

Studie | April 2022

Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation

Eine Studie im Auftrag von
Huawei Technologies Deutschland GmbH



Dr.-Ing. Stephan Ramesohl

János Sebestyén

Dr. Holger Berg

Herausgeber:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org

Autorinnen und Autoren:

Dr.-Ing. Stephan Ramesohl
E-Mail: stephan.ramesohl@wupperinst.org

Dr. Holger Berg

János Sebestyén

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich bei René Arnold (Huawei) für wertvolle Hinweise und Kommentare

Diese Studie ist ein Ergebnis des Projekts „Shaping the Digital Transformation – Digital solution systems for the sustainability transition“ im Auftrag von

Huawei Technologies Deutschland GmbH
Hansaallee 205
40549 Düsseldorf

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

*Ramesohl, S., Sebestyén, J. & Berg, H. (2022). Datenökosysteme für die Nachhaltigkeits-
transformation: Studie im Rahmen des Projekts „Shaping the Digital Transformation“,
Wuppertal*

Wuppertal, April 2022

Dieses Werk steht unter der Lizenz „Creative Commons Attribution 4.0 International“ (CC BY 4.0).

Der Lizenztext ist abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Executive Summary

In den nächsten Jahren müssen die Weichen für Klimaschutz, zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs sowie der Erhaltung der Artenvielfalt gestellt werden. In allen zentralen Handlungsbereichen von Wirtschaft und Gesellschaft - den sogenannten Transformationsarenen - steht ein tiefgreifender ökologischer Systemwandel an.

Digitalisierung ist eine Erfolgsvoraussetzung für diesen Wandel und wirkt auf verschiedenen Ebenen: digitale Technologien und Anwendungen ermöglichen, gegenwärtige Verfahren, Prozesse und Strukturen zu verbessern (**Improve**) oder erste Schritte in eine neue Ausrichtung von Geschäftsmodellen oder Rahmenbedingungen zu gehen (**Convert**). Gleichzeitig muss die Digitalisierung aber auch für einen weitergehenden Umbau von Wirtschaft und Wertschöpfung sowie für die ökologische Neuorientierung von Gesellschaft und Lebensstilen wirksam werden (**Transform**).

Die Fähigkeit zur Gewinnung, Verknüpfung und Nutzung von Daten ist eine Grundvoraussetzung, um die Potenziale der Digitalisierung für die Nachhaltigkeitstransformation zu erschließen. Daten sind dabei jedoch kein homogener Rohstoff - Daten erlangen erst einen Wert, wenn der Kontext, in welchem sie erhoben wurden, bekannt ist und sie für den angestrebten Zweck nutzbar gemacht werden können.

Die Diskussion darüber, welche Strukturen und Voraussetzungen für die systemverändernde Nutzung von Daten erforderlich sind, hat erst begonnen. Die vorliegende Studie leistet hierzu einen ersten Beitrag und beschreibt die **Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine datenbasierte Nachhaltigkeitstransformation**. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Umweltdaten, Daten von Anlagen, Maschinen, Infrastrukturen oder von Produkten im Internet der Dinge (*Internet of Things*). Die Aufgabe ist, diese Daten stärker als bisher für systemische Lösungsansätze (Systeminnovationen) in den jeweiligen Transformationsarenen einzusetzen, bei denen unterschiedliche Stakeholder zusammenarbeiten und gemeinsam den Umbau von Infrastrukturen, Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodellen einleiten.

Vor diesem Hintergrund ist der **kollaborative Umgang mit Daten** eine Grundvoraussetzung für den Erfolg der Transformation. Dafür müssen die technischen, organisatorischen und institutionellen Voraussetzungen geschaffen werden. Wir brauchen **Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation** und einen integrierten Ansatz, diese zu realisieren (Abbildung 1):

- Die beteiligten Akteure, Unternehmen, Organisationen und (öffentliche) Institutionen, müssen die Fähigkeit erwerben, Daten zu erheben, zu verarbeiten und nutzbar zu machen. Viele Akteure in der Industrie, insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen wie aber auch öffentliche Institutionen stehen hier noch am Anfang.
- Systeminnovationen brauchen Datenökosysteme für kollaborative Datennutzung. Durch zuverlässige und vertrauenswürdige technische Infrastrukturen, Datenarchitekturen sowie Regeln für Datenzugang und -verwendung wird es den unterschiedlichen Akteuren erleichtert, gemeinsam digitale Systeminnovationen zu entwickeln ohne die Souveränität über die eigenen Daten abzugeben. Interoperabilität ist dabei die Grundvoraussetzung für die Kollaboration, damit Daten und Informationen zwischen Systemen und Komponenten ausgetauscht werden können. Das kann durch Standards, Ontologien und den Austausch von Metadaten realisiert werden.
- Kollektives Handeln erfordert gemeinsame Ziele und die Bereitschaft sich - vor allem auch finanziell - zu engagieren. Die Aufgabe ist, durch eine missionsorientierte Transformationspolitik dafür die Leitplanken zu setzen, die Systemregeln an Nachhaltigkeit auszurichten und vor allem ökonomische Anreize für Investitionen in transformative, datenbasierte Systeminnovationen zu setzen. Die Use Cases im Kontext der Initiativen

rund um den International Data Space (IDS) oder Gaia-X müssen dabei stärker als bisher die Herausforderungen beim Klima-, Ressourcen- und Umweltschutz adressieren.

- Unser Systemwissen vom Zustand der Welt und den zu erwartenden Entwicklungen muss sich stetig weiterentwickeln. Open Data Strategien ermöglichen den Zugang zu Daten zur Umwelt und anderen gesellschaftlich relevanten Informationen. Diese Ansätze müssen ausgebaut werden, um eine Kultur des Datenteilens breit aufzustellen und zu verankern.

Die technischen Grundlagen für den Aufbau und die Nutzung von Datenökosystemen sind verfügbar bzw. werden derzeit aufgebaut. Die Aufgabe ist, die oben skizzierten Ansätze zusammenzuführen und voranzutreiben. In den nächsten Jahren bietet sich hier ein vielversprechendes Möglichkeitsfenster, das konsequent genutzt werden muss.

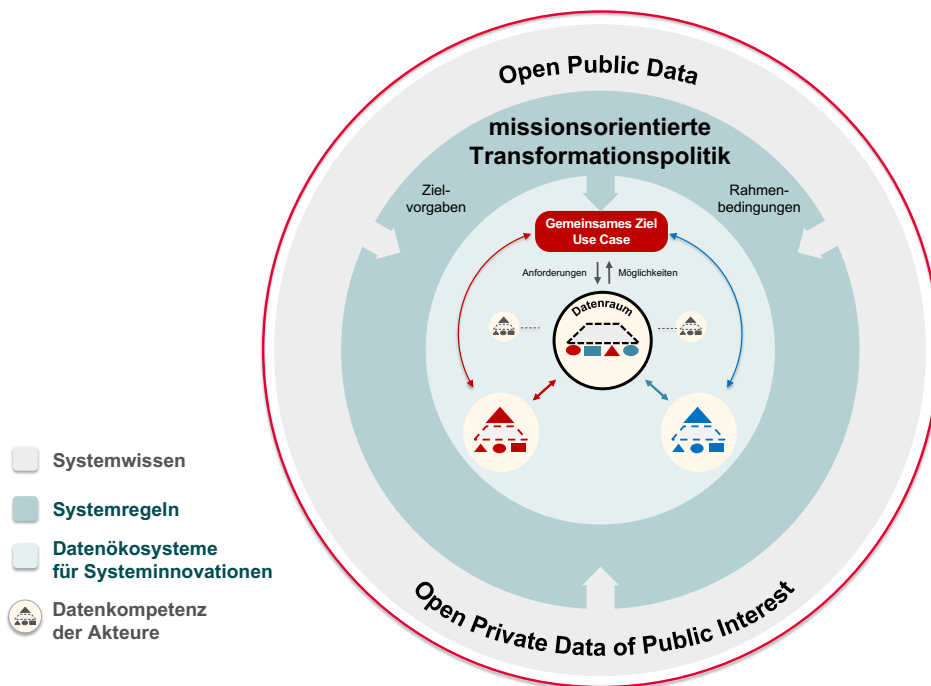


Abbildung 1: Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation (Quelle: eigene Darstellung)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Das Ziel: Systeminnovationen ermöglichen	9
2.1	Systeminnovationen anstoßen	10
2.2	Systeminnovationen ausrichten	11
2.3	Systeminnovationen einbetten	11
3	Die Herausforderung: Daten nutzbar machen	13
3.1	Die Herausforderungen datenarmer Handlungsfelder	13
3.2	Das Leitbild einer öko-effizienten und kollaborativen Datennutzung	15
4	Der Ansatz: Kollaborative Datennutzung	16
4.1	Nutzen von Daten entsteht durch Integration in einen Kontext	16
4.2	Interoperabilität ist Voraussetzung für kollaborative Datennutzung	17
4.3	Datenräume strukturieren die Daten-Kollaboration	19
4.4	Datenökosysteme schaffen den Rahmen zur Erreichung gemeinsamer Ziele	21
4.5	Kollaborative Datennutzung muss organisiert werden	22
5	Die Aufgabe: Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation nutzen	24
5.1	Offene Fragen adressieren, Datenräume schrittweise ausbauen	24
5.2	Schlüsselakteure mobilisieren, Engagement verstetigen	25
5.3	Neue Akteursgruppen einbinden, neue Dateninstitutionen testen	26
5.4	Datenzugang mitdenken	27
5.5	Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation aufbauen	29
6	Fazit	30
7	Literaturverzeichnis	32

Danksagung

Die Autoren bedanken sich ganz herzlich bei allen Teilnehmenden des Workshops "Daten für die Nachhaltigkeitstransformation - Akteure, Innovationen und Ökosysteme". Deren Impulse und Diskussionen lieferten eine wertvolle Grundlage für diesen Bericht. Teilgenommen haben:

Marcel Dickow (Umweltbundesamt), Stefan Hack (SAP), Reinhard Heister (VDMA), Jens Klessmann (Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS), Kathrin Krosch (Bergische Universität Wuppertal, TMDT), Uwe Kürsten (SAP), Gitta Lauster (Umweltbundesamt), Markus Meinert (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz), Niklas Meyer-Breitkreutz (Bitkom), Heinrich Pettenpohl (Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST), Malte Reißig (Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) Potsdam), Martin Rów (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz), Andreas Schaefer (Siemens), David Schönwerth (Bitkom), Lucas Spreiter (Unetiq), Adrian von Mühlönen (BASF), Werner Weschke (SAP), Roman Zeiss (Deutsche Bahn Connect GmbH) und René Arnold (Huawei). Von Seiten des Wuppertal Instituts nahmen Stephan Ramesohl, Holger Berg und János Sebestyén (Forschungsbereich Digitale Transformation) teil.

Die Verantwortung für Inhalt und Aussagen des Berichts liegt dabei ausschließlich bei den Autoren.

1 Einleitung

In den nächsten Jahren stehen Gesellschaft, Wirtschaft und Politik vor der besonderen Herausforderung, die Weichen für Klimaschutz, zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs sowie der Erhaltung der Artenvielfalt zu stellen. Dabei besteht hoher Zeitdruck - die Anstrengungen zur Senkung der Treibhausgasemissionen müssen deutlich beschleunigt werden, um das verschärfte Ziel einer Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 in Deutschland bzw. bis 2050 für Europa zu erreichen. In allen zentralen Handlungsbereichen von Wirtschaft und Gesellschaft - den sogenannten Transformationsarenen - steht damit ein tiefgreifender ökologischer Systemwandel an.

Digitalisierung ist eine Erfolgsvoraussetzung für diesen ökologischen Wandel. Hier setzt das Projekt "Digitalisierung gestalten - Transformation zur Nachhaltigkeit ermöglichen" im Auftrag von Huawei Technologies Deutschland an (Wuppertal Institut, 2021). Das Projekt untersucht die besonderen Transformationspotenziale der Digitalisierung und diskutiert Handlungsoptionen am Beispiel der ausgewählten Handlungsfelder Mobilität (Koska et al., 2021), Kreislaufwirtschaft (*Circular Economy*) (Ramesohl et al., 2022) sowie Landwirtschaft und Ernährung.

Digitalisierung wirkt auf verschiedenen Ebenen: digitale Technologien und Anwendungen ermöglichen, gegenwärtige Verfahren, Prozesse und Strukturen zu verbessern (**Improve**) oder erste Schritte in eine neue Ausrichtung von Geschäftsmodellen oder Rahmenbedingungen zu gehen (**Convert**). Gleichzeitig muss die Digitalisierung aber auch für einen weitergehenden Umbau von Wirtschaft und Wertschöpfung sowie für die ökologische Neuorientierung von Gesellschaft und Lebensstilen wirksam werden (**Transform**) (Abbildung 1). Gerade diese letzte Wirkungsebene wird entscheidend für den Erfolg des ökologischen Wandels sein, sie muss daher stärker in den Fokus der Debatte rücken. Diese drei Wirkungsebenen sind miteinander verknüpft, beeinflussen sich gegenseitig und müssen mit einem ganzheitlichen Ansatz adressiert werden.

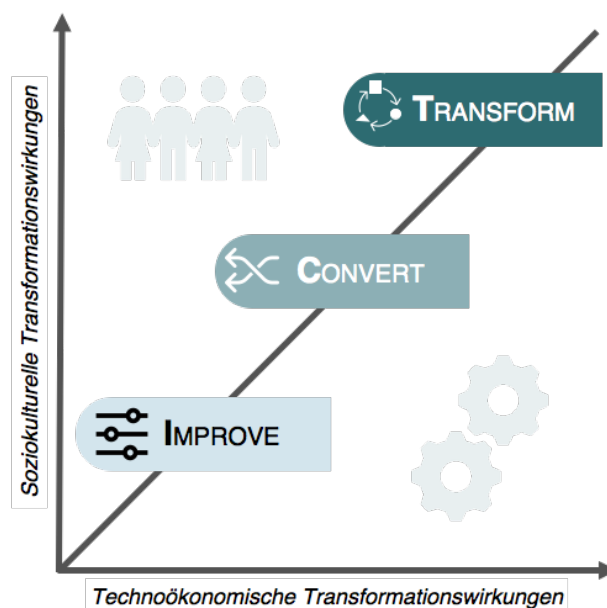


Abbildung 2: Wirkungsebenen der Digitalisierung für die Nachhaltigkeitstransformation (Quelle: Eigene Darstellung)

Alle digitalen Lösungen basieren auf Daten und so ist die Fähigkeit zur Gewinnung, Verknüpfung und Nutzung von Daten eine Grundvoraussetzung, um die Potenziale der Digitalisierung für die Nachhaltigkeitstransformation zu erschließen. Daten sind dabei jedoch kein homogener Rohstoff. Deshalb gehen Metaphern von *"Daten als Öl des 21. Jahrhunderts"* am Kern des Problems vorbei. Daten haben diverse Formate, Strukturen, Inhalte, sie werden an vielen Stellen durch die unterschiedlichsten Akteure auf vielfältige Art und Weise erzeugt und gespeichert. Somit erlangen Daten erst einen Wert, wenn der Kontext, in welchem sie erhoben wurden, bekannt ist und sie für den angestrebten Zweck nutzbar gemacht werden können. Die Herausforderung ist, den reichhaltigen und gleichzeitig so fragmentierten Kosmos an Daten für die Nachhaltigkeit zu erschließen und wirksam werden zu lassen.

Die Diskussion darüber, welche Strukturen und Voraussetzungen für die systemverändernde Nutzung von Daten erforderlich sind, hat nach unserem Eindruck erst begonnen. Die vorliegende Studie leistet hierzu einen ersten Beitrag und zielt darauf ab, die Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine datenbasierte Nachhaltigkeitstransformation klar zu umreißen.

Dabei soll es nicht in erster Linie um unsere personenbezogenen Daten gehen, die im Zentrum der wichtigen gesellschaftlichen und politischen Debatten um Datenschutz, Persönlichkeitsrechte und informationeller Selbstbestimmung stehen. Den Schwerpunkt legen wir bewusst auf Umweltdaten, Daten von Anlagen, Maschinen, Infrastrukturen oder von Produkten im Internet der Dinge (*Internet of Things*), die in unserer physischen Welt entstehen. Durch mehr und mehr Sensoren aller Art sowie eine stärkere Vernetzung ist davon auszugehen, dass in Zukunft grundsätzlich mehr und vielfältigere Daten erzeugt und aufgezeichnet werden.

Die Aufgabe ist, diese Daten stärker als bisher für systemische Lösungsansätze in den jeweiligen Transformationsarenen einzusetzen, bei denen unterschiedliche Stakeholder zusammenarbeiten und gemeinsam den Umbau von Infrastrukturen, Wertschöpfungsketten und Wirtschaftsstrukturen einleiten müssen. Vor diesem Hintergrund stellt der kooperative und kollaborative Umgang mit Daten eine Grundvoraussetzung für den Erfolg der notwendigen Transformation dar. Thematisch strukturierte Datenökosysteme („Datenräume“) können insbesondere die Auffindbarkeit und den Austausch relevanter Daten erhöhen.

Als Startpunkt werden im folgenden Kapitel 2 die besondere Bedeutung von Systeminnovationen für die Nachhaltigkeitstransformation skizziert und in Kapitel 3 Randbedingungen für eine effektive Datennutzung kurz beleuchtet. Beide Perspektiven unterstreichen die Bedeutung von kollaborativer Datennutzung. Im Kapitel 4 werden die Möglichkeiten und Voraussetzungen für die kollaborative Datennutzung vertieft diskutiert und Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Datenökosystemen für die Nachhaltigkeitstransformation abgeleitet (Kapitel 5).

Der Bericht verarbeitet dabei Ergebnisse eines interdisziplinären Workshops zum Thema *"Daten für die Nachhaltigkeitstransformation - Akteure, Innovationen und Ökosysteme"* mit Expertinnen und Experten aus Forschung, Zivilgesellschaft, Behörden und Privatunternehmen (Teilnehmer*innen siehe Danksagung). Die Workshop-Diskussion wird dabei erweitert um Erkenntnisse aus der Forschung und Diskussion zu den technologischen, ökonomischen und politischen Entwicklungsperspektiven und Umsetzungsbedingungen für Dateninfrastrukturen, Datenräumen und Datenökosystemen.

2 Das Ziel: Systeminnovationen ermöglichen

Wir stehen als Gesellschaft vor der Herausforderung, in den nächsten Jahren gemeinsam die Voraussetzungen dafür zu schaffen, unser Leben und Wirtschaften langfristig im Rahmen der Belastungsgrenzen der globalen Ökosysteme organisieren zu können (vgl. Keppner et al., 2020; Rockström et al., 2009, 2021; Steffen et al., 2015). Dies erfordert grundlegende Veränderungen. Marginale Verbesserungen, die unser bisheriges Verhalten etwas "grüner" machen als bisher, werden nicht ausreichen.

Zu solchen grundlegenden Veränderungen zählen die Umstellung auf eine vollständig erneuerbare Energieversorgung, die Klimaneutralität von Wirtschaft und Gesellschaft wie auch die drastische Senkung des weltweiten Ressourcenverbrauchs. In allen zentralen Handlungsfeldern von Energie, Ressourcen, Wasser über Industrie, Mobilität, Konsum, Städte, Landwirtschaft und Ernährung bis hin zu Bildung und Gesundheit steht ein tiefgreifender Systemwandel in einer Radikalität an, wie wir ihn so noch nicht kennen. Es geht letztlich um die umfassende Neuausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft, die schon vor mehr als einer Dekade als die "Große Transformation" (WBGU, 2011) umrissen wurde.

In diesem Zusammenhang sprechen wir von *Transformationsarenen*, in denen ein umfassender Systemumbau von politischen Rahmenbedingungen, Anreizsystemen, Marktstrukturen, Infrastrukturen, Wertschöpfungsketten und Verhaltensweisen ansteht (Schneidewind, 2018). Es ist offensichtlich, dass der Wandel dafür auf verschiedenen Ebenen einsetzen muss: Technologien und Infrastrukturen, Ökonomien und Märkte, Politik und Institutionen – nicht zuletzt aber auch bei den kulturellen Grundlagen und sozialen Normen, die unser Handeln als Menschen prägen und leiten. Als einzelne Individuen wie auch zusammen als gesellschaftliche Gruppen und Organisationen müssen wir eine neue Transformationskompetenz (*transformative literacy*) im Sinne der "Fähigkeit, Transformationsprozesse adäquat in ihrer Mehrdimensionalität zu verstehen und eigenes Handeln in Transformationsprozesse einzubringen" (Schneidewind, 2018) aufbauen.



Abbildung 3: Arenen der Nachhaltigkeitstransformation (Quelle: Eigene Darstellung)

2.1 Systeminnovationen anstoßen

In allen Transformationsarenen brauchen wir dafür neue Konzepte, Lösungen und Strukturen, die als **Systeminnovationen** auf den verschiedenen Ebenen und im Zusammenspiel der unterschiedlichen Akteure Veränderungsprozesse anstoßen und verstetigen. In unserem Verständnis zeichnen sich Systeminnovationen dadurch aus, dass sie nicht auf die Optimierung oder Erneuerung von einzelnen Technologien oder Anwendungen begrenzt sind, sondern dauerhaft neue Strukturen und Handlungsmöglichkeiten schaffen, die selbst zur Grundlage für weitere technologische Entwicklungen, Innovationsprozesse, neue Geschäftsmodelle usw. werden können (Geels, 2005; Midgley & Lindhult, 2021; Mulgan & Leadbeater, 2013; Schlaile et al., 2017).

Systeminnovationen verändern die Strukturen und Organisationsformen, wie Leistungen in den Transformationsarenen erbracht, zur Verfügung gestellt und unsere Bedürfnisse befriedigt werden. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass neue Ansätze und Konzepte für die Koordination der Leistungserbringung zum Einsatz kommen und sich dabei in der Regel auch neue Akteurskonstellationen herausbilden. Der eigentliche Mehrwert der Systeminnovation entsteht durch das synergetische Zusammenspiel der diversen Technologiebausteine und Einzelbeiträge dieser Akteure, die jeweils für sich genommen keine oder nur eine deutlich geringere Wirkung entfalten würden. In der Kombination von komplementären Akteuren, Technologien, Kompetenzen und Leistungen wird es möglich, auch größere Herausforderungen zu adressieren und so Alternativen zu bestehenden, nicht-nachhaltigen Strukturen aufzubauen.

Ein klassisches Beispiel sind lokale, intelligente Energiesysteme für die Koordination einer nachhaltigen, dezentralen Energiewelt mit hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, neuen Verbrauchsstrukturen und Lastprofilen, wie z.B. der E-Mobilität zusammen mit den bislang ungenutzten Optionen für das dynamische Verbrauchs- und Flexibilitätsmanagement von Verbrauchern, Stromspeichern, etc. (BMW, 2017; dena, 2021). Ein anderes Beispiel ist die Vernetzung von klimaschonenden Mobilitätslösungen des öffentlichen Verkehrs, Sharing-Angeboten und On-Demand-Services im Umweltverbund. Erst durch die Bündelung der Einzelbausteine und das reibungslose Zusammenspiel entlang der Reiseplanung wird eine attraktive, funktional-äquivalente Alternative zur Nutzung des privaten PKWs möglich (Koska et al., 2021). Systeminnovationen sind auch gefordert beim Einstieg in eine klimaschonende und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) und für die Neuausrichtung von Wertschöpfungsketten auf zirkuläre, an Langlebigkeit und Materialerhaltung orientierte Geschäftsmodelle (Ramesohl et al., 2022).

Systemwissen ist dabei die elementare und unverzichtbare Grundlage für die Strategie- und Handlungsfähigkeit aller Akteure im System. Mit Blick auf die sozio-technisch-ökonomisch-politischen Transformationsarenen und ihre vielfältigen Wechselwirkungen mit den globalen wie regionalen Ökosystemen ist es eine große Herausforderung, die vergangenen, aktuellen wie zukünftigen Zustände, Entwicklungen und Implikationen zu erfassen und zu bewerten. Die Zusammenhänge und Wechselwirkungen sind komplex, die Beschreibung von Problemen und Wirkungsmechanismen ist schwierig und es gibt in der Regel keine einfachen Lösungen. Dazu kommt, dass Prozesse oft nicht linear verlaufen, sprunghafte oder exponentielle Veränderungen erschweren die Abschätzung der Entwicklungsdynamik. Aus Pfadabhängigkeiten (*Lock-In Effekte*) resultieren weitere Parameter, die in der Analyse berücksichtigt werden müssen. Die Steuerung von Prozessen auf Grundlage von historischen Daten und deren Fortschreibung wird damit immer schwieriger. Mit dem Handlungsdruck zur nachhaltigen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft steigt daher auch der Bedarf nach Systemwissen und den zugrundeliegenden Fähigkeiten zur Vermessung und Beschreibung von (Teil-)Systemen und Problemlagen, der Analyse und Bewertung von Einflussfaktoren und Entwicklungs-

trends, der Modellierung von Wirkungszusammenhängen und Simulation der Effekte von Interventionen, der Prognose künftiger Verläufe sowie dem Monitoring, Anpassung und Lernen bei Gestaltung und Umsetzung von Maßnahmen.

2.2 Systeminnovationen ausrichten

Systeminnovationen entstehen wie im vorigen Abschnitt definiert durch das Zusammenwirken von zahlreichen Einzelinnovationen unterschiedlicher Akteure. Die wesentliche Herausforderung für die Politik ist daher, die Selbstorganisation dieser Akteure anzustoßen, deren Innovationskräfte zu bündeln und auf gemeinsame Ziele einer nachhaltigen Transformation auszurichten. Das erfordert, die strategisch-normativen Grundlagen zu schaffen, um die Suchrichtungen und Erwartungen der Innovationsakteure zu lenken (*directionality of innovation, guidance of search*, vgl. auch Hekkert et al., 2007).

Eine klare und inhaltlich-strategisch überzeugende Richtungsvorgabe kann dazu beitragen, die Innovationsanstrengungen und Ergebnisse zu legitimieren. Weiterhin kann eine solche Richtungsvorgabe breite Akzeptanz bei allen Beteiligten befördern und klare Anreize in Bezug auf Skalierung und Kommerzialisierung bieten.

Der Ansatz der „Mission-oriented Innovation Policy (MIP)“¹ bietet einen Ansatz, um genau solche klaren politischen Rahmenbedingungen in einem funktionierende Innovationssystem einzubetten. Nicht zuletzt die Europäische Kommission unterstützt dieses Konzept, bei dem sowohl Innovationsdynamik (*innovation rate*) als auch insbesondere der Innovationsrichtung (*innovation direction*) Rechnung getragen wird (Mazzucato, 2018).

Die Grundidee einer MIP ergänzt damit die klassischen Ansätze der ergebnisoffenen Förderung von (Grundlagen-)Forschung und Entwicklung. Es geht also nicht um die Förderung von Technologien und Kompetenzen an sich, sondern konkret darum, definierte Meilensteine beim Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz in klar definierten Handlungsfeldern zu erreichen, transformative Systeminnovationen anzustoßen und so zum sozial-ökologischen Wandel in Wirtschaft und Gesellschaft beizutragen.

2.3 Systeminnovationen einbetten

Damit Systeminnovationen ihr volles Potenzial für die nachhaltige Entwicklung in den jeweiligen Transformationsarenen dauerhaft entfalten können, müssen neben der strategischen Orientierung auch stimulierende und lenkende Randbedingungen geschaffen werden, die das zu verändernde System als Ganzes betreffen. Gerade die ökonomischen Marktstrukturen und regulatorische Rahmensetzungen bestimmen als Systemregeln die Chancen und Risiken von Innovationsstrategien und entscheiden über den wirtschaftlichen Erfolg von unternehmerischem Handeln. Das beeinflusst auch die Motivation und Fähigkeit zur (Selbst-)Organisation der Akteure und hat dadurch großen Einfluss auf Richtung und Intensität der Innovationsdynamik.

¹ Für eine vertiefte Darstellung von Ansätzen der Mission-oriented Innovation Policy siehe (Hekkert et al., 2020; Janssen et al., 2020; Kattel & Mazzucato, 2018; Kuhlmann & Rip, 2018; Mazzucato, 2018; Mazzucato et al., 2020; Wanzenböck et al., 2020; Wittmann et al., 2020). Ein vergleichbarer Ansatz wird auch für die deutsche *High Tech Strategie 2025* vorgeschlagen (Hightech-Forum (Hrsg.), 2021)

Ein zentrales Element sind hier übergreifende ökonomische Lenkungsanreize durch ökologisch ausgerichtete CO₂-, Energie und Ressourcenpreise. Desweiteren müssen bisherige Marktlogiken auf den Prüfstand gestellt werden. Ein Beispiel hierfür sind Konzepte zur Änderung der ökonomischen Anreizsysteme der Landwirtschaft, wie sie im Zuge der Reform der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik (GAP) diskutiert werden. Durch zusätzliche Eco-Schemes, deren ökologische Anforderungen über die verpflichtenden Standards hinausgehen, sollen den Betrieben neue Einnahmen eröffnet werden und die Landwirtschaft immer stärker für Ökosystemdienstleistungen vergütet werden. Das ist ein Beitrag für einen tiefgreifenden Richtungswechsel der bisherigen Agrarpolitik und den von internationalem Wettbewerb, Preisdruck und industrieller Produktionslogik gekennzeichneten traditionellen Marktstrukturen (Zukunftskommission Landwirtschaft, 2021). Weitere Beispiele für marktrelevante Parameter und Knappheitssignale sind Zielmarken für relevante ökologische Indikatoren wie absolute Emissions- und Verbrauchsgrenzen z.B. im Emissionshandel, Vorgaben für Recycling- und Wiederverwertungsquoten, Verbot spezifischer Praktiken, u.ä.

Der Erfolg des Wandels in den Transformationsarenen hängt also davon ab, die beiden Aspekte Gestaltung der Systemregeln und Entwicklung von Systeminnovationen miteinander zu verschränken. Klare übergeordnete Zielvorgaben, missionsorientierte Förderung und konsistente Anreizsysteme bilden den Rahmen für die Entfaltung der Innovationskraft der Akteure und sind Voraussetzung für die Bereitschaft zur (langfristigen) Investition in strukturelle Neuerungen.

Es ist offensichtlich, dass Systeminnovationen dafür auf verschiedenen Ebenen von Wirtschaft, Gesellschaft und Politik ansetzen müssen (*multi-level perspective*) und die Vernetzung, Kommunikation und Interaktion von vielen unterschiedlichen Akteuren erfordern (*multi-actor activities*). Hier liegt das große Potenzial der Digitalisierung, zum einen neue Informationsbeziehungen, den Zugang und Austausch von Wissen, wie auch neue Formen der Organisation und Steuerung von Prozessen und Strukturen zu ermöglichen. Zum anderen erweitern sich die Möglichkeiten, unsere Umwelt zu beobachten und zu analysieren und damit auch Trends, Einflussfaktoren und Wechselwirkungen immer besser zu verstehen. Unser Handlungsraum wird immer größer und gibt uns neue Ansatzpunkte zum Aufbau der benötigten *transformation literacy*.

Systeminnovationen brauchen Daten - es müssen nur die richtigen Daten sein und sie müssen wirksam genutzt werden können. Das nächste Kapitel greift diesen Aspekt noch einmal auf.

3 Die Herausforderung: Daten nutzbar machen

Daten stehen im Zentrum jeder digitalen Lösung. Daten machen es möglich zu beobachten, zu erklären, vorherzusagen und zu agieren. Mit der heutigen und zukünftigen Technologie ist dies auf einem bislang ungekannten Detailgrad und Geschwindigkeitsniveau möglich. In den nächsten Jahren werden immer mehr Daten in unserem Alltag und Lebensumgebungen verfügbar werden, was neue Potenziale für datenbasierte Lösungen eröffnet.

Endgeräte, Anwendungen und Infrastrukturen werden zunehmend mit vernetzter Sensorik ausgestattet, unsere Produktionsanlagen, Gebäude, Fahrzeuge, Smartphones, Haushaltsgeräte bis hin zur Kleidung erzeugen Daten zum eigenen Betrieb oder erfassen den Zustand der Umgebung. Damit wächst das Internet der Dinge (*Internet of Things, IoT*) immer weiter an.

Die digitale Erkennung und Verarbeitung von Texten, Sprache und Bildern durch Verfahren der künstlichen Intelligenz macht rasante Fortschritte. So erschließen sich neue Datenströme. Diese *“emerging data streams”* umfassen ebenso eine wachsende Zahl online frei verfügbarer Daten. Dazu zählen insbesondere viele unstrukturierte bzw. halb-strukturierte Daten im Internet wie z.B. Suchdaten, Social-Media-Daten, u.ä. Genauso können diese Verfahren dazu dienen, die maschinelle Verarbeitung und Auswertung von großen Textmengen oder die Bilderkennung bei der Auswertung von Satellitenbildern im Dienste des Umweltschutzes zu ermöglichen (Boll et al., 2022; Jetzke et al., 2019).

In der Kombination erweitern diese Daten das im vorigen Kapitel angesprochen Systemwissen. Das Ziel ist, Daten auch immer besser für Systeminnovationen und die nachhaltige Entwicklung in den Transformationsarenen zu nutzen.

3.1 Die Herausforderungen datenarmer Handlungsfelder

Mit Blick auf sehr datenreiche Kontexte wie digitale Plattformen, Social Media usw. sind unsere physischen Handlungsbereiche im Verkehr, in der Industrie oder im Verwaltungsalltag jedoch immer noch vergleichsweise datenarm (Arnold et al., 2020). Hinzu kommt, dass Daten an vielen unterschiedlichen Stellen anfallen, stark fragmentiert sind und sehr heterogene Formate aufweisen. Damit sind die Daten unserer physischen Welt anders als bei großen digitalen Plattformen nicht konzentriert bei wenigen Akteuren anfallen, sondern meist über viele Anwendungen, Geräte, Anlagen und Nutzer*innen verteilt sind.

Das hat unmittelbare Konsequenzen für die Innovationsaufgabe. Während in datenreichen Umgebungen die Innovationsleistung u.a. darin besteht, riesige Datenmengen zu verarbeiten, komplexe Analysen durchzuführen und verborgene Muster zu erkennen, stellen sich in datenarmen Kontexten ganz andere Herausforderungen. Die Kernaufgabe ist, überhaupt erst die relevanten Daten(quellen) zu identifizieren, Daten zusammenzuführen, interpretieren zu können und nutzbar zu machen. Gerade bei den Systeminnovationen erfordert das die Zusammenarbeit vieler Akteure. Es geht um die kollaborative Datengenese und Datennutzung und somit um die Frage, wie Datenquellen für neue, gemeinsame Zwecke erschlossen werden können. Auch stoßen KI-Lösungen in sehr individuellen, datenarmen Industrieanwendungen an ihre Grenzen. Modelle müssen an verfügbare Datensätze angepasst werden und die Bedeutung des domain-spezifischen Know-Hows der nutzenden Experten*innen steigt (*data-centric approach to AI*, vgl. Anadiotis, 2022).

Im Fokus stehen damit nicht Daten an sich, sondern der Wert und die Verwendbarkeit der Daten für die jeweilige Transformationsaufgabe. Eine rein quantitative Steigerung von Datenmengen im Sinne des *“je mehr desto besser”* ist nicht zielführend. Es geht vielmehr um die

Qualität und den Nutzen von Daten. Wir brauchen einen klugen Umgang mit Daten, d.h. eine effektive Datengewinnung und -nutzung mit Maß und Ziel. Zwei weitere Aspekte sprechen für diesen Ansatz:

1. Jede Datennutzung verursacht selbst Umweltwirkungen

Wenngleich Daten selbst immateriell sind, verursacht die physische Realisierung von Datennutzung negative Umweltwirkungen. Sensoren zur Erfassung, Rechenzentren zur Speicherung, Kommunikationsnetze zur Übertragung und Endgeräte zur Verarbeitung von Daten verbrauchen Rohstoffe und Energie bei ihrer Herstellung, ihrem Betrieb und ihrer Entsorgung. Das Problem ist mittlerweile erkannt und wird durch vielfältige private wie politische Initiativen für eine umweltgerechte und klimaschonende Digitalisierung adressiert². Grundsätzlich gilt jedoch, dass die Umweltbelastungen bei allen zu erwartenden Fortschritten nicht völlig vermieden werden können, insbesondere beim Einsatz von ökologisch bedenklichen Ressourcen sind viele Problem noch ungelöst (Gröger, 2020; Gröger et al., 2021; Köhler et al., 2018). Damit rücken die eigentlichen Treiber der Nutzung von physischer Hardware ins Blickfeld, d.h. die Applikationen, Geschäftsmodelle, Datenarchitekturen und Softwarelösungen, die die Auswahl, Art und Umfang der Nutzung von Endgeräten und Infrastrukturen bestimmen (Geiger et al., 2021; Wurm et al., 2021).

Unnötige Datennutzung ist dementsprechend zu vermeiden. Ein genereller Verzicht oder sehr restriktiver Umgang mit Daten ist angesichts des wichtigen Lösungsbeitrags der Digitalisierung allerdings auch nicht zielführend. In der Konsequenz bedeutet das, dass sich in den meisten praktischen Situationen die Gewinnung, Vernetzung, Speicherung und Verwertung von Daten immer am übergeordneten Zweck und Nutzen des konkreten Anwendungsfalles messen lassen müssen. Das schärft den Blick dafür, eine jeweils angemessene zeitliche und räumliche Auflösung der Daten wie auch eine optimierte zeitliche und räumliche Organisation der Erhebung, Weiterleitung und Verarbeitung von Daten zu etablieren (*Wofür brauche ich die Daten?*)³.

2. Datenqualität geht vor Datenmenge

Daten *per se* schaffen noch keinen Nutzen – erst durch die Einbettung in einen Kontext, Aufbereitung und zielgerichtete Verarbeitung entsteht der Wertbeitrag zum spezifischen Anwendungsfall (Arnold et al., 2020). Dieser Wert wird maßgeblich von der Qualität und insbesondere der Passgenauigkeit der Daten mitbestimmt, u.a. weil der Aufwand und die Kosten für die Bereinigung und Vorbereitungen der Rohdaten (*data wrangling, data cleaning*) in der Regel den Löwenanteil der Arbeit der Data Scientists in Big Data Projekten ausmacht. Ebenfalls zeichnet sich ein abnehmender Grenznutzen des Trainings von KI-Modellen ab.

² Bspw. die Digital Strategie der EU (European Commission, 2020b), die Umweltpolitische Digitalagenda des BMU (BMU, 2020) oder die European Green Digital Coalition (EGDC, (European Commission, 2021). Vgl. auch <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/gruene-informationstechnik-green-it>. Vgl. zu Perspektiven des Energieverbrauchs und Emissionen von KI Modellen (Patterson, 2022)

³ Unabhängig von solcher zielgerichteter Datennutzung besteht natürlich grundsätzlich die Möglichkeit, aus großen Datenmengen völlig neue, unerwartete Erkenntnisse abzuleiten. Das eröffnet eine neue Perspektive für wissenschaftliches Arbeiten, was auch als *Fourth Paradigm* bzw. *Data-Intensive Scientific Discovery* diskutiert wird (Hey et al., 2009).

3.2 Das Leitbild einer öko-effizienten und kollaborativen Datennutzung

Zusammenfassend wird deutlich, dass Datengewinnung und -nutzung sich am Leitbild der Ökoeffizienz orientieren können (Abbildung 4). Die Umweltwirkungen der Datennutzung müssen mit aller Konsequenz weiter reduziert werden – gleichzeitig ist es aber die Aufgabe, den ökologischen Wert von Daten und ihren Transformationsbeitrag zu maximieren.

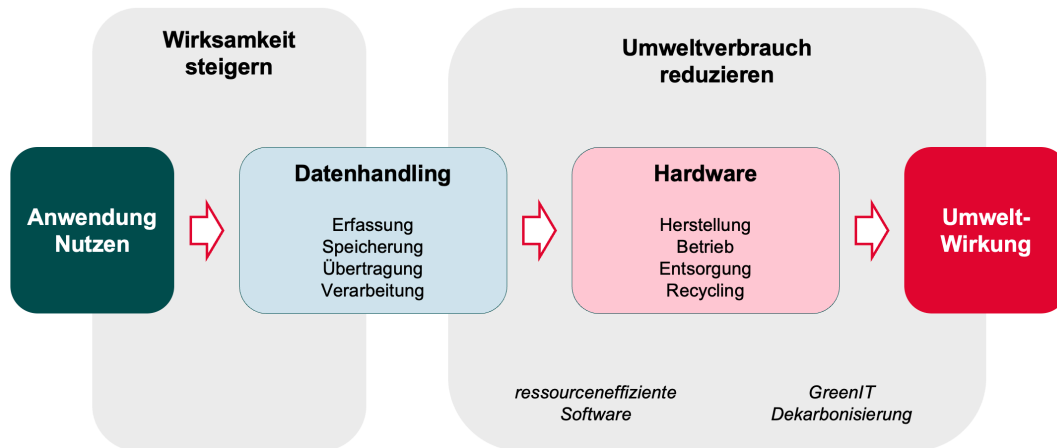


Abbildung 4: Ökoeffiziente Datennutzung (Quelle: Eigene Darstellung)

Eine zentrale Frage ist damit, wie die Wirksamkeit (Effektivität) von Daten für den Erfolg von Systeminnovationen gesteigert werden kann – insbesondere im Rahmen der Interaktion und Kollaboration verschiedener Akteure bei der Gestaltung von Systeminnovationen. Konkret ist zu klären:

- Wie können die Möglichkeiten der kollaborativen Datennutzung in digitalen Lösungen für die oben skizzierten Systeminnovationen erschlossen werden?
- Welche Prinzipien, welche Strukturen bieten sich für eine umweltverträgliche Organisation von Daten und ihres Handlings an, um Daten für Nachhaltigkeit wirksam werden zu lassen?
- Wie können Datenquellen für neue Zwecke erschlossen, wie verschiedene Datenquellen zusammengeführt werden?
- Welche Rolle spielen Standardisierung, Interoperabilität und Portabilität in diesem Zusammenhang?

Hierauf geht das folgende Kapitel 4 ein.

4 Der Ansatz: Kollaborative Datennutzung

In den vorigen Kapiteln wurde deutlich, dass eine kollaborative Nutzung von Daten große Chancen für die Nachhaltigkeitstransformation bietet. Zugang, Teilen und die gemeinsame Nutzung von Daten von anderen Akteuren ist dafür die Grundvoraussetzung und trägt zudem dazu bei, die mit Daten verbundenen Umweltwirkungen in verträglichen Grenzen zu halten.

Während die Suche nach den gesellschaftlich optimalen Datenzugangs-Regimen noch andauert und die Antwort je nach Kontext unterschiedlich ausfallen wird, ist der marktbasierter Handel mit Daten bereits Realität. Potentielle Datennehmer stehen in diesem Kontext vor einer klassischen “Make or Buy”-Entscheidung, die sich an betriebswirtschaftlichen Maßstäben ausrichtet (Arnold et al., 2020). Für Datengeber ergeben sich durch den Handel neue Monetarisierungspotentiale für Daten, die als (Neben-) Produkte anfallen und für andere Akteure einen Nutzen haben. Die Daten können dabei entweder direkt gehandelt, oder als datenbasierte Dienstleistungen angeboten werden (Martens, 2018). Dadurch kann auch eine Erweiterung des Geschäftsmodells ermöglicht werden. Neben klar definierbaren Datengeber-Datennehmer Beziehungen finden auch Bartergeschäfte des gegenseitigen Datenaustauschs statt.

Gerade letztere bieten das Potenzial, qualitativ neuartige Interaktionen zwischen Akteuren zu ermöglichen oder die Qualität bestehender Interaktionen auf eine neue Ebene zu heben. Für die Industrietransformation besonders relevant ist das **Teilen von Daten entlang der Wertschöpfungskette**: Daten, die auf einer Wertschöpfungsstufe anfallen, können auf einer anderen Stufe von Nutzen sein. Beispielsweise können Daten über die genaue stoffliche Zusammensetzung einer Kunststoffverpackung, die dem Hersteller vorliegen, vom Recycler zur Optimierung des Wiederaufbereitungsprozesses und damit der Erzielung einer hohen Recyclingqualität genutzt werden. Auch in anderen Transformationsarenen kann das Teilen von Daten neue Handlungsoptionen eröffnen.

Darüber hinaus können offene Daten (**Open Data**) aus öffentlichen und privatwirtschaftlichen Quellen Systeminnovationen anstoßen. Ein konkretes Beispiel hierfür sind Informations- und Buchungssysteme für intermodale Reiseketten, die helfen nachhaltige Mobilitätsangebote zu verbessern (Koska et al., 2021).

Hier liegt der politische Gestaltungsbedarf, um Akteure jenseits von schon etablierten kommerziellen Datenaustauschbeziehungen miteinander zu vernetzen und für digitale und nachhaltige Systeminnovationen zu mobilisieren. In diesem Kapitel skizzieren wir die Bedingungen, Ansätze und Instrumente, um die gemeinsame Nutzung von Daten zu ermöglichen und dabei die Flexibilität und Skalierbarkeit von Lösungen sicherzustellen.

4.1 Nutzen von Daten entsteht durch Integration in einen Kontext

Wie im vorherigen Kapitel schon ausgeführt haben Daten *per se* keinen (wirtschaftlich nutzbaren) Wert. Sie entfalten ihren Nutzen erst, wenn sie in einem bestimmten Kontext sinnvoll eingesetzt werden (Arnold et al., 2020; Martens, 2018). Dies kann bspw. geschehen, wenn sie dazu genutzt werden, um bessere oder zumindest besser informierte Entscheidungen zu treffen (vgl. auch Cao, 2017). Das Smart Circular Economy Framework (Kristoffersen et al., 2020) bringt diesen Prozess exemplarisch mit einer Steigerung der Ressourceneffizienz im System in Verbindung, siehe Abbildung 5.

Das hat zur Folge, dass der reine Zugang zu Daten zwar wichtig aber nicht alleine entscheidend dafür ist, Nutzen aus ihnen zu ziehen. Entscheidend ist vielmehr die Fähigkeit, die spezifisch für den eigenen Kontext geeigneten Daten zu entdecken, zu verstehen und nutzbar zu machen.

Dies gilt umso mehr, je weiter der Kontext der Datennutzung vom ursprünglichen Kontext der Datenerfassung entfernt ist. Damit gewinnen die Auffindbarkeit, die Interpretierbarkeit und die Integrierbarkeit von Daten für eine Kollaboration innerhalb von Systeminnovationen (z.B. entlang der Wertschöpfungskette), wie sie für die Nachhaltigkeitstransformation erforderlich ist, eine besondere Bedeutung.

In den folgenden Abschnitten werden diese Voraussetzungen für die kollaborative Datennutzung auf unterschiedlichen Gestaltungsebenen skizziert. Diese umfassen interoperable Systeme und Komponenten (Abschnitt 4.2), Datenräume (4.3) und Datenökosysteme (4.4).

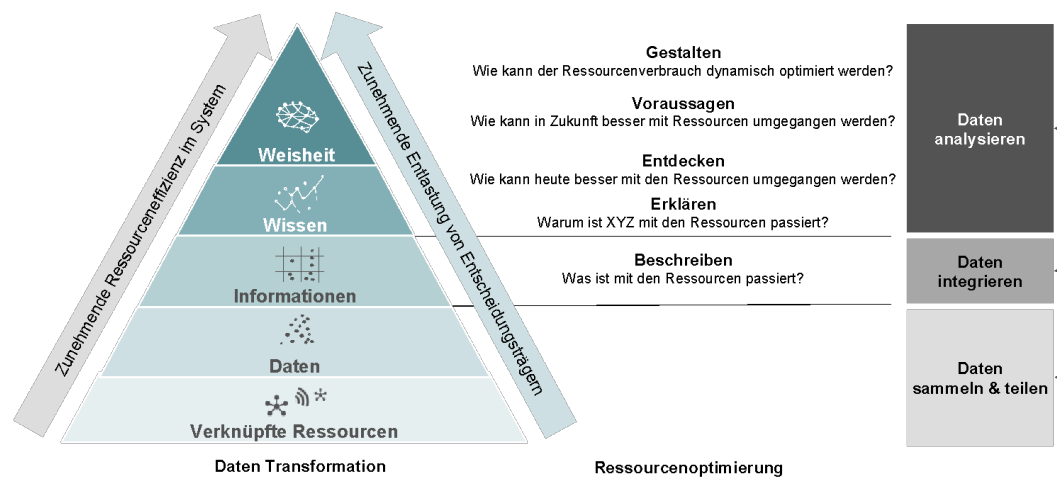


Abbildung 5: Smart Circular Economy Framework. Quelle: Eigene Darstellung in (Ramesohl et al., 2022) nach (Kristoffersen et al., 2020)

4.2 Interoperabilität ist Voraussetzung für kollaborative Datennutzung

Eine erste Grundvoraussetzung, um Daten nutzen zu können, ist von ihrer Existenz und ihrer Eignung für den angestrebten Verwendungszweck zu wissen. Im Fall von etablierten Geschäftsbeziehungen zwischen einzelnen Akteuren mag der direkte Austausch hierfür geeignet sein. Wenn jedoch, wie im Fall der Nachhaltigkeitstransformation, angestrebt wird, eine Vielzahl von potenziellen Datenquellen zu erschließen, über die ein einzelner Akteur kein vollständiges Wissen hat, stellt die **Auffindbarkeit** von Daten eine größere Herausforderung dar. Einen Lösungsansatz hierfür bieten Daten- und API-Marktplätze an, die als eine ihrer Hauptfunktionen "Daten-Entdeckung" (Discovery) anbieten (Meisel & Spiekermann, 2019): Über Mechanismen wie durchsuchbare Kataloge, Anfragen zu bestimmten Datenbedarfen oder Benachrichtigungen zu neuen Angeboten und Trends können Datenprodukte mit den gewünschten Eigenschaften bezüglich Inhalt und Qualität identifiziert werden.

Damit Daten von anderen Akteuren genutzt werden können, müssen die jeweiligen Systeme die Fähigkeit haben, miteinander zu kommunizieren. Je nach Situation sind hier Datenportabilität bzw. -Interoperabilität die entscheidenden Anforderungen. **Datenportabilität** be-

zieht sich auf die Möglichkeit, eigene Daten von einem Service zu einem anderen zu übertragen⁴. Portabilität zielt also auf den Anbieter-Wechsel durch natürliche oder juristische Personen ab, wie es z.B. im Vorschlag des EU Data Act für Cloud Services vorgesehen ist (Cloud Switching, vgl. (European Commission, 2022b)).

Entscheidend für die digital-ökologische Umgestaltung von Wirtschaft und Gesellschaft ist allerdings die Fähigkeit, Daten und Informationen zwischen verschiedenen Systemen, Anwendungen oder Komponenten auszutauschen. Diese Systemeigenschaft wird unter dem Begriff der **Interoperabilität** gefasst (vgl. Gasser & Palfrey, 2007). Obwohl zum Teil synonym zu Kompatibilität verwendet, geht Interoperabilität darüber hinaus (Abbildung 6): Zwei Systeme oder Komponenten werden als kompatibel bezeichnet, wenn sie Daten untereinander austauschen können; Interoperabilität ist jedoch erst gegeben, wenn alle Teilnehmer eines Verbundes zueinander kompatibel sind und der Austausch nicht von einem zentralen Akteur abhängt (Kerber & Schweitzer, 2017; Weiß, 2018).

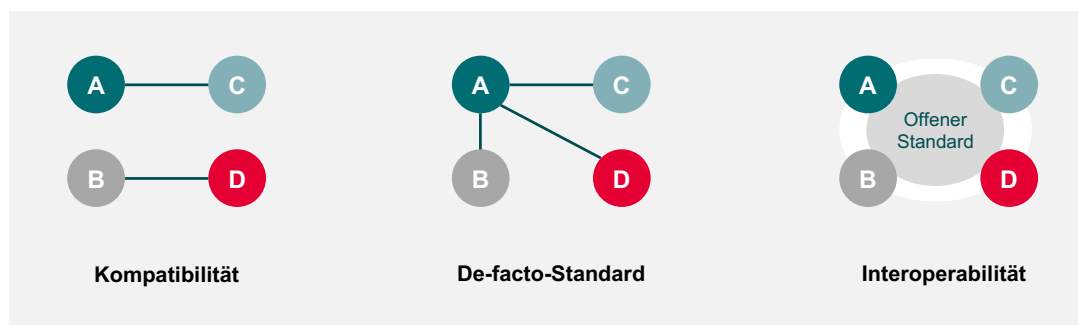


Abbildung 6: Merkmale und Abgrenzung der Interoperabilität (Quelle: Weiß, 2018)

Interoperabilität stellt eine zentrale Bedingung für digital gestützte Kollaborationen zwischen verschiedenen Akteuren dar, wie sie für die nachhaltige Industrietransformation notwendig sind. Sie setzt auf verschiedenen Ebenen an (Kubicek et al., 2019): Auf der syntaktischen Ebene werden Datenaustauschformate und die darin verwendeten Zeichen definiert. Demgegenüber beschreibt die semantische Ebene, aus welchen Inhalten sich ein Datensatz in welcher Reihenfolge zusammensetzt. Semantische Interoperabilität bezeichnet demnach die Fähigkeit, die Bedeutung der ausgetauschten Daten zu verstehen. Organisatorische Interoperabilität setzt schließlich eine Abstimmung von Workflows der Datenerzeugung und -Verwendung voraus. Alle drei Ebenen von Interoperabilität sind entscheidend für ein Gelingen der digital-ökologischen Transformation.

Um Interoperabilität zu erreichen, können insbesondere **Standards** hilfreich sein, durch die der korrekte Datenaustausch ermöglicht wird (Kubicek et al., 2019). Die Ausgestaltung der Standards steht dabei in einem Spannungsfeld zwischen einer ausreichend allgemeingültigen Struktur, um der Anforderung an Interoperabilität zu genügen, und einem Bedarf nach Agilität um für verschiedene Akteure, Situationen und Rahmenbedingungen anwendbar zu sein. Dieses Spannungsverhältnis wird nur befriedigend aufzulösen sein, wenn die Standardisierung

⁴ Das Recht auf Portabilität von persönlichen Daten ist in der EU auch durch die Datenschutz-Grundverordnung festgeschrieben z.B. beim Wechsel von Social Media Anbietern. Dieser Aspekt wird wie angesprochen in diesem Bericht jedoch nicht weiter ausgeführt.

durch die Stakeholder im Kontext von gemeinsamen Anwendungsfällen erfolgt. Es kommt daher darauf an, für die Nachhaltigkeitstransformation zentrale Anwendungsfälle zu definieren und diese einem Standardisierungsprozess zu unterziehen.

Während Anforderungen an die Standardisierung wie Passgenauigkeit, Flexibilität, Offenheit und Zukunftsfähigkeit relativ leicht zu definieren sind, lassen sich sowohl für die Auswahl der Anwendungsfälle, als auch für den zu durchlaufenden Standardisierungsprozess keine allgemeingültigen Vorgaben machen. Die Lösungsmöglichkeiten für diesen Suchprozess reichen von einem marktlichen Wettbewerb zwischen verschiedenen Standards über kollektive, durch Standardisierungsorganisationen moderierte Prozesse bis hin zu politisch vorgegebenen Interoperabilitäts-Anforderungen.

Eine zu Standards komplementäre Herangehensweise an Interoperabilität stellen **Adapter und Konverter** dar, mit denen Daten von einem Format in ein anderes umgewandelt werden können. Alle Ansätze haben bestimmte Vor- und Nachteile, die im jeweiligen Kontext gegeneinander abgewogen werden müssen. (vgl. Kerber & Schweitzer, 2017)

Ein Instrument, das für das Erreichen von semantischer Interoperabilität im Kontext der Industrietransformation von Bedeutung ist, sind **Ontologien**. Diese beschreiben zulässige Begriffe (concepts) und zwischen ihnen bestehenden Beziehungen (relationships) in einem Gegenstandsbereich (domain), und können etwa mit Hilfe des Resource Description Frameworks (RDF) oder der Ontology Web Language (OWL) maschinenlesbar erfasst werden (Baqá et al., 2019). Eine Datenstruktur, mit der Instanzen der in Ontologien beschriebenen Begriffe abgebildet werden können, sind **Knowledge Graphs** (Kejriwal, 2019). Während Knowledge Graphs im Kontext von Industrie 4.0 bereits zur Beschreibung von Standards, Anforderungen und Frameworks zur Anwendung kommen (Bader et al., 2020), bleibt noch abzuwarten, welchen Beitrag sie zur Interoperabilität von Systemen leisten werden.

Wie oben dargestellt, müssen Daten nicht nur ausgetauscht und zusammengeführt werden, sondern es müssen daraus Informationen und anwendbares Wissen abgeleitet werden um eine Wirkung zu entfalten. Für diesen Schritt ist der Transfer vom ursprünglichen Kontext der Datenerzeugung in den neuen Kontext der Datennutzung essenziell. Diese Anforderung kann mit Standards allein nicht erfüllt werden, sondern erfordert darüber hinaus den Austausch von **Metadaten** - d.h. den Daten über Daten. Metadaten enthalten Informationen über den Kontext der Datenerzeugung, über den Inhalt und die Qualität der Daten. Damit sie korrekt ausgetauscht werden können, müssen auch Metadaten interoperabel sein (Kubicek et al., 2019).

Die hier besprochenen Anforderungen für die gemeinsame Nutzung von Daten lassen sich mit den ursprünglich für das Forschungsdatenmanagement aufgestellten FAIR-Prinzipien (Wilkinson et al., 2016) auf eine prägnante Formel bringen:

Um einen maximalen Nutzen zu stiften, sollen Daten auffindbar (Findability), zugänglich (Accessibility), interoperabel (Interoperability) und wiederverwendbar sein (Reusability).

4.3 Datenräume strukturieren die Daten-Kollaboration

Wollen verschiedene Akteure datengestützt eng miteinander kooperieren, wie es im Kontext von Systeminnovationen erforderlich ist, stellt Interoperabilität der beteiligten Systeme zwar eine notwendige, jedoch keine hinreichende Erfolgsbedingung dar. Über den Datenaustausch hinaus spielt in diesem Kontext die Harmonisierung von Prozessen, Schnittstellen und Datenstrukturen eine entscheidende Rolle. Eine Struktur, die dies ermöglicht, sind **Datenräume** und deren informationstechnischer Basis von **Dateninfrastrukturen** (Otto & Burmann, 2021).

Durch **Referenzarchitekturen** können Dateninfrastrukturen formalisiert beschrieben werden und die unterschiedlichen Perspektiven und Anforderungen der beteiligten Akteure zusammengeführt werden. Mit ihrer Hilfe werden Vereinbarungen zur Strukturierung der Zusammenarbeit und zu den auszutauschenden Informationen getroffen und umgesetzt und sie bilden die Grundlage für die Entwicklung und Integration datentechnischer Systeme (Arnold & Liebe, 2018).

Eine internationale Initiative für einen kollaborativen Datenraum ist der International Data Space (**IDS**) (Otto et al., 2019; Otto & Burmann, 2021). Der Fokus der IDS-Initiative liegt auf der Steigerung der Interoperabilität, sowie dem Teilen und der gemeinsamen Nutzung von Daten. Kern des IDS ist das Referenzarchitekturmodell **IDS-RAM**, in dem eine verteilte Softwarearchitektur für das Teilen und den Austausch von Daten spezifiziert wird, sowie ein Rollenmodell, das zwischen Datengebenden und Datenempfangenden unterscheidet. Der bilaterale, dezentrale Datenaustausch umfasst sowohl Wirk- als auch Metadaten und wird von sogenannten Broker-Diensten vermittelt. Standardisierte Datendienste, etwa zur Umwandlung von Daten in verschiedene Formate, werden über einen App Store zur Verfügung gestellt. Über ein Informationsmodell, das ein gemeinsam gepflegtes Vokabular zur Beschreibung von Daten sowie datenerzeugenden und datenverwendenden Dienste beinhaltet, wird semantische Interoperabilität erreicht. Die Verbindung zu den Datenquellen wird über den sogenannten **IDS Connector** hergestellt. Dieser verwaltet neben den Metadaten auch die maschinenlesbaren Nutzungsbedingungen und setzt diese durch, das heißt er erlaubt oder verbietet die Nutzung (Otto & Burmann, 2021).

Eine weitere Referenzarchitektur, die speziell für den Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken entwickelt wurde, ist das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (**RAMI 4.0**), s. Abbildung 7. Der Zweck dieses Modells ist die "Entwicklung eines branchenübergreifenden Verständnisses, welche Standards, Normen usw. für Industrie 4.0 notwendig sind" (Arnold & Liebe, 2018, S. 15). RAMI 4.0 besteht aus drei Dimensionen: (1) Schichten, (2) Lebenszyklus und Wertschöpfungskette und (3) Hierarchieebenen (vgl. Abbildung 7). Die Schichten repräsentieren unterschiedliche Sichtweisen, mit denen Gegenstände (Assets) in IT-Systemen repräsentiert werden. Sie umfassen die Geschäfts-, Funktions-, Informations-, Kommunikations-, Integrations- und Gegenstandsschicht. Die Stufen im Lebenszyklus und in der Wertschöpfungskette werden in RAMI 4.0 differenziert nach Typ und Instanz (also der konkreten, materiellen Ausprägung) eines Produkts abgebildet. Die Hierarchieebenen reichen schließlich vom einzelnen Produkt bis hin zur vernetzten Welt.

Die Verknüpfung zwischen der realen Welt und ihrer virtuellen Abbildung in IT-Systemen geschieht in RAMI 4.0 in der Integrationsschicht und wird über die sogenannte **Verwaltungsschale** hergestellt. Jeder reale Gegenstand in der Industrie 4.0 erhält mit einer Verwaltungsschale einen digitalen Zwilling, durch den er IT-technisch beschrieben wird, digital angesprochen und damit in den Gesamtkontext eingebunden werden kann.

Während RAMI 4.0 sich als Referenzarchitektur notwendigerweise auf einem hohen Abstraktionsniveau bewegt, gibt es bereits Ansätze zu seiner Konkretisierung, häufig innerhalb bestimmter Schichten. So definiert etwa die Open Platform Communications Unified Architecture (**OPC UA**) Kommunikationsschnittstellen für den unternehmensübergreifenden Austausch von Maschinendaten (Arnold & Liebe, 2018)⁵ und ist damit ein Beispiel, wie die Interoperabilität von Systemen vorangetrieben werden kann.

⁵ Für aktuelle Informationen zum OPC UA Standard vgl. <https://www.vdma.org/opcu>

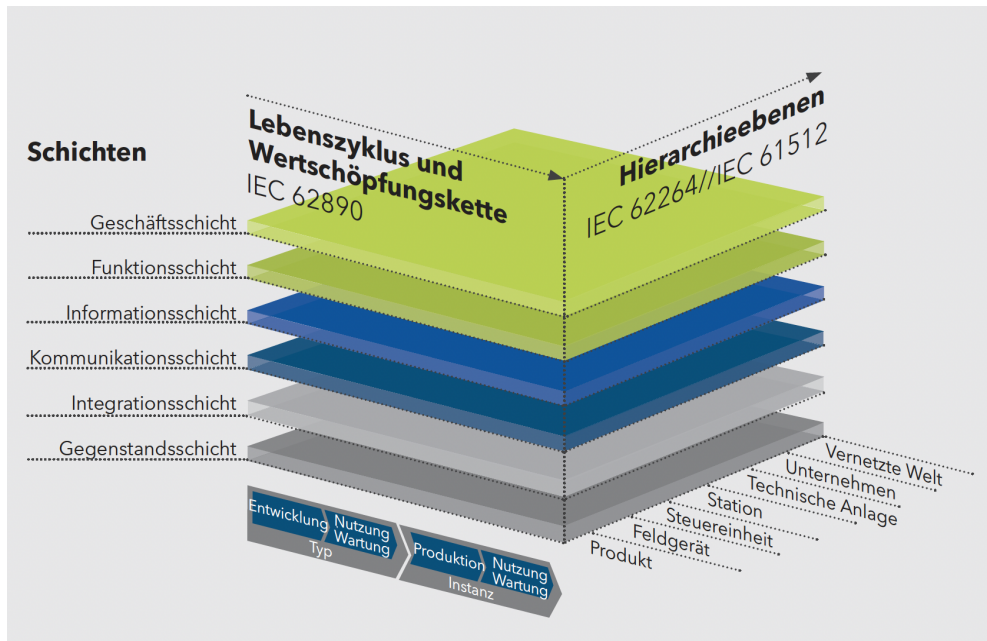


Abbildung 7: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Quelle: (Arnold & Liebe, 2018) in Anlehnung an (Plattform Industrie 4.0, 2016), deutsche Begrifflichkeiten aus (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016).

4.4 Datenökosysteme schaffen den Rahmen zur Erreichung gemeinsamer Ziele

Die im vorigen Abschnitt diskutierten Datenräume und Referenzarchitekturen sind als allgemeingültige Strukturen für eine Vielzahl an Anwendungsfällen offen. Damit sind sie hoch skalierbar und können über Branchengrenzen hinweg als Grundgerüst eingesetzt werden. Für die Entwicklungen von Funktionalitäten für einen konkreten Anwendungsfall sind sie jedoch noch zu generisch.

Diese Spezifizierungen erfolgen in themenbezogenen Datenökosystemen, in denen unterschiedliche Akteure miteinander kooperieren, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen, das vom Datenaustausch bis zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle reichen kann (Lis et al., 2019).

Die Akteure eines Datenökosystems treten dabei in unterschiedlichen Rollen auf, die neben dem Datenanbieter und dem Datenkonsumenten auch vermittelnde Rollen wie Datenbroker, sowie Service- oder Infrastrukturanbieter umfassen können.

Ein Kernmerkmal von vielen Datenökosystemen ist, dass sie dezentral organisiert sind, das heißt die Speicherung und Verarbeitung der Daten finden getrennt statt. Durch die Speicherung an der Quelle verbleibt die Kontrolle über die Daten bei den Dateneinhabern (vgl. Gaia-X, o. J.-a; Lingelbach, 2020). Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **föderierten Datenökosystemen**. Die Daten liegen nicht in einem gemeinsamen Datenbankschema vor, sondern Interoperabilität wird durch eine Integration auf der semantischen Ebene erreicht (vgl. Otto & Burmann, 2021, S. 284). Gemeinsame Standards und **Regeln** für die Speicherung und Verarbeitung von Daten sind ein weiteres zentrales Merkmal von Datenökosystemen (vgl. Gaia-X, o. J.-a).

Ein bekanntes Beispiel für ein Datenökosystem ist **Gaia-X**. Das Projekt, das von über 300 Mitgliedsorganisationen aus Wirtschaft, Politik und Forschung getragen wird, verfolgt “das Ziel, eine sichere und vernetzte Dateninfrastruktur in Deutschland und Europa zu schaffen”, den Wettbewerb in der Datenökonomie zu fördern und fokussiert sich insbesondere auf Edge- und Cloud-Dienste (vgl. BMWi, 2019, S. 11 f.). Neben den bereits genannten, typischen Merkmalen von Datenökosystemen wie Datensouveränität, Dezentralität und Interoperabilität sieht Gaia-X sich den **Werten** Offenheit, Transparenz und Sicherheit verpflichtet (vgl. Gaia-X, o. J.-b, S. 1). Eng mit Gaia-X verzahnt ist die im vorherigen Abschnitt genannte Initiative zum International Data Space (IDS).

Sowohl Gaia-X, als auch IDS zielen auf eine softwaretechnische Erhöhung der **Datensouveränität** ab, also der “Fähigkeit einer juristischen oder natürlichen Person zur Selbstbestimmung über ihre Datengüter” (Otto & Burmann, 2021, S. 284). Während der Fokus des IDS hierbei auf dem Teilen und der gemeinsamen Nutzung der Daten liegt, geht Gaia-X darüber hinaus und bezieht auch die Speicherung der Daten, insbesondere auf der Cloud-Infrastruktur mit ein. Konkret verknüpft werden die beiden Initiativen durch eine Integration der IDS-RAM in die Gaia-X-Architektur (vgl. ebd., S. 287).

4.5 Kollaborative Datennutzung muss organisiert werden

Es wird deutlich, dass Voraussetzungen auf unterschiedlichen Ebenen geschaffen werden müssen, um Daten effektiv zu teilen und gemeinsam nutzen zu können. Abbildung 8 fasst die zentralen Gestaltungselemente der kollaborativen Datennutzung zusammen, die in den vorangegangenen Abschnitten angesprochen wurden.

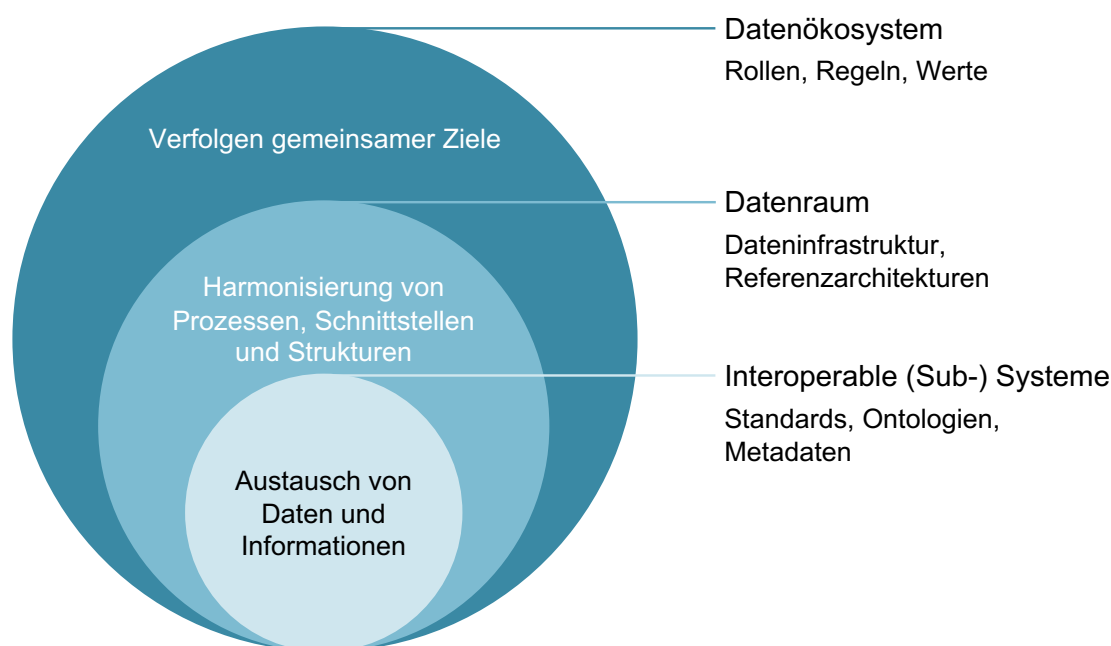


Abbildung 8: Gestaltungsebenen der kollaborativen Datennutzung: Intentionen und Gestaltungsmittel (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Ziele der jeweiligen Ebene werden durch den Einsatz verschiedener Instrumente erreicht, die wiederum ineinandergreifen. So stellt Interoperabilität die Grundvoraussetzung für die Kollaboration dar, damit Daten und Informationen zwischen Systemen und Komponenten ausgetauscht werden können, was durch Standards, Ontologien und den Austausch von Metadaten realisiert werden kann. Darauf aufbauend können Datenräume mit Hilfe von Dateninfrastrukturen und Referenzarchitekturen errichtet werden um zu einer Harmonisierung von Prozessen, Schnittstellen und Strukturen zu gelangen, Das Verfolgen gemeinsamer Ziele wird schließlich möglich, wenn die beteiligten Akteure sich auf Rollen, Regeln und Werte verständigen und unter diesen in einem Datenökosystem miteinander kooperieren. Die verschiedenen Gestaltungsebenen sind dabei nicht streng voneinander getrennt zu betrachten. So wirken die in Datenökosystemen vereinbarten anwendungsspezifischen Regeln etwa auf die konkrete Ausgestaltung der Interoperabilität zwischen den beteiligten (Sub-) Systemen zurück.

5 Die Aufgabe: Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation nutzen

Die bisherigen Überlegungen verdeutlichen, dass Daten ihren Wert für die dringend benötigten Systeminnovationen vor allem dann entfalten können, wenn sie im Sinne der FAIR-Kriterien für unterschiedliche Akteure auffindbar, zugänglich, interoperabel und (mehrfach) verwendbar sind (European Commission, 2020a; Wilkinson et al., 2016). Hier gibt es die skizzierten unterschiedlichen technischen Konzepte und Lösungen, teilweise schon in Betrieb, andere in der Entwicklung oder in der Erprobung (Azkan et al., 2022). In den letzten Jahren sind erhebliche Fortschritte gemacht worden bei der Kompatibilität des Designs von Anwendungen und Systemen, den Richtlinien für die Datenerfassung, der Schaffung von Standards, Schnittstellen und den Kernbausteinen von Datenräumen oder der Förderung von Open Data.

Hierauf kann aufgebaut werden.

5.1 Offene Fragen adressieren, Datenräume schrittweise ausbauen

Bei allen Fortschritten in der Konzeption und Entwicklung von Datenräumen und Dateninfrastrukturen sind noch eine Reihe von Fragen der Umsetzung offen (Otto & Burmann, 2021). Das betrifft sowohl ethische und rechtliche Aspekte, wie auch technische und wirtschaftliche Fragen, die in den nächsten Jahren geklärt werden müssen (Abbildung 9).

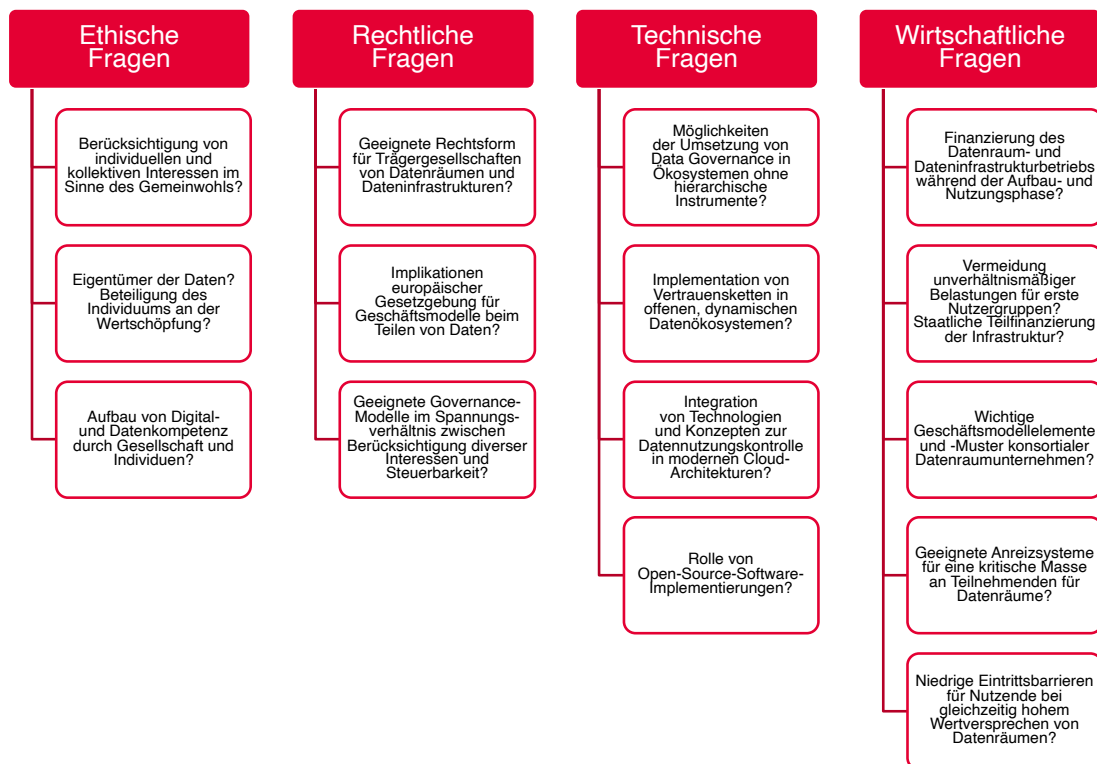


Abbildung 9: Beispiele offener Fragen für die Gestaltung von Datenräumen und Dateninfrastrukturen.
Quelle: eigene Darstellung nach (Otto & Burmann, 2021)

Viele der offenen Punkte betreffen Fragen der praktischen Ausgestaltung und der konkreten Umsetzung. Sie lassen sich daher am besten schrittweise auf der Grundlage von realen Projekten und deren Erfahrungen entwickeln. Die Entwicklung von technischen Funktionalitäten und Bausteinen geht dabei idealerweise mit der Anwendung in spezifischen Use Cases Hand in Hand: neue technische Lösungen zeigen neue Optionen und Einsatzfelder, die Anforderungen und Erfahrungen der konkreten Umsetzung weisen auf zusätzliche Technologiebedarfe und Lösungsmöglichkeiten hin.

5.2 Schlüsselakteure mobilisieren, Engagement verstetigen

Datenräume müssen breit und skalierbar aufgestellt sein, immer neue Use Cases integrieren und so die Transformationsdynamik treiben können. Die dafür benötigten grundlegenden horizontalen Strukturen können nicht als proprietäre Einzellösungen von einzelnen Unternehmen oder Marktakteuren entwickelt werden. Technologieoffenheit, Flexibilität und Individualität in der Anwendung, sowie breites Vertrauen und Akzeptanz der Governance und Regelwerke sind Erfolgsvoraussetzungen.

Gleichzeitig müssen aber hohe Investitionssummen und auch exzellentes Technologie-Know-How mobilisiert werden, um leistungsfähige Lösungen aufbauen zu können. Forschung und Entwicklung, der Aufbau physischer Infrastrukturen, aber auch die Schaffung von Organisationen und Governance-Strukturen sind zwangsläufig mit Aufwand, Kosten und Risiken verbunden (vgl. den Block "Wirtschaftliche Fragen" in Abbildung 9). Gerade in der initialen Entwicklungs- und Aufbauphase ergibt sich dabei ein klassisches Dilemma (Henne-Ei-Problem):

Die Investition in den Aufbau und Ausbau von neuen Strukturen muss sich durch eine möglichst breite Nutzung durch vielfältige Anwender und Use Cases finanzieren und die Attraktivität hängt von einer hohen Zahl von Teilnehmenden ab – diese Nachfrage fehlt jedoch zu Beginn und potenzielle Nutzer*innen warten mit ihrem Engagement, bis leistungsfähige Funktionalitäten zur Verfügung stehen.

Um diese Blockade aufzulösen ist eine breite und effektiv koordinierte Zusammenarbeit von Stakeholdern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik erforderlich:

- Zentrale Schlüsselakteure übernehmen mit ihrer ökonomischen und/oder technologischen Bedeutung eine Führungsrolle in der Initiierung und Steuerung der Entwicklung.
- Durch eine breite Beteiligung von anderen Stakeholdern, potenziellen Lieferanten, Nutzern, Know-How-Trägern usw. wird die Wissensbasis verbreitert, Kompatibilität und Interoperabilität gestärkt, zusätzliche Anwendungsgebiete erschlossen und Akzeptanz für Roll-Out und Skalierung geschaffen.
- Die politische Unterstützung durch Forschungsmittel, Förderprogramme, Subventionen oder Zuschüsse kann dazu beitragen, die Einstiegskosten zu senken, Risiken abzufedern und die Akteure der ersten Stunde von den initialen Aufbaukosten zu entlasten. So können zügig eine kritische Masse erreicht und gleichzeitig Parallelentwicklungen und Mehrfachkosten vermieden werden.

Beispiele der jüngeren Vergangenheit wie Catena-X⁶, die Entwicklung des Referenzarchitekturmodells der Industrie 4.0 (RAMI 4.0) oder auch AUTOSAR (AUTomotive Open System

⁶ Catena-X adressiert Unternehmen in der automobilen Wertschöpfungskette und verfolgt die Vision, die "anwenderfreundlichste Umgebung für den Aufbau, den Betrieb und die kollaborative Nutzung

ARchitecture) (Arnold & Liebe, 2018) als Rahmen für die Softwareentwicklung im Auto zeigen den Wert solcher kollaborativer Ansätze.

Unabhängig von solchen Impulsen in der Anfangsphase wird eine weitere Skalierung und Verstärkung von Datenräumen allerdings von einer robusten, langfristigen Eigenmotivation der beteiligten Akteure abhängen - die wiederum von den individuellen wie gemeinsamen Erwartungen an die künftigen Rahmenbedingungen geprägt sein werden. Das betrifft sowohl Chancen von datenbasierten kollaborativen Lösungen für die Adressierung neuer Effizienzpotenziale, Kundenbedarfe, Wertschöpfung und Geschäftsmodelle, als auch die Minderung von Risiken durch übergeordnete Markttrends oder regulatorische Vorgaben.

Die Politik kann dabei wichtige Impulse für die Entwicklung von Systeminnovationen setzen. Die EU-Regulierung zum Teilen von Verkehrsinformationen und Reisedaten (vgl. z.B. (Europäische Kommission, 2017) hat zum Beispiel die Voraussetzung geschaffen, um anbieterübergreifende Angebote und Dienstleistungen rund um den öffentlichen Verkehr bereitzustellen. Gleichzeitig zeigt sich, dass hier konsequent weitergeschritten werden muss, um die Angebote des Umweltverbands zu vernetzen, deren Qualität zu steigern und so attraktive, klimaschonende Alternativen zur Nutzung des privaten Autos zu erreichen. Eine umfassende Verkehrswende lässt sich nur erreichen, wenn digitale Mobilitätslösungen eingebettet sind in einen flankierenden Politik-Mix zum Ausbau des Umweltverbands sowie der Veränderung des ordnungsrechtlichen Rahmens für den Autoverkehr, der preislichen Anreize durch Steuern und Gebühren sowie der Raum-, Stadt- und Verkehrsplanung (Koska et al., 2021).

Auch die aktuelle Dynamik rund um das Thema der Erfassung von digitalen Produktinformationen entlang des gesamten Lebenszyklus von Produkten und Materialien resultiert auf den politischen Ambitionen, den Einstieg in eine ressourceneffiziente Circular Economy zu forcieren und die Transparenz zu den ökologischen Fußabdrücken von Wertschöpfungsketten zu erhöhen (Ramesohl et al., 2022)⁷.

Wie in Kapitel 2 angesprochen ist daher der politische Rahmen für die zukünftigen Infrastrukturen, Märkte, Industrien und Wertschöpfungsketten von großer Bedeutung für das langfristige strategische Handeln der Akteure in den Transformationsarenen. Klare Zielvorgaben bei Klimaschutz und Dekarbonisierung wie auch in der Innovationspolitik geben Orientierung und schaffen so Leitplanken für kollektives Handeln und Investitionen.

5.3 Neue Akteursgruppen einbinden, neue Dateninstitutionen testen

Systeminnovationen zeichnen sich dadurch aus, dass unterschiedliche Akteure entlang und quer zu traditionellen Wertschöpfungsketten und Beziehungen miteinander zusammenarbeiten müssen. Technologieträger und Nachhaltigkeitsakteure müssen stärker zusammenarbeiten, um das technologische Know-How mit dem in Kapitel 3 angesprochenen domain-spezifischen Wissen um Problem- und Daten-Kontexte zusammenzubringen. Bei vielen Nachhaltigkeitslösungen spielen dazu soziale Akzeptanz und soziale Innovationen eine wichtige Rolle, weshalb es sich anbietet, zusätzliche Akteure z.B. aus der Zivilgesellschaft einzubinden oder

durchgängiger Datenketten, entlang der gesamten automobilen Wertschöpfungskette" zu schaffen (<https://catena-x.net/de/>)

⁷ Ein Beispiel sind laufende Initiativen zur Präzisierung eines Batteriepasses für die Elektromobilität im Vorgriff auf die kommende EU Batterieverordnung, z.B. als Design-Sprint zum Digitalen Produktpass für die Elektromobilität (<https://www.bmu.de/digitalagenda/produktpass/pkw-batterie>) oder im Rahmen der Global Battery Alliance (www.globalbattery.org)

die Perspektive der Nutzenden in Form von Beteiligungsverfahren oder Co-Creation-Formaten systematisch zu berücksichtigen. So entstehen neue Akteurskonstellationen und es wächst der Bedarf, neue Arten von Daten, Inhalten und Verknüpfungen zusammenzuführen. Die Herausforderung ist dabei, die neuen Akteure in den Datenökosystemen angemessen zu repräsentieren und die Hemmnisse der Teilhabe für kleinere, schwächere oder private Teilnehmer abzubauen. Hier können auf spezifische Zielgruppen wie Initiativen der Zivilgesellschaft oder öffentliche Institutionen zugeschnittene niedrigschwellige Angebote und nutzerfreundliche Schnittstellen helfen, auch Akteure mit weniger Fachwissen und Erfahrung zu beteiligen.

Die Bereitschaft auch private Daten zu teilen steigt, wenn damit die richtigen Ziele unterstützt und Missbrauch ausgeschlossen werden können (Hardinges & Keller, 2021; Peppin, 2020). In diesem Kontext werden zunehmend neue Dateninstitutionen⁸ wie Datentreuhänder oder Datenkooperativen diskutiert (Blankertz, 2020; Blankertz & Specht, 2021; Bundesregierung, 2021; Coyle, 2020; Europäische Kommission, 2020), die die Interessen von Dateninhaber*innen nach deren Präferenzen effektiver vertreten können⁹. In Experimenten und Pilotprojekten sollten auch solche unterschiedlichen Konzepte auf ihre Tauglichkeit für nachhaltige Systeminnovationen und ihren Transformationsbeitrag getestet werden.

5.4 Datenzugang mitdenken

Der Zugang zu relevanten Daten ist Voraussetzung für Datenökosysteme. Die oben skizzierten Ansätze ermöglichen die Kollaboration unterschiedlicher Akteure auf Basis einer freiwilligen Bereitstellung von Daten, um gemeinsame Ziele zu erreichen und so den Nutzen für alle Beteiligten zu erhöhen.

Neben diesen auf Gegenseitigkeit und Freiwilligkeit beruhenden Optionen bieten sich weitere Ansatzpunkte, den Zugang zu Daten durch regulatorische Rahmensetzungen zu ermöglichen oder auszuweiten. Wesentliche Aspekte sind dabei:

- Nutzung der maschinengenerierten Daten von vernetzten Geräten im Internet der Dinge wie z.B. Daten, die während der Fahrt in unseren Autos entstehen. Viele dieser Daten werden erst durch die Nutzung von Produkten erzeugt, sind häufig nicht personenbezogen und können wertvolle Informationen zu Performance, Wartung und Instandhaltung solcher Produkte liefern oder neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle ermöglichen. Ein erweiterter Zugriff auf diese maschinengenerierten Daten im Internet der Dinge würde damit auch neue Optionen für nachhaltige Systeminnovationen schaffen. Aktuell werden derartige Produkt- und Maschinendaten in der Regel in geschlossenen Systemen der Hersteller erfasst und sind so weder den Nutzenden noch anderen Akteuren, Dienstleistern etc. zugänglich. Hier setzt der Europäische Data Act an, für den die Europäische Kommission Ende Februar 2022 einen Vorschlag vorgelegt hat (European Commission, 2022b). Der Data Act definiert u.a. neue Zugangsrechte für Nutzer*innen von digitalen Anwendungen und Produkten. Sie sollen in Zukunft auf die Daten, die sie selber erzeugt haben, unentgeltlich zugreifen und auch mit Dritten wie z.B. unabhängigen KfZ-Werkstätten teilen zu können. Die Erwartung ist, dass dadurch

⁸ "Data institutions are organisations that steward data on behalf of others, often towards public, educational or charitable aims."(Hardinges & Keller, 2021)

⁹ Dazu zählen auch Personal Information Management-Systeme (PIMS) (Bundesregierung, 2021). Wie erwähnt werden die besonderen Aspekte privater, personenbezogener Daten in dieser Studie nicht weiter ausgeführt.

neue Innovationspotenziale und Marktchancen insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen und neue Marktplayer eröffnet werden.¹⁰

- Open Data Angebote von öffentlichen Institutionen, die ihre Daten für die Allgemeinheit zur Verfügung stellen. Eine wichtige Rolle spielen hierbei Geodaten und Umweltdaten, die gerade für nachhaltige Lösungen von Bedeutung sein können. Die Datenstrategien sowohl auf europäischer wie nationaler Ebene sehen vor, diesen Zugang deutlich zu stärken und in spezifischen Datenräumen (Green Deal Data Space bzw. Datenraum Umwelt) zu operationalisieren (Bundesregierung, 2021; European Commission, 2022a). In Deutschland werden in diesem Rahmen aktuell das Webangebot "Umwelt.info" als zentrales Portal für Umwelt- und Naturschutzinformationen und das Nationale Monitoringzentrum Biodiversität aufgebaut¹¹.
- Der Zugriff von öffentlichen Institutionen auf die Daten von privaten Akteuren, die von öffentlichem Interesse sind (*private data of public interest*). Übergeordnete gesellschaftliche Ziele oder Interessen des Gemeinwohls können einen solchen Datenzugang rechtfertigen, gleichzeitig sind die Interessen der privaten Akteure hinsichtlich Privatsphäre, Eigentums- und Urheberrechten, Geschäftsgeheimnisse etc. zu berücksichtigen. Im Kontext der oben erwähnten Open Data Strategien gewinnt die Diskussion der gegenläufigen Datenzugangsrechte zusätzlich an Dynamik, insbesondere mit Blick auf die dominierende Position großer Digitalkonzerne und ihrer datenbasierten Marktmacht. Datenzugangsrechte sind mittlerweile in unterschiedlichen europäischen Rechtsakten thematisiert wie z.B. im Digital Markets Act hinsichtlich der Schaffung fairer Wettbewerbsbedingungen durch Zugang zu Daten von marktbeherrschenden Gatekeepern oder im Entwurf des Data Act bzgl. des staatlich Zugriffs auf private Daten in Ausnahmesituationen (Notlagen). Ein weiterer Aspekt ist die Nutzung von Daten für Forschungszwecke wie es im Digital Service Act angelegt ist oder durch (sektor-)spezifische Forschungsklauseln dediziert geregelt werden kann (Specht-Riemenschneider, 2021). In allen diesen Fällen müssen viele offenen Fragen geklärt, die Möglichkeiten, Grenzen und Regeln der Datenzugänge präzisiert und das komplexe Geflecht widerstreitender Interessen und Schutzrechte abgewogen werden. Angesichts der hohen Bedeutung von datenbasierten Lösungen für Nachhaltigkeit und Gemeinwohl muss die Diskussion des Zugangs zu privaten Daten von öffentlichem Interesse intensiv und mit Nachdruck geführt werden, um zeitnah praktikable Lösungen zu erreichen¹².

Die skizzierten Ansätze verdeutlichen, dass die Debatte um Datenzugänge insbesondere auf europäischer Ebene in Gang gekommen ist und in absehbarer Zukunft mit neuen Rahmenbedingungen zu rechnen ist. In Summe dürfte damit die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von unterschiedlichsten Daten steigen, wovon auch nachhaltige Systeminnovationen profitieren können.

¹⁰ Desweiteren umfasst der Vorschlag zum Data Act Regeln für Verträge zwischen Unternehmen für einen Datenaustausch, Interoperabilitätsstandards für Daten sowie Regeln für die einfachere Mitnahme von Daten beim Wechsel von Cloud-Anbietern. Im Zeitrahmen dieser Studie konnte der Entwurf und die divergierende Bewertung von unterschiedlichen Stakeholdern allerdings nicht mehr detailliert ausgewertet werden.

¹¹ Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelt-info> sowie <https://www.monitoringzentrum.de/>

¹² Neue Datenzugangsansprüche stehen aber nicht alleine für sich - es sind gleichzeitig effektive Infrastrukturen und Mechanismen für den Datenzugang zu entwickeln wie z.B. Forschungsdatenzentren oder die schon genannten Datentreuhänder. (Specht-Riemenschneider, 2021) definiert die Verbindung von Datenzugangsinfrastrukturen und Datenzugangsansprüche als ein Datenzugangsökosystem.

5.5 Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation aufbauen

Die kommenden Jahre bieten ein Fenster der besonderen Möglichkeiten, den Aufbau von Datenräumen wie auch die politische Förderung von Pilotprojekten in die übergeordnete Agenda der nachhaltigen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft einzubetten. Viele Systeminnovationen erfordern das Zusammenwirken von Datenräumen als infrastrukturell-organisatorische Grundlage des Datenteilens mit einem an gemeinsamen Transformationszielen ausgerichteten Handeln der Akteure. Kurzum:

Wir brauchen Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation

In Anlehnung an die Datenstrategie der Bundesregierung verstehen wir Datenökosysteme dabei als Zusammenspiel der " ...verschiedenen Akteurinnen und Akteure, Dienste und Anwendungen (Software), welche Daten nutzen, um sie ökonomisch oder gesellschaftlich zu teilen und zu verwerten. [...] Das Datenökosystem im hier verwendeten Sinne bezeichnet ein innovatives, technisch, organisatorisch und regulativ ausgestaltetes datenbezogenes System." (Bundesregierung, 2021)

Dafür müssen jedoch - wie in Kapitel 2 ausgeführt - die heute schon absehbaren ökologischen Herausforderungen viel stärker als bisher in den Mittelpunkt gerückt und zum Ziel von datenbasierten Systeminnovationen gemacht werden.

Viele der aktuellen GAIA-X Pilotprojekte verfolgen vor allem technologische oder ökonomische Ziele und lassen eine eher indirekte Wirkung für Klima-, Ressourcen- und Umweltschutz erwarten. Noch zu wenige Vorhaben adressieren explizit Nachhaltigkeitsziele oder binden Nachhaltigkeitsakteure mit ihrem spezifischen Domain-Wissen ein, hier warten ungenutzte Potenziale (Abbildung 10). Auch die Konzeption und der Zuschnitt der sektoralen Datenräume, wie sie in der EU Data Strategy und der Datenstrategie der Bundesregierung angekündigt sind, sind noch eher allgemein gehalten und müssen durch konkrete, nachhaltigkeitsorientierte Use Cases mit Leben gefüllt werden (Bundesregierung, 2021; European Commission, 2020a, 2022a).

Hier sind Umweltpolitik wie auch die Nachhaltigkeits-Communities gefordert, sich stärker in die laufenden Prozesse im Kontext von IDS, Gaia-X u.a. einzubringen und den Aufbau von Infrastrukturen und Institutionen für die anstehenden Transformationsaufgaben wirksam werden zu lassen.

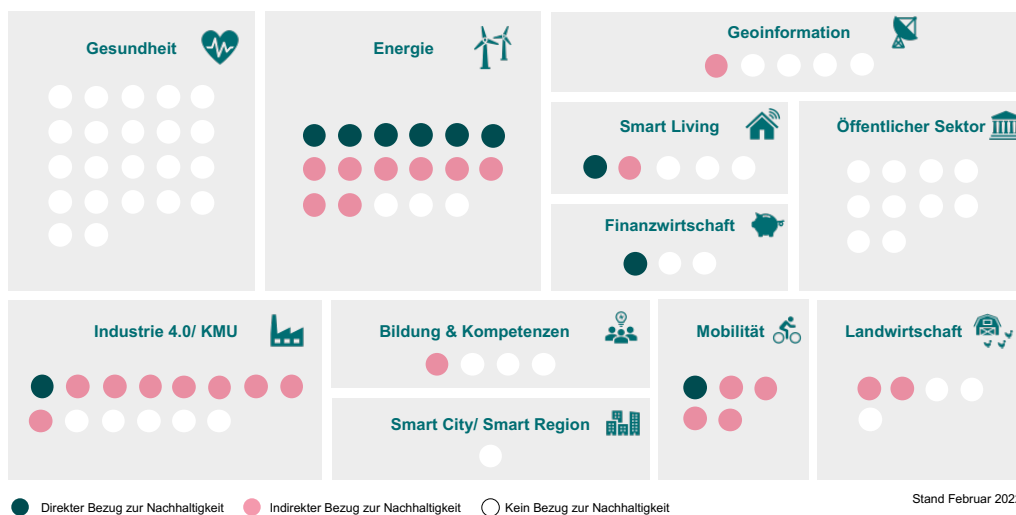


Abbildung 10: Illustration der Nachhaltigkeitsbezüge der GAIA-X Projekte (Quelle: Eigene Darstellung)

6 Fazit

Das Thema Daten ist im Zentrum der gesellschaftlichen und politischen Debatten angekommen. Auf europäischer wie nationaler Ebene wird intensiv über die Bedeutung von Daten, die Möglichkeiten für Gewinnung und Nutzung wie auch die Regeln für den Umgang mit und die Verwertung von Daten diskutiert. Der Schwerpunkt liegt dabei noch auf personenbezogenen Daten, häufig im Kontext von Social Media und anderen Kommunikations- und Informationsdiensten.

Für eine ökologisch nachhaltige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft ist es jedoch zu wenig. Wir müssen mehr über Daten von Produkten, Anlagen, Geräten, Infrastrukturen und Umwelt sprechen, denn Digitalisierung und datenbasierte Lösungen bieten neue Möglichkeiten für mehr Klima- und Ressourcenschutz. Die Akteure der Nachhaltigkeitstransformation müssen sich diesen Chancen öffnen und die entstehenden Handlungsräume aktiv mitgestalten.

In diesem Bericht haben wir die Bedeutung von Kooperation und der kollaborativen Nutzung von Daten herausgestellt. Dafür müssen die technischen, organisatorischen und institutionellen Voraussetzungen geschaffen werden. Wir brauchen Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation - und einen integrierten Ansatz, diese zu realisieren (Abbildung 11):

- Die beteiligten Akteure, vor allem Unternehmen, Organisationen und (öffentliche) Institutionen, müssen die Fähigkeit erwerben, Daten zu erheben, zu verarbeiten und vor allem auch wertstiftende Erkenntnisse abzuleiten. Daten haben erst dann einen Wert, wenn sie auch tatsächlich die Handlungsfähigkeit der Akteure stärken. In diesem Sinne brauchen wir eine handlungs- und **transformationsorientierte Datenkompetenz** (*transformative data literacy*). Viele Akteure in der Industrie, insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen wie aber auch öffentliche Institutionen oder Initiativen der Zivilgesellschaft stehen hier noch am Anfang.
- Ein nachhaltiger Systemwandel braucht Systeminnovationen - Systeminnovationen brauchen **Datenökosysteme für kollaborative Datennutzung**. Durch zuverlässige und vertrauenswürdige technische Infrastrukturen, Datenarchitekturen sowie Regeln für Datenzugang und -verwendung wird es den unterschiedlichen Akteuren erleichtert, gemeinsam digitale Systeminnovationen zu entwickeln ohne die Souveränität über die eigenen Daten abzugeben.
- Kollektives Handeln erfordert gemeinsame Ziele und die Bereitschaft sich dafür - vor allem auch finanziell - zu engagieren. Es ist die Aufgabe von Politik und Gesellschaft, durch eine **missionsorientierte Transformationspolitik** dafür die Leitplanken zu setzen, die Systemregeln an Nachhaltigkeit auszurichten und vor allem ökonomische Anreize für Investitionen in transformative, datenbasierte Systeminnovationen zu schaffen.
- Unser gemeinsames Verständnis vom Zustand der Welt und den zu erwartenden Entwicklungen - unser Systemwissen - muss sich stetig weiterentwickeln. **Open Data Strategien** ermöglichen den Zugang zu meist öffentlichen Daten zum Stand der Umwelt und anderen gesellschaftlich relevanten Informationen. Diese Ansätze müssen ausgebaut werden. Gleichzeitig muss das Verständnis geschärft werden, welche Daten von privaten Akteuren von öffentlichem Interesse sind (*private data of public interest*) und unter welchen Bedingungen diese im Sinne des Gemeinwohls zugänglich gemacht werden können. Auch hier stehen wir noch am Anfang, Open Data und eine Kultur des Datenteilens breit aufzustellen und zu verankern.

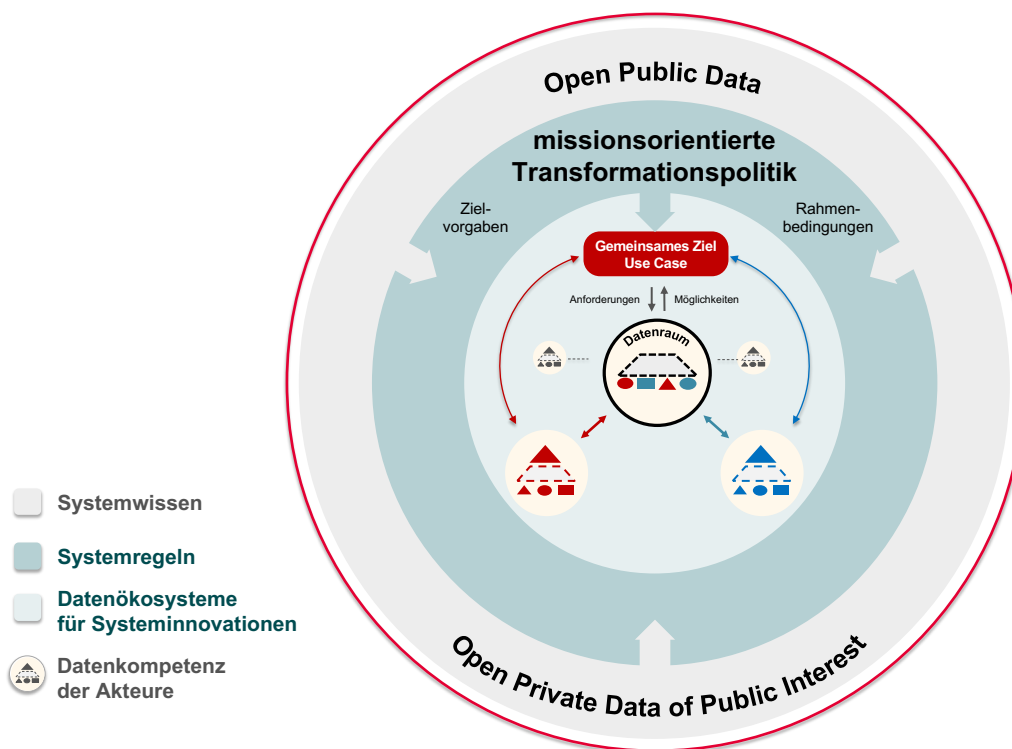


Abbildung 11: Datenökosysteme für die Nachhaltigkeitstransformation (Quelle: eigene Darstellung)

In den vorangegangenen Überlegungen wird deutlich, dass die technischen Grundlagen für den Aufbau und die Nutzung von Datenökosystemen verfügbar sind bzw. derzeit aufgebaut werden. Die Aufgabe ist, die oben skizzierten Ansätze zusammenzuführen und angesichts des hohen Handlungsdrucks intensiv voranzutreiben.

In den nächsten Jahren bietet sich hier ein vielversprechendes Möglichkeitsfenster, das konsequent für eine missions-orientierte Transformationspolitik genutzt werden muss:

- die klassische forschungs- und wirtschaftspolitische Förderung von Datenräumen bringt neue Handlungsmöglichkeiten hervor - sehr viel stärker als bisher müssen Pilotprojekte an ökologischen Kriterien gemessen, nachhaltige Use Cases aufgesetzt und deren Beitrag zur Nachhaltigkeitstransformation berücksichtigt werden.
- die Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik muss stärker als bisher das Transformationspotenzial von datenbasierten Systeminnovationen in den Blick nehmen und durch gezielte Anreize und Leitplanken für den sozialökologischen Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft die Nachfrage und Erfolgsaussichten von ökologische Use Cases stärken.

Einmal mehr wird deutlich, dass Digitalisierung und Nachhaltigkeit als gemeinsame Gestaltungsaufgabe im Sinne einer echten *"Twin Transition"* gedacht und gelebt werden müssen. Die Zeit ist mehr als reif für einen integrierten Ansatz, der ressortübergreifend einen übergeordneten Rahmen für eine erfolgreiche digital-ökologische Transformation schafft.

7 Literaturverzeichnis

- Anadiotis, G. (2022, März 21). Andrew Ng predicts the next 10 years in AI. *VentureBeat*. <https://venturebeat.com/2022/03/21/andrew-ng-predicts-the-next-10-years-in-ai/>
- Arnold, R., Hildebrandt, C., & Tas, S. (2020). *European Data Economy: Between Competition and Regulation*. WIK-Consult. https://www.wik.org/fileadmin/Studien/2021/European_Data_Economy.pdf
- Arnold, R., & Liebe, A. (2018). *Digitale Wertschöpfungsnetzwerke und RAMI 4.0 im Hessischen Mittelstand*. https://www.digitalstrategie-hessen.de/mm/Studie-RAMI40_WEB.pdf
- Azkan, C., Gür, I., Hupperz, M., Gelhaar, J., Gieß, A., Groß, T., Frings, S., Kett, H., Kutzias, D., Strauß, O., Büchel, J., Demary, V., Engels, B., Goecke, H., Mertens, A., Röhl, K.-H., Rusche, C., Scheufen, M., Schröder, B., ... Valet, S. (2022). *Anreizsysteme und Ökonomie des Data Sharings* [Gutachten]. Fraunhofer. <https://ieds-projekt.de/wp-content/uploads/2022/03/IEDS-Whitepaper-1.pdf#auto>
- Bader, S. R., Grangel-Gonzalez, I., Nanjappa, P., Vidal, M.-E., & Maleshkova, M. (2020). A Knowledge Graph for Industry 4.0. In A. Harth, S. Kirrane, A.-C. Ngonga Ngomo, H. Paulheim, A. Rula, A. L. Gentile, P. Haase, & M. Cochez (Hrsg.), *The Semantic Web* (S. 465–480). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49461-2_27
- Baqa, H., Bauer, M., Bilbao, S., Corchero, A., Daniele, L., Esnaola, I., Fernandez, I., Osten Franberg, Garcia-Castro, R., Girod-Genet, M., Guillemin, P., Gyrard, A., Kaed, C. E., Kung, A., Jaeho Lee, Lefrancois, M., Wenbin Li, Raggett, D., & Wetterwald, M. (2019). *Towards Semantic Interoperability Standards based on Ontologies*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26825.29282>
- Blankertz, A. (2020). *Designing Data Trusts—Why We Need to Test Consumer Data Trusts Now*. Stiftung Neue Verantwortung. https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/designing_data_trusts_d.pdf
- Blankertz, A., & Specht, L. (2021). *Wie eine Regulierung für Datentreuhänder aussehen sollte* [Policy Brief]. Stiftung Neue Verantwortung. https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/regulierung_fuer_datentreuhaender.pdf
- BMU. (2020). *Umweltpolitische Digitalagenda*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).
- BMWi. (2017). *Strom 2030: Langfristige Trends—Aufgaben für die kommenden Jahre* [Ergebnispapier]. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/strom-2030-ergebnispapier.pdf?__blob=publicationFile&v=34
- BMWi. (2019). *Das Projekt GAIA-X – Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems* (S. 56).
- Boll, S., Dowling, M., Faisst, W., Mordvinova, O., Pflaum, A., Rabe, M., Veith, E., Nieße, A., Gülpen, C., Schnell, M., Terzidis, O., & Riss, U. (2022). *Mit Künstlicher Intelligenz zu nachhaltigen Geschäftsmodellen—Nachhaltigkeit von, durch und mit KI* [Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme]. <https://www.acatech.de/publikation/mit-kuenstlicher-intelligenz-zu-nachhaltigen-geschaeftsmodellen/>
- Bundesregierung. (2021). *Datenstrategie der Bundesregierung*. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/1845634/f073096a398e59573c7526feaadd43c4/datenstrategie-der-bundesregierung-download-bpa-data.pdf>
- Cao, L. (2017). *Data Science: A Comprehensive Overview*. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3076253>
- Coyle, D. (2020, Oktober 30). Common governance of data: Appropriate models for collective and individual rights. *Ada Lovelace Institute*. <https://www.adalovelaceinstitute.org/blog/common-governance-of-data/>

- dena. (2021). *Dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität*. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publicationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf
- Europäische Kommission. (2017). *Delegierte Verordnung (EU) 2017/1926 der Kommission vom 31. Mai 2017 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationsdienste*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1926&from=EN>
- Europäische Kommission. (2020). *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über europäische Daten-Governance*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020PC0767&from=EN>
- European Commission. (2020a). *A European strategy for data* (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2020) 66 final). European Commission. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf
- European Commission. (2020b). *Shaping Europe's digital future*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0067&from=en>
- European Commission. (2021). *European Green Digital Coalition*. European Commission - Shaping Europe's Digital Future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-green-digital-coalition>
- European Commission. (2022a). *Commission Staff Working Document on Common European Data Spaces*. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6532-2022-INIT/en/pdf>
- European Commission. (2022b). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on harmonised rules on fair access to and use of data*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/data-act-proposal-regulation-harmonised-rules-fair-access-and-use-data>
- Gaia-X. (o. J.-a). *Data spaces*. Gaia-X Website. Abgerufen 21. Februar 2022, von <https://www.gaia-x.eu/what-is-gaia-x/data-spaces>
- Gaia-X. (o. J.-b). *Gaia-X Factsheet*.
- Gasser, U., & Palfrey, J. (2007). *When and How ICT Interoperability Drives Innovation*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1033226
- Geels, F. W. (2005). *Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective*. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162505000569>
- Geiger, L., Hopf, T., Loring, J., Renner, M., Rudolph, J., Scharf, A., Schmidt, M., & Termer, F. (2021). *Ressourceneffiziente Programmierung*. Bitkom e.V. https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-03/210329_lf_ressourceneffiziente-programmierung.pdf
- Gröger, J. (2020, Januar). *Der CO₂-Fußabdruck unseres digitalen Lebensstils – Öko-Institut e.V.: Blog*. <https://blog.oeko.de/digitaler-co2-fussabdruck/>
- Gröger, J., Liu, R., Stobbe, L., Druschke, J., & Richter, N. (2021). *Green Cloud Computing. Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing* [Abschlussbericht]. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/green-cloud-computing>
- Hardinges, J., & Keller, J. R. (2021, Januar 29). *What are data institutions and why are they important? – The ODI. Open Data Institute*. <https://theodi.org/article/what-are-data-institutions-and-why-are-they-important/>
- Hekkert, M. P., Janssen, M. J., Wesseling, J. H., & Negro, S. O. (2020). *Mission-oriented innovation systems. Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 76–79. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.11.011>

- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Hey, T., Tansley, S., & Tolle, K. (2009). *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*. Microsoft Research. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/fourth-paradigm-data-intensive-scientific-discovery/>
- Hightech-Forum (Hrsg.). (2021). *Zusammen. Wachsen. Gestalten. Ergebnisbericht des Hightech-Forums. Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Hightech-Strategie 2025* [Ergebnisbericht]. https://www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/hightech-forum_ergebnisbericht_2021.pdf
- Janssen, M., Torrens, J., Wesseling, J., Wanzenboeck, I., & Patterson, J. (2020). *Position paper „Mission-oriented Innovation Policy Observatory“*.
- Jetzke, T., Richter, S., Ferdinand, J.-P., & Schaat, S. (2019). *Künstliche Intelligenz im Umweltbereich—Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit* [Kurzstudie]. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kuenstliche-intelligenz-im-umweltbereich>
- Kattel, R., & Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the public sector. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 787–801. <https://doi.org/10.1093/icc/dty032>
- Kejriwal, M. (2019). What Is a Knowledge Graph? In M. Kejriwal, *Domain-Specific Knowledge Graph Construction* (S. 1–7). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12375-8_1
- Keppner, B., Kahlenborn, W., Hoff, H., Lucht, W., & Gerten, D. (2020). *Planetary boundaries: Challenges for science, civil society and politics* (TEXTE Nr. 183/2020). Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_10_26_texte_183_2020_planetary_boundaries.pdf
- Kerber, W., & Schweitzer, H. (2017). Interoperability in the Digital Economy. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2922515>
- Köhler, A. R., Gröger, J., & Liu, R. (2018). *Energie- und Ressourcenverbräuche der Digitalisierung* [Kurzgutachten]. Öko-Institut e.V. https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/Expertise_Oekoinstitut.pdf
- Koska, T., Schneider, P., Wetzchewald, A., & Ramesohl, S. (2021). *Ein nachhaltiges Mobilitätssystem für alle - 8 Thesen für den Weg in die digitalisierte Verkehrswende: Studie im Rahmen des Projekts „Shaping the Digital Transformation“*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/ShapingDIT_Mobility_de.pdf
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
- Kubicek, H., Breiter, A., & Jarke, J. (2019). *Daten, Metadaten, Interoperabilität*. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23669-4_1-1
- Kuhlmann, S., & Rip, A. (2018). Next-Generation Innovation Policy and Grand Challenges. *Science and Public Policy*, 45(4), 448–454. <https://doi.org/10.1093/scipol/scy011>
- Lingelbach, K. (2020, Juni 22). *Was bringen Datenökosysteme wie GAIAX für den Mittelstand?* Fraunhofer IAO – BLOG. <https://blog.iao.fraunhofer.de/was-bringen-datenoekosysteme-wie-gaia-x-fuer-den-mittelstand/>
- Lis, D., Tagalidou, N., Lingelbach, K., & Spiekermann, M. (2019). *Ökosysteme für Daten und Künstliche Intelligenz*. <https://doi.org/10.24406/ISST-N-543753>
- Martens, B. (2018). *The impact of data access regimes on artificial intelligence and machine learning*,

- Digital Economy Working Paper 2018-09* (JRC Technical Reports).
- Mazzucato, M. (2018). *Mission-oriented research & innovation in the European Union – a problem solving approach to fuel innovation led growth*. European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/360325>
- Mazzucato, M., Kattel, R., & Ryan-Collins, J. (2020). Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 20(2), 421–437. <https://doi.org/10.1007/s10842-019-00329-w>
- Meisel, L., & Spiekermann, M. (2019). *Datenmarktplätze—Plattformen für Datenaustausch und Datenmonetarisierung in der Data Economy* (ISST-Bericht). Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST.
- Midgley, G., & Lindhult, E. (2021). *A systems perspective on systemic innovation*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.2819>
- Mulgan, G., & Leadbeater, C. (2013). *System Innovation Discussion Paper*. Nesta. https://media.nesta.org.uk/documents/systems_innovation_discussion_paper.pdf
- Otto, B., & Burmann, A. (2021). Europäische Dateninfrastrukturen: Ansätze und Werkzeuge zur Nutzung von Daten zum Wohl von Individuum und Gemeinschaft. *Informatik Spektrum*, 44(4), 283–291. <https://doi.org/10.1007/s00287-021-01386-4>
- Otto, B., Lis, D., Jürjens, Jan, Cirullies, J., Opiel, S., Howar, F., Meister, S., Spiekermann, M., Pettenpohl, H., & Möller, F. (2019). *DATA ECOSYSTEMS - Conceptual Foundations, Constituents and Recommendations for Action*. Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST. https://www.isst.fraunhofer.de/content/dam/isst-neu/documents/Publikationen/StudienundWhitePaper/FhG-ISST_DATA-ECOSYSTEMS.pdf
- Patterson, D. (2022). *The Carbon Footprint of Machine Learning Training Will Plateau, Then Shrink*. TechRxiv. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.19139645.v1>
- Peppin, A. (2020, September 3). Doing good with data: What does good look like when it comes to data stewardship? *Ada Lovelace Institute*. <https://www.adalovelaceinstitute.org/blog/what-does-good-look-like-data-stewardship/>
- Ramesohl, S., Berg, H., & Wirtz, J. (2022). *Circular Economy und Digitalisierung – Strategien für die digital-ökologische Industrietransformation: Studie im Rahmen des Projekts „Shaping the Digital Transformation“*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. https://epub.wupperinst.org/front-door/deliver/index/docId/7899/file/7899_Circular_Economy.pdf
- Rockström, J., Gupta, J., Lenton, T. M., Quin, D., Lade, S. J., & Abrams, J. F. (2021). Identifying a Safe and Just Corridor for People and the Planet. *Earth's Future*, 9(e2020EF001866). <https://doi.org/10.1029/2020EF001866>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Schlaile, M., Urmetzer, S., Blok, V., Andersen, A., Timmermans, J., Mueller, M., Fagerberg, J., & Pyka, A. (2017). *Innovation Systems for Transformations towards Sustainability? Taking the Normative Dimension Seriously*. <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/12/2253>
- Schneidewind, U. (2018). *Die Große Transformation—Eine Einführung in die Kunst des gesellschaftlichen Wandels*. Fischer Taschenbuch Verlag.
- Specht-Riemenschneider, L. (2021). *Studie zur Regulierung eines privilegierten Zugangs zu Daten für Wissenschaft und Forschung durch die regulatorische Verankerung von Forschungsklauseln in den*

Sektoren Gesundheit, OnlineWirtschaft, Energie und Mobilität. https://www.jura.uni-bonn.de/fileadmin/Fachbereich_Rechtswissenschaft/Einrichtungen/Lehrstuehle/Specht/Dateien/2021-08-25-LSR.pdf

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet.* <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855>

Wanzenböck, I., Wesseling, J. H., Frenken, K., Hekkert, M. P., & Weber, K. M. (2020). A framework for mission-oriented innovation policy: Alternative pathways through the problem–solution space. *Science and Public Policy*, 47(4), 474–489. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa027>

Weiß, M. (2018, Juni). *Die Bedeutung der Interoperabilität für das Internet der Dinge.* Universität Stuttgart - Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme. <https://www.ias.uni-stuttgart.de/service/begriffslexikon/bedeutung-der-interoperabilitaet-fuer-das-internet-der-dinge/>

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, Ij. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.-W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., ... Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

Wittmann, F., Hufnagl, M., Lindner, R., Roth, F., & Edler, J. (2020). *Developing a typology for mission-oriented innovation policies.* Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis, No. 64, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Wurm, D., Zielinski, O., Lübben, N., Jansen, M., & Ramesohl, S. (2021). *Wege in eine ökologische Machine Economy. Warum wir eine „Grüne Governance der Machine Economy“ brauchen (CO:DINA) [Positionspapier].* Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/CODINA_Positionspapier-4_Wege-in-eine-machine-economy.pdf

Zukunftskommission Landwirtschaft. (2021). *Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe.* [Abschlussbericht]. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.html