umwelt“ für ausgewählte Handlungsfelder aufzeigen, welche aktuellen Herausforderungen und Chancen die Digitalisierung für die Umwelt und Gesundheit bietet und welche Handlungsansätze und Forschungsbedarfe sich daraus für das Umweltbundesamt im Sinne einer vorausschauenden Politikberatung ableiten. Damit möchte das Umweltbundesamt dazu beitragen, dass die Digitalisierung so gestaltet und genutzt wird, dass sie die Entwicklung zu einer umweltfreundlichen und nachhaltigen Gesellschaft unterstützt.

1

Ausgangslage

Ausgangslage

Die Digitalisierung als ein gegenwärtiger Megatrend zeigt sich in Entwicklungen wie etwa der digitalen Transformation der industriellen Produktion, Online-Handel, Sharing-Plattformen, Internet of Things (IoT), autonomen Fahrzeugen, Big Data, künstlicher Intelligenz und Blockchain-Anwendungen wie Kryptowährungen. Die Digitalisierung verändert auf grundlegende Art und Weise, wie wir wohnen, lernen, arbeiten und miteinander kommunizieren, wie wir produzieren und konsumieren und wie wir uns als Gesellschaft organisieren. Sie stellt uns damit vor neue politische, ökonomische, soziale, ökologische, kulturelle und ethische Herausforderungen, die breit in der Gesellschaft diskutiert werden. Die positiven und negativen Auswirkungen der Digitalisierung auf Umwelt und Ressourcen nehmen derzeit jedoch noch zu wenig Raum in der Debatte ein. Dabei zeigen bereits einige Studien (WBGU 2019), dass mit ihr sowohl Chancen für den Schutz der Umwelt einhergehen, die genutzt werden sollten, als auch Risiken, die umweltpolitisch adressiert werden sollten. Umweltaspekte müssen bei der Digitalisierung von Anfang an mit einfließen. Der mit der Digitalisierung häufig einhergehende grundlegende Umbau von Produktionsstrukturen, Infrastrukturen und Konsummustern erlaubt es, von Anfang an nachhaltige Lösungen zu wählen.

Digitalisierung kann einerseits gezielt für Umweltschutz und Umweltpolitik genutzt werden. So kann sich für die Umweltpolitik zum Beispiel die Datenglage verbessern, etwa über die Nutzung von Satellitendaten. Auch der Gesetzesvollzug kann durch digitale Lösungen effektiver und für alle Beteiligten einfacher werden. Aber auch für Unternehmen und Haushalte ergeben sich vielfältige Optionen. Aus der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung von Wirtschafts-, Produktions-, Handels- und Konsumprozessen und dem IoT resultieren vielfältige Möglichkeiten der Prozessoptimierung und Effizienzsteigerung. Diese wirken positiv auf eine Senkung der Inanspruchnahme von Ressourcen (Rohstoffe, Energie) und den damit verbundenen Auswirkungen auf Umwelt und die menschliche Gesundheit. Zudem werden nicht nur herkömmliche Wertschöpfungsketten und Prozesse digitalisiert, sondern es entstehen verstärkt gänzlich neue (zu-

sätzliche) Märkte mit neuen Wertschöpfungsketten und entsprechenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Im Zuge der neuen Augmented-, Mixed- und Virtual Reality kommen beispielsweise neue Geräte auf den Markt, die Umweltprobleme für Menschen sicht- und greifbarer machen können.

Mit der Digitalisierung steigt andererseits der Bedarf an internetfähigen Produkten, Sensoren, Netzinfrastrukturen und Rechenzentren, die bei der Produktion und der Nutzung Rohstoffe und Energie verbrauchen. Schon jetzt ist ersichtlich, dass mit diesem steigenden Bedarf ein bedeutender zusätzlicher Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden sein wird. Dies betrifft insbesondere den Bedarf an Edel- und Sondermetallen, den zusätzlichen Energieeinsatz für den Aufbau entsprechender Infrastrukturen sowie den Betrieb erweiterter Kapazitäten von Rechenzentren (DE-UZ 2015 / 161). Jüngste Schätzungen gehen davon aus, dass zum Beispiel bis zum Jahr 2025 europaweit mit 1,7 Milliarden vernetzten Haushaltsgeräten zu rechnen sein wird, zusätzlich zur steigenden Anzahl von klassischen Produkten der Informations- und Kommunikationstechnologie wie Smartphones und Personalcomputern (Hinteman et al. 2018). Europaweit wird sich der dafür erforderliche Mehraufwand an Energie langfristig auf über 70 Terawattstunden pro Jahr belaufen, dem derzeitigen Energieverbrauch aller privaten Haushalte Italiens.

Zusammengefasst bedeutet dies: Um den Nutzen der Digitalisierung für die Umwelt zu fördern und negative Effekte der Digitalisierung so weit wie möglich zu vermeiden, ist eine vorausschauende politische Gestaltung notwendig, die frühzeitig aktiv wird, bevor sich negative Umwelteffekte manifestiert haben (Langsdorf et al. 2014). Digitalisierung ist kein Selbstzweck; ihre Entwicklung sollte sich an den Nachhaltigkeitszielen ausrichten, wie sie unter anderem in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung verankert sind (Bundesregierung 2016). Bundeskanzlerin Angela Merkel hat klar definiert, in welche Richtung die Modernisierung in Deutschland voranschreiten sollte: „Wir haben über das Prinzip der Nachhaltigkeit im Grunde ein Definitionsmerkmal, ein Kennzeichen dafür, was Fortschritt in unserer Gesellschaft bedeutet.“

2

**Digitalisierung
als neuen
Schwerpunkt der
Umweltpolitik
etablieren**



Digitalisierung als neuen Schwerpunkt der Umweltpolitik etablieren

Die Politik hat die Wichtigkeit des digitalen Wandels erkannt. Die zunehmende Bedeutung der Digitalisierung spiegelt sich unter anderem in der „Digitalen Agenda 2014-2017“ (Bundesregierung 2014) wider. Diese umfasste sieben Maßnahmen, vom Infrastrukturausbau, über Datensicherheit bis hin zu digitaler Wirtschaft und digitalem Arbeiten, und wurde von einer „Digitalen Strategie 2025“ (BMW 2015) begleitet. Auch der Koalitionsvertrag der Bundesregierung (CDU; CSU; SPD 2018) unterstreicht die Bedeutung der Digitalisierung, was sich unter anderem in der Einrichtung einer Staatsministerposition für Digitalisierung im Kanzleramt niederschlägt. 2018 hat die Bundesregierung außerdem eine „Nationale Strategie für Künstliche Intelligenz“ herausgebracht (Bundesregierung 2018) und sie plant, 2019 eine umfassende Blockchain-Strategie vorzustellen (BT-Drs. 19/7286). Auf europäischer Ebene startete die Europäische Kommission 2015 eine Strategie für einen digitalen Binnenmarkt und veröffentlichte im Mai 2017 eine Halbzeitbewertung ihrer Strategie (Europäische Kommission 2017). Im Mai 2019 veröffentlichte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMU) Eckpunkte für seine digitalpolitische Agenda und macht erste Vorschläge, wie eine umwelt-, klima- und naturgerechte Digitalisierung aussehen könnte. Geplant ist ein breiter Diskussionsprozess und bis Ende des Jahres eine umweltpolitische Digitalagenda zu verabschieden (BMU 2019b).

Zwar hat die Politik also die Digitalisierung als Zukunftsthema in seiner allgemein und insgesamt hohen Tragweite erkannt. Aber die Risiken und Chancen der Digitalisierung speziell für den Umweltschutz

werden in politischen Programmen und Strategien bislang noch selten explizit benannt. Um zur Schließung dieser Lücke beizutragen, befasst sich das UBA gezielt mit den Chancen und Risiken der Digitalisierung für eine nachhaltige Entwicklung. Leitend für die Bearbeitung des Themas Digitalisierung und Umweltschutz im UBA sind dabei folgende Fragen:

- **Welche neuen Trends zeigen sich durch die Digitalisierung?**
- **Welcher kulturelle, gesellschaftliche sowie ökonomische Wandel ist damit verbunden?**
- **Welche Möglichkeiten bietet die Digitalisierung, um den Transformationsprozess zu einer nachhaltigen Gesellschaft zu beschleunigen und zu gestalten?**
- **Welche zusätzlichen Umweltwirkungen, ökologischen Risiken und Ressourcenbedarfe, aber auch potenziellen Entlastungen und Chancen gehen mit der Digitalisierung einher?**
- **Welche Handlungsstrategien und Instrumente sind geeignet, um Digitalisierung umweltverträglich und ressourcenschonend zu gestalten?**
- **Welche Handlungsstrategien und Instrumente sind geeignet, damit Umwelt- und Ressourcenschutz durch Digitalisierung aktiv vorangebracht wird und welcher gesellschaftliche Wandel ist dafür erforderlich?**

3

**„Strategische
Vorausschau“ zur
Früherkennung
möglicher Chancen
und Risiken der
Digitalisierung**



„Strategische Vorausschau“ zur Früherkennung möglicher Chancen und Risiken der Digitalisierung

Die Digitalisierung ist einer der Megatrends unserer Zeit. Megatrends sind per Definition Trends, die Gesellschaft und Wirtschaft tief greifend verändern (Behrendt et al. 2015). Unter einem Megatrend subsumieren sich eine ganze Reihe unterschiedlicher Trends, die den Megatrend ausmachen. Den Megatrend Digitalisierung prägen unter anderem die zunehmende Vernetzung von Produkten, Dingen, Dienstleistungen und sozialer Interaktionen, die Beschleunigung von Prozessoren und Internetgeschwindigkeiten oder neue technische Möglichkeiten wie die Nutzung von Big Data in zahlreichen Anwendungsbereichen oder die zunehmende Virtualisierung (zum Beispiel im E-Sport).

Die verschiedenen Trends der Digitalisierung verlaufen in unterschiedlicher Dynamik, verändern unsere Gesellschaft unterschiedlich stark und haben vielfältige Auswirkungen auf die Umwelt. Mit der Digitalisierung entsteht damit ein hochdynamisches Forschungsfeld. Eine Herausforderung ist es dabei, sämtliche neuen Entwicklungen der Digitalisierung im Blick zu behalten und möglichst frühzeitig diejenigen Entwicklungen zu identifizieren, die ein Risiko oder eine Chance für die Umwelt darstellen und damit umweltpolitische Gestaltung erfordern.

Das Instrument, welches das UBA einsetzt, um systematisch aus dem „Dickicht“ sämtlicher Entwicklungen der Digitalisierung diejenigen zu identifizieren, welche maßgebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben, ist „Horizon Scanning“. Es ermöglicht frühzeitig Zukunftstrends zu identifizieren, zu einem Zeitpunkt, an dem es noch keine Forschung über die diversen Umweltwirkungen eines Trends gibt und an dem der Trend noch am Anfang seiner Entwicklung steht. Denn, wie beispielsweise die Entwicklung des Mobiltelefons seit den neunziger Jahren zeigt, können vermeintliche Nischentechnologien rasch zum Mainstream werden, unsere Art zu leben grundlegend ändern und sowohl zu Umweltbelastungen (zum Beispiel Coltan-Abbau) als auch

potenziell zu Umweltentlastungen führen (beispielsweise durch die Sharing Economy). Gerade indirekte Umweltwirkungen, die sich aus den sozioökonomischen beziehungsweise aus den soziotechnischen Veränderungen ergeben, sind schwierig zu erkennen, erfordern aber ein rechtzeitiges politisches Handeln, wenn sich beispielsweise im Zuge der Digitalisierung die Konsummuster der Bürgerinnen und Bürger verändern, die zu einer Zunahme der Mobilität und damit indirekt zu Umweltschäden führen. Ziel solcher Horizon-Scanning-Prozesse ist es deshalb, so früh wie möglich alle neuen Entwicklungen der Digitalisierung zu identifizieren, die aus Umweltsicht relevant sind und noch nicht (systematisch) bearbeitet werden, und für die weitere Bearbeitung in UBA und BMU nutzbar zu machen.

Aktuell werden im Rahmen der Strategischen Vorausschau am UBA folgende Digitalisierungsthemen bearbeitet, da mit ihnen nach unseren Analysen besonders viele Chancen und Risiken für die Umwelt einhergehen.

- **Künstliche Intelligenz (KI) und Nachhaltigkeit**
- **Blockchain**
- **Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)**
- **Plattformökonomie - das Monopol als Geschäftsmodell im elektronischen Handel (E-Commerce)**
- **Verhaltenssteuerung im digitalen Zeitalter durch Algorithmen**
- **Robotik jenseits der Industriehalle**
- **Technologisierung und Digitalisierung des Gesundheitssektors**
- **3D-Druck**

Der Einfluss von KI auf die Gesellschaft

Technologische Singularität

Die „technologische Singularität“ ist eine Theorie, nach der sich ab einem bestimmten Zeitpunkt Maschinen durch künstliche Intelligenz (KI) rasant selbst verbessern.

Futurist Ray Kurzweil geht davon aus, dass Computer im Jahr 2029 intelligenter als Menschen werden und die Singularität erreichen.

Die vier industriellen Revolutionen

Ende des 18. Jahrhunderts
Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft

Anfang des 20. Jahrhunderts
Mechanisierung, weitverbreitete Elektrizität und Massenproduktion von Gütern.

Ende des 20. Jahrhunderts
Digitale Revolution durch Digitaltechnik und Computer

21. Jahrhundert
zweite Welle der Digitalisierung durch das Internet

Bildungssystem

Bildungsangebote werden zunehmend digitaler (z. B. Unterricht durch MOOCs oder Lernplattformen wie moodle)

Bildungssysteme werden mehr Angebote für lebenslanges Lernen anbieten müssen, die mit Vollzeitarbeit kombinierbar sind.

Robotik

1962
Die Firma Unimation stellt den ersten hydraulisch betriebenen Industrieroboter vor

1970
Der erste autonome mobile Roboter wird am Stanford Research entwickelt.

1997
Der erste mobile Roboter landet auf dem Mars.

2017
Die UN diskutiert ein Verbot von autonomen Waffen, sog. Killerrobotern



Sozialsysteme

Der Einsatz von Arbeitnehmern durch Roboter würde Steuereinnahmen drastisch senken, daher schlägt z. B. MEP Mady Delvaux eine „Robotersteuer“ vor.

Für den Lohnausfall wird ein universelles Grundeinkommen diskutiert. Erste Versuche laufen dazu in den Niederlanden, Kenia, Indien, der Schweiz, Finnland und Frankreich.

Meinungen aus der Technikbranche

„KI ist viel bedrohlicher als Nuklearwaffen.“
Elon Musk

„Eine effektive KI könnte der wichtigste Schritt der Menschheit werden - oder der schlimmste. Wir wissen es einfach nicht.“
Stephen Hawking

„KI steht kurz davor, unser Leben produktiver und kreativer zu gestalten.“
Bill Gates

Quelle: Debating Europe

Wie schnell politische Prozesse Forschungsergebnisse benötigen können, zeigt das Beispiel KI. Die Risiken und Chancen, die die KI auf die Umwelt, beziehungsweise auf die Nachhaltigkeit hat, sind bislang in der Forschung noch nicht umfassend untersucht worden. Gleichzeitig findet in Europa derzeit eine breite Debatte über innovations- und förderpolitische Impulse statt, die die künftige Ausrichtung von KI bestimmen wird. Aus Umweltsicht entsteht hier die Möglichkeit, die KI

der Zukunft sozial-ökologisch mitzugestalten. Insgesamt geht es darum, sämtliche Entwicklungen der KI hinsichtlich ihres Betrages für die globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) der Agenda 2030 (G.A. Res. 70/1 2015) zu hinterfragen. KI-Anwendungen, die mit den globalen Nachhaltigkeitszielen nicht vereinbar sind, sollten keine Option sein. Die Ergebnisse der Strategischen Vorausschau können so direkt in die politischen Debatten eingebracht werden.

4

Umweltpolitische Handlungsfelder der Digitalisierung



Umweltpolitische Handlungsfelder der Digitalisierung

Da Digitalisierung die Gesellschaft in nahezu allen Bereichen durchdringt, kann Digitalisierung nur als umweltpolitisches Querschnittsthema begriffen und nur als Gemeinschaftsaufgabe von Politik, Unternehmen, Forschung und Zivilgesellschaft bearbeitet werden. Dies stellt hohe Ansprüche an ein Regierungshandeln, das nicht nur ein koordiniertes Handeln innerhalb des Umweltressorts erfordert, sondern auch der übrigen Bundesressorts und sämtlicher weiterer politischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Akteure.

Die Digitalisierung ist äußerst dynamisch, fortwährend entstehen neue Innovationen, kommen neue Produkte auf den Markt, etablieren sich neue gesellschaftliche Praktiken. Diese Veränderungen durch Digitalisierung gilt es daher frühzeitig zu erkennen und aus Umwelt- und Ressourcensicht kontinuierlich zu bewerten und konstruktiv-kritisch zu begleiten. Negative Umwelteffekte der Digitalisierung gilt es, im Sinne des Vorsorgeprinzips auszuschließen und einen digitalen Wandel so zu gestalten, dass er mit den Zielen der Nachhaltigkeit vereinbar ist. Chancen der Digitalisierung für den Umwelt- und Ressourcenschutz sollten von so vielen wie möglich und so intensiv wie möglich genutzt werden.

Es ist Aufgabe der Umweltpolitik, das Herz der Digitalisierung, die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie die dazugehörige IKT-Infrastruktur, umweltverträglich und ressourcenschonend zu gestalten (Kapitel 4.1). Durch Fortschritte in der IKT ergeben sich außerdem neue Potenziale für

die Steuerung und Vernetzung von Infrastrukturen (Kapitel 4.2).

Zudem verändert Digitalisierung unsere Art zu produzieren, zu konsumieren und in Kreisläufen zu wirtschaften. Hier ist es notwendig, die Chancen der Digitalisierung für eine Kreislaufwirtschaft auszuloten (Kapitel 4.3), die digitale Transformation der industriellen Produktion aus Umweltsicht kritisch zu begleiten (Kapitel 4.4), die Potenziale der Digitalisierung für das betriebliche Umweltmanagement zu heben (Kapitel 4.5) und die Chancen für einen umweltschonenden Konsum 4.0 zu nutzen, aber auch Fehlentwicklungen zu korrigieren, wo Digitalisierung zu nicht-nachhaltigen Konsummustern führt (Kapitel 4.6).

Außerdem gibt es eine Reihe umweltpolitischer Handlungsfelder, die sich ebenfalls durch Digitalisierung stark verändern und deshalb kritisch hinsichtlich ihrer Risiken und Chancen auf die Umwelt begleitet werden müssen, zum Beispiel in den Bereichen Mobilität (Kapitel 4.7), Energieinfrastruktur (Kapitel 4.8), Chemie (Kapitel 4.9), Landwirtschaft (Kapitel 4.10) und Wasserwirtschaft (Kapitel 4.11).

Schließlich prägt die Digitalisierung ebenfalls das Wissen, die Kompetenzen und Verhaltensmuster in der Gesellschaft. Wie Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung in einer zunehmend digitalisierten und digitalen Welt bewegen kann, zeigt Kapitel 4.12.

4.1 Umweltverträgliche und ressourcenschonende Informations- und Kommunikationstechnik



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Digitalisierung bezeichnet die Umstellung von analogen auf digitale Prozesse. Nach dieser Definition hat die Digitalisierung bereits in den mittleren Jahren des 20. Jahrhundert begonnen und sie erfährt im 21. Jahrhundert durch die Vernetzung der Geräte mit dem Internet eine viel größere und schnellere Verbreitung in alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche als je zuvor. Die Grundlage dieser Entwicklung ist die digitale Infrastruktur, genau genommen die IKT. Diese besteht nicht nur aus Endgeräten, wie beispielsweise Smartphones, vernetzten Haushaltsgeräten oder Industrierobotern, sondern auch aus Übertragungstechnik und -netzen, diversen Sensoren und einer großen Anzahl an Rechenzentren.

Smarte Produkte und Dienstleistungen durchdringen zunehmend Gesellschaft, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik und werden in immer größerer Anzahl und Vielfalt eingesetzt. So besaßen 1998 in Deutschland 38,7 Prozent der Haushalte einen PC. 2018 weisen 90,4 Prozent der Haushalte einen PC auf. Noch stärker zeigt sich der digitale Wandel der

vergangenen zehn Jahre in privaten Haushalten an der Internetverbindung. 1998 verfügten 8,1 Prozent der Haushalte über einen Internetanschluss, 2018 hatten 92,7 Prozent der Haushalte einen Internetanschluss.

Wie schnell politische Prozesse Forschungsergebnisse benötigen können, zeigt das Beispiel KI. Die Risiken und Chancen, die die KI auf die Umwelt, beziehungsweise auf die Nachhaltigkeit hat, sind bislang in der Forschung noch nicht umfassend untersucht worden. Gleichzeitig findet in Europa derzeit eine breite Debatte über innovations- und förderpolitische Impulse statt, die die künftige Ausrichtung von KI bestimmen wird. Aus Umweltsicht entsteht hier die Möglichkeit, die KI der Zukunft sozial-ökologisch mitzugestalten. Insgesamt geht es darum, sämtliche Entwicklungen der KI hinsichtlich ihres Betrages für die globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) der Agenda 2030 (G.A. Res. 70/1 2015) zu hinterfragen. KI-Anwendungen, die mit den globalen Nachhaltigkeitszielen nicht vereinbar sind, sollten keine Option sein. Die Ergebnisse der Strategischen Vorausschau können so direkt in die politischen Debatten eingebracht werden.

Tabelle 1

Ausstattung privater Haushalte in Deutschland mit Informations- und Kommunikationstechnik in Deutschland

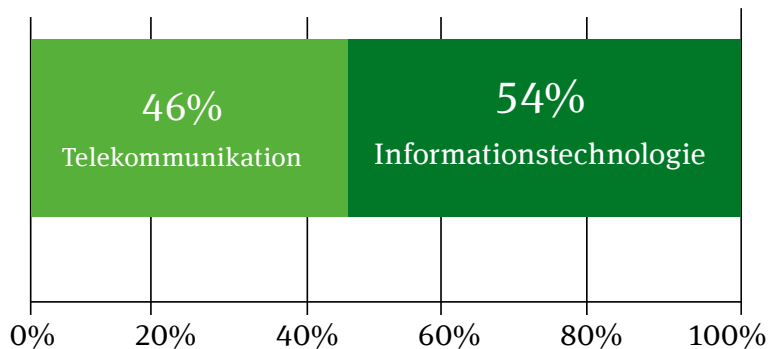
Informations- und Kommunikationstechnik	1998	2003	2008	2013	2018
Haushalte insgesamt (1.000)	36.703	37.931	39.077	40.032	40.596
Anteil der Haushalte in % (Ausstattungsgrad)					
Personalcomputer	38,7	61,4	75,4	85,2	90,4
stationär	-	58,2	62,1	53,3	44,2
mobil	-	10,7	34,7	65,2	81,2
Laptop, Notebook, Netbook	-	-	-	-	73,9
Tablet	-	-	-	-	47,5
Drucker (auch im Kombigerät)	-	-	-	73,7	75,2
Internetanschluss	8,1	46,0	64,4	80,2	92,7
stationär (z. B. DSL oder Kabel)	-	-	-	-	86,7
mobil (z. B. Smartphone, Surfstick)	-	-	-	-	56,0
Telefon	97,6	98,7	99,0	99,8	99,9
Festnetztelefon	96,8	94,5	89,7	90,5	84,9
Mobiltelefon (Handy, Smartphone)	11,2	72,5	86,3	92,7	96,7
darunter Smartphone	-	-	-	-	77,9
Faxgerät stationär (auch im Kombigerät)	14,8	20,7	20,7	23,8	-
Navigationsgerät	-	-	20,7	46,3	45,8

Quelle: Statistisches Bundesamt

Die rasch wachsende Beliebtheit von Smartphones bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zeigt zum Beispiel die dynamische Entwicklung der Digitalisierung. Während 2013 Smartphones in den meisten Haushalten noch keine große Rolle spielten, durchdrang die Technik 2018 bereits 77,9 Prozent aller Haushalte in Deutschland (Destatis 2019). Gerade diese Entwicklung zeigt, wie schnell sich technische Neuerungen der IKT verbreiten können. Dies gilt jedoch nicht nur für private Haushalte, sondern auch für die gesamte Infrastruktur. In Deutschland ist die Fläche für Informationstechnik (IT) in Rechenzentren zwischen 2003 und 2013 um 42 Prozent auf rund 1,8 Millionen Quadratmeter

gewachsen (Hintemann et al. 2014). In Deutschland werden jährlich etwa acht Milliarden Euro in Rechenzentren investiert (Hintemann et al. 2014). Deutschland ist der größte Rechenzentrumsstandort in Europa und der drittgrößte in der Welt. Die IKT-Branche insgesamt beschäftigt aktuell über eine Million Menschen in Deutschland und erzielt weltweit einen Umsatz von 228 Milliarden Euro im Jahr – und damit den fünftgrößten IKT-Umsatz der Welt. Die Umsätze teilen sich dabei folgendermaßen auf: Die IT-Branche erwirtschaftete 2018 54 Prozent der bundesweiten IKT-Umsätze, auf die Telekommunikationsbranche entfielen 46 Prozent der Umsätze (PI 2018).

Bundesweite IKT-Umsätze 2018 nach Branchen



Derzeit verzeichnet die Branche sogar eine höhere Bruttowertschöpfung als Traditionsindustrien wie die Chemie- und Pharmaindustrie oder der Maschinenbau. Die Geschwindigkeit der Digitalisierung ist oft unmittelbar mit der Innovationsdynamik der IKT verbunden. Die zentrale Frage mit Blick auf die Umweltauswirkungen lautet daher, wie die digitale Wertschöpfung von der Ressourceninanspruchnahme entkoppelt werden kann. Hierbei genügt es nicht, den Blick nur auf die direkten und lokalen Effekte von Digitalisierungsprozessen zu richten, sondern es muss eine ganzheitliche Betrachtung erfolgen, die auch die digitale Infrastruktur mit den globalen Effekten einbezieht. Denn die IKT ist inzwischen der Impulsgeber für andere Wirtschaftsbereiche geworden. Dadurch bietet sie zwar ein hohes Maß an ökonomischen Potenzialen, jedoch ebenso an ökologischen Risiken.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Sowohl die Herstellung als auch der Betrieb und die Entsorgung von IKT verbrauchen Energie und beanspruchen natürliche Ressourcen. Demgegenüber stehen Potenziale Material zu vermeiden (zum Beispiel durch digitale Speicherung statt Druck), Transportwege einzusparen (Informationen können ortsunabhängig abgerufen werden) und den Ressourceneinsatz durch Beschleunigung oder Optimierung von Prozessen zu reduzieren.

Chancen für die Umwelt ergeben sich daraus zum Beispiel dadurch, dass der zu erwartend steigende Strom- und Rohstoffbedarf durch eine intelligente Gestaltung der IKT-Systeme reduziert und die Technik besser ausgelastet werden kann. Darunter

fallen beispielsweise Ressourcenoptimierung in Haushaltsgeräten durch IKT oder energieoptimierte Nutzung von wireless Lan (WLAN) durch Ressource-On-Demand-Algorithmen. Eine Untersuchung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat gezeigt, dass Algorithmen, die den Betrieb des WLAN-Netzes an die jeweilige Auslastung anpassen eine Energieeinsparung von bis zu 15 Prozent bei gleichbleibender Dienstgüte ermöglichen (BMWi 2014).

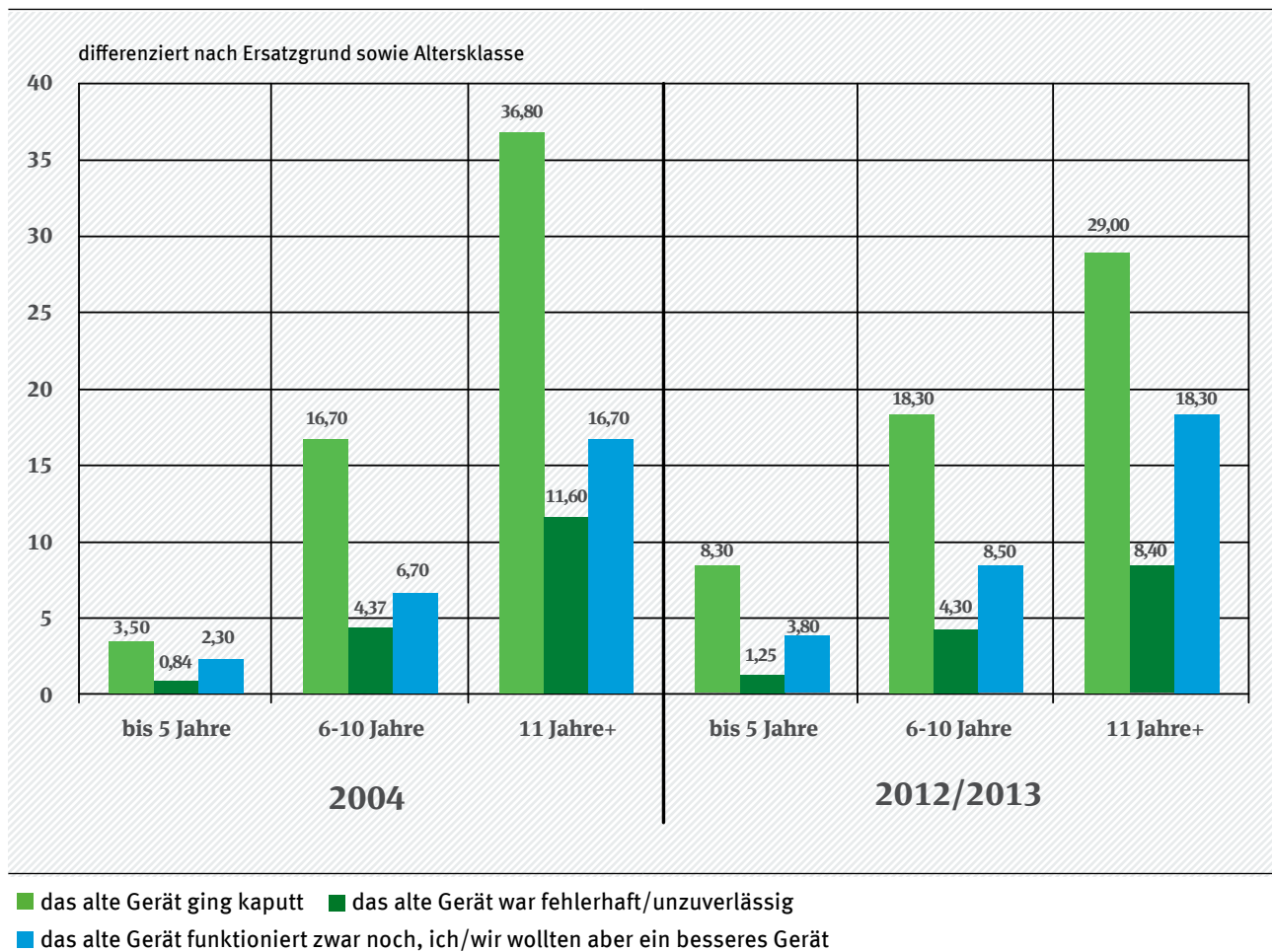
Ein weiteres Beispiel sind mögliche Energieeinsparungen durch IKT in Rechenzentren. Smarte technische Geräte können zum Beispiel für eine Reduzierung der Spannung oder für eine effizientere Kühlung der Rechner sorgen und damit die Energieeffizienz steigern (BMWi 2014).

Auf der anderen Seite steht eine ganze Reihe von negativen Einflüssen der IKT auf die Umwelt. Denn die Herstellung und Nutzung diverser Komponenten der IKT, wie etwa Endgeräte, Server, Sensoren oder Übertragungstechnik sind sehr energieintensiv. Die IKT benötigt darüber hinaus zahlreiche Edel- und Sondermetalle, wie Kobalt, Neodym, Tantal, Silber oder Gold. Diese werden oft unter gefährlichen Bedingungen für die Menschen und Umwelt in Ländern mit niedrigen Sozial- und Umweltstandards abgebaut. Die Herstellung der Komponenten findet ebenfalls überwiegend in Ländern mit niedrigen Umwelt- und Sozialstandards statt.

Zusätzlich verfügen die Geräte über eine sehr kurze Nutzungsdauer. Dies liegt zum einen am Nutzerverhalten. Verbraucherinnen und Verbraucher in Deutschland tendieren dazu, aufgrund technischer Neuerungen oder auch aus anderen Gründen, elektronische Geräte schneller auszutauschen als technisch erforderlich. Dies ist auch dann der Fall, wenn diese noch funktionieren (UBA 2015).

Zum anderen ist die Obsoleszenz von IKT-Geräten und der dadurch bedingte Anstieg von Elektro- und Elektronik-Altgeräten ein weiterer negativer Umwelteinfluss. Unter Obsoleszenz versteht man das natürliche Veralten von Produkten sowie der von der Wirtschaft oder der Industrie bewusst herbeigeführte vorschnelle Nutzungsverfall von Produkten, um von Konsumenten einen Neukauf

Abbildung 3

Anteil (%) der ausgetauschten Haushaltsgroßgeräte an Gesamtersatzkäufen

2004:n=2712;2012: n=5664 für Haushaltsgroßgeräte gesamt

Quelle: Öko-Institut, Universität Bonn: berechnet nach GfK-Daten

zu erzwingen. Dabei unterscheidet man im industriellen Bereich zwischen drei verschiedenen Arten der Obsoleszenz (UBA 2015).

Werkstoffliche Obsoleszenz: Es werden Materialien mit minderwertiger Qualität verwendet, sodass sich Produkte vorschnell abnutzen.

Funktionale Obsoleszenz: Die technischen Anforderungen an das Produkt verändern sich so schnell, dass Verbraucher eine neue Version kaufen müssen. Dies geschieht beispielsweise, wenn ein Software-Update ältere Smartphone-Versionen in ihrer Funktionsweise derart einschränkt, dass das alte Modell nicht mehr nutzbar ist.

Ökonomische Obsoleszenz: Die für die Langlebigkeit erforderliche Instandhaltung eines Produktes bleibt aus, weil die Neuproduktion günstiger ist als die Instandhaltung.

Eine weitere negative Begleiterscheinung der Digitalisierung sind die Rebound-Effekte, die durch neue Dienste der Digitalisierung entstehen, insbesondere bei solchen, die zur Erleichterung bisheriger Aktivitäten führen. So animiert der leichte Zugang zu Streaming-Diensten den Mehrkonsum von Videos. Video-Streaming über das Internet macht inzwischen rund 80 Prozent des Datenvolumens im Mobilfunk aus.

Das Datenvolumen hat sich in Deutschland innerhalb von einem Jahr nahezu verdoppelt. Ein höheres Datenvolumen wiederum führt zu einem erhöhten Stromverbrauch, sowohl in Privathaushalten als auch in Rechenzentren. Wenn außerdem in Zukunft vermehrt Technologien wie Augmented Reality, Mixed Reality (MR) und Virtual Reality genutzt werden, könnte das noch drastischere Auswirkungen auf das genutzte Datenvolumen haben. Dem aktuellen Cisco Visual Networking Index zu-

folge werden im Zeitraum von 2017 bis 2022 der VR- und AR-Traffic gemeinsam um das Zwölfwache ansteigen (Cisco 2019). All das bedingt einen massiven Ausbau der Telekommunikationsinfrastruktur und der Rechenzentren. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass das Internet nicht auf nationale Grenzen beschränkt ist und somit grundsätzlich der Datenverkehr, beispielsweise beim Versenden einer E-Mail, weltweit erfolgen kann.

Die Anzahl der Rechenzentren in Deutschland kann bis heute nur geschätzt werden, denn ein Kataster der Rechenzentren existiert nicht. Das erschwert die Umsetzung von Maßnahmen ebenso, wie das Erkennen von überflüssigen Redundanzen und Überkapazitäten. Die ersten Untersuchungen des UBAs zeigen, dass die Auslastung der Server im Durchschnitt nur zwischen fünf bis zehn Prozent liegt. Damit werden mehr Server betrieben – und damit mehr Ressourcen für Bau, Betrieb und Erhalt gebraucht – als für aktuell benötigte Rechenprozesse eigentlich erforderlich wären. Weniger Server mit einer besseren Auslastung wären daher nachhaltiger (UBA 2018b).

Ob daher unterm Strich die Digitalisierung von Prozessen und Strukturen sowie die Vernetzung von Maschinen und Produkten zur Umweltentlastung beiträgt oder diese eher belastet, lässt sich deshalb nur beantworten, wenn die Umweltauswirkungen der Herstellung, der Nutzung und Entsorgung von Endgeräten der IKT, Infrastrukturen, Netzen, Mikrosensoren und Rechenzentren mitbetrachtet werden.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Das UBA sieht seine Aufgabe vor allem darin, durch seine Forschungsarbeit die Chancen und Risiken der IKT aufzuzeigen und darauf aufbauend den Einsatz von nachhaltiger IKT zu unterstützen. Die Herausforderung dabei besteht darin, bei allen Errungenschaften der Digitalisierung den Ressourcenaufwand der Geräte, Dienstleistungen und IKT-Infrastruktur mitzudenken und abzuwägen, ob dieser Ressourcenaufwand den Nutzen der Anwendung, beziehungsweise des Produktes rechtfertigt. Idealerweise sollte der Nutzen mit den Zielen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und wesentlicher umweltpolitischer Vorgaben wie dem Klimaschutzplan 2050 (BMU 2019a) oder dem

Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess, Bundesregierung 2016) vereinbar sein. Daher erfordert jede neue Entwicklung einen Abwägungsprozess, in dem man erstens prüft, ob es ressourcenschonendere Möglichkeiten gibt und zweitens genau analysiert, ob der Nutzen der Digitalisierung für die Nachhaltigkeit und dem Klimaschutz den Mehrverbrauch an Energie und Ressourcen rechtfertigt.

Das UBA hat bereits vor Jahren verschiedene Aktivitäten im Bereich der nachhaltigen IKT begonnen und wird diese fortsetzen. Dazu gehören insbesondere die Methodenentwicklung zur Messung und Evaluierung der Energie- und Ressourceneffizienz von IKT, die Datenanalyse für die Umweltbewertung und die Erarbeitung von umweltverträglichen Alternativen. Die Themenbereiche, die das UBA in diesem Zusammenhang untersucht hat, sind unter anderem:

- **Hardware, Software sowie die Veränderung der technischen Infrastruktur und die möglichen Be- und Entlastungen, die sich daraus für die Umwelt ergeben**
- **(Globaler) Einfluss von Software auf die kurze Lebens- und Nutzungsdauer von IKT-Geräten**
- **Umweltauswirkungen von Cloud-Computing und der starken Wachstumsprozesse bei Rechenzentren und Netzinfrastrukturen**
- **Umweltkennzeichnung für Rechenzentren, in denen gleich mehrere Unternehmen ihre Server aufstellen (Co-Location) sowie für umweltverträgliche Software**
- **Netzinfrastuktur des Mobilfunks, insbesondere die Auswirkungen von 5G.**

Das UBA beteiligt sich außerdem aktiv an den internationalen und europäischen Normungsaktivitäten für Rechenzentren und an den Diskussionsprozessen im Rahmen der Eco-Designrichtlinien für IKT-Produkte. Dies ist deshalb entscheidend, weil es genau diese Technologien sind, die die Digitalisierung in anderen Bereichen vorantreiben und beeinflussen. Das Ziel dabei ist den gesamten Lebenszyklus der IKT nachhaltig zu gestalten.

4.2 Nachhaltigkeit und vernetzte Infrastrukturen



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Die Digitalisierung ermöglicht die Steuerung und Vernetzung von Infrastrukturen. Viele Prozesse in den Infrastruktursektoren laufen bereits heute automatisiert ab. Dazu gehören die Steuerung von Kraftwerken oder Kläranlagen. Neu sind jedoch die Verknüpfungsmöglichkeiten über Sektorgrenzen hinweg, die auf umfassenden Datensammlungen und -auswertungen basieren. Mithilfe von IKT wird so eine intelligente Steuerung von Prozessen, Daten und Funktionen im Infrastrukturbereich möglich (UBA 2018d). Zu den neuen Anwendungsfeldern gehören beispielsweise die Verknüpfung der kommunalen Wärmeversorgung mit der Müllentsorgung, smarte Energienetze, die sich den jeweiligen Bedürfnissen des Stromverbrauchs anpassen, oder die Energieerzeugung im Wasserversorgungsnetz. Weitere Beispiele sind Frühwarnsensoren zur Messung der Luftverschmutzung oder für den Hochwasserschutz. Für den städtischen Raum werden unter dem Begriff Smart City vielfach Konzepte diskutiert, die auf kommunaler Ebene IKT-basierte Lösungen in den Bereichen Mobilität, Energie, Wasser/Abwasser oder Abfall umfassen. Manche Kommunen nehmen in ihren Smart-City-Strategien bereits Projekte im Kontext von Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz in den Blick. In der Gesamtschau sind aber ganzheitliche Ansätze, die gezielt Umweltschutz und Nachhaltigkeitsthemen adressieren, in der Minderheit. Auch werden Diskussionen über die Auswirkungen der neuen Technologien und Ansätze für digital vernetzte Infrastrukturen beispielsweise auf den

Energie- und Ressourceneinsatz in der Regel nicht geführt. Die tatsächlichen Umweltentlastungspotenziale der IKT für die Infrastrukturentwicklung durch intelligente Steuerungssysteme sind ebenfalls bislang kaum untersucht.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Für den Umwelt- und Klimaschutz bietet die intelligente Vernetzung von Infrastrukturen große Potenziale. So können die Möglichkeiten einer verbesserten Steuerung der technischen Infrastrukturen helfen, Energie- und Stoffströme zu verringern und damit den Energie- und Ressourcenverbrauch zu senken. Die Auswertung von aktuellen (Echtzeit-)Daten ermöglicht die Analyse der Nutzung von Infrastrukturen und damit die Optimierung von Prozessen sowie die Bereitstellung von maßgeschneiderten Angeboten. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Energie- und der Verkehrswende hat die sektorübergreifende Vernetzung der Infrastrukturen erheblich an Bedeutung gewonnen. Schon jetzt liegen konkrete Konzepte zum Beispiel zur Einspeisung erneuerbarer Energien in das Verkehrssystem oder zur Verknüpfung von Klärwerken mit der kommunalen Energieversorgung vor. Um die Umweltpotenziale auszuschöpfen, müssen solche Ansätze jedoch systematisch weiterentwickelt und in die breite Anwendung gebracht werden. Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist – neben der Schaffung der technischen Voraussetzungen – insbesondere die Vernetzung der verschiedenen Akteure mit ihren sektorspezifischen Planungszyklen und Handlungslogiken.

Auch zur Aufrechterhaltung der Daseinsvorsorge in ländlichen Gebieten kann die intelligente Vernetzung der Infrastrukturen unterschiedlicher Sektoren und Funktionen beitragen und somit helfen, gleichwertige Lebensverhältnisse in der Stadt und auf dem Land zu schaffen. Beispielsweise können neue, intelligent gesteuerte Logistikkonzepte, die Waren- oder Mülltransporte kombinieren, zu einer besseren Verfügbarkeit von Waren im ländlichen Raum führen. Durch diese Bündelung von Transporten können zudem Leerfahrten vermieden und das Aufkommen von reinen Versorgungsfahrten verringert werden.

Vernetzte Infrastrukturen schaffen darüber hinaus Möglichkeiten für neue Formen der direkten Bürger-

beteiligung, die zum Beispiel web- oder appbasiertes Feedback von Bürgerinnen und Bürgern in Echtzeit oder digitale Formen der Abstimmung ermöglichen. Damit kann die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürgern an politischen Entscheidungsprozessen verbessert werden.

In einer vernetzten Zukunft müssen diese unterschiedlichen Facetten der Digitalisierung zusammengebracht und neben ökonomischen auch ökologische und soziale Aspekte sowie institutionelle Fragen in den Blick genommen werden. Für unterschiedliche Siedlungsräume (Groß-/Kleinstadt, periphere Räume) und Voraussetzungen (Klima, Infrastrukturausstattung etc.) müssen regional angepasste Lösungen erarbeitet werden. Neben der Datensicherheit und dem Zugang zu Infrastrukturleistungen für alle Bevölkerungsgruppen ist dabei ein besonderes Augenmerk auf kritische Infrastrukturen zu legen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere weitreichenden Folgen eintreten würden (BSI o.D.).

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Das UBA sieht wesentlichen Handlungsbedarf für die nächsten Jahre bei einer ganzheitlichen Bewertung der Umwelteffekte sowie bei den sozialen Auswirkungen und Wirkungen auf gesellschaftliche Verhaltensweisen, die von vernetzten, digitalen Infrastrukturkonzepten und smarten Anwendungen ausgehen. Dabei müssen sowohl die positiven als auch die negativen Auswirkungen in den Blick genommen werden.

Neben einer Analyse der direkten und indirekten Effekte ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der Infrastrukturen erforderlich. Technische Infrastrukturen sind in der Regel mit hohen Investitionen verbunden, die die Entwicklungspfade für die nächsten Jahrzehnte vorgeben. Daraus ergeben sich Pfadabhängigkeiten und langfristige Wirkungen auf die Umwelt. Vor dem Hintergrund des vielerorts in den nächsten Jahren und Jahrzehnten anstehenden Aus- und Umbaus der Infrastrukturen (UBA 2018d) besteht großer Forschungsbedarf zu den tatsächlichen Effekten innovativer Infrastrukturlösungen auf den Energie- und Ressourcenverbrauch sowie ihrer Fähigkeit zur Anpassung an geänderte Rahmenbedingungen (Klimawandel,

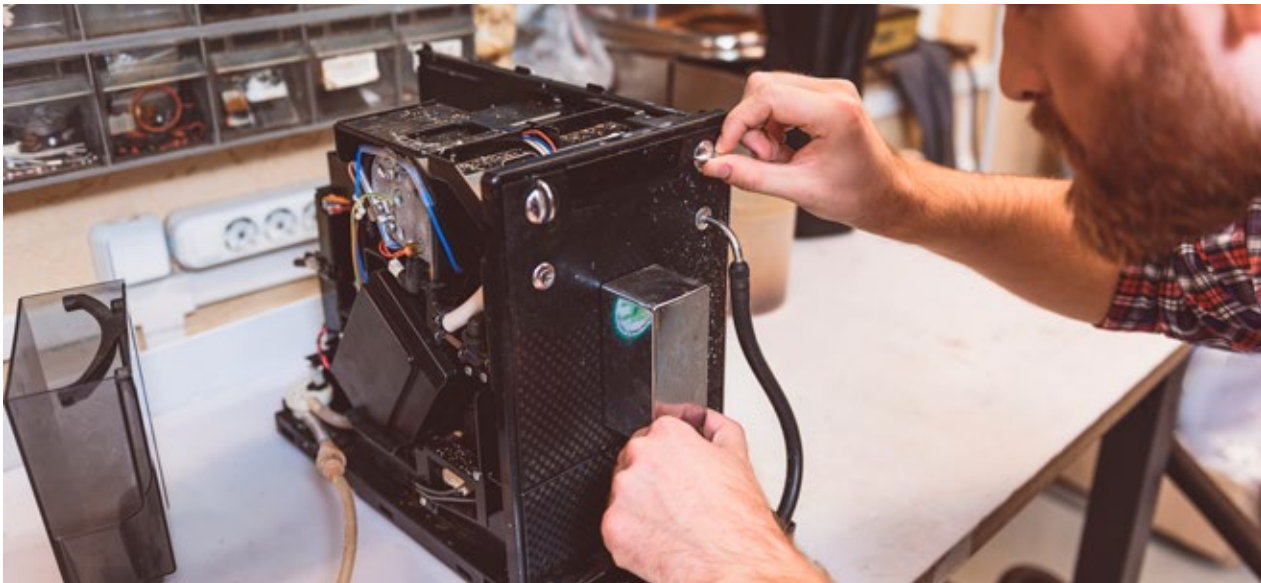
demografische Entwicklung). Denn erst durch die Verknüpfung mit nachhaltigen, umwelt- und ressourcenschonenden, resilienten und partizipativen Konzepten werden Infrastrukturlösungen tatsächlich intelligent oder smart.

In aktuellen Forschungsvorhaben greift das UBA wesentliche Forschungsfragen für unterschiedliche städtische und regionale Ebenen auf und erarbeitet Empfehlungen für Bund, Länder und Kommunen. Zentrale Fragestellungen sind dabei:

- **Wie können Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte bei der Digitalisierung im Infrastrukturbereich so verankert werden, dass diese tatsächlich zu einer umwelt- und ressourcenschonenden sowie klimaangepassten Entwicklung der Ver- und Entsorgungsstrukturen beitragen?**
- **Welchen Beitrag können digitale Angebote im Infrastrukturbereich leisten, um gleichwertige Lebensverhältnisse in Stadt und Land zu schaffen und Daseinsvorsorgeleistungen auch im ländlichen Raum aufrechtzuerhalten?**
- **Wie wird durch die Digitalisierung der Infrastrukturen der Ressourcen- und Energieverbrauch verändert – sowohl durch den Bedarf der eingesetzten Technik als auch indirekt durch Reboundeffekte? Unter welchen Bedingungen führen „smarte Konzepte“ zu einer Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs?**
- **Wie müssen Netze, Infrastrukturen und Hardware gestaltet werden, damit die Digitalisierung tatsächlich zu mehr Nachhaltigkeit beiträgt? Wie lassen sich umweltgerechte und resiliente Kopplungen von Infrastrukturen im Bestand und im Neubau entwickeln? Welche Akteure sowie technische, organisatorische und finanzielle Aspekte sind zu berücksichtigen?**

In diesem Zusammenhang wird sich das UBA verstärkt mit der Bewertung der Chancen und Risiken von nachhaltigen, vernetzten Infrastrukturen für die Umwelt befassen.

4.3 Digitalisierung und Umweltschutz in der Kreislaufwirtschaft



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Ressourcen einsparen, Abfälle vermeiden, Materialien möglichst intensiv nutzen, am Ende möglichst hochwertig verwerten und so einen geschlossenen Stoffkreislauf erhalten: Das sind zentrale Ziele einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Ein erweitertes Verständnis von Kreislaufwirtschaft, in dem Sinne wie Circular Economy derzeit strategisch auf EU-Ebene diskutiert wird, umfasst sehr viel mehr als Abfalltrennung und Recycling.

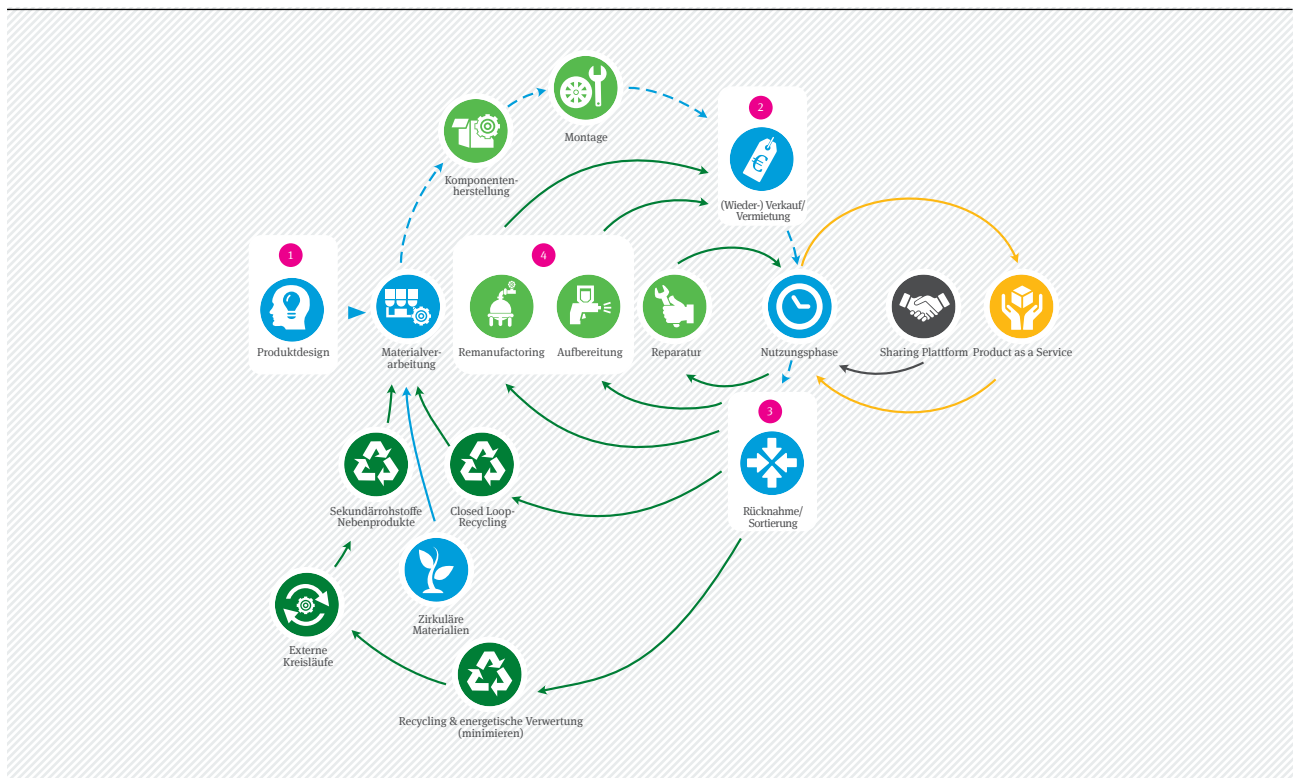
Der Leitgedanke ist dabei, Rohstoffe so ressourcen-, umwelt- und klimaschonend wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu erhalten. Dazu gehört auch, Produkte und Materialien nach ihrer Erstnutzung weiterhin auf der höchstmöglichen Wertstufe zu halten. Dabei wird die gesamte Lebensphase eines Produktes als Kreislauf gedacht. Dies setzt bereits maßgeblich beim Design und der Konzeption an, geht über die Produktion und Nutzung bis hin zur Nutzungsdauerverlängerung durch Reparatur sowie Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und schließlich Recycling, welches die Stoffe möglichst in den gleichen oder ähnlich hochwertige Anwendungsbereiche zurückführt. Wenn dies nicht möglich ist, erfolgt eine Erweiterung der Kreisläufe auf andere Anwendungen oder die energetische Verwertung. Eine Beseitigung von Stoffen ist so gering wie möglich zu

halten. Fahrten vermieden und das Aufkommen von reinen Versorgungsfahrten verringert werden.

Die Digitalisierung findet sich bereits ansatzweise in einzelnen Bereichen der Kreislaufwirtschaft, insbesondere bei der Entsorgungslogistik sowie bei der Erfassung von Abfällen, zum Beispiel in der Tourenplanung sowie der mengenbezogenen Abfallabrechnung. Inhaltlich liegen die Schwerpunkte der Digitalisierung in der Kreislaufwirtschaft auf der Optimierung der Entsorgungslogistik sowie auf der Informationsweitergabe zu (Alt-) Produktzusammensetzungen über den Lebenszyklus hinweg, bis in die Entsorgungsphase.

Die zunehmende Digitalisierung verändert außerdem Material- und Abfallströme. Es werden mehr elektronische Bauteile, Geräte oder Sensoren eingesetzt. Auch Produkte, die bislang nicht als digital galten, wie etwa smarte Haushaltsgeräte, enthalten nun zunehmend mehr informationstechnische Komponenten. All dies wird nach der Nutzungsphase zu Abfall und erfordert teilweise neue Behandlungstechniken, um Wertstoffe zurück zu gewinnen. Dazu gehört zum Beispiel auch das Einspeisen von Altprodukten, die früher keine Elektrogeräte waren, wie smarte Textilien, in eine Elektroaltgerätebehandlung oder etwa die Entnahme der elektronischen Bauteile aus der smarten Waschmaschine vor dem Schreddern.

Lebensphasen eines Produktes in einem erweiterten Verständnis von Kreislaufwirtschaft



Quelle: Accenture

Gleichzeitig ermöglichen es digitale Technologien, die Risiken, die sich daraus ergeben, frühzeitig zu erkennen und anzugehen. Daraus resultieren sowohl Chancen als auch Risiken für die Umwelt.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Die Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft (im erweiterten Verständnis von Circular Economy) bietet sowohl Chancen als auch Risiken für die Umwelt. Gerade die Tatsache, dass der gesamte Lebenszyklus eines Produktes von Beginn an mitgedacht wird, bietet die Chance, durch neue Technologien gleich am Anfang der Produktentwicklung die Parameter so zu setzen, dass das Produkt nachhaltiger ist. Produktionsverfahren können zum Beispiel so geplant werden, dass sie weniger Auswirkungen auf die Umwelt haben, etwa über materialsparende 3D-Druck-Verfahren.

In der Nutzungsphase können Online-Sharing-Modelle oder Second-Life-Optionen eines Produktes mit einbezogen werden, die durch digitale Anwendungen besser koordiniert und optimiert werden können. Durch diese Angebote können Verbraucherinnen und Verbraucher

beispielsweise Optionen zum Weiterverkauf, beziehungsweise zum günstigeren Kauf von gebrauchten Produkten bekommen, sodass die Nutzungsdauer von Produkten gesteigert werden kann. Schließlich kann die Sammel- und Entsorgungslogistik vom Haushalt bis zur Wiederaufbereitung der Materialien nachhaltiger gestaltet werden, wenn sie von Anfang an bereits in der Entwicklungsphase mit einbezogen wird und durch digitale Technologien unterstützt wird.

In der Entsorgungslogistik kann die Bündelung und Lenkung von Abfällen und Sekundärrohstoffströmen effizienter gestaltet werden, zum Beispiel durch automatisierte Logistik- und Vermarktungsplattformen und vernetzte Recycling- und Warenwirtschaftssysteme, die Angebot (Abfallanfallstelle) und Nachfrage (Abfallbehandler, Verwerter) nach Abfällen und Sekundärrohstoffen passgenauer, effizienter und schneller zusammenbringen können. Weitere Möglichkeiten bieten smarte Behälter, die Informationen zu Füllständen der Entsorgungsbehälter liefern. Chancen durch digitale Anwendungen werden bei-

spielsweise bei verschiedenen kleinteiligen Abfallströmen, beziehungsweise Anfallstellen gesehen, um die ansonsten aufwendige Entsorgungslogistik und Verwertung wirtschaftlicher zu gestalten und somit überhaupt zu ermöglichen. Weitere Potenziale bietet die Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft im Bereich der Produktinformationen. Denn um eine lebensverlängernde Reparatur oder eine gezielte Zerlegung und Sortierung, insbesondere von komplexen Altprodukten, für ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen, benötigt der Reparatur / Entsorger / Verwerter entsprechende Informationen. Dabei handelt es sich in der Regel um Herstellerangaben zur Produktkonfiguration, also zur Ortung, Quantifizierung und Zerlegung von Bauteilen, Wertstoffen, Störstoffen und Schadstoffen in den (Alt-) Produkten, beziehungsweise in den Abfällen.

Die digitale Informationsspeicherung und aufbereitung bietet hier – bei ausreichender Sicherung des Datenschutzes – Möglichkeiten, Informationen zum Produkt mittels eines „Materialpasses“ zentral zu bündeln und so sämtliche Prozesse von der Produktion über die Lieferung und den Gebrauch bis hin zur Entsorgung effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Herausfordernde Aufgaben sind hierbei die Festlegung und Generierung der weiterzureichenden Inhalte bereits Jahre vor der Abfallphase, sowie die technische Ausgestaltung der Aufbereitung und des Zugangs zu den Informationen, die über Jahre abrufbar gehalten werden müssen. Digital gesteuerte additive Fertigungsverfahren wie 3D-Druck bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Ersatzteile individuell und sehr effizient zu produzieren und damit zur Lebensdauerverlängerung von Produkten beizutragen. Die Kehrseite der Medaille ist die Herausforderung, die individuell hergestellten Bauteile ordnungsgemäß und hochwertig zu verwerten. Denn einige der in 3D-Druckern eingesetzten Kunststoffe sind nicht recyclingfähig (UBA 2018a). Insgesamt bestehen also noch erhebliche ungenutzte Potenziale zur Vermeidung von Abfällen und effizienteren und ressourcenschonenderen Gestaltung der Kreislaufschließung von Materialströmen. Gleichzeitig gilt es, die Reboundeffekte der Digitalisierung abzuwägen. Eine Frage ist zum Beispiel die Minimierung der Verpackungsmengen aus dem zunehmenden Online-Handel (s. Handlungsfeld „Umweltschonender Konsum 4.0“). Eine weitere Herausforderung ist die hochwertige Verwertung der steigenden Menge von eingesetzten

smarten Geräten und damit die Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Sollen die Chancen der Digitalisierung in der erweiterten Kreislaufwirtschaft (im erweiterten Verständnis von Circular Economy) ergriffen und die Risiken berücksichtigt werden, ist es wichtig, zunächst systematisch detaillierte Kenntnisse über Potenziale und Risiken zu erkennen.

Diese Erkenntnisse sollen sowohl zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung als auch zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Abfall- und Kreislaufwirtschaft beitragen. Ansatzpunkte in diesem Bereich sind:

- 1. Die Kreislaufprozesse wie Wiederverwendung, Entsorgungslogistik und Verwertung sollten durch digitale Technologien optimiert und dadurch effizienter gestaltet werden.**
- 2. Möglichkeiten bieten hier unter anderem die getrennte Erfassung von wertstoffhaltigen Abfällen, die in geringen Mengen anfallen und deren Kreislaufprozesse erst durch die Digitalisierung möglich und optimiert werden. Weitere Potenziale innerhalb der Produktlebenszyklusphasen wären materialschonende digitale Fertigungsverfahren wie etwa der 3D-Druck sowie digital unterstützte Angebote für eine nachhaltigere Nutzung wie etwa Sharing-Plattformen oder Second-Life-Optionen.**
- 3. Informationsflüsse – sowohl was die Inhalte angeht als auch die Übermittlungsform – sollten adressatengerecht gestaltet werden. Das reicht bis in die Nutzungs- und Entsorgungsphase hinein, um so Reparatur, Wartung, Zerlegung, Behandlung und Verwertung von Produkten zu stärken.**

Das UBA setzt sich dafür ein, die Potenziale der Digitalisierung in der Kreislaufwirtschaft zu erkennen und zu unterstützen sowie die digitalen Entwicklungen, die (bislang) nicht im Einklang mit dem erweiterten Verständnis der Kreislaufwirtschaft stehen, daraufhin auszurichten.

4.4 Digitale Transformation der industriellen Produktion



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Umweltaspekte, einschließlich der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Sicherheit der industriellen Produktion, werden im Kontext der digitalen Transformation der industriellen Produktion, kurz Industrie 4.0, bislang nur sehr wenig oder am Rande betrachtet und beschränken sich zumeist auf Material- oder Energieeffizienz.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten und Forschungsarbeiten, die derzeit in Deutschland zu Industrie 4.0 stattfinden, liegt im Maschinen- und Anlagenbau sowie der Automatisierungs- und Elektrotechnik. Kernthemen sind die Standardisierung im technischen und digitalen Bereich und die Herstellung einer durchgehenden „Verträglichkeit“ (Interoperabilität) betriebsintern, heißt zwischen den einzelnen Betriebsbereichen, wie auch betriebs- und unternehmensübergreifend in lokalen bis globalen Produktions- und Dienstleistungsnetzwerken. Ein weiterer Fokus liegt auf Industrie 4.0-typischen Modellen und dem zunehmenden Einsatz von künstlicher Intelligenz. Wesentliche Teile dieser laufenden Aktivitäten sind unter dem Dach der sogenannten Plattform Industrie 4.0 zusammengeführt oder eng daran angebunden.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Industrie 4.0 - die digitale Transformation der industriellen Produktion - eröffnet grundlegend neue Möglichkeiten in den Bereichen Prozessoptimierung, intelligente Vernetzung und Datenmanagement und nutzt moderne Kommunikationstechniken wie das Internet, um in lokalen bis globalen Märkten flexibel zu agieren. Diese neuen Handlungsoptionen, die durch den Wandel zu einer Industrie 4.0 entstehen,

sind auch auf den Umweltbereich übertragbar und stellen Chancen wie Risiken dar.

Insbesondere der Bereich Prozessoptimierung wird vom Einsatz innovativer Industrie 4.0-Technologien und Anwendungen profitieren. Hierbei sind Optimierungspotenziale nicht nur beim Produktionsprozess selbst zu sehen, sondern ebenso bei allen mit der Produktion verknüpften Prozessen, wie beispielsweise der Abwasser- oder Abgasreinigung, das heißt, in der klassischen Umwelttechnik, sowie bei den energietechnischen Anlagen und der Logistik. Der erweiterte Einsatz von Sensorik im Zusammenspiel mit einer Datenübertragung und Verarbeitung in Echtzeit stellen hierbei ein wesentliches Element dar. Prozesse werden so transparenter, können zeitnah nachjustiert sowie zielgerichtet gesteuert werden

Die thematischen Schwerpunkte, die im Kontext von Industrie 4.0 und Umwelt besonders vielversprechend erscheinen, sind Ressourceneffizienz (Material und Energie), Sekundärrohstoffe und Recycling, Prozessketten und Nachverfolgbarkeit, Chemikalien und Gefahrstoffmanagement, Produkt- und Konsumenteninformation sowie Daten und Datenmanagement.

Eine zentrale Fragestellung ist, wie die „Gewinne“ der digitalen Transformation der Industrie, beispielsweise die Verringerung des Material- beziehungsweise Energieeinsatzes in einem Prozess sich gegenüber den „Kosten“ der Digitalisierung, das heißt, den für die Digitalisierung eines Prozesses selbst notwendigen Material- und Energieaufwendungen, darstellen, beziehungsweise, wie diese Bilanz in Zukunft aussehen wird. Derzeit können hierzu keine tragfähigen Prognosen abgegeben werden, da es bislang an Erfahrungswerten fehlt, sowohl aus der industriellen Anwendungspraxis wie auch aus der praxisnahen Forschung.

Ein weiterer Aspekt ist, dass umweltbezogene Erkenntnisgewinne aus Praxisanwendungen zum jetzigen Zeitpunkt noch in die Ausgestaltung der Industrie 4.0-Modelle und darauf begründete, sich noch in Entwicklung befindliche Technologien einfließen können und somit wesentliche Weichenstellungen für die Zukunft bedeuten. Folglich ist es äußerst wichtig,

dass neben der Forschung auch Praxisanwendungen von „Industrie 4.0 und Umwelt“ zeitnah gefördert und auf den Weg gebracht werden.

Durch die wachsende Datenbereitstellung und Digitalisierung ergeben sich aber auch Risiken für Mensch und Umwelt, die von Anfang an in diesem Kontext auch bei der industriellen Produktion zu betrachten sind. So ist durch den Einsatz von selbstlernenden Komponenten bei der voranschreitenden Digitalisierung immer zu vermeiden, dass sich Lücken im Verständnis der Prozesse oder der Verlust der Kontrolle über die Prozesse ergeben können. Ebenso bindet die zunehmende Digitalisierung mehr Akteure ein oder verschafft ihnen und anderen teilweise ungewollt Systemzugang mit der Möglichkeit Prozesse zu manipulieren. Auch die Datenverarbeitung in Echtzeit im Wechselspiel mit Human Factors ist ein Themenbereich, der in diesem Rahmen an Bedeutung gewinnt.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Insgesamt gesehen wird die Umweltthematik, einschließlich der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Sicherheit der industriellen Produktion im Kontext der digitalen Transformation der industriellen Produktion bislang nur wenig bis gar nicht betrachtet. Das UBA arbeitet daher seit längerem daran, Praxisbeispiele aufzustellen und erste praktische Erkenntnisse zu „Industrie 4.0 und Umwelt“ zu gewinnen. Ein erster Aufschlag zu diesem Themenkomplex stellt die vom VDI Zentrum Ressourceneffizienz in 2016 initiierte Studie „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potentiale für KMU des verarbeitenden Gewerbes“ dar, welche von Seiten des UBAs begleitet wurde.

Durch die zunehmende Datenverfügbarkeit wird sich in allen Industrie 4.0-Bereichen der Informationsstand insgesamt, beziehungsweise das Wissen über Prozesse, Prozessketten, Prozesszustände, Produkte, Materialströme, Energieverbräuche, etc. deutlich erhöhen. Potenziale für die Umwelt ergeben sich durch die intelligente Aggregation, Kombination und Auswertung der verfügbaren Daten im Sinne und zum Nutzen von Umwelt, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit. Mit Blick auf die Datenthematik und ihre Relevanz hat das UBA bereits ein Forschungsvorhaben zu „Umweltdaten in Industrie 4.0“ auf den Weg gebracht. Die digitale

Transformation muss zudem als eine „neue Gefahrenquelle“ in der Anlagensicherheit und Störfallvorsorge angesehen werden. Dies hat die Kommission für Anlagensicherheit zum Anlass genommen, unter der Mitwirkung des Umweltbundesamtes den Leitfadens SFK-GS 38 „Maßnahmen gegen Eingriffe Unbefugter“ unter Berücksichtigung der Anforderungen der Seveso-III-Richtlinie, beziehungsweise der zwölften Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BimSchV 2000) sowie der neuen technischen Entwicklungen in dieser Berufsperiode aktualisieren. Als Kooperation mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) und UBA beginnt 2019 ein Forschungsvorhaben, das die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Anlagensicherheit analysiert. Das Vorhaben will dazu beitragen, den Stand der Sicherheitstechnik weiterzuentwickeln und geeignete Maßnahmen zu identifizieren, um Störfälle zu verhindern oder deren Auswirkungen zu begrenzen (Best-Practice-Beispiele für einen sicheren Anlagenbetrieb).

Eine vernetzte, flexible und auftragsgesteuerte Produktion, wie sie für Industrie 4.0 typisch ist, findet in internationalen bis globalen Produktions- und Dienstleistungsnetzwerken statt. Daher kommt dem Bereich Standardisierung und Normung eine hohe Bedeutung zu, welche seitens des UBAs dementsprechend adressiert wird. So ist das UBA seit 2016 unter dem Expert Panel des Standardization Council Industrie 4.0 aktiv und hat an der Erstellung der Normungsroadmap Industrie 4.0, Version 3, mitgewirkt. Darüber hinaus wird die Entwicklung neuartiger Technologien (zum Beispiel digitaler Zwilling) und neuer Geschäftsmodelle im industrienahen Bereich beobachtet und auf Potentiale wie auch Risiken hin überprüft.

Das UBA wird seine bereits initiierten Aktivitäten zu „Industrie 4.0 und Umwelt“ und der Anlagensicherheit im Kontext einer zunehmend digitalisierten und vernetzten Welt weiterverfolgen und ausbauen, die Zusammenarbeit mit Partnern vertiefen und durch die Implementierung von Forschungsvorhaben und Praxisanwendungen Erkenntnisse gewinnen, die dazu dienen werden, auf umweltpolitischer Ebene die entsprechenden Leitplanken für einen anspruchsvollen Stand der Technik, beziehungsweise Stand der Sicherheitstechnik zu setzen.

4.5 Digitalisierung und betriebliches Umweltmanagement



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Das betriebliche Umweltmanagement ist Teil des Gesamtmanagements eines Unternehmens oder einer Organisation. Dabei werden Abläufe und Verantwortlichkeiten so organisiert, dass sie im Einklang mit den gesellschaftlichen Ansprüchen zum umweltgerechten Handeln stehen, rechtliche Vorgaben erfüllen und Chancen und Risiken für die Umwelt frühzeitig erkannt werden können.

Unter betriebliches Umweltmanagement fallen Aspekte wie der Energie- und Materialverbrauch, Emissionen, Flächennutzung sowie Abfall und Abwasser. Auch indirekte Einflüsse auf die Umwelt wie beispielsweise der Arbeitsweg der Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern oder das Verhalten von Lieferunternehmen spielen dabei eine Rolle. Das Ziel des betrieblichen Umweltmanagements ist es, den Informationsfluss zu verbessern, Kosten zu sparen sowie den

Umweltschutz zu verbessern. Auf all diese Aspekte wird der digitale Wandel signifikante Auswirkungen haben.

Doch während Digitalisierungstrends wie Automatisierung, Mobile Computing oder Software-Tools schon heute in Unternehmen für das Umweltmanagement eingesetzt werden, stehen die Anwendungsmöglichkeiten von AR und VR, Big Data, Blockchain, Cloud Computing, IoT oder KI noch am Anfang. Beispielsweise existieren derzeit bis auf wenige Pilotvorhaben, die in ihrem Umfang stark begrenzt sind, noch keine Anwendungsfälle für die Weitergabe umweltbezogener Daten entlang von Lieferketten mittels der Blockchain-Technologie.

Grundsätzlich bietet Blockchain die Möglichkeit, Lieferketten transparenter und Warenströme nachvollziehbar zu machen. Einmal in die Blockchain eingetragen, können diese Angaben nicht mehr verändert

werden, was Manipulationen vorbeugt und den Weg der Ware für alle Beteiligten transparenter macht. Mit Bezug auf die Potenziale für die Umwelt heißt das, dass die umweltbezogenen Aktivitäten in jedem Teil der Lieferkette über Blockchain protokolliert werden können und diese so für Produzenten, Zertifizierer, weiterverarbeitende Unternehmen Handel und Verbraucher transparenter werden.

Gleichzeitig könnten so Umweltstandards besser sichergestellt und geprüft werden. Dies gilt insbesondere für Bereiche, deren Herkunft durch Warenkennzeichnung bislang nicht sehr transparent ist, etwa bei Textilien oder Kosmetik. Auch Big Data wird bislang nur in Einzelfällen für umweltbezogene Risikoanalysen eingesetzt. Hierbei können zum Beispiel Echtzeitdaten zum Umweltzustand, also zu Wasser-, Boden- oder Luftverunreinigungen oder Wetter- und Klimadaten genutzt und analysiert werden, um daraus beispielsweise mit Blick auf den Klimawandel mögliche Szenarien auszuarbeiten.

Selbst bei der unternehmerischen Berichterstattung, die im Finanzbereich bereits maschinenlesbare Schnittstellen enthält und eine automatisierte Auswertung zulässt, fehlt es in der Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichterstattung noch an Standardisierung und Vergleichbarkeit. Unternehmen aller Art und Größe setzen mittlerweile zwar „Enterprise-Resource-Planning-Software“ (ERP) ein, um verschiedenste Unternehmensbereiche zu steuern, von Kostencontrolling und Buchhaltung über Auftragsabwicklung, Materialwirtschaft und Produktion bis hin zu Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Zur digitalen Unterstützung des Umwelt-, Energie- und Nachhaltigkeitsmanagement kommen allerdings oftmals alleinstehende Softwarelösungen zum Einsatz, die keine oder kaum Schnittstellen zu den zentralen ERP-Systemen der Unternehmen aufweisen und somit diese Prozesse im digitalen betrieblichen Umweltmanagement nicht mit einbinden.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Die Digitalisierung bietet auf der einen Seite neue Chancen für das betriebliche Umweltmanagement, insbesondere durch die erhöhte Transparenz und Sicherung von Umweltstandards. Demgegenüber stehen mögliche Rebound-Effekte, insbesondere ein erhöhter Ressourcenverbrauch, der sich durch den

erhöhten Einsatz von digitalen Technologien beim betrieblichen Umweltmanagement ergibt. Die Chancen der Digitalisierung liegen vor allem in folgenden Bereichen:

- **beim betrieblichen Umweltcontrolling**
- **beim Management von vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten**
- **bei der Umsetzung von umweltrechtlichen Anforderungen in Betrieben**

Beim Umweltcontrolling liefern zum Beispiel bessere Messtechnik, Sensorik und die Vernetzung von Anlagen mehr Daten, die ebenfalls schneller verfügbar sind. Dadurch können steuerungsrelevante Kennzahlen in Echtzeit dargestellt, Trends schneller erkannt werden und schneller eingegriffen werden. Beispielsweise kann so der Energieverbrauch einer Anlage überwacht, ein steigender Energieverbrauch sofort erkannt und entsprechend gegengesteuert werden.

Wenn es um das Management von Umweltaspekten in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen geht, kann zum Beispiel Blockchain-Technologie in der Lieferkette verbesserte Daten zum Umweltverhalten der Kunden liefern sowie bessere Angaben zu den Umweltauswirkungen am Ende des Lebenswegs einer Ware bieten.

Damit wiederum wäre es für Unternehmen möglich, Maßnahmen beim Umweltmanagement zielgenauer festzulegen und Verbrauchern effektivere Informationen zum Umweltschutz (beispielsweise zum Kraftstoffsparen beim Autofahren) mitzugeben. In Unternehmen selbst wiederum können digitale Technologien dafür sorgen, dass die rechtlichen Anforderungen an den Umweltschutz besser eingehalten werden.

Schnellere und bessere Informationen zu Anlagenbetriebszuständen oder Emissionen etwa können helfen, Grenzwertüberschreitungen schneller zu erkennen oder bereits im Vorfeld zu vermeiden. Auch eine direkte Berichterstattung in Echtzeit von Anlagen an Behörden wären mögliche Chancen, die die Digitalisierung beim Umweltmanagement bietet.

Eine Digitalisierung des betrieblichen Umweltmanagements kann daher einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigeren Industrie 4.0 leisten (s. Handlungsfeld: „Digitale Transformation der industriellen Produktion“). Durch Digitalisierung werden voraussichtlich Aufwand und Kosten sinken, um ein Umweltmanagementsystem einzuführen, aufrechtzuerhalten und zertifizieren zu lassen, wodurch Potenziale zur weiteren Verbreitung dieser Systeme entstehen dürften.

Zugleich werden sich mit der Digitalisierung neue Handlungsfelder für das Umweltmanagement eröffnen. So werden zunehmend lokale und medienübergreifende Verlagerungen von Umweltwirkungen und Rebound-Effekte auftreten, die im Rahmen des betrieblichen Umweltmanagements erfasst und berücksichtigt werden müssen.

Ein anschauliches Beispiel dafür ist die mobile Arbeit, also die zunehmende Flexibilisierung von Arbeitszeiten und Arbeitsorten. Diese birgt in mancher Hinsicht zwar ökologische Vorteile, erfordert oftmals aber auch ressourcenintensivere Hardware.

Außerdem verlagern sich Strom- und Wärmeverbräuche außerhalb des direkten Einflussbereiches der Arbeitgeber, was, je nach Einzelfall, zu einer negativeren Umweltbilanz führen kann. Wenn beispielsweise der Arbeitgeber auf Ökostrom setzt, die Mitarbeiter aber vorwiegend aus dem Home-Office arbeiten, ist nicht sichergestellt, dass diese dort Ökostrom nutzen.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Das UBA wird mit Forschungsaktivitäten, Dialogformaten und Unterstützungsmaßnahmen für Unternehmen darauf hinwirken, sowohl die Digitalisierung für das betriebliche Umweltmanagement nutzbar zu machen als auch Ansatzpunkte aufzuzeigen, wie Umweltbelastungen und Umweltrisiken einer digitalisierten Produktion mithilfe des Umweltmanagements reduziert werden können.

Im Sinne der Orientierung am Leitbild der nachhaltigen Produktion ist es Aufgabe des UBAs, die möglichen Chancen und Risiken für die Umwelt durch die Digitalisierung und Vernetzung zu analysieren und die möglichen Strategien zur Nutzung der Entwicklungschancen und zur Verhinderung der Risiken zu erarbeiten. Konkret wird das UBA den Austausch mit Entwicklungsfirmen von ERP-Systemen suchen, um der Frage nachzugehen, wie umweltbezogene Daten, Ziele und Prozesse stärker über solche Systeme abgebildet werden können und damit das Umweltmanagement besser in die zentrale Unternehmenssteuerung integriert werden kann.

Darüber hinaus werden im Rahmen eines Forschungsvorhabens für die betrieblichen Themenfelder Umweltcontrolling, Compliance Management, Risikomanagement, Lieferkettenmanagement, Stakeholder Management, Produktion und Personalmanagement digitale „Use Cases“ für das Umweltmanagement erhoben und praxistauglich aufbereitet.

4.6 Umweltschonender Konsum



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Der digitale Wandel verändert nicht nur die Industrie, sondern auch Marktdynamiken sowie das Konsumverhalten und dessen Auswirkungen auf die Umwelt. Diese Veränderung wird als Konsum 4.0 bezeichnet. Die Bundesregierung definiert Konsum 4.0 als „neuartige Konsumprozesse, bei denen die Digitalisierung einen wesentlichen Einfluss darauf hat, wie Angebote, Präferenzbildungen, Suchprozesse und Kaufentscheidungen zustande kommen und wie diese im Markt und im Lebensalltag der Menschen realisiert werden“ (Bundesregierung 2019).

Auch das Verbraucherverhalten verändert sich auf allen Ebenen. Eine der deutlichsten Veränderungen im Konsumverhalten der Deutschen zeigt sich im Einkaufsverhalten. Während der Einzelhandel jährlich weniger Einnahmen verzeichnet, boomt der Online-Handel in Deutschland. Der Online-Monitor 2019 des Handelsverbands Deutschland (HDE 2019) verzeichnet für das Jahr 2018 ein Wachstum von 9,1 Prozent. Eine Sättigung des Marktes sei dabei laut HDE nicht in Sicht. Ein wachsender Anteil der Online-Transaktionen erfolgt durch digitale Bezahlformen. Insbesondere die steigende Nutzung von verschlüsselten Verfahren wie Kryptowährungen

erhöhen jedoch den Bedarf an Rechenleistung und somit ebenfalls an Ressourcen und Energie (de Vries 2018).

Nicht zuletzt gilt es zu bedenken, dass sich die Rolle der Verbraucherinnen und Verbraucher mit der Digitalisierung verändern kann. Sowohl Ultrapersonalisierung von Produkten als auch neue Technologien wie der 3D-Druck integrieren den Endverbraucher immer mehr in die Herstellung von Produkten. So werden aus Konsumenten Prosumenten, bei denen die Grenzen zwischen Produktion und Konsum immer mehr verschwimmen. Verbraucherinnen und Verbraucher schaffen dabei eigene Konsumnetzwerke, wie zum Beispiel die digital basierte Sharing Economy, auf der Dienstleistungen aber auch Güter geteilt und getauscht werden und damit nachhaltiger konsumiert werden können. Durch Online-Tauschbörsen können Gebrauchsgüter von Elektro- und Elektronikartikeln bis hin zu Kleidung neue Besitzer finden, anstatt entsorgt zu werden. Das verlängert die Nutzungsdauer von Gütern und kann den Kauf neuer Produkte reduzieren. Nach Untersuchungen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung haben zwischen Mai 2015 und Mai 2016 191 Millionen Verbraucher und Verbraucherinnen in 28 EU-Staaten mindestens eine Trans-

aktion auf einer Sharing-Plattform durchgeführt. Nach Erkenntnissen des BMWi sind in Deutschland insbesondere die Bereiche Mobilität und Unterkünfte relevant (BMWi 2018).

Die skizzierten und weitere mit der Digitalisierung verbundenen strukturellen, technologischen und kulturellen Veränderungen im Konsum 4.0 haben schon jetzt erheblichen und tief greifenden Einfluss auf unsere Konsumgesellschaft und deren potenzielle Ausgestaltung in Richtung Nachhaltigkeit.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Beim Konsum 4.0 stehen sich einerseits die Möglichkeiten zu einer besseren Verbreitung von umweltfreundlichen Produkt- und Dienstleistungsangeboten und andererseits die Gefahren einer Steigerung des ressourcenintensiven Konsums gegenüber. Um einschätzen zu können, inwiefern das Nutzerverhalten aufgrund der Digitalisierung die Umwelt belastet oder entlastet, ist es wichtig, das Nutzerverhalten zu verstehen. Denn der Effekt des Konsums 4.0 hängt teilweise davon ab, wie Verbraucherinnen und Verbraucher sich verhalten. So kann die ständige Verfügbarkeit von Produkten oder neue Marketingmethoden wie personalisierte Werbung zu einem erhöhten Konsumniveau führen.

Gleichzeitig können digitale Plattformen die Auffindbarkeit von nachhaltigen Alternativen verbessern, Produktionsprozesse transparenter machen und digitale Umweltlabels, zum Beispiel in Form von Quick-Response-Etiketten für Smartphones, Verbraucher zu ressourcenschonenderem Konsum anregen. Das Verbraucherverhalten im Privathaushalt kann durch den Einsatz von intelligenten Geräten den Energie- und Wasserbedarf reduzieren. Auch hier gilt es jedoch zu bedenken, dass smarte Geräte ebenfalls den Einsatz von digitalen Technologien erfordern, deren Bedarf an Ressourcen sowie Auswirkungen auf Treibhausgas-Emissionen mit einbezogen werden müssen. Das BMU hat außerdem verschiedene Anstöße („Nudges“) zum Energiesparen in privaten Haushalten angeregt, wie etwa eine Liste von Technologien, mit denen sich Standby-Geräte leichter abschalten lassen (BMU 2016).

Auch die Sharing Economy bietet Potenziale für einen nachhaltigen Konsum 4.0. Digitale Peer-to-Peer-Plattformen bieten zum Beispiel Möglichkeiten

für privates Carsharing oder das Teilen Bedarfsgegenständen oder sogar von Wohnraum. Dies gilt allerdings nur, wenn die Sharing-Plattformen in einen nachhaltigen Konsum (4.0) eingebettet sind. Jede Kosten-Nutzen-Analyse im Konsum 4.0 sollte daher stets das konkrete Nutzerverhalten mit einbeziehen und anhand dessen die Chancen gegen die Risiken für die Umwelt abwägen.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Mit Blick auf die Förderung und gesellschaftliche Verwirklichung eines nachhaltigen Konsums stoßen die bisher etablierten politischen Gestaltungs- und Einflussmöglichkeiten an neue Grenzen. Ein Verständnis des Nutzerverhaltens und der Funktionsweise des E-Commerce hilft, die erforderlichen umweltpolitischen Rahmenbedingungen und Anreize zu schaffen. Weiterhin gilt es, für Verbraucherinnen und Verbraucher eine fundierte Wissensbasis zum nachhaltigen Konsum 4.0 bereitzustellen. Darüber hinaus hat die Bundesregierung das nationale Programm für nachhaltigen Konsum ins Leben gerufen. In den Bereichen Mobilität, Ernährung, Wohnen und Haushalt, Arbeit und Büro, Bekleidung sowie Freizeit und Tourismus werden darin umweltpolitische Leitideen sowie konkrete Handlungsansätze zu einem nachhaltigeren Konsum entwickelt. Dazu gehört unter anderem die Stärkung der Forschung in diesem Bereich (Bundesregierung 2017). Schwerpunkte des UBA sind daher Untersuchungen zu Wirkungen der Digitalisierung auf das Konsumniveau und –verhalten, auf Veränderungen von Konsum- und Lebensstilen, auf Chancen für Verbraucherinformation, -bildung, und –beratung sowie auf die Umweltkennzeichnung im E-Commerce.

Dabei müssen die Umweltwirkungen und -risiken sowie Chancen erfasst und bewertet werden, um auf dieser Basis Empfehlungen für eine nachhaltige Produkt- und Verbraucherpolitik entwickeln zu können. Aktuelle Projekte werden sich unter anderem mit Fragen neuer, digitaler Verbraucherkompetenzen, mit digitalen, sozialen Innovationen für nachhaltigen Konsum oder Fragestellungen zur Verbrauchersuffizienz befassen. Zusätzlich geht es um Szenarien eines ökologisierten Onlinehandels mit Aspekten von Ressourcenschonung, Reparierbarkeit und Wiederverwendung vor dem Hintergrund voranschreitender Digitalisierung.

4.7 Nachhaltige Mobilität und Logistik 4.0



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Mobilität und Logistik erleben durch die Digitalisierung einen einschneidenden Wandel. Dazu zählen im Bereich der Individualmobilität vor allem verschiedene digitale Mobilitätsangebote, wie IT-gestützte Sharing-Angebote (Carsharing, Bikessharing, Scooter-Sharing), appbasierte On-Demand-Transportdienstleistungen (Ridesharing, Ridehailing, Carpooling) sowie KI-basiertes Flottenmanagement im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). In der Logistik 4.0 sorgt die Digitalisierung durch Big Data, KI oder dem IoT sowie dem Einsatz von IKT für die Vernetzung von logistischen Prozessen.

Big Data kommt zum Beispiel in der Vernetzung logistischer Prozesse zum Tragen. Im Bereich von IoT und KI zeigt sich dies in Geräten mit autonomer Intelligenz wie etwa Kameras oder Detektoren sowie Assistenzsystemen in Fahrzeugen.

Ein weiterer Bereich der Logistik 4.0 sind Cyberphysical Systems, bei denen mechanische Komponente über Netzwerke und IKT miteinander verbunden sind. In diesem Bereich der Mobilität und Logistik 4.0 ist die potenziell umfassendste Veränderung das autonome Fahren.

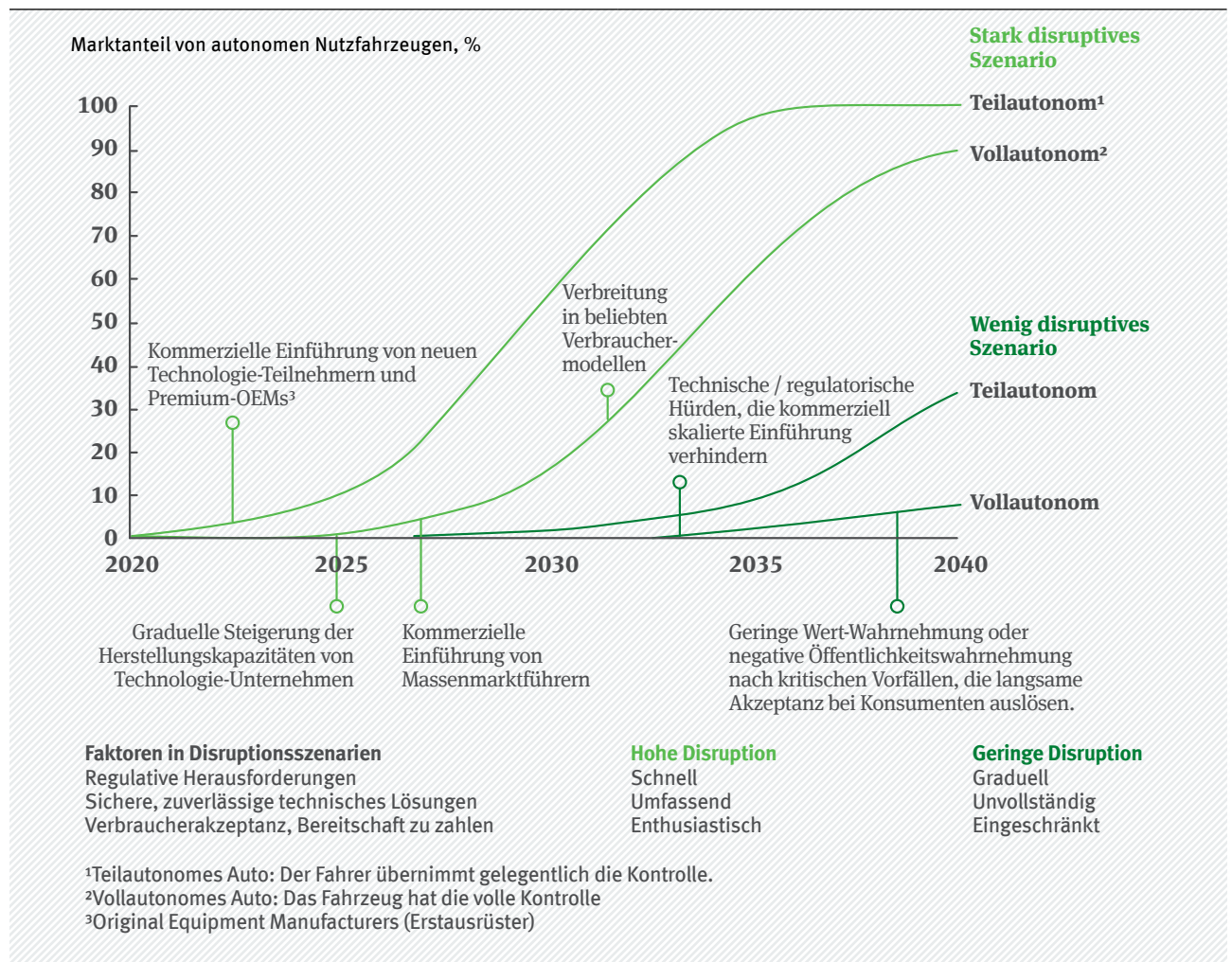
Tabelle 2

Die Stufen der Automatisierung

Automatisierungsstufe	Automatisierung der Fahraufgaben
Vollautomatisiert	Das System übernimmt, je nach Anwendungsfall, verschiedene Fahraufgaben. Der Fahrer kann (muss aber nicht) die Fahrzeugführung übernehmen.
Hochautomatisiert	Das System übernimmt zum größten Teil alle Fahraufgaben. Der Fahrer muss das System nicht mehr überwachen. Er kann aber vom System zum Eingreifen aufgefordert werden.
Teilautomatisiert	Das System übernimmt die Fahraufgaben für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen. Der Fahrer muss das System überwachen und bereit sein, einzugreifen.
Driver Only	Fahrer führt dauerhaft alle Fahrfunktionen aus.

Quelle: Die Stufen der Automatisierung nach der Definition der Bundesanstalt für Straßenwesen (BMVI 2015)

Wie viele neue Autos könnten bis 2030 vollautonom sein?



Quelle: McKinsey

Nach einer Impact-Studie des Victoria Transport Policy Institute (Litman 2019) könnten die ersten Effekte des autonomen Fahrens, sowohl für Städte als auch für Transportteilnehmer, bereits im Zeitraum zwischen 2020 und 2030 spürbar werden. In welchem Maße lässt sich zu diesem Zeitpunkt schwer abschätzen. Die Beratungsagentur McKinsey hat für diese Entwicklung sowohl ein stark disruptives als auch ein wenig disruptives Zukunftsszenario erstellt. Im wenig disruptiven Szenario machen voll-autonome Personenkraftwagen (PKW) 2030 weniger als fünf Prozent aller Fahrzeuge weltweit aus. Im stark disruptiven Szenario liegt der weltweite Marktanteil voll-autonomer PKW bei 15 Prozent (Gao et al. 2016).

Doch bereits jetzt zeigen sich die Effekte der Digitalisierung in der Mobilität und Logistik. So verändern digitale Mobilitätsangebote die Individualmobilität.

Fortbewegung wird vor allem im urbanen Raum von dem Besitz eines eigenen Fahrzeugs entkoppelt und zunehmend mit dem digitalen Zugriff zu Mobilitätsangeboten ersetzt. Nach dem Mobilitätsreport „Mobilität in Deutschland“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ist in deutschen Metropolen in 14 Prozent aller Haushalte mindestens eine Person Kunde bei einer Carsharing-Organisation, auch wenn dies bislang ein vorwiegend urbanes Phänomen ist. Gleiches gilt für den Besitz eines eigenen PKW. Demnach beträgt der Anteil autofreier Haushalte in deutschen Metropolen 42 Prozent (BMVI 2017).

Auch in der Logistik verändert die Digitalisierung Transportketten und Transportanlässe auf unterschiedlichen Ebenen. Intelligente Flottenmanagement-Software übernimmt verstärkt die Planung von Touren, Transportketten und Transportwegen.

Digitalisierte und smarte Mobilitäts- und Logistikangebote bieten dabei sowohl Chancen zum effizienteren, ressourcenschonenderen Transport als auch neue Risiken für die Umwelt.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Sowohl Mobilität als auch Logistik 4.0 haben das Potenzial, Transport und Verkehr effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Gleichzeitig ist nicht klar, inwiefern die benötigten Ressourcen für die IT-Infrastruktur sowie die Produktion der benötigten Fahrzeuge dafür zu höheren Umweltbelastungen führen. Nachweislich umweltentlastende Effekte (Pratsch 1975) sind mit PKW-Fahrgemeinschaften (Carpooling und Vanpooling) verbunden. Durch die Digitalisierung konnten grundlegende Erkenntnisse aus den 1970er und 1980er Jahren aus den USA in einer Studie des Massachusetts Institute of Technology aus dem Jahr 2017 aktualisiert (Anderson 2017) und bestätigt werden. Dagegen sind mit der bisher praktizierten (Nicht-)Regulierung digitaler taxiähnlicher Angebote (Ridehailing, Ridesourcing) wie etwa von Uber und Lyft in New York City nachweislich extrem hohe Zuwächse der Fahrzeugkilometer, des Energieverbrauchs, der Emissionen und der Verkehrsstauungen festzuhalten. Gleichzeitig ging die Nutzung des ÖPNV im Modal-Split zurück (Schaller 2018).

Zu den Fragen einer Regulierung in Deutschland werden in Kürze die Ergebnisse des Vorhabens „RechtSInnMobil“ (UBA 2018c) inklusive der Empfehlungen für ein umweltorientiertes Personenbeförderungsrecht vorliegen. Im Bereich der Logistik 4.0 stehen auf der einen Seite mögliche Einsparpotenziale, zum Beispiel im Bereich der Kraftstoffersparnis und damit CO₂-Reduzierung durch effizientere Tourenplanung oder intelligente Assistenzsysteme in Fahrzeugen. Auf der anderen Seite stehen dagegen der erhöhte Bedarf an IKT, die steigende Nutzung der Breitbandnetze und dadurch bedingt die steigende Nutzung von Energie und Materialien.

Beim autonomen Fahren stellt sich weiterhin die Frage, in welchem Umfang unerwünschte Verlagerungseffekte vom öffentlichen Verkehr auf den PKW-Verkehr zu erwarten sind und ob sich das Konzept der „Robotaxis“ in den öffentlichen Verkehr

integrieren lässt. Darüber hinaus ist unklar, welche ökologischen Wirkungen der Online-Handel gegenüber dem stationären Handel verursacht (Business-to-Business, Business-to-Consumer) und welche ökologischen Optimierungspotenziale in den IT-Systemen in der Logistik bestehen (Logistik 4.0).

Eine Studie aus dem Jahr 2015 zeigt ein weites Spektrum zwischen Chancen und Risiken der Umwelt (Greenblatt et al. 2015). Nach Ansicht der Autoren der Studie liegt das Spektrum der Entwicklung der Emissionen durch die Digitalisierung der Mobilität von einer möglichen Minderung der Treibhausgas-Emissionen um 80 Prozent bis hin zu einer dreifachen Erhöhung. Diese starke Diskrepanz liegt an mangelnden Erhebungen in diesem Bereich und verdeutlicht die Notwendigkeit weiterer Forschungsarbeiten.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Das UBA sieht daher vor, künftig weitere Studien in diesem Bereich durchzuführen. So wird sich die erste „Fallstudie zu Querverbindungen“ mit dem Nexus „Logistik, (Online-)Handel, Produktion“ beschäftigen.

Zudem wird in der Grundlagenstudie „Digitalisierung im Verkehr – Potenziale und Risiken für Umwelt und Klima“ derzeit untersucht, wie groß die Wirkung von „Robotaxis“ auf den ÖPNV und den Gesamtverkehr sein können.

In künftigen Vorhaben sollen die Potenziale der Digitalisierung zu einer Echtzeit-Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch Bevorzugung von Fahrzeugen mit mehr Insassen und zu einer wirkungsvolleren Überwachung des motorisierten Individualverkehrs inklusive des ruhenden Verkehrs aufgezeigt werden. Dies könnte unter anderem zur Minderung des Verkehrs zur Parkplatzsuche beitragen.

Des Weiteren werden erste Grundlagen entwickelt, wie sich die Umweltwirkungen des Online-Handels gegenüber dem stationären Handel verhalten. In einem nächsten Schritt werden Vorschläge für einen regulativen Rahmen entwickelt, um die Vorteile einer Digitalisierung im Verkehr bestmöglich für den Umwelt- und Klimaschutz in Wert setzen zu können und gleichzeitig die Risiken zu mindern.

4.8 Umweltverträgliche Energieinfrastruktur 4.0



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Ausstieg aus der Atomenergie, Ausbau von erneuerbaren Energien, Klimaschutzziele: Der Zusammenhang zwischen Umweltschutz und Energie wird bereits seit Jahren diskutiert. Die Bedeutung der Digitalisierung fügt der Debatte einen wichtigen neuen Aspekt hinzu: die intelligente Vernetzung der Energie über Smart Grids. Hierbei liegt der Fokus auf der smarten Vernetzung der zukünftig verstärkt fluktuierenden Erzeugung aus erneuerbaren Energien mit dem Verbrauch. In der digitalen

Agenda 2014 – 2017 (Bundesregierung 2014) wird der Aufbau intelligenter Netze, die Modernisierung der aktuellen Verteilernetze sowie der Ausbau der Infrastruktur, unter anderem von Energiespeichern, thematisiert. Das entsprechende Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende ist am 2. September 2016 in Kraft getreten (Bundesregierung 2014).

Dieses hat mit der Einführung eines neuen digitalisierten Mess- und Regelungsnetzwerkes – dem Smart-Meter-Gateway – technische Mindeststandards für intelligente Messsysteme definiert. Das

digitalisierte Mess- und Regelungswesen bildet als Enabler die Basis für Flexibilisierungsmodelle, -produkte und -märkte. Das ermöglicht es zum Beispiel die Erzeugung von erneuerbarem Strom nachzuverfolgen. Weiterhin haben so auch kleine, dezentrale Erzeuger die Möglichkeit ihre Abrechnungsgskosten zu senken und schließlich können Energiedaten durch digitale Technologien in Echtzeit abgerufen werden – mit der Möglichkeit sie durch Anwendungen wie KI und Big Data erweitert zu steuern. Ein weiterer wichtiger Baustein in der Gesetzgebung ist das IT-Sicherheitsgesetz (BSIG), das auch im Energiesektor die Regelung des Datentransfers sowie den Datenschutz gewährleisten soll.

Die intelligente Vernetzung der Energie-Infrastruktur, insbesondere mit Bezug auf volatilen Strom aus erneuerbaren Energien, stellt aber auch neue Anforderungen an die Flexibilität und die Kapazität des Stromnetzes. Intelligente, miteinander kommunizierende Netzwerke können hier einerseits einen wertvollen Beitrag zu einer effizienteren Energienutzung leisten. Andererseits gilt es, die möglichen Rebound-Effekte der Technologie zu bedenken.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Genau in diesem Bereich – zwischen Energieeffizienz und möglichen Rebound-Effekten – bewegen sich die Chancen und Risiken für die Umwelt im Bereich der Energie 4.0. So sorgen Smart Grids, vor allem bei erneuerbaren Energien, für eine effizientere und sparsamere Energienutzung (Hu et al. 2014). Das bedeutet, dass dadurch Energie gespart und langfristig der Energiebedarf von Haushalten und Industrie gesenkt werden kann. Darüber hinaus sind Anwendungen zur Rolle der Prosumentinnen und Prosumenten, der Entwicklung datengetriebener Geschäftsmodelle oder der intelligenten Netz- und Gebäudeautomatisierung zur Minimierung des Energiebedarfs denkbar.

Insbesondere in Kombination mit Strom aus erneuerbaren Energien ergeben sich dadurch Potenziale für einen verbesserten Umweltschutz bei der Energiegewinnung, der Nutzung von Ressourcen und dem Energieverbrauch. Von besonderem Interesse sind sowohl Effizienzverbesserungen, als auch Reboundeffekte, etwa wenn es sich um erweiterte sozioökonomische Effekte handelt. So

können digitale Technologien zu Verhaltensveränderungen bei Verbraucherinnen und Verbrauchern führen, die sich wiederum in einem größeren gesellschaftlichen Wandel zeigen. Beispielsweise ist denkbar, dass neuartige Wasserstoffspeicher für Strom aus erneuerbaren Energien und die Kopplung dieser an Elektroautos die Wahl von Transportmitteln verändern wird.

Doch während die Digitalisierung in diesen Bereichen als Zukunftsthema mit hoher Tragweite identifiziert wurde, werden die Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Klima- und Umweltschutz im Energiebereich noch selten explizit angesprochen. Smart Grids erfordern zum Beispiel den Aufbau neuer Infrastrukturen, die den Einsatz von Ressourcen erfordern.

Ein weiterer Aspekt sind die Energieverluste, die sich durch die Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energie auf langer Distanz ergeben. Schließlich steigt der Energiebedarf, um die intelligenten Netze zu betreiben und instand zu halten. Darüber hinaus ergeben sich Risiken durch Hacking (Disabler) beim digitalisierten Mess- und Regelungswesen.

Vor allem in diesem Bereich der möglichen Rebound-Effekte existiert daher Forschungsbedarf, um neben den Chancen auch die Risiken für die Umwelt besser einschätzen zu können.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Das UBA sieht vor, in Studien eine Quantifizierung und ganzheitliche Betrachtung der Effekte der Digitalisierung im Energiebereich vorzunehmen. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf die Klimaschutzwirkungen gelegt werden. Dazu sollen Methoden zur Bewertung der Chancen und Risiken entwickelt und diese dann auf ausgewählte Anwendungsbeispiele, wie etwa auf den Smart-Meter-Rollout, übertragen werden.

Aus diesen Anwendungsfällen sollen im Anschluss politische Handlungsempfehlungen und Einschätzungen über verschiedene Anwendungsfelder der Digitalisierung im Energiebereich hinsichtlich des Klima- und Ressourcenschutzes abgeleitet werden.

4.9 Digitalisierung und umweltgerechte Chemie



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Die Digitalisierung hat die Produktion von Chemikalien schneller, spezifischer und effizienter gemacht. Für die Bewertung der Chemikaliensicherheit bedeutet die Digitalisierung im Bereich der chemischen Industrie eine Veränderung der bisherigen Wertschöpfungsketten bis hin zu Wertschöpfungsnetzwerken. Das betrifft die Produktionsprozesse und Absatzmärkte. Für diese verschiedenen Einsatzfelder der Digitalisierung nutzt die chemische Industrie zusammenfassend den Begriff „Chemie 4.0“.

So haben viele Unternehmen der Chemie-Industrie die Steuerung ihrer Fertigungsanlagen mithilfe von digitalen Prozessen automatisiert. Wichtigster Treiber ist dabei die Einbeziehung von umfänglichen Daten – Big Data – in allen Bereichen und zu jeder Zeit innerhalb der Prozesskette, von der Ressourcengewinnung über Produktdesign, Produktion und Konsum bis zur Entsorgung.

So können Anlagen mithilfe von smarten Sensoren nicht nur gesteuert, sondern ebenfalls durch die Auswertung von Big Data spezifisch gesteuert werden. Denn je mehr Daten in Echtzeit zur Verfügung stehen, desto genauer und damit gegebenenfalls auch umweltgerechter kann ein Produkt, beziehungsweise die dafür erforderlichen Chemikalien produziert oder eingesetzt werden.

Durch neue Anwendungen und Möglichkeiten wie diese ergeben sich ebenfalls neue Arbeitsbereiche und Geschäftsmodelle sowie neue Märkte für die Branche, die aus wirtschaftlicher Sicht vielversprechend sind. Deshalb planen die Unternehmen der chemisch-pharmazeutischen Industrie, in den nächsten Jahren mehr als eine Milliarde Euro in Digitalisierungsprojekte und neue digitale Geschäftsmodelle zu investieren (VCI 2017).

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Die Digitalisierung der Chemie-Industrie schafft nicht nur neue Geschäftsmodelle, Tätigkeitsbereiche und Dienstleistungen, sondern ermöglicht auch eine verbesserte Ausgangslage für Substitution von Produkten, Chemikalien, Materialien und auch Energie. Dazu gehört beispielsweise das ressourcenschonende Chemikalienleasing. Beim Chemikalienleasing verkaufen Hersteller oder Importeure die Chemikalien nicht. Stattdessen bieten sie dem Käufer entweder die Funktion der Chemikalie oder die Chemikalie als Dienstleistung an. Nach der Nutzung nimmt der Anbieter die Chemikalie wieder zurück und übernimmt die Verantwortung für eine umweltgerechte Aufarbeitung oder Entsorgung. Damit kann der Verbrauch von Chemikalien optimiert und die Ressource effizienter eingesetzt werden (OECD 2017). Die Digitalisierung der Chemie-Branche mit ihrer enormen Querschnittsfunktion in andere Sektoren kann außerdem einen entscheidenden Qualitätssprung einleiten. Das kann dann gelingen, wenn wesentliche Daten und Informa-

tionen, die zu einer besseren Chemikaliensicherheit für Mensch und Umwelt beitragen, durchgängig über die gesamte Prozess- und Wertschöpfungskette sowie am einzelnen Produkt mitgetragen werden. Damit ist die Weitergabe von relevanten Daten zu Treibhausgaspotenzial, Ressourcenverbrauch und Mobilität (Potenzial zum Ferntransport) von Chemikalien, Materialien und Produkten gemeint, sowie eine verbesserte Nachverfolgbarkeit von bereits bekannten und potenziell gefährlichen Chemikalien. Dies wiederum erhöht die Transparenz auf eingesetzte Ressourcen und genutzte Prozessketten. Die Möglichkeit, diese in Chemikalien nachverfolgen und prüfen zu können, ist ein Mehrwert für Beurteilung der Auswirkungen der Chemie 4.0 auf Mensch und Umwelt.

Weiterhin kann die Kreislaufführung von Materialien für Chemikalien gesteigert werden, indem die Datenlage zu der chemischen Zusammensetzung von Materialien, wie etwa Verbundwerkstoffe verbessert und die Nachverfolgbarkeit von Gefährlichkeitsmerkmalen einzelner Stoffe für bestimmte Regularien gesteigert wird. So können smarte Technologien zum Beispiel für das Abfallregime, das Chemikalienmanagement zu Industriechemikalien nach der EU-Chemikalienverordnung (EU-VO 2006/1907/EG) – „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“, REACH –, zu Pestiziden (Pflanzenschutzmittel und Biozide), Düngemitteln, Arzneimitteln, Wasch- und Reinigungsmitteln und Nanomaterialien wichtige Daten generieren und die Nutzung von Chemikalien und Ressourcen somit effektiver und sicherer gestalten. Des Weiteren können digitale Technologien Arbeitsprozesse optimieren und die Dokumentation einfacher machen. Dies kann die Qualität beim betrieblichen Umweltmanagement sowie bei der Umweltberichterstattung verbessern. Doch neben diesen Potenzialen verstärken sich mit Bezug auf die Umwelt bereits bekannte Probleme oder es entstehen gänzlich neue Risiken für die Umwelt.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Die Herausforderungen in der Chemikaliensicherheit durch die Digitalisierung der Chemie sind vielfältig und benötigen fördernde und regulierende politische Rahmenbedingungen für die Akteure und Unternehmen. Nicht zuletzt muss die Digitalisierung bereits in der chemiespezifischen Aus- und Weiterbildung

vermittelt und dort mit den relevanten Nachhaltigkeitsaspekten verknüpft werden.

Thematische Schwerpunkte für die Umweltpolitik sind in diesem Kontext neben den Chemikalien selbst und deren Gefahrstoffmanagement sowie dem generellen Datenmanagement auch Themen wie Ressourceneffizienz (Material und Energie), Sekundärrohstoffe und Recycling und Nachverfolgbarkeit sowie Produkt-, Anwendungs- und Konsumenteninformation.

Vor allem im Bereich der erhöhten Verfügbarkeit von Daten durch digitale Technologien liegen verschiedene Handlungsansätze. Der größere Zugang zu Daten innerhalb der Chemie 4.0 kann dazu führen, dass die Vernetzung von (zeitnahen) Daten und Information zu einem Wissensgewinn in den vorgenannten Schwerpunkten führt. Dies erfordert allerdings eine politische Rahmensetzung, bei der alle Beteiligten Zugang zu diesen Daten haben. Diese quantitative und qualitative Steigerung von Daten und Information und somit Wissen durch eine höhere Vernetzung in Bezug auf umweltrelevante Schwerpunkte kann schließlich, über entsprechende Änderungen in der Praxis, positive Auswirkungen auf Ökologie, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit erzielen. Diese Punkte werden bereits unter REACH verfolgt und führen somit zu Verbesserungen in der Verbraucherinformation, wie etwa der Auskunftspflicht, sowie der Handhabung und Sammlung von Daten mit Zugang zu wichtigen Informationen (Datentransparenz). Für eine noch bessere Chemikaliensicherheit im Zuge der Digitalisierung bedarf es jedoch einer stetigen Vernetzung von Informationssystemen zu unterschiedlichen Aspekten von Chemikalien und deren Zulassung in unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Werden diese Chancen und Risiken frühzeitig erkannt und entsprechend angegangen, kann die Digitalisierung in der Chemie zu Verbesserungen und mehr Nachhaltigkeit in den Bereichen Umwelt, Gesundheit, Bildung und Ernährung und somit zu einer übergreifenden Chemikaliensicherheit beitragen.

¹Der Begriff Chemikalien bezieht sich im Text vor allem auf Stoffe und Gemische. Chemikalien in anderen Kompositionen sind in diesem Text durch die Begriffe Materialien und Produkte abgedeckt.

4.10 Umweltverträgliche Landwirtschaft 4.0



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Roboter melken Kühe, Drohnen messen Felder, autonome Fahrzeuge kontrollieren Düngung und Bewässerung: Von der Digitalisierung sind analog zum gesamtgesellschaftlichen Trend alle landwirtschaftlichen Bereiche von Pflanzenbau bis Tierhaltung betroffen. Nach einer Umfrage des Branchenverbandes Bitkom unter deutschen Landwirten glauben zwei Drittel der Befragten, dass Digitalisierung eine Zukunftschance für ihren Betrieb darstellt (Bitkom 2016).

Bereits jetzt nutzen demnach knapp 40 Prozent der Landwirte Hightech-Landmaschinen und 51 Prozent digitale Fütterungsautomaten. Besonders dynamisch entwickeln sich die Felder Datenerfassung, Datentransport und Datenverarbeitung. Eine große Mehrheit der Landwirte ist bereit, Betriebsdaten zur Verfügung zu stellen, da sie sich dadurch eine Vereinfachung des bürokratischen Aufwands versprechen.

Auch Precision-Farming-Technologien im Pflanzenbau oder die Automatisierung von Prozessabläufen in der Tierhaltung finden schon verbreitet Anwendung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht bietet die Digitalisierung der Landwirtschaft höhere Effizienz und gesteigerte Produktivität.

Im Positionspapier des Präsidiums des Deutschen Bauernverbandes vom 13. September 2016 heißt es dazu: „Die Digitalisierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse ist ein chancenträchtiger Megatrend mit großem Anwendungspotenzial für eine

ressourcen- und klimaschonende Landbewirtschaftung und Tierwohl-fördernde Haltungsverfahren“ (DBV 2016). Aus einer Perspektive der nachhaltigen Landwirtschaft 4.0 ergeben sich daraus jedoch nicht nur Chancen, sondern auch Risiken für die Umwelt.

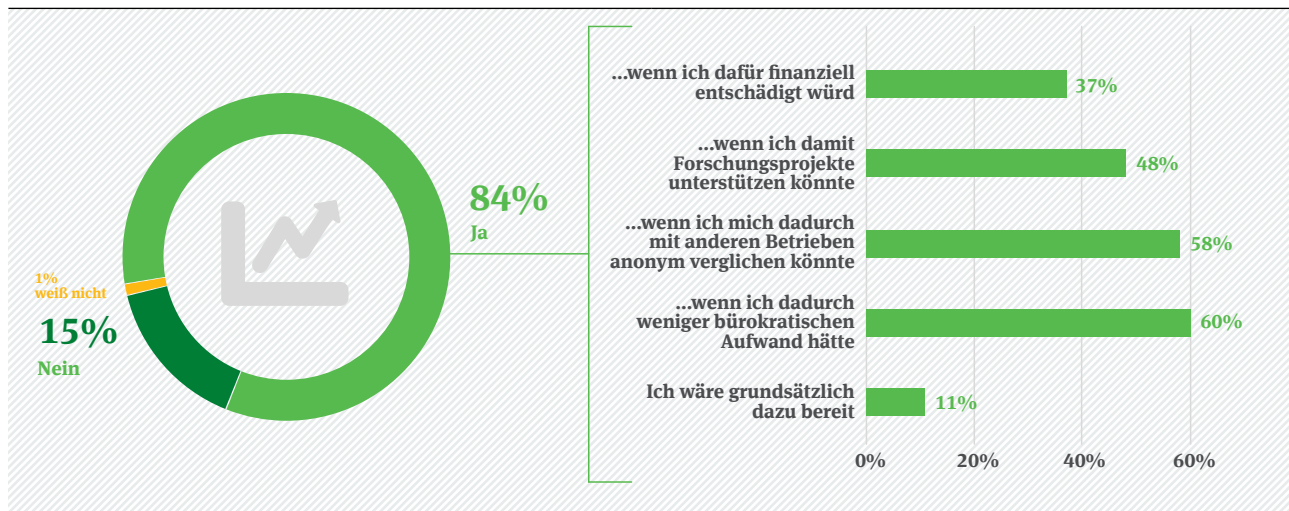
Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Die Potenziale für den Umweltschutz werden meist mit der Perspektive auf Effizienzsteigerungen durch den zukünftig zielgenauer abgestimmten Einsatz von Ressourcen gesehen. Präzisionslandwirtschaft erlaubt zum Beispiel gezieltere Aussaat, präziseren (und somit geringeren) Einsatz von Düngemitteln sowie eine effizientere Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen. Im Ergebnis könnten so Düngemittel, Pflanzenschutzmittel oder Treibstoff gespart und dadurch Umweltbelastungen vermindert werden.

Wichtige Herausforderungen der Digitalisierung, wie Datenhoheit, Datenschutz und negative soziale Implikationen, stellen sich in der Landwirtschaft ebenso wie in anderen Bereichen. Daher sollte der landwirtschaftliche Kontext in gesamtgesellschaftlichen Debatten oder Gesetzgebungsverfahren stets mitgedacht werden.

Entscheidend für eine Verbesserung der Umweltwirkungen der Landwirtschaft ist jedoch die Frage, für welche Art von Landwirtschaft die Digitalisierung eingesetzt wird. Denn einseitig umgesetzt, hebt die Digitalisierung das Modell einer ausschließlich auf Effizienz und Ertrag orientierten Agrarproduktion mit negativen Umweltfolgen schlicht auf eine neue Stufe. Im Extremfall können Einsparungen in eingesetzten Ressourcen sogar zu einer Ausweitung der intensiven Bewirtschaftung führen (Rebound-Effekt). Wenn eine Reduzierung der Umweltwirkungen der Landwirtschaft im digitalisierten Management nicht explizit vorgesehen ist, wird auch zukünftig beispielsweise die Biodiversität in den Agrarlandschaften zurückgehen. Darüber hinaus sind überhöhte Düngeeinträge zum Beispiel häufig nicht auf ungenaue Steuerungsmöglichkeiten zurückzuführen, sondern auf überhöhte Mengen aus einer von den Flächen entkoppelten intensiven Tierhaltung. Das ist ein Problem, das sich nicht durch Digitali-

Interesse an Datennutzung in der Landwirtschaft



Quelle: Bitkom Research

sierung lösen lässt. Auf der anderen Seite birgt eine digitale Transformation große Chancen für die Entwicklung eines Landwirtschaftssystems, das neben verlässlicher Agrarproduktion auch wichtige ökologische Funktionen erfüllt. So lassen sich beispielsweise durch die Verfügbarkeit von Daten zu Relief, Nährstoffen, Bodenzustand und Klima selbst sehr komplexe oder kleinteilige Anbausysteme einfacher handhaben. Fruchtfolgen, Untersaaten oder Bodenbearbeitungsmethoden lassen sich so ideal auf die standörtlichen Gegebenheiten anpassen. Die Automatisierung kann dabei helfen mit leichten Robotern Arbeitsschritte autonom erledigen zu lassen und zugleich die schädlichen Umweltwirkungen der Bodenbearbeitung zu reduzieren. Die zukünftig verlässliche Erkennung von einzelnen Pflanzen auf dem Acker ermöglicht beispielsweise die gleichzeitige Förderung von Nutzpflanzen, die Erhaltung unschädlicher Wildkräuter und die Beseitigung von schädlichen Begleitpflanzen. Im Tierbereich könnte eine digital gesteuerte und verbesserte Tiergesundheit geringere Einsätze von Arzneimitteln nötig machen. So können Einträge in die Umwelt und mögliche negative Auswirkungen vermindert werden.

Dafür ist es jedoch notwendig, dass die digitale Transformation das Ziel, die Umweltwirkung zu verbessern, explizit beinhaltet und in diesem Sinne aktiv gestaltet wird. Wenn zum Beispiel Begleitkräuter auf den Äckern digital gesteuert, gezielt nicht beseitigt würden, um Biodiversität zu erhalten, dann müsste auch die Düngung entsprechend angepasst werden. Der Begriff „Effizienz“ würde sich dann nicht nur auf

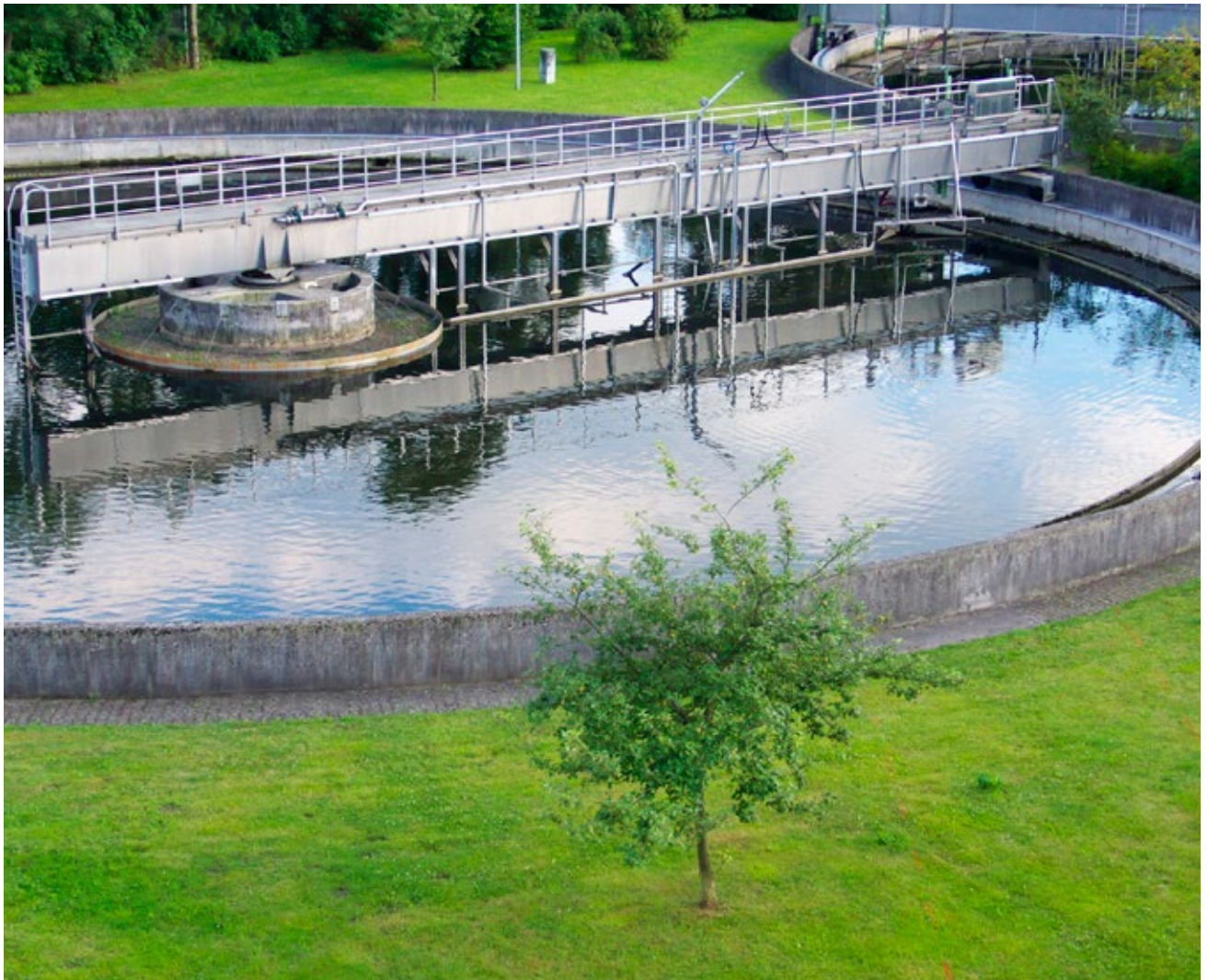
die Menge und die zeitlich ideal abgestimmte Anwendung von Ressourcen wie Düngemitteln beziehen, sondern auch auf die zusätzlich erreichten ökologischen Funktionen einer solchen Landwirtschaft.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Digitalisierung kann also ein Werkzeug sein, um die Umweltwirkung von Landwirtschaft zu verbessern. Sie kann die notwendige strukturelle Transformation hin zu einer multifunktionalen, nachhaltigen Landwirtschaft, die an die sie umgebenden Ökosysteme angepasst ist, unterstützen. Zugleich darf die Weiterentwicklung nicht nur von einzelnen großen Firmen mit ihren jeweiligen wirtschaftlichen und teilweise gegensätzlichen Zielen vorangetrieben werden.

Um die Dominanz und die Abhängigkeit der Landwirte von wenigen Düngemittel-, Saatgut- oder Technologiekonzernen zu verhindern, müssen vielfältige Akteure an der Entwicklung von Sensorik, Datentransport, Datenverarbeitung und Entscheidungshilfen aktiv beteiligt werden. Darüber hinaus müssen die Landwirte durch Aus- und Weiterbildung das technische Know-how erhalten, um digitale Technologien kenntnisreich einzusetzen. Um dies auch langfristig sicherzustellen, braucht es unter anderem klare gesetzliche und privatwirtschaftliche Regelungen zur Datenhoheit, unabhängige Infrastrukturen für große Datenmengen (Big Data), unabhängige Forschung, Beratung und Qualifizierung, entsprechende Qualifizierung, offene Datenformate sowie eine verlässliche Netzabdeckung auch in ländlichen Räumen.

4.11 Ressourcenbewusste Wasserwirtschaft 4.0



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Unter dem Begriff „Wasserwirtschaft 4.0“ subsumiert man Veränderungen in der Wasserwirtschaft, die sich durch digitale Technologien wie zum Beispiel Big Data, Simulationen oder künstliche Intelligenz ergeben. Zur Wasserwirtschaft gehören beispielsweise komplexe Netzwerke mit mehr als hundert Pumpstationen zur Steuerung von Wasser- und Abwassersystemen in Großstädten. Die Digitalisierung könnte das Potenzial haben, wesentliche Beiträge zur Lösung der künftigen Herausforderungen im Sinne einer nachhaltigen, ressourcenbewussten Wasserwirtschaft zu leisten. Auch oder gerade wegen der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten sind die Potenziale, die letztendlich generiert werden können, insbesondere der Nutzen für Umwelt und Bürger, jedoch gegenwärtig nicht abschätzbar.

Durch den Einsatz von smarten Wasserzählern oder die Ausstattung von Pumpen und Aggregaten mit digitaler Infrastruktur in Wasserwerken sowie Abwasserentsorgungsanlagen können beispielsweise mögliche Probleme sowohl beim Verbraucher als auch im Versorgungsnetz der Wasserver- und Abwasserentsorgung identifiziert und deren Energieeffizienz, etwa durch bedarfsgerechte Steuerung, deutlich gesteigert werden.

Aber auch umfassende Veränderungen der sektorübergreifenden Datenerfassung und -nutzung werden im Rahmen der Digitalisierung der Wasserwirtschaft diskutiert. Integrierte Datenerfassung im Bereich der Landwirtschaft könnte beispielsweise detailliertere Erkenntnisse der Nährstoffeinträge ins Grundwasser liefern. Diese mehrdimensionalen Lösungen, die die Digitalisierung in diesem Bereich ermöglichen

kann, stecken noch im Anfangsstadium und können dementsprechend gegenwärtig nicht als umgesetzte Techniken bezeichnet oder gar eingesetzt werden.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Die Wasserwirtschaft steht heute vor neuen Herausforderungen, die sich unter anderem aus den Folgen des Klimawandels, der demografischen und der sich aus der notwendigen Anpassung der Technik ergeben. Hierzu zählen beispielsweise Starkregenereignisse oder neue stoffliche Belastungen, die aus dem Abwasser entfernt werden müssen. Ver- und Entsorgungssysteme sollten heutzutage flexibel gestaltet werden, damit sie sich Bedingungen, die sich kurzfristig ändern, in Echtzeit anpassen und Prognosen einbinden können. Dazu müssen verschiedene Infrastrukturen in der Abwasserentsorgung, Wasseraufbereitung sowie im Niederschlags- und Flussgebietsmanagement zu einem Gesamtsystem vernetzt werden. Dieses muss alle Komponenten beinhalten und sinnvoll miteinander verknüpfen. Zusätzlich ist bei kommunaler Infrastruktur zu beachten, inwieweit sich Systeme aus dem Bereich „Wasserwirtschaft 4.0“ in andere neuartige urbane Strukturen integrieren oder mit diesen vernetzen lassen. Auch Vernetzungen mit anderen Bereichen, wie beispielsweise der Landwirtschaft sind von großer Bedeutung für die Wasserwirtschaft, damit die Digitalisierung zu Verbesserungen in der Umwelt beitragen kann. Um diese Aufgabe zu bewältigen, sind neben zuverlässigen Datengrundlagen, IT-Werkzeugen,

intelligenter und vernetzter Anlagensteuerung auch der Schutz der Daten und der Systeme von hoher Bedeutung, insbesondere bei steigender Komplexität der Systeme.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Die Digitalisierung kann zur Verbesserung der Ressourcennutzung und umweltgerechten Weiterentwicklung der Wasserwirtschaft beitragen. Wichtig dabei ist, dass der Wassersektor die angrenzenden Sektoren (zum Beispiel in der Landwirtschaft) und die Sektorkopplung nicht ausklammert. Dabei ist sicherzustellen, dass die bereits heute guten Leistungen der Wasserwirtschaft in Anpassung an künftige Herausforderungen (zum Beispiel die Zunahme von Starkregenereignissen, oder der demografische Wandel) weiter verbessert, noch effizienter erbracht und erweitert werden. Ein Ziel sollte es sein, die wasserwirtschaftlichen Daten zu Verbesserungen in anderen Bereichen, beispielsweise im Energiesektor oder allgemein in urbanen Räumen, beziehungsweise auf anderen Verwaltungsebenen zu nutzen und gegebenenfalls neue Dienstleistungen zu erbringen. Die Umweltpolitik kann hierfür den Grundstein legen, indem sie die Rahmenbedingungen für die sektorenübergreifende Nutzung von Daten schafft und die Ziele für deren Nutzung definiert. Das UBA könnte hierbei eine koordinierende Rolle übernehmen und als Vermittler zwischen den verschiedenen Interessengruppen agieren.

4.12 Digitale Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Die traditionelle Umweltbildung verfolgt den Ansatz, einen verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt und den natürlichen Ressourcen zu vermitteln. Mit der „Agenda 21: United Nations Sustainable Development“ (UN 1992), die 1992 aus der Weltkonferenz in Rio de Janeiro hervorging, ist die Umweltbildung mittlerweile in die internationale Bildungskampagne „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE) eingebettet. Die UNESCO hat in ihrem neuesten Dokument zur BNE, „Education for Sustainable Development“ (UNESCO 2019) den Prozess hin zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung bis 2030 definiert. Neben dem Kontakt zu verschiedenen Lebensrealitäten und einer besseren Balance zwischen wirtschaftlichem Wachstum und Nachhaltigkeit sollen dabei ebenfalls digitale Technologien eine Rolle spielen. So können zum Beispiel smarte Lösungen dafür sorgen im Unterrichtsumfeld Energie zu sparen. Zwar entbindet die Digitalisierung Lehrkräfte nicht von ihrer Verantwortung, das Grundprinzip selbst - Energie sparen - in den Fokus zu rücken. Doch neue Technologien können Werkzeuge auf dem Weg dahin sein, vorausgesetzt auch sie werden kritisch im Sinne der Nachhaltigkeit mitgedacht.

BNE soll unter anderem Menschen dazu befähigen, Nachhaltigkeit in den eigenen Lebensstil zu integrieren, vor allem aber bleiben die sogenannten

Gestaltungskompetenzen Dreh- und Angelpunkt im BNE-Konzept. Umweltbildung und die Bildung für nachhaltige Entwicklung sind im traditionellen Bildungsumfeld verankert und finden zum Beispiel in Projektwochen und an außerschulischen und informellen Bildungsorten statt.

Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) betont in seinem Gutachten zur Großen Transformation (WBGU 2011) ebenfalls die Wichtigkeit von transformativ- und transformativer Bildung in Forschungs- sowie Bildungseinrichtungen. Neben dem Vermitteln von nachhaltigkeitsorientiertem Wissen gehört dazu ebenfalls die Einbindung klimaverträglicher digitaler Techniken und Technologien, sowohl in der Forschung, Entwicklung, Anwendung, Beurteilung und der Verbreitung dieser. Wichtig ist dabei, digitale Angebote auf ihre langfristigen globalen und sozialen Effekte und auf ihre Klimaverträglichkeit hin zu prüfen und gegebenenfalls neue nachhaltige digitale Lösungen zu entwickeln.

Dies gilt insbesondere, weil Bildung derzeit durch die Digitalisierung einen starken Wandel erlebt. Lehren und Lernen findet dadurch verstärkt virtuell statt: E-Lesungen, Massive Open-Online-Courses, Webinare, virtuelle Akademien, Moodle-Kurse oder Lern-Applikationen und SchulCloud (HPI o.D.) sind nur einige Beispiele für digitale Lernumgebungen. Auch Recherchen erfolgen vermehrt virtuell, sei es über Suchmaschinen, Internet-Datenbanken oder Online-Bibliotheken. All dies bietet vielfältige Einsatzgebiete für die digitale Umwelt- und Nachhaltigkeitsbildung. Digitale Angebote können in verschiedenen Institutionen, wie Kindergärten, Schulen, Hochschulen sowie in Freizeiteinrichtungen zum Einsatz kommen. So macht das Programm „Finde Vielfalt – Biodiversität mobil entdecken“ (<https://biodivlb.jimdo.com/>) der PH Ludwigsburg, der Uni Bamberg und dem Deutschen Jugendherbergswerk die Biodiversität über Spiele auf Smartphones und Tablet für Kinder und Jugendliche in Jugendherbergen verfügbar. Das Online-Spiel „Pimp your Landscape“ wiederum thematisiert nachhaltige Flächenentwicklung auf spielerische Weise (<https://www.letsmap.de/letsmap/index.php>).

Doch auch in der Erwachsenenbildung und Fortbildung ergeben sich durch die Digitalisierung über Online-Kurse und digitale Bildungsprogramme neue Möglichkeiten zur digitalen Umweltbildung sowie zur Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Daraus entstehen neue Potenziale, aber auch Risiken für die Umwelt. Denn während einerseits digitale Bildungsangebote mehr Menschen Umweltbildung zur Verfügung stellen und nahebringen können und sich dadurch bestenfalls das Wissen bei den Angebotsnutzerinnen und -nutzern vergrößert, erfordert ein solches digitales Angebot auch mehr Ressourcen. Institutionen müssen beispielsweise mit neuen oder mehr IKT ausgestattet werden, was der Digitalpakt (BMBF 2019) unterstützen soll. Gleichzeitig muss der Zugang zum Breitbandnetz verbessert und gesichert werden. All dies belastet die Umwelt durch den erhöhten Verbrauch von Materialien und Energie. Andererseits könnten auch Chancen der Materialeinsparung realisiert werden, denn das digitale Angebot kann Materialien ersetzen, beziehungsweise überflüssig machen und somit Ressourcen wie Holz, Wasser und Energie sparen. Bislang gibt es jedoch wenig Forschungsarbeiten, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Digitalisierung, digitaler Umweltbildung und deren Einfluss auf die Umwelt auseinandersetzen. Darüber hinaus ist es wichtig, die pädagogischen Aspekte sowie die Persönlichkeitsentwicklung durch digitale Maßnahmen zu bewerten.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Der Forschungsfokus der nächsten Jahre sollte deshalb genau an diesen zwei Fragenkomplexen ansetzen: erstens ökologische Gewinn- und Verlustbilanzierung durch Digitalisierung der Bildung, zweitens die erforderliche pädagogische Ausbalancierung mit den neuen digitalen und virtuellen Autoritäten, die gegebenenfalls keine pädagogische Ausbildung durchlaufen haben. Eine interdisziplinäre Herangehensweise von Kreativitäts-, Neurobiologie- und Gehirnforschung ist angeraten. Es stellt sich zum Beispiel die Frage, ob die für Transformation und Umgang mit Ungewissheiten erforderliche Ausbildung von Gestaltungs- und Ambiguitätskompetenzen durch Lernen in binären Programmierungen erreicht werden kann oder eher undifferenziertes

Schwarz-Weiß-Denken eingeübt wird. Verschiedene Studien verweisen außerdem darauf, dass Lernen ein aktiver Gehirnprozess zur Bedeutungserzeugung und zum Entwickeln eigener Bewertungssysteme ist (Gebauer et al. 2005). Nur so wachsen und entfalten sich auch soziale Kompetenzen sowie Lust auf und Souveränität im Experimentieren und Improvisieren.

Zum anderen sollte neben der Wahrnehmung möglicher Vorteile von digitalen Medien und Anwendungen im Bildungskontext darauf geachtet werden, dass Digitalisierung nicht auf die technische Ausstattung und ihre Beherrschung reduziert wird, sondern das Thema „gesellschaftlicher Wandel durch Digitalisierung“ als fachliches Thema zu diskutieren und mitzugestalten ist. Die digitale Transformation der Umweltbildung sollte daher in all ihren Ausprägungen und Ambivalenzen kritisch begleitet werden.

Dies bedeutet beispielsweise, bei digitaler Bildungstechnik mit Blick auf Ressourcenschonung Aspekte wie Ökodesign, Obsoleszenz und Suffizienz mitzudenken und diese auch in die Lerninhalte einzubinden und mit den Lernenden darüber zu diskutieren. Eine weitere Herausforderung ist es, die digitale Transformation so zu gestalten, dass sie mit den „Sustainable Development Goals“ der UN einhergehen (UNESCO 2019). Wie kann man zum Beispiel digitale Umweltbildungsangebote so gestalten, dass sie nicht nur den Umweltschutz aufgreifen, sondern auch für alle gleichermaßen zugänglich sind (leave no one behind) und schließlich auch selbst nachhaltig sind?

Während es einerseits wichtig ist, die Möglichkeiten der Digitalisierung für Umweltbildung an Schulen zu nutzen (sofern überhaupt die entsprechenden technischen Voraussetzungen vorliegen), muss dies mit einer Stärkung der Digitalkompetenzen der Schülerinnen und Schüler einhergehen. Denn nur, wenn sie die Mechanismen hinter den Technologien verstehen, können sie diese, auch auf ihre Nachhaltigkeit hin, hinterfragen. Die Digitalkompetenzen der Lehrkräfte sind ebenfalls zu stärken und die BNE-Tauglichkeit mit ihnen diskursiv zu evaluieren. Digitale Umweltbildung und BNE erfordert damit insgesamt noch viel Reflexion, um technische Potenziale und pädagogische Lernbegleitung in Einklang zu bringen.

5

Digitalisierung im Dienste von Umweltpolitik und Verwaltung



Digitalisierung im Dienste von Umweltpolitik und Verwaltung

Mit der Digitalisierung ergeben sich nicht nur Chancen und Risiken für den Umwelt- und Ressourcenschutz in den in Kapitel 4 beschriebenen umweltpolitischen Handlungsfeldern. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Thematik erfordert, dass das Umweltressort selbst zum umweltpolitischen Handlungsziel der Digitalisierung wird, da die Digitalisierung auch die Art und Weise verändert, wie Umweltpolitik und -verwaltungen arbeiten. Damit ist die Frage verbunden, wie effektiv Umweltpolitik und -verwaltung in einer digitalen oder digitalisierten Welt arbeiten könnten.

Zu diesem Handlungsfeld gehört, die Chancen der Digitalisierung sowohl in der eigenen Arbeit als auch in der Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern zu nutzen. So liefert die Digitalisierung neue Möglichkeiten der konstanten, kontinuierlichen und zuverlässigen Datenerfassung, -analyse und -auswertung. Gleichzeitig bieten digitale Technologien wie VR oder AR die Möglichkeit,

Umweltinformationen für Bürgerinnen und Bürger nicht nur öffentlich zugänglich, sondern auch neu erlebbar zu machen und somit den Dialog zu fördern und die Umweltsensibilisierung zu stärken.

Aber: Die Digitalisierung kann kein Mittel zum Zweck sein, sondern muss in der Arbeit des Umweltressorts stets im Sinne des Nachhaltigkeitsgedanken erfolgen. Das kann nur dann geschehen, wenn der Umweltschutz von Anfang an bei allen Prozessen mitgedacht wird. Dazu muss das Ressort seine eigene Arbeitsweise, von der Datenerhebung über die Auswertung bis hin zur Außenkommunikation, kritisch mit Hinblick auf Umweltschutz sowie unter Berücksichtigung des Datenschutzes und im Sinne einer inklusiven Bürgerbeteiligung hin hinterfragen und nachhaltig gestalten. Dazu gehören in erster Linie Umweltmonitoring und Umweltinformation sowie der Bereich „E-Government“. zunehmend digitalisierten und digitalen Welt bewegen kann, zeigt Kapitel 4.12.

5.1 Digitalisierung und Umweltmonitoring und –information



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Umweltmonitoring und Umweltinformation erfordern traditionell die Sammlung, Sortierung und Analyse einer Vielzahl von Daten. Mit der fortschreitenden Digitalisierung erfolgt dies zunehmend über digitale Technologien. Für die Digitalisierung des Umweltmonitorings und der Umweltinformation gibt es einen rechtlichen Rahmen. Dazu gehören das Umweltinformationsgesetz (§1 Abs. 1 UIG), das Informationsfreiheitsgesetz (§ 11, Abs. 3 IFG), das E-Government-Gesetz mit dem „Open Data Gesetz“ (§ 12a, EGovG) und das Geodatenzugangsgesetz (§ 1, GeoZG), das die sogenannte INSPIRE-Richtlinie (EU-Richtlinie 2007/2/EG) umsetzt. Darüber hinaus gelten einschlägige EU-Fachrichtlinien und deren nationale Umsetzungen. Ein Schwerpunkt dieser nationalen und europäischen Rahmengesetzgebung ist der Aufbau einer europaweiten Geodaten-Infrastruktur, wobei Sensor Observation Services (SOS) nahezu in Echtzeit online Daten aus Messnetzen – zum Beispiel aus dem Luftmessnetz des Bundes und

der Länder – liefern. Die Geodateninfrastruktur soll das Bereitstellen und Nutzen von Monitoringdaten vereinheitlichen und vereinfachen. Künftig wird Satellitenfernerkundung eine noch größere Rolle bei der Digitalisierung des Umweltmonitorings spielen. So liefern die Satelliten der Sentinel-Familie aus dem Copernicus-Programm der EU und die daran gekoppelten Dienste bereits heute wichtige Informationen.

Sie helfen dabei zu prüfen, ob Richtlinien, zum Beispiel in der Landwirtschaft, eingehalten werden. Die Digitalisierung im Umweltmonitoring, wie etwa durch die INSPIRE-Richtlinie, hat dazu geführt, dass die Daten europaweit vergleichbarer werden. Daten werden zunehmend nicht mehr aktiv von den Mitgliedsstaaten geliefert, sondern von der Europäischen Kommission oder der Europäischen Umweltagentur „abgeholt“. Die Satellitenfernerkundung hat eine große regionale Abdeckung und eine häufige Wiederholrate, wodurch eine zusätzliche Harmonisierung von Daten nicht mehr notwendig ist.

Aktuelle Chancen und Risiken für die Umwelt

Obwohl Umweltmonitoring und Umweltinformationen schon immer aus Daten, also aus digitalen Informationen, resultierten, ergeben sich deutliche Chancen durch die Digitalisierung bei der Weiterentwicklung des Umweltmonitorings. Die globale und kontinuierliche Erfassung von Umweltparametern wird möglich durch die Fortentwicklung der Sensorik in der Fernerkundung, Kleinsatelliten, Drohnen mit Mikrosensoren, drahtlose und mobile Sensornetzwerke und –systeme, bürgerwissenschaftliche Aktivitäten (Citizen Science) und nicht zuletzt durch verbesserte Möglichkeiten der (automatisierten) Datenanalyse, –auswertung und –darstellung. Problematisch ist bei den nicht steuerbaren Kleinsatelliten, dass sie von vornherein darauf ausgelegt sind, als „Weltraummüll“ im Orbit verbleiben, wodurch andere Missionen gefährdet werden.

Durch die Digitalisierung bieten sich Chancen, die Vermittlung von Umweltinformationen und Umweltwissen in ihrer Wirksamkeit und Reichweite zu erhöhen und Informationsangebote zielgruppenspezifischer zu gestalten. Umweltinformationen können über soziale Netzwerke oder intelligente (Heim-) Assistenten stärker in den Konsum von Informationen eingebunden werden. Die Präsentation von Umweltinformationen kann durch Nutzung neuartiger Web-Tools in Zukunft stärker interaktiv, narrativ, thematisch integrativ und individualisiert erfolgen. Technische Neuerungen wie zum Beispiel AR oder VR (etwa die digitale Einblendung von Informationen in das Sichtfeld via VR-Brillen) haben das Potenzial, Umweltinformationen in einer gänzlich neuen Qualität erlebbar zu machen.

Die Vielzahl an potenziellen neuartigen Angeboten und Übermittlungskanälen birgt aber auch das Risiko einzelne Nutzergruppen zu überfordern. Wenn Informationen stärker in den Alltag der Nutzer eingebunden werden, könnten sie zudem als manipulativ wahrgenommen werden. Eine Herausforderung besteht auch durch die wachsende Konkurrenz von privaten Anbietern von (Umwelt-) Informationen.

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Aus der Digitalisierung des Umweltmonitorings ergeben sich für das UBA verschiedene Handlungsansätze. Dazu gehört erstens die Aufgabe, umwelt-

relevante Daten mithilfe von digitalen Technologien gezielter und in besserer Qualität erheben zu können. Die Weiterentwicklung von Satellitensensoren spielt hier eine herausragende Rolle. Höhere Auflösungen und weitere Spektralkanäle in Verbindung mit entsprechenden In Situ-Daten werden dazu beitragen, das Umweltmonitoring weiter zu verbessern.

Zweitens: Es finden sich bereits jetzt auf der Webseite des UBA viele Umweltinformationen – in digitalen Broschüren und Online-Datenbanken des UBA, die Informationen über alle Umweltthemen anbieten. Einige Beispiele sollen das illustrieren. Auf der Homepage des UBA kann die Öffentlichkeit beispielsweise eine Übersicht über die Umweltkernindikatoren in Deutschland finden oder Details wie Informationen zu aktuellen Luftschadstoffkonzentrationen. Für den Sommer 2019 ist eine Luftqualitäts-App geplant. Die „Datenbank“ stellt beispielsweise Best-Practice-Beispiele zur Anpassung an den Klimawandel von Klimaschutzprojekten deutschlandweit dar. Das Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister mit seiner Website „www.thru.de“ enthält eine Zusammenstellung von Informationen über Schadstofffreisetzungen, die Entsorgung von Abfällen und Emissionen aus diffusen Quellen.

Es geht nun darum, dass man die vorhandenen Informationen der Öffentlichkeit und politischen Entscheidungsträgern schneller und effizienter zur Verfügung stellen kann. Ein wichtiger Schritt dahin ist die europaweite Vereinheitlichung des Umweltmonitorings durch grenzüberschreitende Projekte, wie etwa der gemeinsame Aufbau einer Geodateninfrastruktur für Europa bei der Umsetzung der INSPIRE Richtlinie (EU-RL 2007/2/EG). Bei INSPIRE geht es darum, Methoden zur Datenerhebung und –auswertung europaweit zu vereinheitlichen.

Bislang gibt es hier, je nach Land, unterschiedliche Methodologien. Gerade im Notfall kommt es jedoch darauf an, umweltrelevante Informationen so schnell wie möglich auch über Ländergrenzen hinweg weiterzugeben. Beim Vulkanausbruch in Island 2010 beispielsweise waren viele Länder auf Wetter- und Luftqualitätsdaten angewiesen. Ohne einheitliche Standards dauert es lange, bis die jeweiligen Entscheidungsträger alle erforderlichen Daten entschlüsselt haben. Um in solchen Situationen schneller handeln zu können, sind einheitliche

EU-Standards im Umweltmonitoring erforderlich. Das UBA beteiligt sich an diesem Projekt.

Drittens bietet Digitalisierung eine bessere Basis für gezieltes Monitoring. Auf nationaler Ebene kann die Geodateninfrastruktur des UBA (<https://gis.uba.de/website/umweltzonen/index.html>) als Beitrag zur Bereitstellung von Monitoringergebnissen in Form von Kartendiensten und Metadaten über das Geportal Deutschland gesehen werden. Auch leistet das UBA damit gleichzeitig einen internationalen Beitrag, indem Daten über das GEOSS Portal (Global Earth Observation System of Systems) angeboten werden. Die zu verarbeitenden riesigen Datenmengen – im EU-Erdbeobachtungsprogramm Copernicus etwa beträgt das geschätzte Datenvolumen der Satellitendaten beispielsweise derzeit 10 Petabyte pro Jahr (DLR o.D.) – forcieren den Einsatz von Cloud-Lösungen. Diese können sich dann zum Beispiel positiv auf die CO₂-Bilanz auswirken, wenn die genutzten Rechenzentren Vorgaben der Green IT berücksichtigen (siehe Handlungsfeld: „Umweltverträgliche und ressourcenschonende Informations- und Kommunikationstechnik“). Herausforderungen liegen hier unter anderem in der Sicherung der Datenqualität, in der Bewältigung der Datenmenge und bei der Entwicklung und dem Betrieb von effizienten Rechenzentren, Algorithmen sowie Software- und Hardwareprodukten.

Viertens bietet Digitalisierung die Möglichkeit, die Daten zielgruppenspezifischer anzubieten und zu verbreiten sowie den Dialog mit gesellschaftlichen Gruppen um neue Ansatzpunkte zu erweitern. Das

UBA wird sein Informationsangebot nach und nach mit neuen Funktionalitäten und Angeboten erweitern. Durch einen Fokus auf Nutzererwartungen und User-Experience in Forschungsvorhaben wird eine größtmögliche Reichweite und bestmögliche Informationsvermittlung für verschiedene Nutzergruppen sichergestellt. Die Potenziale von Virtual Reality und Augmented Reality für die Vermittlung von Umweltinformationen sollten mittelfristig durch Forschungsvorhaben (mit konkreten Anwendungsbeispielen) analysiert werden. Das UBA nutzt die Online-Kommunikation über seine Website und Social Media-Plattformen bereits, um mit Bürgerinnen und Bürgern, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern und anderen Zielgruppen zu kommunizieren und diese über seine Arbeit und den Zustand der Umwelt zu informieren.

Fünftens kann das UBA durch die Verbreitung zutreffender, belastbarer und vertrauenswürdiger Daten und Analysen in den verschiedenen Medienformaten der Gefahr von Manipulation und Fehlinformation in öffentlicher Debatten und Diskursen entgegenwirken, die zum Beispiel durch Social Bots und verkürzte oder unzutreffende Informationen in den sozialen Medien entstehen. Leicht zugängliche und vergleichbare Daten erleichtern siebteils den Umweltsatzesvollzug, da der Aufwand für die Datenbeschaffung reduziert wird und die Interpretation der Daten vereinfacht wird. Außerdem machen sie es einfacher für die Öffentlichkeit, sich an umweltrelevanten Entscheidungen zu beteiligen.

5.2 Elektronische Verwaltung und Bürgerbeteiligung



Stand der Digitalisierung und weitere Entwicklungen

Unter der Überschrift E-Government prägt die Digitalisierung nicht nur Wirtschaft und Zivilgesellschaft, sondern zunehmend auch die öffentliche Verwaltung und ihr Zusammenspiel mit privaten Akteuren. Damit sind zunächst technische Lösungen angesprochen – etwa Internetauftritte, Schnittstellen zu Daten und Dokumenten, E-Mail-Kontakt, Social Media oder elektronische Vorgangsbearbeitung. Das Ziel des E-Governments ist aber umfassender.

Es geht darum, durchgängige digitale Prozesse zu etablieren, um öffentliche Aufgaben schneller, effizienter, sicherer, wirtschaftlicher zu erledigen. Die Prozesse werden beschleunigt, die Kommunikation vereinfacht und damit insgesamt die Qualität und Effizienz des Verwaltungshandelns erhöht. Für Bürgerinnen und Bürger sowie für Unternehmen eröffnen sich neue Möglichkeiten, mit der öffentlichen Verwaltung in Kontakt zu treten. E-Government schafft somit neben den Effizienzgewinnen neue Möglichkeiten politischer Mitgestaltung (E-Demokratie) sowie der Erhöhung der Transparenz in demokratischen Entscheidungsprozessen sowie im Verwaltungshandeln (E-Governance). E-Govern-

ment ist zentraler Bestandteil der Digitalisierungsstrategie der Bundesregierung. Das „E-Government-Gesetz“ (BT-Drucksache 17/11473), das Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung sowie zur Änderung weiterer Vorschriften, bildet mit weiteren Rechtsvorschriften seit dem Jahr 2013 für Bund, Länder und Kommunen die allgemeine Handlungsgrundlage dafür, um die elektronische Kommunikation mit der Verwaltung zu erleichtern sowie zu ermöglichen, einfachere, nutzerfreundlichere und effizientere elektronische Verwaltungsdienste anzubieten. Kernpunkte des Gesetzes sind unter anderem:

- **Verpflichtung der Verwaltung zur Eröffnung eines elektronischen Kommunikationskanals einschließlich der elektronischen Rechnungsstellung;**
- **Erfüllung von Publikationspflichten durch elektronische Amts- und Verkündungsblätter;**
- **Verpflichtung zur Dokumentation und Analyse von Prozessen;**
- **Regelung zur Bereitstellung von maschinenlesbaren Datenbeständen durch die Verwaltung („open data“).**

Aktuelle Chancen und Herausforderungen für die Umwelt

Die digitale Modernisierung des Verwaltungs- und Regierungshandelns bietet erhebliche Chancen für konkrete Umweltentlastungen. Nach Angaben der Bundesregierung kann z. B. alleine die Umstellung von Papier auf elektronische Rechnungen die zuzurechnenden CO₂-Emissionen um rund 50 % reduzieren, was alleine für den Bund eine Einsparung von ca. 6.000 Tonnen CO₂ pro Jahr bedeuten würde (BT-Drucksache 17/11473).

Weitere Umweltentlastungspotentiale resultieren aus der Bündelung zentraler Verwaltungsdienste, der Optimierung von Verwaltungsabläufen und der Verbesserung der Verwaltungszusammenarbeit. Beispiele sind

- **die Digitalisierung von zentralen Registern und Prozessen für den Vollzug von Umweltgesetzen und umweltpolitischen Berichtspflichten (zum Beispiel . die Entwicklung des „Prozessdatenbeschleunigers P23R“),**
- **die Bereitstellung digitaler Informationsangebote und –plattformen für Bürgerinnen und Bürger, Wissenschaft sowie Unternehmen, einschließlich Angeboten zur Förderung und Vernetzung von Citizen Science Projekten,**
- **die Etablierung von Möglichkeiten verbesserter Teilhabe und Mitwirkung sowie politischer Beteiligung bei der Rechtsetzung.**

Dabei ist es wichtig, dass unter Berücksichtigung der bestehenden Verfassungsgrundsätze sowie europäischen und nationalen Rechtsgrundlagen Lösungen in der Gesamtarchitektur des E-Governments geschaffen werden, die die bisher etablierte Doppelstruktur analoger und digitaler Dienste zumindest reduzieren und hohe Standards bei Nutzerfreundlichkeit, Datensouveränität und Sicherheit gewährleisten (Maas 2018).

Handlungsansätze für das Umweltbundesamt und die Umweltpolitik

Die Digitalisierung kann die Öffentlichkeitsbeteiligung erleichtern. Durch Nutzung digitaler Angebote kann die Öffentlichkeit die Informationen, die für eine Beurteilung umweltrelevanter Entscheidungen erforderlich sind, leichter erlangen, beispielsweise durch die Onlineveröffentlichung nach Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz.

Das UBA bietet zum Beispiel in einigen Vollzügen Antragstellern und Verpflichteten webbasierte Lösungen zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen (zum Beispiel DEHSt, Vollzug des BattG und des ElektroG, HKNR). Zudem unterstützt das UBA die Öffentlichkeitsbeteiligung in Zulassungsverfahren von Bundesbehörden, die der Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen, durch Bereitstellung des UVP-Portals des Bundes (www.uvp-portal.de) und wird dieses gemeinsam mit den Zulassungsbehörden des Bundes weiterentwickeln. Onlineformate für die Beteiligung können die Abgabe von Stellungnahmen erleichtern.

Digitalisierung kann sich auch auf der örtlichen Ebene in der Umsetzung von Umweltschutz- und Planungsmaßnahmen, wie etwa im kommunalen Flächenmanagement oder der Simulation von Wirkungen lokaler Klimawandelanpassung positiv auswirken. In den nächsten Jahren wird das UBA daher die Entwicklung digitaler Angebote für Kommunen weiter ausbauen. Dazu gehören unter anderem die Webseite „www.aktion-fläche.de“, sogenannte urban dashboards sowie integrierte und ressortübergreifende datengestützte Steuerungs- und Bewertungsmodelle für Klimaanpassungsaktivitäten.

Einen speziellen Zweig digitaler Angebote stellt die Planung und Entwicklung mobiler Anwendungen („Apps“) dar. Ergänzend zu der schon bestehenden Gefahrstoff-App für eher professionelle Anwender sind weitere Angebote für Bürgerinnen und Bürger, beziehungsweise Endverbraucherinnen und -verbraucher denkbar oder eine mit Klimadaten gespeiste Anwendung zur Sensibilisierung von Themen rund um den Klimawandel. Verknüpft diese App das individuelle Verhalten und errechnet den persönlichen Fußabdruck in Sachen Ressourcenverbrauch, könnten individuelle Handlungsempfehlungen bereitgestellt werden.

Dabei hat das Umweltressort mit der vom BMU im Frühjahr 2019 initiierten Durchführung eines „Hackathon“ für umweltengagierte Jugendliche und junge Erwachsene einen neuen und im bundespolitischen Kontext innovativen Weg beschritten, mit dem Ziel, die Entwicklung umweltentlastender Anwendungen, insbesondere mobiler Apps, zu forcieren. Es ist beabsichtigt, dies zu wiederholen.

Schließlich wird das Umweltbundesamt künftig auch im Kontext des E-Governments die Früherkennung, Beobachtung und Auswertung sowie Gestaltung indirekter Effekte Digitalisierung beziehungsweise ihrer ordnungsrechtlichen Ausgestaltung und Rahmensetzung auf Umweltschutz und Umweltpolitik intensivieren. Dazu gehören beispielsweise eine vertiefte Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Umweltschutz und (unzureichendem) Datenschutz oder der die transparente Verfügbarkeit rechtssicherer und anwenderfreundlicher Lizenzmodelle als Basis für eine automatisiert abrufbare Bereitstellung von Verwaltungsdaten.

6

Ausblick

Ausblick

Die Digitalisierung bringt sowohl Chancen als auch Risiken für den Umweltschutz und die Umweltpolitik mit sich. Da die gesellschaftliche Debatte zur Digitalisierung bislang vor allem zu wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten stattfindet, möchte das UBA dazu beitragen, stärker die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Umwelt ins öffentliche Bewusstsein zu rücken.

Unser Vorgehen ist, die Trends und Optionen der Digitalisierung zu erkennen und die Chancen und Risiken in den einzelnen Bereichen zu identifizieren. Da durch Digitalisierung Bereiche verstärkt zusammenwachsen (zum Beispiel bei gekoppelten Infrastrukturen) und viele ambivalente Effekte auf die Umwelt entstehen (zum Beispiel Energieeinsparungen durch Smart Meter versus Rohstoff- und Energiebedarf bei der Produktion der Regelungstechnik), müssen auch das Zusammenwirken von Trends und deren Wechselwirkungen in den Blick genommen werden. Auf dieser Basis ist es notwendig, Digitalisierung über Umweltpolitik nachhaltig zu gestalten und sie gezielt auch für den Umweltschutz zu nutzen.

Digitalisierung ist kein Thema, dass das UBA für sich neu entdeckt, es durchzieht bereits viele laufende Aktivitäten. Das heißt für uns, dass das UBA bei der Forschung, bei der wissenschaftlichen Politikberatung, bei den Gesetzesvollzügen, bei unseren Informations- und Datenangeboten und bei anderen Aktivitäten Digitalisierung immer mitdenkt.

Wichtig ist damit auch der weitere Ausbau von Kapazitäten und Kompetenzen in diesem Bereich. Digitale Kompetenz („Digital Literacy“) versteht das UBA als eine Schlüsselkomponente, die künftig für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des UBA relevant sein wird.

Aufgrund der Vielfalt, Komplexität und hohen Dynamik der Digitalisierung ist es unsere Aufgabe, verstärkt in Austausch mit Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft zu treten, um sowohl die Chancen der Digitalisierung zur nachhaltigen Entwicklung besser nutzen zu können als auch die negativen Auswirkungen der Digitalisierung auf die Umwelt zu vermeiden.

7

Quellenverzeichnis



Anderson, M (2017): How to beat traffic. In: Science, 2017, 357(6346), American Association for the Advancement of Science, Washington DC, 36-37

Behrendt, S; Scharp, M (2015): „Horizon Scanning“ und Trendmonitoring als ein Instrument in der Umweltpolitik zur strategischen Früherkennung und effizienten Politikberatung – Konzeptstudie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 106 / 2015. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_106_2015_horizon_scanning_und_trendmonitoring_als_instrument_in_der_umweltpolitik.pdf

Bitkom (2016): Digitalisierung in der Landwirtschaft. Download unter: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaenge-an-PIs/2016/November/Bitkom-Presskonferenz-Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft-02-11-2016-Praesentation.pdf>, Stand: 26.05.2019

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): Verwaltungsvereinbarung DigitalPakt Schule 2019 bis 2024. Berlin

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II (ProgRess)- Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019a): Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. 2. Aktualisierte Auflage. Berlin

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019b): Umwelt in Algorithmen! Eckpunkte für eine umweltpolitische Digitalagenda des BMU. Berlin

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Bericht zum Forschungsbedarf – Runder Tisch Automatisiertes Fahren AG Forschung. Berlin

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2014): Energieeffiziente IKT in der Praxis – Planung und Umsetzung von Green IT Maßnahmen im Bereich von Büroarbeiten und Rechenzentren. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015): Digitale Strategie. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2018): Sharing Economy im Wirtschaftsraum Deutschland. Berlin

BSI - Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (o.D.): UP Kritis Öffentlich-Private Partnerschaft zum Schutz Kritischer Infrastrukturen in Deutschland. Berlin

BSIG – Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) vom 17. Juli 2015 (BGBl. I S. 2821), zuletzt geändert durch Artikel 3, Absatz 7 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154)

BT-Drs. – Bundestagsdrucksache 19/7286 (22.01.2019): Die Rolle der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Uwe Schulz, Joana Cotar, Uwe Kamann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD – Drucksache 19/6375

Bundesregierung (2014): Legislaturbericht. Digitale Agenda 2014 – 2017. Berlin

Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin

Bundesregierung (2017): Nationales Programm für nachhaltigen Konsum – Gesellschaftlicher Wandel durch einen nachhaltigen Lebensstil. 2. Aktualisierte Auflage. Berlin

Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Berlin

Bundesregierung (2019): Nachhaltiger Konsum im Kontext der Digitalisierung. Berlin

BImSchV – Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. April 2000

(12. BimSchV, zuletzt geändert durch Artikel 1 a der Verordnung vom 8. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3882)CDU; CSU; SPD (2018): Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD: Ein neuer Aufbruch für Europa - Eine neue Dynamik für Deutschland - Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. 06. März, 2018. Berlin

Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index – Forecast and Trends, 2017 – 2022 White Paper. Download unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/colateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>, Stand 26.05.2019

DBV – Deutscher Bauernverband (2016): Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Handlungsbedarf. Download unter: <https://media.repro-mayr.de/06/661106.pdf>, Stand: 26.05.2019

Debating Europe (2018): Wird künstliche Intelligenz unsere Gesellschaft verändern? In: Debating Europe, Onlineausgabe. <https://www.debatingeurope.eu/de/2018/05/07/wird-kunstliche-intelligenz-unser-gesellschaft-verandern/#.XH-T7YepWRs>, Stand: 26.05.2019

DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2019): Wirtschaftsrechnungen Private Haushalte in der Informationsgesellschaft – Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/IT-Nutzung/Publikationen/Downloads-IT-Nutzung/private-haushalte-ikt-2150400187004.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Stand: 26.05.2019

DE-UZ – Umweltzeichen Richtlinie 2015/161 durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, des Umweltbundesamtes, der Jury Umweltzeichen und der RAL gGmbH vom Februar 2015 zum energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (o.D.): Team: ESA und Copernicus Bodensegmentprojekte. https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5387/8999_read-16749/, Stand: 26.05.2019

EgovG – E-Government-Gesetz vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2206)

Ellen MacArthur Foundation; Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit; Deutsche Post Stiftung; McKinsey Center for Business and Environment (2015): Growth within – A Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Download unter: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf

EU-RL Richtlinie 2007/2/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE)

EU-VO Verordnung 2006/1907/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006

Europäische Kommission (2017): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Halbzeitprüfung der Strategie für einen digitalen Binnenmarkt – Ein vernetzter digitaler Binnenmarkt für alle. Brüssel

G.A. Res. 70/1 (2015): Transforming our world - The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

Gao, P; Kass, H.W; Mohr, D; Wee, D (2016): Disruptive trends that will transform the auto industry. Im Auftrag des McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry>, Stand: 26.05.2019

Gebauer, K; Hüther, G. (2005): Kinder brauchen Wurzeln: Neue Perspektiven für eine gelingende Entwicklung. 5. Auflage, Patmos-Verlag, Ostfildern.

GeoZG – Geodatenzugangsgesetz vom 10. Februar 2009 (BGBl. I S. 278), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. November 2012

Greenblatt, J.B; Shaheen, S (2015): Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. In: Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2015, 2(3), Cham Springer International, NY, NY, 74-81.

HDE – Handelsverband Deutschland (2019): Online Monitor 2019. Download unter: https://einzelhandel.de/index.php?option=com_attachments&task=download&id=10168, Stand: 26.05.2019

Hintemann, R; Clausen, J (2014). Rechenzentren in Deutschland – Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. 1. Auflage. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Berlin

Hintemann, R; Hinterholzer, S (2018): Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten – Kurzstudie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Download unter: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/07/energiewende_studie_vernetzte_produkte.pdf, Stand: 26.05.2019

HPI – Hasso Plattner Institut (o.D.): Die Schul-Cloud einfacher Zugang zu digitalen Unterrichtsmaterialien – Ein Pilotprojekt zur Modernisierung des Schulunterrichts. Download unter: https://hpi.de/fileadmin/user_upload/hpi/dokumente/publikationen/projekte/schul-cloud_beschreibung_website.pdf, Stand: 26.05.2019

Hu, Z; Li, C; Cao, Y; Fang, B; He, L; Zhang, M (2014): How Smart Grid Contributes to Energy Sustainability. In: Energy Procedia, 2014, 61, Elsevier, Amsterdam, 858-861.

IFG – Informationsfreiheitsgesetz vom 5. September 2005 (BGBl. I S. 2722), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 6 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154)

ISO 14040 - Automatisierungssysteme und Integration – Evaluierung der Energieeffizienz und anderer umweltbeeinflussender Faktoren in Produktionssystemen. Ausgabe 2013-05

Langsdorf, S; Hirschnitz-Garbers, M (2014): Die Zukunft im Blick – Trendbericht für eine vorausschauende Ressourcenpolitik. Trendbericht 2014. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/die_zukunft_im_blick_trendbericht.pdf Litman, T

(2018): Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. Im Auftrag des Victoria Transport Policy Institute. Victoria, BC. Download unter: <https://www.vtpi.org/avip.pdf>, Stand: 26.05.2019

Ludmann, S (2018): Ökologie des Teilens – Bilanzierung der Umweltwirkungen des Peer-to-Peer Sharing. PeerSharing Arbeitsbericht 8. Im Auftrag des Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Berlin. Download unter: https://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/Oekologie_des_Teilens_Arbeitspapier_8_.pdf

Maas, A (2018): Zukunft E-Government – Vorschläge für eine bürgerfreundliche und sichere Digitalisierung der Verwaltung. Im Auftrag der Bundesdruckerei. Berlin. Download unter: <https://www.bundesdruckerei.de/system/files/dokumente/pdf/Studie-Zukunft-E-Government.pdf>

OECD (2017): Economic Features of Chemical Leasing. Series on Risk Management No. 37, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. Download unter: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/The%20Economic%20Features%20of%20Chemical%20Leasing.pdf>, Stand: 26.06.2019

PI – Presseinformation Bitkom vom 14.02.2018: Jahrespressekonferenz. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaenge-an-PIs/2018/Bitkom-Charts-Jahres-Pressekonferenz-Konjunktur-14-02-2018-final.pdf>, Stand: 26.05.2019

Pohl, C; Spinnreker, D; Keilholz, P (2016): Wasserwirtschaft 4.0 digitalisiert, modelliert und visualisiert Gewässersysteme. In: Wasser und Abfall, 2016, 4, Springer Vieweg, Wiesbaden

Pratsch, L.W (1975): Mass Transit Designed by the User. In: Transportation, 1975, 4, Springer US, NY, NY, 403-417 Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2017): Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland – Analyse von Potenzialen und Ansatzpunkten für die IKT-, Automobil- und Baustoffindustrie. Download unter: https://www.nachhaltigkeitsrat.de/wp-content/uploads/migration/documents/RNE-Accenture_Studie_Chancen_der_Kreislaufwirtschaft_04-07-2017.pdf

Schaller, B (2018): The New Automobility - Lyft, Uber and the Future of American Cities. Download unter: <http://www.schallerconsult.com/rideservices/automobility.pdf>, Stand: 26.05.2019

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. Zwischenbericht - Analyse der Entwicklung der Lebens-, Nutzungs- und Verweildauer von ausgewählten Produktgruppen. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_10_2015_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_auf_ihre_umwelt_obsoleszenz_17.3.2015.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018a): Die Zukunft im Blick – 3D-Druck Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_3d_barrierefrei_180619.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018b): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018c): Recht und Rechtsanwendung als Treiber oder Hemmnis gesellschaftlicher, ökologisch relevanter Innovationen – untersucht am Beispiel des Mobilitätsrechts (Recht-SInnMobil). Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/uba_flyer_rechtsinnmobil_umpbefg_2-7-2018_pb2.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018d): Urbaner Umweltschutz - Die strategische Forschungsagenda des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/broschuere_urbaner_umweltschutz_final.pdf

UIG – Umweltinformationsgesetz vom 27. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1643), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 17 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)

UN – United Nations (1992): United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992 Agenda 21. Download unter: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (2019): SDG 4 – Education 2030 Part II – Education for Sustainable Development beyond 2019. Download unter: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366797>, Stand: 26.05.2019

VCI – Verband der Chemischen Industrie (2017): Chemie 4.0 – Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Kurzfassung. Im Auftrag von Deloitte Deutschland, München. Download unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/vci-deloitte-studie-chemie-4-punkt-0-kurzfassung.pdf>, Stand: 26.05.2019

VDI ZRE - Zentrum Ressourceneffizienz (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin. Download unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

de Vries, A (2018): Bitcoins Growing Energy Problem. In: Joule, 2018, 5, Elsevier, Amsterdam, 801-805

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Download unter: https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu_jg2011.pdf, Stand: 26.05.2019

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2019): Unsere Gemeinsame digitale Zukunft. Zusammenfassung. Berlin: WBGU



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/