Überlegungen zur Eignung des Konzepts der planetaren Grenzen für die Entwicklung neuer Transformationsnarrative

Erstellt im Rahmen des Projektes „Normative Herausforderungen für die Umweltpolitik des 21. Jahrhunderts und deren inhaltliche und methodische Implikationen für die Politikberatung“ (Digitalisierung und Gemeinwohl), Vorlaufforschung des Umweltbundesamtes (UBA); FKZ: 3718 11 105 0, 2018-2021.

Autor: Lorenz Erdmann

Karlsruhe, April 2020

Motivation

Die Umweltpolitik in Deutschland orientiert sich stark am Leitplankenkonzept der Planetaren Grenzen, das einen sicheren Handlungsraum für die Menschheit gewährleisten soll (Rockström et al. 2009). Faktisch leben wir in Teilbereichen bereits in einer Welt der überschrittenen Planetaren Grenzen. Damit stellt sich die Frage, inwieweit das Konzept der Planetaren Grenzen als Orientierungsrahmen noch geeignet ist, inwiefern es erweitert oder differenziert oder durch alternative Ansätze ersetzt werden könnte und sollte.

Dieses Überblickpapier führt im ersten Abschnitt das Konzept der Planetaren Grenzen mit seinen Ausprägungen ein und stellt die erweiterten und modifizierten Ansätze der Donut-Ökonomie, der Gemeinwohlökonomie und der Sustainable Development Goals vor. Im zweiten Abschnitt wird das Konzept der planetaren Grenzen in den Kontext der langfristigen Trajektorien der Menschheit gesetzt. Im dritten Abschnitt wird die Eignung des Konzeptes der Planetaren Grenzen als Orientierungsrahmen für die Ausgestaltung unserer gemeinsamen digitalen Zukunft im Rahmen des Projektes ‚Digitalisierung und Gemeinwohl' reflektiert und thesenartig zugespitzt.

1 Die Reichweite der Planetaren Grenzen und erweiterter Ansätze

Das Konzept der Planetaren Grenzen geht hauptsächlich auf Arbeiten des Stockholm Resilience Center an der Universität Stockholm zurück (Rockström et al. 2009). Planetare Grenzen werden von den Autor:innen dahingehend definiert, dass sie erwarten, dass die Menschheit innerhalb dieser Grenzen sicher handeln kann. Das Überschreiten dieser Grenzen würde dagegen nichtlineare, abrupte Umweltänderungen von Systemen im kontinentalen bzw. globalen Maßstab auslösen können. Die Konzepte, Befunde und Schlussfolgerungen wurden im Jahr 2015 modifiziert (Steffen et al. 2015). Tabelle 1 listet die adressierten Kategorien und Kontrollvariablen für die planetaren Grenzen:

Tabelle 1: Kategorien und Kontrollvariablen des Ansatzes der Planetaren Grenzen

Kategorie	**Kontrollvariable**
Klimawandel	• Atmosphärische CO_2-Konzentration • Energieungleichgewicht am oberen Rand der Erdatmosphäre
Integrität der Biosphäre (Änderung)	• Extinktionsrate (genetische Vielfalt) • Biodiversitätsindex (funktionelle Diversität)
Stratosphärischer Ozonabbau	• stratosphärische Ozon-Konzentration, DU
Versauerung der Ozeane	• Karbonat-Ionenkonzentration, durchschnittliche globale Oberflächenwassersättigung der Ozeane
Biogeochemische Flüsse	• Phosphoreintrag aus Süßwassersystemen in Ozeane (global) • Phosphoreintrag aus Düngemitteln in erodierbare Böden (regional) • industrielle und intentionale biologische Stickstofffixierung (global)
Landnutzungsänderung	• bewaldete Fläche als Anteil der ursprünglichen Waldbedeckung (global) • bewaldete Fläche als Anteil potentieller Wälder (Biome)
Süßwassernutzung	• Maximale Menge des Verbrauchs an Süßwasser (global) • Entnahme von Süßwasser als Anteil des mittleren monatlichen Flusses (Einzugsgebiet)
Atmosphärische Aerosolbeladung	• Optische Aerosolodichte (global) • Optische Aerosoldichte als saisonaler Mittelwert (regional)
Einführung neuer Entitäten	• keine Kontrollvariable definiert

Anmerkungen: Biom - Lebensgemeinschaft von Tieren und Pflanzen in einem größeren geografischen Raum; DU - Dobson-Einheit (Maß für die Dicke der Ozonschicht); Quelle: Steffen et al. 2015

Die Positionen der Planetaren Grenzen sind im April 2020 für einige wenige Kategorien anerkannt und respektiert (z.B. *Stratosphärischer Ozonabbau*), für die meisten Kategorien jedoch umstritten (z.B. Klimawandel) oder nicht formuliert (z.B. *atmosphärische Aerosolbeladung*). So könnten auch unterhalb der Planetaren Grenze von 350 ppm CO_2 in der Atmosphäre durch Kipp-Effekte und daran anschließende Dominokaskaden abrupte globale Klimaänderungen entstehen (Steffen et al. 2018). Für die Bestimmung anderer Planetarer Grenzen wie *Einführung neuer Entitäten* fehlt bislang eine geeignete Metrik.
Die Planetaren Grenzen *Genetische Vielfalt* (Teil der Kategorie *Integrität der Biosphäre*) und *Biochemische Flüsse* gelten im April 2020 als überschritten. Der *Klimawandel* und die Reduzierung der Waldflächen *(*Kategorie *Landnutzungsänderung*) befinden sich im April 2020 in der Unsicherheitszone (Steffen et al. 2015). Beispielsweise findet sich auch aber die Position, dass die globale Frischwassernutzung die Planetaren Grenzen überschritten hat (Jaramillo und Destouni 2015).

Das Konzept der planetaren Grenzen ist in einigen umfassenderen und teilweise auch differenzierteren Konzepten aufgenommen, referenziert und modifiziert worden. Drei prominente Ansätze werden im Folgenden vergleichend gegenübergestellt (vgl. Tabelle 2): (1) die Donut-Ökonomie (Raworth 2018), (2) die Gemeinwohlökonomie (Felber 2012) und (3) die Sustainable Development Goals (United Nations 2018).

Die Konzepte der Donut-Ökonomie bzw. der Gemeinwohl-Ökonomie konstatieren als Ausgangslage eine Dominanz ökonomischer Sichtweisen im Mainstream-Diskurs, während die Sustainable Development Goals (SDGs) der UN ihre Motivation in der Einbeziehung und Verschränkung der Zielsysteme aller Länder haben.
Entsprechend der Ausgangslage liegt die Grundidee der Donut-Ökonomie in der Schaffung eines sicheren und gerechten Handlungsrahmens für die Wirtschaft und die Grundidee der Gemeinwohlökonomie in der Erstellung von Gemeinwohlbilanzen auf organisationaler Ebene und entsprechend umgestalteten Anreizsystemen. Die an die UNO-Länder adressierten 17 Nachhaltigkeitsziele (SDGs) sollen die Welt bis 2030 transformieren.
Die Donut-Ökonomie inkorporiert die Planetaren Grenzen vollständig als äußere Grenze des Donuts. Sie erweitert das Konzept in inhaltlicher Form um soziale Dimensionen und in metaphorischer Form um die innere Grenze des Donuts. Die Gemeinwohlbilanz und die SDGs umfassen alle drei Hauptdimensionen der Nachhaltigkeit, bilden jedoch nur ausgewählte Teilaspekte der Planetaren Grenzen ab.

Tabelle 2: Vergleich erweiterter Konzepte

	Donut-Ökonomie (Raworth 2018)	**Gemeinwohlökonomie (Felber 2012)**	**Sustainable Development Goals (UN 2018)**
Ausgangslage	Dominanz der ökonomischen Sichtweise auf die Welt (S. 16),	Gewinnstreben und Konkurrenz als zentrale Anreizstruktur unseres Wirtschaftssystems (S. 18)	Die vorangegangenen Millennium Development Goals waren stark auf die sich entwickelnden Länder fokussiert und weitgehend unverbunden mit den Zielsystemen der entwickelten Länder.
Grundidee	Erfordernis einer neuen ökonomischen Denkhaltung (S. 21). Der Donut visualisiert die sozialen und planetaren Grenzen, die das Fundament des menschlichen Wohlbefindens bilden. Das soziale Fundament markiert die innere Grenze, die ökologische Decke die äußere Grenze des Donuts. Dazwischen liegt der ökologisch sichere und sozial gerechte Bereich. (A)	Förderung und Belohnung der humanen Grundwerte in den Wirtschaftsbeziehungen. Ziel aller Unternehmungen ist es, (1) einen größtmöglichen Beitrag zum Gemeinwohl zu leisten und (2) diesen als unternehmerischen Erfolg verbuchen zu können (S. 35).	Die 17 Nachhaltigkeitsziele mit 169 Unterzielen adressieren die globalen Herausforderungen und sollen die Welt bis 2030 transformieren. Die Ziele sind untereinander verbunden.
Adressierte Dimensionen und Bezug zu planetaren Grenzen	Vollständige Inkorporation der planetaren Grenzen (A); Erweiterung um zwölf soziale Dimensionen, die aus den SDGs abgeleitet worden sind.	Gemeinwohlbilanz mit den Dimensionen Menschenwürde, Solidarität, ökologische Nachhaltigkeit, soziale Gerechtigkeit und Demokratie, Mitbestimmung & Transparenz in Bezug auf Lieferant:innen, Geldgeber:innen, Mitarbeiter:innen (inkl. Eigentümer:innen), Kund:innen, Produkte, Dienstleistungen, Mitunternehmen und gesellschaftliches Umfeld (zzgl. Negativkriterien); Planetare Grenzen peripher unter ökologischer Nachhaltigkeit adressiert	Die neuen Ziele decken die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung ab: ökonomisches Wachstum, soziale Inklusion und Umweltschutz und gelten für alle Länder. Planetare Grenzen sind je nach Ziel unmittelbar oder mittelbar berührt: Unmittelbar: 13 (climate change), 14 (oceans), 15 (terrestrial ecosystems) Mittelbar: 3 (health), 6 (water), 7 (energy), 9 (infrastructure and industry), 11 cities and human settlements), 12 (production and consumption)

2 Langfristige Trajektorien der menschlichen Entwicklung jenseits der planetaren Grenzen

In einschlägigen internationalen Foresight-Fachzeitschriften und aktuellen Studien zur langfristigen Entwicklung der Menschheit lassen sich vorausschauende Gedankengänge ausmachen, die jenseits des Konzepts der Planetaren Grenzen den sicheren Handlungsraum des Menschen thematisieren. Künstliche Intelligenz wird dabei als eine wichtige Entwicklung unter mehreren Entwicklungen thematisiert. Der WBGU (2019) hat in seinem kürzlich erschienenen Hauptgutachten „Unsere gemeinsame digitale Zukunft" einige dieser diskutierten Entwicklungslinien auch in Deutschland bekannter gemacht und in Bezug zu Nachhaltigkeit gesetzt.

Im Folgenden werden zentrale Merkmale von langfristigen Trajektorien der menschlichen Entwicklung aus Foresight-Perspektive extrahiert und in Relation zum Ansatz der planetaren Grenzen gesetzt.

<u>Langfristige Trajektorien der Menschheit</u>
Baum et al. (2019) haben langfristige Trajektorien der Menschheitsentwicklung als ein wissenschaftlich und ethisch relevantes Feld charakterisiert und formalisiert. Langfristig bedeutet, dass die kommenden Dekaden bewusst überschritten werden. Wichtige Zivilisationsprozesse können sich über längere Zeiträume entwickeln, werden jedoch durch heutige Weichenstellungen bereits präformiert.
Vier Klassen an Trajektorien werden unterschieden:

1. Status-Quo-Trajektorien, in denen die menschliche Zivilisation in einem Zustand, der dem heutigen ähnlich ist, auch in der fernen Zukunft verharrt,
2. Technologische Transformationstrajektorien, in denen radikale technologische Durchbrüche die menschliche Zivilisation auf einen grundlegend anderen Kurs bringen,
3. Astronomische Trajektorien, in denen die menschliche Zivilisation sich jenseits ihres Heimatplaneten in die zugänglichen Teile des Kosmos ausdehnt und
4. Katastrophale Trajektorien, in denen ein Ereignis oder mehrere Ereignisse signifikanten Schaden an der menschlichen Zivilisation ausrichten.

Die Trajektorien können auch miteinander verbunden werden, indem beispielsweise technische Durchbrüche zu Katastrophen oder astronomischer Expansion führen. Da die derzeitige Status-Quo-Trajektorie erheblichen technologischen Wandel mit sich bringt, sind diese beiden Trajektorien derzeit schwer voneinander zu unterscheiden.

Status Quo Trajektorien
Status-Quo-Trajektorien fußen meist auf Trendextrapolationen oder Szenarien. Hierbei werden Wissensbestände aus Demographie, Wirtschaft, Nachhaltigkeitsforschung und verwandter Disziplinen fruchtbar gemacht, gebündelt in die Zukunft projiziert oder aus der Zukunft in die Gegenwart retropoliert. Zahlreiche KI-Anwendungen haben das Potential, den sozio-technischen Metabolismus, Stoffströme und Eingriffe in Ökosysteme so zu verändern, dass ein Wirtschaften innerhalb der Planetaren Grenzen erleichtert werden könnte (vgl. Übersicht im Anhang).

Technologische Transformationstrajektorien
Moderne Gesellschaften wirtschaften zunehmend vom technischen Kapital und verfolgen Strategien der Verringerung ihrer Abhängigkeit vom natürlichen Kapital (Costanza et al. 1997). Mit dem Begriff der technologischen Singularität werden solche Technologien gefasst, die die menschliche Zivilisation in einen grundlegend anderen Zustand führen. Am meisten diskutiert und vielleicht am plausibelsten sind diesbezüglich Nanotechnologie, Biotechnologie und KI, die zudem miteinander kombiniert werden können (Baum et al. 2019).
Der WBGU (2019) sieht die Digitalisierung in seinem Gutachten „Unsere gemeinsame Zukunft" eher als einen Brandbeschleuniger bestehender nicht-nachhaltiger Trends (S. 4), von ihrem Potential her aber als einen Hebel und Unterstützer für die große Transformation: „Nur wenn es gelingt, die digitalen Umbrüche in Richtung Nachhaltigkeit auszurichten, kann die Nachhaltigkeitstransformation gelingen" (S. 1). Der Beirat unterscheidet und entfaltet drei Dynamiken:

1. In der ersten Dynamik „Digitalisierung für Nachhaltigkeit" liegt der Blick auf der Umsetzung der SDGs bis 2030 (S. 4.).
2. In der zweiten Dynamik „Nachhaltige digitalisierte Gesellschaften" geht es um die Nutzbarmachung und Einhegung der digitalen Kräfte durch Gesellschaften (S. 5).
3. In der dritten Dynamik „Die Zukunft des Homo Sapiens" wird der Mensch selbst durch die digitale Revolution verändert (S. 6). In Bezug auf diese dritte Dynamik werden drei Gedankenspiele skizziert (S. 7): 1. Die Menschheit kommt zu sich selbst (Aufmerksamkeit auf soziale und emotionale Intelligenz, statt auf kognitive Intelligenz), 2. Der Mensch schafft sich Gefährten (stärkere Wertschätzung unserer Selbst und unserer Umwelt durch digitale Assistenten) und 3. Der Mensch erfindet seine Meister (AGI, Superintelligenz, Schöpfung neuer digitaler Wesenheiten). Es sind ko-evolutionäre Entwicklungen der drei Stränge denkbar.

KI wird als eines der mächtigsten Werkzeuge verstanden, das unsere Zivilisation jemals angefertigt hat (S. 4). Angesichts des Kollisionskurses mit dem Erdsystem und der sozialen Fliehkräfte benennt der WBGU (2019) massive Handlungsdefizite und eklatante Forschungslücken. Die große Transformation zur Nachhaltigkeit könne nur gelingen, wenn sie unter den sich wandelnden Bedingungen des digitalen Zeitalters stattfinden (S. 9-10): (1) Vernetzung, (2) Kognition, (3) Autonomie, (4) Virtualität und (5) Wissensexplosion.

Astronomische Trajektorien
Astronomische Trajektorien beruhen auf astrobiologischen Erkenntnissen, indem sie die sozio-technischen Möglichkeiten der Raumfahrt mit der astronomischen Struktur des Weltalls in Beziehung setzen (Baum et al. 2019). Bislang sind die astronomischen Aktivitäten im Vergleich zu den menschlichen Aktivitäten auf der Erde verschwindend gering und von ihnen abhängig. Sich selbst erhaltende Weltraumkolonien könnten weitaus länger bestehen als von der Erde abhängige astronomische Aktivitäten. Die Implikationen einer menschlichen Besiedlung des Alls sind Gegenstand von Debatten in den Geisteswissenschaften (Feireiss und Najjar 2018).

Katastrophale Trajektorien
Katastrophale Risiken werden unterschiedlich charakterisiert. Bostrom (2013) trägt Ausmaß und Schwere von katastrophalen Risiken in einer Matrix gegeneinander auf und unterscheidet dabei existentielle von globalen katastrophalen Risiken. Turchin und Denkenberger (2018) stufen existentielle Risiken nach dem Ausmaß der Katastrophe ein: Auslöschung aller mögliche Zivilisationen, allen Lebens auf der Erde, der Menschheit, Zivilisationskollaps (eine kleine Gruppe überlebt) und eine globale Katastrophe (mehr als eine Milliarde Opfer). In Bezug auf die mögliche Eignung des Konzepts der planetaren Grenzen für die Entwicklung neuer Transformationsnarrative ragen drei Ansätze zur Handhabung katastrophaler Trajektorien hervor.
Avin et al. (2018) nehmen eine Klassifikation globaler katastrophaler Risiken vor:

- Als kritisches System verstehen Avin und Kolleg:innen ein System oder einen Prozess, der bei einer Störung eine signifikante Reduzierung der menschlichen Fähigkeit in seiner jetzigen Form zu überleben auslösen könnte (S. 21). Kritische Systeme sind physikalisch (z.B. Temperatur), biogeochemisch (z.B. Stickstoffkreislauf), zellulär (z.B. Photosynthese), anatomisch (z.B. Immunsystem), als ganzer Organismus (z.B. Reproduktion), ökologisch (z.B. Nahrungsketten) und sozio-technisch (z.B. Ernährungssektor) charakterisiert.

- Hinsichtlich der globalen Verbreitungsmechanismen werden Replikatoren (biologisch, digital, kulturell), anthropogene Netzwerke (Kommunikation, Infrastrukturen, Handel und Verkehr) und natürliche globale Systeme (astronomisch, luft- oder wassergebundene Verbreitung) differenziert.
- Acht Risikoszenarien sind formuliert (S. 23): (1) Asteroiden-Einschlag, (2) vulkanische Super-Eruption, (3) natürliche Pandemie, (4) Ökosystemkollaps, (5) Nuklearkrieg, (6) biosynthetisch hergestelltes Pathogen, (7) bewaffnete KI und (8) Auslöschungsschock infolge von Georengineering. Beim Risikoszenario ‚bewaffnete KI' sind über den Verbreitungsmechanismus Kommunikation die Koordination und das Lernen (ganzer Organismus) sowie alle sozio-technischen Systeme betroffen (letztere zudem durch digitale und kulturelle Replikatoren).

Torres (2019) zählt zu den existentiellen Risiken die Umweltzerstörung (mit Referenzierung der Planetaren Grenzen), die Demokratisierung und Proliferation von Wissenschaft und Technik (Biotechnologie, Nanotechnologie, KI) und maschinelle Superintelligenz.
Kareiva und Carranza (2018) untersuchen, welche der Planetaren Grenzen mit wirklichen existentiellen Risiken korrespondieren. Sechs der neun Planetaren Grenzen seinen unwahrscheinlich mit existentiellen Risiken verbunden, während Klimawandel, globale Süßwasserkreisläufe und Ozeanversauerung insbesondere über Rückkopplungen, Zeitverzögerung und Kopplung mit der Nahrungs- und Wasserversorgung existentielle Risiken verursachen können. Die Kombination von Rückkopplungen mit sozialer Trägheit bereite den Boden für globale Umweltkatastrophen.

3 Thesen zur Eignung des Konzeptes der Planetaren Grenzen als Orientierungsrahmen für die Ausgestaltung unserer gemeinsamen digitalen Zukunft

Das Versprechen des Ansatzes der Planetaren Grenzen, einen sicheren Handlungsraum zu bieten, ist immens. In Ergänzung zur explizit fokussierten Erdsystemperspektive gibt es weitere Dynamiken, die einen sicheren Handlungsraum der Menschheit im Erdsystem fördern oder unterminieren könnten.

These 1: Das Konzept der Planetaren Grenzen suggeriert einen sicheren Handlungsraum, der zwar sachlich fragwürdig, aber umweltpolitisch pragmatisch ist.
Das Konzept der Planetaren Grenzen unterliegt innerhalb der Wissenschaft einer regen Kritik. Hinsichtlich der Falsifizierbarkeit kann das Konzept durchaus als wissenschaftlich gelten. Insbesondere die ‚unknown unknowns' wie unbekannte Kipppunkte und Kaskadeneffekte lassen den wissenschaftlichen Anspruch jedoch als überhöht erscheinen.
Die Planetaren Grenzen sind eher als ein geteilter Bezugsrahmen für die umweltpolitischen Akteure aufzufassen, denn als ein wissenschaftlich sattelfestes Konstrukt. Als geteilter Bezugsrahmen unterliegt das enge Kategorienset im Wettstreit der Ideen den üblichen Angriffen in Punkto Weitung und Modifikation (vgl. Donut-Ökonomie, Gemeinwohlökonomie, SDGs).

These 2: Das Konzept der Planetaren Grenzen bietet ausreichend Orientierung für die globale Umweltpolitik, nicht aber für die langfristigen Bedingungen der menschlichen Zivilisation
Das Konzept der Planetaren Grenzen rekurriert seinem Anspruch nach auf die außerordentlich wichtigen globalen und regionalen Umweltkategorien. Die Frage der menschlichen Entwicklung stellt sich aus Sicht der Planetaren Grenzen als eine Frage nach der Status-Quo-Trajektorie oder der katastrophalen Trajektorie.
Auch andere zivilisatorische Dynamiken schaffen Leitplanken für die menschliche Entwicklung, insbesondere die technologische Transformation. Künstliche Intelligenz kann alleine stehend oder in Kombination mit anderen disruptiven Technologien wie Nano-, Bio- und Raumfahrttechnologie die Beziehungen zwischen den Planetaren Grenzen und der Menschheit grundlegend ändern.
Die Konzepte der Donut-Ökonomie, der Gemeinwohlökonomie und der SDGs gehören aufgrund des erforderlichen tiefgreifenden Wandels weder zu den Status-Quo-Trajektorien, noch zu den anderen drei prominenten Trajektorientypen. Sie weisen auf die Notwendigkeit der Entwicklung und Realisierung von humanistischen Trajektorien hin.

Anhang: „KI-Anwendungen für den Umweltschutz“

Unveröffentlichtes Material des Fraunhofer ISI zur Information eines Kamingesprächs zum Thema „KI-Anwendungen für den Umweltschutz“ am 6.6.2019 im Rahmen des Vorhabens "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen“, Forschungskennzahl 3717 14 102 0, Umweltbundesamt (UBA)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Umwelt Bundesamt

KI-Anwendungen für den Umweltschutz

1 Klimaschutz und Energie

A Energieangebot
- Effiziente erneuerbare Anlagen*
- Virtuelles Kraftwerk

B Energienachfrage
- Smart Monitoring*
- Energiesystemvorhersage (ML aus Nachfrage)

C Energiehandel und -netze
- Smart Grid
- Dezentrale Energiesysteme (P2P, BHKW, etc.)*

D Klimaschutz
- Algorithmen für Energieeffizienz (Gebäude, Sektorkopplung, Smart City, etc.)
- Kopplung Klima- und sozio-technischer Daten

2 Ressourcenschutz und Kreislaufwirtschaft

A Produktion, Industrie, Supply Chain
- Smarte Geräte, Anlagen und Umgebungen
- Monitoring und Transparenz der Lieferkette

B Konsum
- Roboter im Alltag (optimiert, conversational)
- KI-basiertes individualisiertes Footprinting

C Handel
- Umweltscoring und –reporting mit Big Data
- Optimiertes Sortimentsmanagement
- Dynamic Pricing

D Abfall- und Kreislaufwirtschaft
- Neuronale Netze für Echtzeit-Stofferkennung
- Optimierung der Performance über den Lebensweg mit digitalen Zwillingen

3 Gewässerschutz und Wasserwirtschaft

A Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
- Monitoring & Management Wasserversorgung
- Predictive Maintenance der Infrastruktur*

B Gewässerschutz
- Echtzeitmonitoring von Gewässerqualität
- Vorhersage der Verbreitung von Invasoren

C Schutz der Ozeane
- Simulation und Vorhersage von Abfall im Meer
- Roboterfische zur Bekämpfung von Abfall

D Anpassung an Wetter und Klima
- Hyper-lokale Wettervorhersage
- Autonome Infrastruktur (Hoch-/Niedrigwasser)

4 Immissionsschutz und Gesundheit

A Luftqualität
B Lärm und Erschütterungen
- KI-basierte Vorhersage der Luftverschmutzung
- Selbstlernendes System zur Erfassung, Vorhersage und Darstellung von Lärm

C Verkehr
- Verkehrsoptimierung
- Autonome Fahrzeuge*
- Autonome Lieferverkehre*
- Predictive Maintenance von Fahrzeugen*

D Sicherheit von Stoffen und Materialien
- John-Deere / hybride Datencloud für PSM
- Autonomes Materiallabor /KI-basierte Modelle

5 Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz

A Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen
- Neuronale Netze zur Zustandsdiagnose
- Autonome Steuerung kerntechnischer Anlagen

B Nukleare Entsorgung
- KI zur Charakterisierung von nuklearem Abfall
- Autonome Roboter für das Handling

C Strahlenschutz
- KI zur Detektion von Strahlung
- Vorhersage der Strahlungsexposition durch ML

D Katastrophenschutz (nuklear)
- Vorhersage der Ausbreitung von Radioaktivität
- Autonome Roboter in kontaminiertem Gelände

6 Naturschutz und Landnutzung

A Landnutzung und Ökosysteme
B Artenschutz und biologische Vielfalt
- Monitoring von Zustandsveränderungen
- Simulation von Tier/Habitat-Interaktionen
- Echtzeitbekämpfung der Wilderei

C Land- und Forstwirtschaft
- Precision Monitoring (Acker, Tiere, Wald, ...)*
- ML-DSS für Säen, Düngen, Ernten, etc.
- Frühe Ernteprognose
- Robotik (autonome Feldroboter, Drohnen, ...)*

D Fischerei und marine Ökosysteme
- Prävention und Kontrolle von Überfischung
- Monitoring mariner Ökosysteme

* bedeutsame Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemissionen (MS/pwc 2019)

Anmerkung: Sogenannte Hot Spots der KI-Anwendungen in Bezug auf die CO2-Emissionen aus der MS und PWC-Studie (2019) sind in Abbildung 1 mit einem * gekennzeichnet.

Literaturverzeichnis

Avin, Shahar; Wintle, Bonnie C.; Weitzdörfer, Julius; Ó hÉigeartaigh, Seán S.; Sutherland, William J.; Rees, Martin J. (2018): Classifying global catastrophic risks. In: *Futures* (102), S. 20–26. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.02.001.

Baum, Seth D.; Armstrong, Stuart; Ekenstedt, Timoteus; Häggström, Olle; Hanson, Robin; Kuhlemann, Karin et al. (2019): Long-Term Trajectories of Human Civilization. In: *Foresight* 21 (1), S. 53–83. Online verfügbar unter DOI 10.1108/FS-04-2018-0037.

Bostrom, Nick (2013): Existential Risk Prevention as Global Priority. In: *Global policy*.

Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; Groot, Rudolf de; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce et al. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature* (387), S. 253–260. Online verfügbar unter https://www.nature.com/articles/387253a0.

Feireiss, Lukas; Najjar, Michael (Hg.) (2018): Planetary echoes. Exploring the implications of human settlement in outer space. Unter Mitarbeit von Michael Najjar. First edition. Germany: Spector Books.

Felber, Christian (2012): Die Gemeinwohl-Ökonomie. Eine demokratische Alternative wächst. [Aktualis. und erw. Neuausg.]. Wien: Deuticke.

Jaramillo, Fernando; Destouni, Georgia (2015): Comment on "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Chaning Planet". In: *Science* (348).

Kareiva, Peter; Carranza, Valerie (2018): Existential risk due to ecosystem collapse: Nature strikes back. In: *Futures* (102), S. 39–50. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/322281720_Existential_Risk_due_to_Ecosystem_Collapse_Nature_Strikes_Back.

MS (Microsoft); PWC (PricewaterhouseCoopers) (2019): How AI can enable a Sustainable Future. https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf

Raworth, Kate (2018): Die Donut-Ökonomie. Endlich ein Wirtschaftsmodell, das den Planeten nicht zerstört. Unter Mitarbeit von Hans Freundl und Sigrid Schmid. München: Hanser, Carl.

Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, F. S.; Lambin, E. et al. (2009): Planetary Boundaries: Exploring a Safe Operating Space for Humanity. In: *Ecology and Society* 14 (2). Online verfügbar unter https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/.

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, E. et al. (2015): Planetary boundaries. Guiding human development on a changing planet. In: *Science* 347 (6223).

Steffen, Will; Broadgate, Wendy; Deutsch, Lisa; Gaffney, Owen; Ludwig, Cornelia (2018): The trajectory of the Anthropocene. The Great Acceleration. In: *Anthropocene review*.

Torres, Phil (2019): Facing disaster: the great challenges framework. In: *Foresight* 21 (1), S. 4–34. Online verfügbar unter https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/FS-04-2018-0040.

United Nations (2018): Reporting on the sustainable development goals. A survey of reporting indicators. Geneva: United Nations (UNCTAD research paper, No. 18).

WBGU (2019): Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Hauptgutachten. Hg. v. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Berlin. Online verfügbar unter https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/wbgu_hg2019.pdf.