

Kontextszenarien für das Forschungs- projekt SCI4climate.NRW

Ein Ergebnis des Themenfeldes 3 (Szenarien und Transformationspfade) des Forschungs-
projektes SCI4climate.NRW

SCI4climate.NRW ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen unterstütztes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie im Jahr 2050. Das Projekt ist innerhalb der Initiative IN4climate.NRW verankert und repräsentiert die Seite der Wissenschaft. Das Projekt erforscht die technologischen, ökologischen, ökonomischen, institutionellen und (infra-)strukturellen Systemherausforderungen für produzierende Unternehmen in Nordrhein-Westfalen. Ein transdisziplinärer Prozess mit den Partnerinnen und Partnern aus der Industrie und Wissenschaft erarbeitet gemeinsam mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie.



Bibliographische Angaben

Herausgeber: SCI4climate.NRW
Veröffentlicht: Oktober 2020
Autoren: Sascha Samadi, Georg Kobiela, Dario Zander (alle Wuppertal Institut)
Kontakt: sascha.samadi@wupperinst.org
Bitte zitieren als: SCI4climate.NRW 2020: Kontextszenarien für das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW, Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
1 Einleitung.....	5
2 Erarbeitung von Kontextszenarien durch den Rückgriff auf SSPs und RCPs.....	7
2.1 Vorstellung der grundsätzlichen Idee von SSPs und RCPs.....	7
2.2 Die Basis-Szenarien SSP1 bis SSP5.....	10
2.3 Nutzung von SSPs in der Fachliteratur.....	13
2.4 Zusammenspiel von SSPs und RCPs.....	15
3 Nutzung von Kontextszenarien und SSPs in ausgewählten Szenarien.....	19
4 Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien.....	22
4.1 Vorüberlegungen für die Festlegung von Kontextszenarien.....	22
4.2 Ausführliche Storylines der drei Szenarien.....	24
4.2.1 Storyline zum Szenario „Nachhaltigkeit“.....	24
4.2.2 Storyline zum Szenario „Technologie-Fokus“.....	26
4.2.3 Storyline zum Szenario „Unzureichender Klimaschutz“.....	28
4.3 Quantifizierung wesentlicher Rahmenbedingungen der drei Kontextszenarien.....	30
5 Fazit: Mögliche Nutzung der Kontextszenarien im Rahmen des Projekts SCI4climate.NRW.....	32
Literaturverzeichnis.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der von den SSPs aufgespannte „Herausforderungsraum“ nach Kriegler et al. (2012) ..	9
Abbildung 2: Globale CO ₂ -Emissionen (Gigatonnen, Gt CO ₂) und mögliche Klimaerhitzung für alle IAM-Läufe in der SSP-Datenbank.	15
Abbildung 3: Kombination von SSP- und RCP-Modellierungsläufen.	16
Abbildung 4: Globale CO ₂ -Emissionen (Gt CO ₂) und resultierende wahrscheinliche Klimaerhitzung im Jahr 2100 für alle IAM-Läufe in der SSP-Datenbank, getrennt nach SSP	18
Abbildung 5: Unterscheidung der fünf SSPs und Verortung der drei hier entwickelten Kontextszenarien.....	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Quantifizierung wesentlicher Rahmenbedingungen der drei Kontextszenarien. 30

1 Einleitung

Das laufende Forschungsprojekt SCI4climate.NRW zielt darauf ab, wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse darüber zu liefern, wie bis Mitte des Jahrhunderts eine (weitgehend) treibhausgasneutrale Industrieproduktion in Nordrhein-Westfalen (NRW) erreicht werden kann. Der Fokus der Analysen liegt daher auf dem Bundesland NRW mit seinem großen Anteil an der gesamtdeutschen industriellen Produktion – nicht zuletzt auch an der emissionsintensiven Grundstoffproduktion.

Gleichzeitig ist die Industrie in NRW eng vernetzt mit der Industrie und den Absatzmärkten insbesondere im restlichen Deutschland und der EU und energie-, industrie- und klimapolitisch relevante Entscheidungen werden zu großen Teilen auf Bundes- und EU-Ebene getroffen. Folglich wird NRW im Projekt SCI4climate.NRW natürlich nicht isoliert betrachtet, sondern inklusive seiner Beziehungen zu und Wechselwirkungen mit Deutschland und der EU. So werden beispielsweise in den Klimaschutzenszenarien, die in Themenfeld 3 des Projekts erstellt werden, konsistente Pfade für die zukünftige Entwicklung der Grundstoffindustrie in ganz Europa hinterlegt und in Themenfeld 4 werden auch und insbesondere solche Politikinstrumente untersucht, die auf Bundes- bzw. EU-Ebene umgesetzt werden müssten.

Dabei ist offensichtlich, dass das Ziel einer weitgehend treibhausgasneutralen Industrieproduktion in NRW bis Mitte des Jahrhunderts nur dann gelingen kann, wenn in ganz Deutschland und der gesamten EU ähnlich ambitionierte Schritte in Richtung einer industriellen Transformation eingeschlagen werden. Aufgrund der starken Einbindung der NRW-Industrie in die restliche Industrie in Deutschland und der EU und der hohen Wettbewerbsintensität insbesondere im Bereich der Grundstoffindustrie (in Kombination mit dem Grundsatz eines einheitlichen EU-Binnenmarktes), erscheint eine deutlich ambitioniertere zukünftige Klimaschutzpolitik in NRW oder auch Deutschland gegenüber der EU zumindest aus heutiger Sicht kaum plausibel.

Während folglich die zugrundeliegende Zielsetzung des Projekts – die Erreichung einer weitgehend treibhausgasneutralen Industrieproduktion in NRW – eine ambitionierte Klimapolitik in Deutschland und der EU voraussetzt, und die aktuellen politischen Aktivitäten auf EU-Ebene auch in diese Richtung weisen (u. a. Festlegung des Ziels der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2050, Vorlage des „European Green Deal“ durch die EU-Kommission), gibt es bezüglich der zukünftigen Entwicklungen außerhalb der EU eine größere Offenheit. So wäre denkbar, dass sich in den kommenden Jahren ein großer Teil der Industrieländer gemeinsam mit Europa auf den Weg macht, im Sinne des Pariser Klimaschutzabkommens Treibhausgasneutralität bis Mitte des Jahrhunderts zu erreichen. Gleichzeitig wäre es aber auch möglich, dass Europa seine Klimaschutzpläne zunächst als Vorreiter umsetzen müsste – ggf. in Zusammenarbeit mit einzelnen weiteren Ländern – andere wichtige Industrieländer aber erst später mit ambitionierter Klimapolitik nachziehen.

Ebenfalls ist aus heutiger Sicht unklar, ob gesellschaftliche Entwicklungen jenseits von Klimaschutzmaßnahmen ambitionierten Klimaschutz weltweit (inkl. in Europa) in den kommenden Jahrzehnten erleichtern oder erschweren werden. So ist es denkbar, dass konsumorientierte Lebensstile in den heutigen Industrieländern auch weiterhin dominieren bzw. sich in derzeit noch armen Ländern ausbreiten werden. Es ist aber auch nicht auszuschließen, dass sich auf breiter Ebene Lebensstile hin zu weniger materiellem Konsum entwickeln werden und ein allgemein höheres Umweltbewusstsein zu grundsätzlich ökologischeren Lebensstilen führen wird. Eine solche Entwicklung würde das Erreichen der internationalen Klimaszutzziele erleichtern.

Schließlich ist auch unklar, ob es zukünftig zu einer engeren Kooperation zwischen Ländern und Regionen auf internationaler Ebene kommen wird, unter anderem um drängenden globalen Herausforderungen wie der Klimakrise gemeinsam und abgestimmt zu begegnen, oder ob die in den letzten Jahren in einigen Ländern der Welt zu beobachtenden politischen Verschiebungen hin zu Parteien und Personen, die sich für eine Schwächung des Multilateralismus aussprechen, anhalten werden.

Diese Unsicherheiten über die globalen gesellschaftlichen, politischen und ökonomischen Entwicklungen der kommenden Jahre und Jahrzehnte werden Rückwirkungen auch auf die EU und ihre Bestrebungen nach dem Erreichen von Treibhausgasneutralität bis 2050 haben. Je nach zukünftiger globaler Entwicklung könnte es sinnvoll bzw. notwendig sein, andere Transformationspfade mit abweichenden energie-, klima- und industriepolitischen Instrumenten zu verfolgen, weil z. B. bestimmte Technologien bzw. Klimaschutzstrategien, die eine enge Kooperation mit Ländern außerhalb Europas voraussetzen, nicht realisiert werden können oder weil einzelne Politikinstrumente in einem bestimmten geopolitischen Umfeld mehr oder weniger wirkungsvoll eingesetzt werden können.

Um die Rückwirkungen unterschiedlicher globaler gesellschaftlicher, politischer und ökonomischer Entwicklungen auf die intendierte Transformation der NRW-Industrie systematisch untersuchen zu können, wurden im Rahmen dieses Projekts zunächst drei unterschiedliche so genannte „Kontextszenarien“ entwickelt, die einen Teil der Bandbreite zukünftiger globaler Entwicklungen abdecken.

In dem vorliegenden Bericht wird zunächst im folgenden Kapitel erläutert, auf welcher Grundlage die Kontextszenarien erstellt wurden, und dass hierfür auf das bestehende, international breit angewendete Instrument der „Shared Socioeconomic Pathways“ (SSPs) zurückgegriffen wird. Im dritte Kapitel wird anschließend beispielhaft anhand einer Auswahl vorliegender deutscher und globaler Klimaschutzszenarien aufgezeigt, welche Kontextszenarien implizit oder explizit diesen Szenarien zugrunde liegen und ob bzw. wie die entsprechenden Studien die Unsicherheit zukünftiger globaler Entwicklungen adressieren. Im vierten Kapitel werden die drei definierten Kontextszenarien vorgestellt. Dabei werden die Storylines näher ausgeführt und zentrale Kenngrößen der Szenarien quantifiziert. Der Bericht schließt mit einem Fazit, das unter anderem auf die weiteren Schritte im Projekt in Hinblick auf die Verwendung der bestehenden sowie die Entwicklung weiterer Kontextszenarien eingeht.

2 Erarbeitung von Kontextszenarien durch den Rückgriff auf SSPs und RCPs

Die Erarbeitung der Kontextszenarien erfolgt auf Grundlage der Konzepte der „Shared Socioeconomic Pathways“ (SSPs) und der „Representative Concentration Pathways“ (RCPs). SSPs bieten ein Gerüst für die Bewertung sozioökonomischer Herausforderungen hinsichtlich der Eindämmung und Anpassung an die Klimaerhitzung sowie für die Analyse sozialer und ökologischer Nachhaltigkeitsfragen. RCPs beinhalten ein breites Spektrum an möglichen Veränderungen der zukünftigen anthropogenen Treibhausgasemissionen und bilden diese in ihrer atmosphärischen Konzentration ab.

2.1 Vorstellung der grundsätzlichen Idee von SSPs und RCPs

Der Entwicklung von Szenarien im Rahmen der IPCC-Berichte hat seit der erstmaligen Veröffentlichung des SA90-Szenarios im ersten Sachstandsbericht des IPCC im Jahr 1990 einige Änderungen erfahren. In dem 1992 erschienenen Ergänzungsbericht des IPCC wurden auf Basis des SA90-Szenarios sechs alternative Szenarien (IS92a bis IS92f) vorgestellt. Diese Szenarien enthielten ein breites Spektrum von Annahmen, wie sich die künftigen Treibhausgasemissionen entwickeln könnten (Leggett et al. 1992). Diese sechs Szenarien wurden ebenfalls im zweiten Sachstandsbericht des IPCC aus dem Jahr 1995 verwendet. Der IPCC veröffentlichte im Jahr 2000 seinen dritten Sachstandsbericht und zugleich eine neue Reihe von Szenarien, die sogenannten „Special Report on Emissions Scenarios“ (SRES), die eine große Bandbreite möglicher zukünftiger sozio-ökonomischer Entwicklungen zugrunde legten. Das Entwicklungsteam der SRES-Szenarien definierte vier narrative Storylines mit den Bezeichnungen A1, A2, B1 und B2, die über insgesamt 40 Szenarien die Beziehungen zwischen den treibenden Kräften der Treibhausgas- und Aerosolemissionen und deren Entwicklungen im 21. Jahrhundert darstellten. Jede Storyline repräsentierte verschiedene demographische, soziale, wirtschaftliche, technologische und ökologische Entwicklungen (Nakicenovic et al. 2000).

Aufgrund schneller gesellschaftlicher und ökonomischer Veränderungen galten diese Szenarien jedoch nach einigen Jahren als veraltet. Eine Gruppe von Forscher*innen entwickelte daraufhin die "Repräsentativen Konzentrationspfade" (Representative Concentration Pathways, RCPs), die verschiedene Niveaus von Treibhausgasen und anderen Strahlungseinflüssen beschreiben, die in der Zukunft auftreten können. Sie entwickelten vier repräsentative Pfade, die ein breites Spektrum von Antrieben im Jahr 2100 abdecken (2,6, 4,5, 6,0 und 8,5 Watt pro Quadratmeter, später ergänzt um 1,9, 3,4 und 7,0 Watt pro Quadratmeter), enthielten aber absichtlich keine begleitenden sozioökonomischen "Erzählungen" (Hausfather 2018).

Eine zweite Gruppe arbeitete an der Modellierung, wie sich sozioökonomische Faktoren (Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt) im 21. Jahrhundert verändern könnten. Dazu gehören Faktoren wie Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum, Lebensstile, Bildung, Verstädterung, Politiken und Institutionen, die Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung, der Zustand der Umwelt sowie der Verbrauch natürlicher Ressourcen (van Vuuren et al. 2011, 2017). Diese "gemeinsamen sozio-ökonomischen Pfade" (SSPs) beschreiben fünf verschiedene Möglichkeiten, wie sich die Welt ohne Klimapolitik entwickeln könnte. Diese Pfade beschreiben: eine Welt des auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wachstums und der Gleichberechtigung (SSP1); eine "middle of the road"-Welt, in der die Trends weitgehend ihren historischen Mustern folgen (SSP2); eine zersplitterte Welt des wiederauflebenden Nationalismus (SSP3); eine Welt ständig zunehmender Ungleichheit (SSP4); und eine Welt des raschen und ungehinderten Wachstums der Wirtschaftsleistung und des (weitgehend fossil gedeckten) Energieverbrauchs (SSP5).

Mit der Veröffentlichung der SSPs haben die Modellierer*innen das Spektrum der von ihnen in Betracht gezogenen gesellschaftlichen Entwicklungspfade erweitert. Durch den von den SSPs aufgespannten Raum möglicher Entwicklungen ergibt sich wiederum auch ein breiteres Spektrum von Minderungszielen, welche zwar nicht explizit in den Pfaden enthalten sind, jedoch stark mit diesen wechselwirken. Der fünfte IPCC-Sachstandsbericht konzentrierte sich auf RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und einen High-End-RCP8.5-Pfad ohne Minderungsmaßnahmen. In dem derzeit in Arbeit befindlichen sechsten IPCC-Sachstandsbericht werden zu den bereits bestehenden vier Konzentrationspfaden weitere drei Konzentrationspfade (RCP1.9, RCP3.4 und RCP7.0) hinzugefügt. RCP1.9 ist ein neuer Konzentrationspfad, der mit einer Begrenzung der Erwärmung auf unter 1,5 °C kompatibel wäre – das erklärte Ziel des Pariser Abkommens. Vor Paris konzentrierte sich die Forschungsgemeinschaft auf die Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C als das ehrgeizigste Klimaziel. Nach der Verabschiedung des Pariser Abkommens und der Aufnahme von 1,5 °C in sein langfristiges Temperaturziel bestand jedoch die Notwendigkeit, die Auswirkungen dieses ehrgeizigeren Ziels besser zu verstehen.

Die Interpretation des Pariser Abkommens für derartige Modelle ist jedoch kontrovers, da die RCPs lediglich den Strahlungsantrieb für das Jahr 2100 festlegen, nicht jedoch einen möglichen noch deutlich höheren Peak vor oder nach diesem Stichjahr ausschließen bzw. nicht darlegen, wie sich der Strahlungsantrieb nach 2100 weiter entwickelt. Deswegen wird parallel zu den RCPs an alternativen Beschreibungen gearbeitet, die den maximal zulässigen Spitzenwert adressieren und dadurch voraussichtlich zu nochmals geringeren Treibhausgasbudgets für mit dem Pariser Abkommen im Einklang befindliche Pfade kommen dürften (Rogelj et al. 2019).

RCPs und SSPs sind so konzipiert, dass sie sich ergänzen. Die RCPs legen die Wege für die Treibhausgaskonzentrationen und effektiv die Menge der Erwärmung fest, die bis zum Ende des Jahrhunderts auftreten könnte. Die SSPs legen währenddessen die sozio-ökonomischen Pfade fest, auf denen Emissionsreduktionen möglicherweise erreicht werden – oder eben auch nicht.

Die SSPs definieren in ihrer Basis (Baseline) verschiedene plausible Ausgangswelten, die ohne konzentrierte internationale Anstrengungen zur Bekämpfung der Klimakrise auftreten könnten. Sie schließen jegliche Verpflichtungen aus, neue Klimaschutzpolitiken zu erlassen. Dabei weisen die SSPs mehrere Ausgangswelten auf, da die zugrunde liegenden Faktoren wie Bevölkerungs-, Technologie- und Wirtschaftswachstum auch ohne Klimapolitik zu sehr unterschiedlichen künftigen Emissionen und Erwärmungsergebnissen führen könnten. Auf diesen SSP-Baselines aufsetzend können Pfade mit unterschiedlich starken Klimaschutzpolitiken aufgebaut werden (Hausfather 2018).

Ein RCP-Szenario beschreibt unterschiedliche zukünftige Entwicklungen des Strahlungsantriebs in dem Zeitraum von 1850 bis 2100. Die zukünftige Entwicklung enthält nicht nur den zuvor erwähnten Strahlungsantrieb, sondern ebenfalls die geschätzten Emissionen bis zum Jahr 2100. Dabei enthalten die Datensätze der unterschiedlichen RCP-Szenarien keine sozioökonomischen Annahmen. Sie spiegeln lediglich die in wissenschaftlichen Szenarien verfügbare Breite an Treibhausgasemissionen wider. Da die RCPs nicht im „luftleeren Raum“ entwickelt werden können und hinreichend plausible Entwicklungen darstellen sollen, basieren die hinterlegten Emissionen allerdings indirekt dennoch auf zugrundeliegenden Annahmen zum Beispiel über die wirtschaftliche Aktivität, Energiequellen und das Bevölkerungswachstum. Durch die Kopplung der SSPs mit „Integrated Assessment Models“ (IAMs) (Rogelj et al. 2018a) können Aussagen über die Realisierbarkeit einzelner RCPs unter bestimmten SSPs getroffen werden.

Während die RCPs rechtzeitig fertiggestellt wurden, um im fünften Sachstandsbericht des IPCC verwendet werden zu können, war die Entwicklung der komplexeren SSPs ein längerer und aufwändiger Prozess. Die SSPs wurden ursprünglich 2016 veröffentlicht und erstmalig in dem im Oktober 2018 veröffentlichten 1,5-Grad-Bericht des IPCC eingesetzt. Weiterhin werden diese in der nächsten Runde der Klimamodellierung - bekannt als das Coupled Model Intercomparison Project Version 6 oder CMIP6 - in Vorbereitung auf den sechsten Sachstandsbericht des IPCC eingesetzt (Hausfather 2018).

Viele der fünf Basis-Szenarien (SSP1 bis SSP5) ähneln in ihren Darstellungen im Großen und Ganzen den alten SRES-Szenarien, die im dritten und vierten Bewertungsbericht des IPCC verwendet wurden. Im Gegensatz zu den SRES-Szenarien wird die Minderung jedoch getrennt von den zugrunde liegenden Pfaden betrachtet. Jedes SSP verfügt über ein Basisszenario, im Unterkapitel 2.2 erläutert, das künftige Entwicklungen ohne neue Klimapolitiken beschreibt, die über die heute bereits bestehenden hinausgehen. SSPs können dann im Rahmen von Klimaschutzszenarien mit verschiedenen Emissionsminderungszielen kombiniert werden. Insbesondere wird bei jedem SSP untersucht, wie bzw. ob überhaupt die verschiedenen RCPs im Kontext der zugrunde liegenden sozioökonomischen Merkmale und der gemeinsamen politischen Annahmen dieser Welt erreicht werden könnten (Hausfather 2018; O'Neill et al. 2014).

Die grafische Veranschaulichung von SSPs und den damit verbundenen sozioökonomischen und sozioökologischen Herausforderungen geschieht durch eine Aufteilung auf zwei Achsen. Die Aufteilung der Achsen gliedert sich in die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel (X-Achse) und der Abschwächung des Klimawandels (Y-Achse) (Kriegler et al. 2012; O'Neill et al. 2014), siehe Abbildung 1.

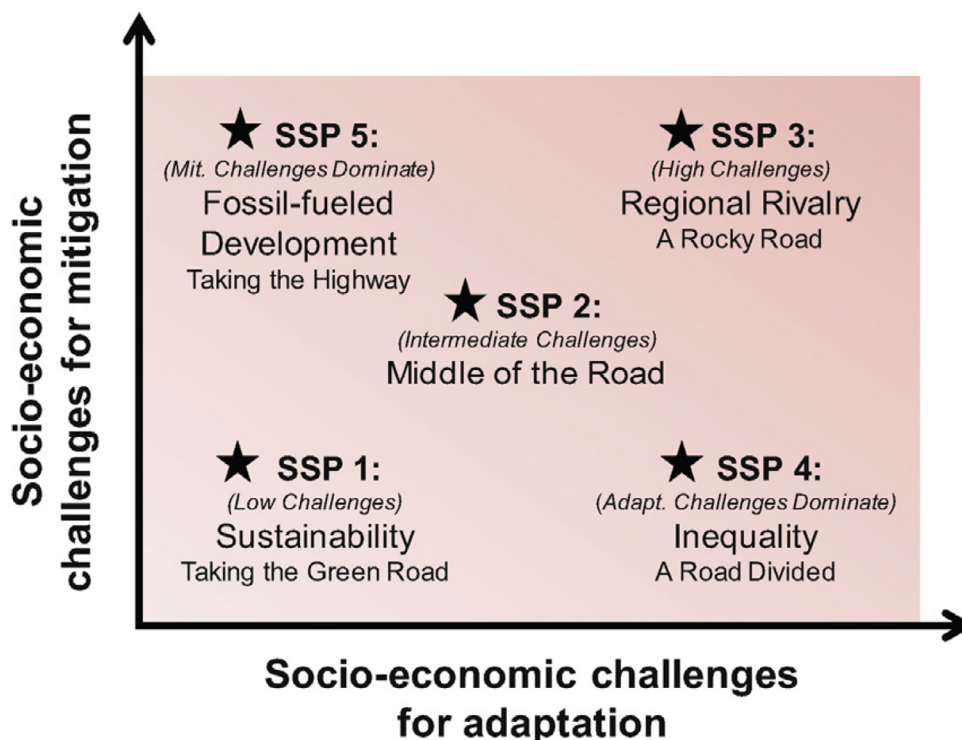


Abbildung 1: Der von den SSPs aufgespannte „Herausforderungsraum“ nach Kriegler et al. (2012)

Quelle: O'Neill et al. (2014).

Die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel sind durch gesellschaftliche Bedingungen definiert. So wachsen die Anpassungsherausforderungen in einer zukünftigen Welt, die durch zwischenstaatliche Konflikte und/oder durch Armut bzw. extreme Ungleichheit gekennzeichnet ist. Auf der anderen Seite wachsen die Herausforderungen, die mit einer Abschwächung der Klimawandels verbunden sind, sofern ein Szenario ein hohes Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum, eine hohe Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und/oder auch einen deutlichen Anstieg der Bevölkerung aufweist (O'Neill et al. 2014).

2.2 Die Basis-Szenarien SSP1 bis SSP5

In diesem Unterkapitel werden die fünf sozioökonomischen Szenarien vorgestellt, welche unter der Berücksichtigung ausschlaggebender Trends in den Narrativen entstanden sind.

Die SSPs decken nicht nur das Spektrum der Herausforderungen bei der Abschwächung und Anpassung des Klimawandels ab, sondern auch weitgehend den Raum von niedrigem bis hohem Wirtschaftswachstum, niedriger bis hoher gesellschaftlicher Nachhaltigkeit und niedriger bis hoher ökologischer Nachhaltigkeit (O'Neill et al. 2017). Die SSPs wurden zunächst als rein qualitative Beschreibungen entwickelt. Vorschläge zur Quantifizierung einzelner Kenngrößen der SSPs erfolgten im Laufe der Jahre durch unterschiedliche Veröffentlichungen.

Alle SSPs gehen von einem weiteren Wachstum der Weltwirtschaft aus. Leimbach et al. (2017) leiten für den Zeitraum von 2010 bis 2100 ein durchschnittliches weltweites jährliches Wachstum des Pro-Kopf-BIP von zwischen 1,0 % (SSP3) und 2,8 % (SSP5) ab (Leimbach et al. 2017) – wodurch das globale Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 2100 zwischen vier- und zehnmals so hoch sein würde wie 2010. Dieses Wachstum ist eine der Hauptursachen für künftige CO₂-Emissionen, obwohl verschiedene Szenarien unterschiedliche Niveaus der künftigen "Entkopplung" von Wachstum und Emissionen im Zusammenhang mit einer Dekarbonisierung der Wirtschaft vorsehen (Hausfather 2018).

Dellink et al. (2017) weisen dabei darauf hin, dass diese u. a. von ihnen durchgeführten Projektionen mit großen Unsicherheiten behaftet sind, insbesondere für die späteren Jahrzehnte, und eine Vielzahl länderspezifischer Triebkräfte des Wirtschaftswachstums außer Acht lassen, die außerhalb des engen wirtschaftlichen Rahmens liegen, wie z. B. externe Schocks, Governance-Barrieren und Rückwirkungen von Umweltschäden. Daher sollten diese Annahmen zum zukünftigen Wirtschaftswachstum mit ausreichender Vorsicht interpretiert und nicht als Vorhersagen behandelt werden.

Nicht durch die SSPs abgedeckt ist der denkbare Fall eines sehr niedrigen Wirtschaftswachstums in Verbindung mit hoher gesellschaftlicher und ökologischer Nachhaltigkeit. Solch ein Suffizienz-Szenario würde eine SSP1-Variante mit einer dramatischeren Verschiebung hin zu Lebensstilen mit geringerem Konsum erfordern, die einige Merkmale mit bestehenden Szenarien wie Great Transition (Raskin et al. 2002) und Sustainability First (Rothman et al. 2007) teilen würde.

O'Neill et al. (2017) haben eine Beschreibung der fünf SSP-Basis-Szenarien vorgenommen, welche nachfolgend aufgeführt werden.

- SSP1: Sustainability:

Das Szenario „Sustainability“ beschreibt eine Welt, die allmählich einen nachhaltigen Pfad einschlägt. Das wachsende Gespür der ökologischen Grenzen und der Auswirkungen der Umweltzerstörung sind treibende Kräfte in dieser Welt. Durch eine Zusammenarbeit von internationalen Organisationen und Institutionen, dem Privatsektor und der Zivilgesellschaft

auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene wird der Handel von Gemeinschaftsgütern („Commons“) wie Emissionszertifikaten, oder Fischereirechten erleichtert. Investitionen in Bildung und Gesundheit ermöglichen eine ausgewogene Altersstruktur. Einkommensunterschiede durch unterschiedlich schnelles Wirtschaftswachstum werden durch eine Verschiebung des Interesses zugunsten des grundlegenden menschlichen Wohlergehens auf Kosten eines längerfristig langsameren Wirtschaftswachstums reduziert. Ein niedrigerer Gesamtenergie- und Ressourcenverbrauch wird durch Investitionen in Umwelttechnologien und Änderungen von Steuerstrukturen herbeigeführt. Erneuerbare Energien werden durch höhere Investitionen, finanzielle Anreize und eine veränderte Wahrnehmung attraktiver. Die Kombination einer gemeinschaftlichen Kooperation, einer geringen Energienachfrage, der Investition in umweltfreundlichen Technologien und der Attraktivität von erneuerbaren Energien führt insgesamt zu relativ geringen Herausforderungen bezüglich der Emissionsminderung. Die Verbesserung des menschlichen Wohlergehens führt zusammen mit starken und flexiblen regionalen, internationalen und globalen Institutionen zu einer ebenfalls geringen Herausforderung hinsichtlich der Anpassung an Klimaveränderungen.

■ SSP2: Middle of the Road

In dem Szenario „Middle of the Road“ folgt die Welt einem Trend, welcher wenige Unterschiede zu den sozialen, ökonomischen und technischen Trends der Vergangenheit aufweist. Die Einkommensverteilung und Entwicklung von Ländern verläuft ungleichmäßig, wobei einige Länder rasant wachsen und andere Länder hinter den Erwartungen zurückbleiben. Die meisten Volkswirtschaften sind politisch stabil und zumindest partiell miteinander integriert. Die Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung, einschließlich verbesserter Lebensbedingungen, dem Zugang zu Bildung, sauberem Wasser und einer guten gesundheitlichen Versorgung, wird von globalen und nationalen Institutionen nur mit mäßigen Anstrengungen verfolgt. Die technologische Entwicklung erfolgt schnell, jedoch ohne bahnbrechende Erfindungen. Eine Verschlechterung des Zustands der Umwelt ist trotz technologischer und administrativer Verbesserungen und des Rückgangs des Verbrauchs von Ressourcen und Energie zu verzeichnen. Es besteht keine grundsätzliche Abneigung gegen die Nutzung von unkonventionellen fossilen Ressourcen. Die Zunahme der Bevölkerungszahlen verläuft moderat und flacht in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts etwas ab. Niedrige Investitionen in Bildung haben zur Folge, dass die Geburtenraten in einkommenschwachen Ländern kaum beeinflusst werden. Das stetige Wachstum, die Ungleichheit im Einkommen und ein begrenzter sozialer Zusammenhalt verstärken die Herausforderungen, die Anfälligkeit für gesellschaftliche und ökologische Schocks und Schädigungen zu reduzieren und behindert Fortschritte in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung. Diese Entwicklungstrends veranschaulichen die vergleichsweise mäßigen Herausforderungen der Anpassung und Emissionsminderung der Menschheit.

■ SSP3: Regional Rivalry

Ein wiederauflebender Nationalismus, Sorgen um die Wettbewerbsfähigkeit und Sicherheit sowie regionale Konflikte führen zunehmend dazu, dass Länder sich eher auf die Probleme innerhalb ihrer Landesgrenzen fokussieren. Dieser Trend wird verstärkt durch eine geringe Anzahl an funktionierenden globalen Institutionen und einer schlechten Kooperation im

Hinblick auf Umweltveränderungen oder globale Ereignisse. Die Politik beschäftigt sich zunehmend mit nationalen und regionalen Sicherheitsfragen und errichtet neue Handelsbarrieren insbesondere auf den Energie- und Agrarmärkten. Die Nationalstaaten konzentrieren sich zunehmend auf eine gesteigerte Versorgungssicherheit bezogen auf Energie und Ernährung. Der Trend entwickelt sich hin zu autoritären Regierungsformen und stärker regulierten Volkswirtschaften. Die Investitionen in Bildung und die Geschwindigkeit technologischer Entwicklungen erfahren einen Rückgang, vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern. Das wirtschaftliche Wachstum ist langsam und die Ungleichheiten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern nehmen zu. Allgemein sind die Länder damit beschäftigt, unmittelbar einen guten Lebensstandard zu ermöglichen, wie zum Beispiel den Zugang zu sauberem Wasser oder auch eine gute gesundheitliche Versorgung. International wird der Behandlung von Nachhaltigkeitsfragen keine hohe Priorität eingeräumt, was in einigen Ländern eine starke Beeinträchtigung der Umwelt nach sich zieht. Durch die Kombination von geringen Anstrengungen und begrenzte Maßnahmen für Umweltbelange kommt es zu Verschlechterungen hinsichtlich der Möglichkeiten einer nachhaltigen Gestaltung. Eine hohe Ressourcenintensität, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und ein langsamer technologischer Wandel reduzieren die Möglichkeiten bei der Minderung von Treibhausgasemissionen. Das Fehlen von starken Institutionen, ein langsames wirtschaftliches Wachstum und die begrenzten Fortschritte in menschlicher Lebensqualität verlagern den gesellschaftlichen und politischen Fokus und stellen hohe Anforderungen an die Anpassungsvorhaben auf globaler Ebene.

■ SSP4: Inequality

Ungleichheiten von Investitionen in Humankapital kombiniert mit zunehmenden Disparitäten wirtschaftlicher Chancen und politischer Macht sind kennzeichnend für das SSP4-Szenario „Inequality“. Die Welt ist charakterisiert durch die Zunahme der Differenzen zwischen stark und weniger stark entwickelten Gesellschaften, was sich in den großen regionalen Unterschieden in Bildung und Wirtschaftswachstum widerspiegelt. Das Gefälle zwischen der Ober- und Unterschicht nimmt sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene zu. Das Wirtschaftswachstum in Industrieländern ist moderat, während in Ländern mit niedrigem Einkommen Schwierigkeiten in der Grund- und Gesundheitsversorgung bestehen. Der soziale Zusammenhalt verschlechtert sich, was durch die Zunahme an Konflikten und Unruhen deutlich wird. In einkommensstarken Gesellschaften ist ein starker Fortschritt in der technologischen Entwicklung zu verzeichnen. Unsicherheiten an den Märkten und Investitionen in sowohl kohlenstoffarme als auch -reiche Energiequellen führen zu unterschiedlich stark ausgeprägten Maßnahmen in der Umweltpolitik. Die Kombination der Entwicklung von kohlenstoffarmen Technologien und dem vorhandenen Fachwissen sowie eine handlungsfähige Gesellschaft und das stagnierende Wirtschaftswachstum der geringentwickelten Staaten führen zu geringen Herausforderungen, die Treibhausgasemissionen zu mindern, unter Inkaufnahme von stark unterschiedlichen Lebensstandards. Es ergeben sich allerdings hohe Herausforderungen in der Anpassung an die Umweltveränderungen für Gesellschaften mit einem niedrigen Entwicklungsniveau.

■ SSP5: Fossil-fueled Development

Der wirtschaftliche Erfolg von Industrie- und Schwellenländern führt zu einer hohen Aktivität auf Märkten, einem rasanten technologischem Fortschritt und einer vernachlässigten Betrachtung der Umwelt. Eine schnelle Entwicklung des Humankapitals und die Lockerung von Handelsbarrieren lässt den internationalen Handel aufblühen. Das Gesundheits- und Bildungssystem ist von starken Investitionen geprägt und führt insgesamt zu einer Stärkung des Human- und Sozialkapitals. Die Ausbeutung der vorhandenen fossilen Ressourcen schreitet durch energieintensive Lebensstile auf der ganzen Welt voran. Die zuvor aufgezählten Fähigkeiten führen zu einem schnellen Wirtschaftswachstum und der Vernachlässigung von Umweltauswirkungen. Die schnelle Entwicklung von Technologien führt ausschließlich zu lokalen Maßnahmen, um gegen die zu erwartenden Umweltauswirkungen vorzugehen. Eine Zunahme der Weltbevölkerung ist durch den Anstieg der Geburtenraten in Industrieländern zu verzeichnen. Diese Zunahme resultiert aus optimistischen wirtschaftlichen Aussichten in diesen Ländern. Die Herausforderung in der Minderung von Treibhausgasemissionen ist durch eine Zunahme der internationalen Mobilität und der starken Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen sehr hoch. Die teilweise sehr hoch technologisierte Gesellschaft mit einem robusten Wirtschaftssystem und einer guten Infrastruktur lassen die Herausforderungen an eine Anpassung eher gering ausfallen.

2.3 Nutzung von SSPs in der Fachliteratur

Die SSPs werden in der Forschung dafür genutzt, mögliche Zukünfte innerhalb eines Orientierungsrahmens plausibler und abgestimmter Entwicklungen beschreiben zu können. Im Folgenden sollen einige Beispiele für die Nutzung der SSPs in der Fachliteratur gegeben werden, dies stellt allerdings bei weitem keinen vollständigen Überblick dar. Der IPCC nutzt die SSPs in Kombination mit den IAMs und RCPs, um die klimatischen Konsequenzen sowohl möglicher Veränderungen gesellschaftlicher Entwicklungen und politischer Maßnahmen abzuschätzen (Gidden et al. 2019; O'Neill et al. 2017; Riahi et al. 2017), als auch um notwendige Veränderungen zu beschreiben (Rogelj et al. 2018a, 2018b), die ein gewünschtes Klimaziel erreichbar machen können (sogenanntes „Backcasting“).

Es kann dabei analysiert werden, in welchem Umfang die Notwendigkeit lenkender Klimapolitik besteht. Van Vuuren et al. (2017) beschreiben mögliche Entwicklungen der globalen Energienutzung und -produktion, der Landnutzung, Emissionen und Klimaveränderungen in Anlehnung an die Storyline von SSP1, eine Entwicklung, die mit dem Paradigma des grünen Wachstums in Einklang steht. Sie verwenden hierzu eines der etablierten IAMs (IMAGE 3.0) und vergleichen die Ergebnisse mit denen entlang der Storylines von SSP2 und SSP3. Außerdem werden die mit der Verwendung von IMAGE 3.0 erzielten Ergebnisse von SSP1 mit Ergebnissen verglichen, die sich bei Implementierung dieses SSP mit anderen integrierten Bewertungsmodellen (IAMs) ergeben. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Kombination aus Ressourceneffizienz, Präferenzen für nachhaltige Produktionsmethoden und Investitionen in die Menschheitsentwicklung im Jahr 2100 zwar auch ohne explizite Klimapolitik zu einer Energieversorgung mit mehr erneuerbaren Energien, weniger Landnutzung und geringeren anthropogenen Treibhausgasemissionen als im Jahr 2010 führen könnte, gleichzeitig wäre immer noch eine explizite Klimapolitik erforderlich, um die Emissionen so weit zu reduzieren, dass der projizierte Anstieg der globalen Mitteltemperatur von 3 °C (SSP1-Referenzszenario) auf 2 °C oder 1,5 °C verringert werden kann. Die SSP1-Storyline könnte somit eine Grundlage für weitere Diskussionen darstellen, wie die Klimapolitik mit der Erreichung anderer gesellschaftlicher Ziele kombiniert werden kann.

Die SSPs erweisen sich auch als hilfreich zur Erstellung von Energieszenarien. Bauer et al. (2017) geben quantitative Einschätzungen zukünftiger Entwicklungen im Energiesektor in den fünf SSPs mit Hilfe von IAMs ab. Die Studie verdeutlicht u. a., dass die mit dem Erreichen von Klimaneutralität verbundenen Herausforderungen umso größer sind, desto stärker die globale Energienachfrage steigt. Grubler et al. (2018) erstellen ein Szenario mit niedrigem Energiebedarf zur Erreichung des 1,5 °C-Ziels und der Ziele der nachhaltigen Entwicklung ohne negative Emissionstechnologien. Das SSP2-Szenario-Setup lieferte die Grundparametrisierungen ihres MESSAGE-Modells in Bezug auf Ressourcenverfügbarkeit, Technologiekosten und deren Energieeffizienz.

Ebenso lässt sich die Dynamik der Landnutzung und Ernährungssicherheit mithilfe der SSPs betrachten. Aus den wichtigsten Einflussfaktoren Bevölkerung, landwirtschaftliche Effizienz, Verbrauch, Landverfügbarkeit, Nahrungsmittelverluste und Ernährungspräferenzen erstellen Doelman et al. (2018) mögliche Entwicklungen der landwirtschaftlichen Landnutzungsänderung in den Jahren 2010 bis 2050.

SSPs können nicht nur für die Analyse möglicher globaler zukünftiger Entwicklungen verwendet werden, sondern auch um für regionale Analysen verschiedene Annahmen zu globalen Entwicklungen zugrunde legen zu können. Zur Unterstützung der Politikgestaltung untersuchen Zandersen et al. (2019) systematisch, wie sich globale und regionale Entwicklungen gleichzeitig auf den Ostseeraum auswirken könnten. Sie stellen fünf mit den jeweiligen SSPs im Einklang stehende Storylines für die künftige Entwicklung im Ostseeraum vor, wobei sie sich auf die Bereiche Landwirtschaft, Abwasserbehandlung, Fischerei, Schifffahrt und atmosphärische Ablagerungen konzentrieren, die alle eine große Belastung für die Ostsee darstellen. Sie finden zwar starke Verbindungen zwischen den globalen Pfaden und den regionalen Belastungen, kommen aber auch zu dem Schluss, dass jeder Pfad sehr wohl Ausgangspunkt unterschiedlicher sektoraler Entwicklungen sein kann, die wiederum unterschiedliche Auswirkungen auf den Zustand des Ökosystems haben können. Die erweiterten SSP-Storylines für die Ostseeregion sind als Beschreibung sektoraler Entwicklungen auf regionaler Ebene gedacht, die eine detaillierte Szenarioanalyse und Diskussionen über verschiedene Sektoren und Disziplinen hinweg innerhalb eines gemeinsamen Kontexts ermöglichen. Darüber hinaus können diese lokal angepassten erweiterten SSPs für eine integrierte Szenarioanalyse regionaler Umweltprobleme leicht mit Klimapfaden kombiniert werden.

Otto et al. (2020) beschreiben auf Basis der SSPs und RCPs soziale Kipp-Elemente (social tipping elements) und die verursachenden möglichen Interventionen (social tipping interventions) und quantifizieren deren mögliche Beiträge zur Erreichung des Pariser Klimaziels inklusive deren zeitlichen Dynamiken. Dazu gehören der Aufbau einer klimaneutralen Energieerzeugung und -speicherung durch Subventionsprogramme und verstärkter dezentralisierter Energieerzeugung, der Umbau von Städten hin zur Klimaneutralität, potenziell sehr schnelle, binnen Stunden ablaufende mögliche Beeinflussung der Finanzmärkte durch die Divestment-Bewegung, sehr langsam binnen mehrerer Jahrzehnte stattfindende Veränderungen im Normen- und Wertesystem durch die Feststellung des unmoralischen Charakters der Verwendung fossiler Brennstoffe, der Einfluss von Klimabildung und Engagement, und das Informations-Feedback durch Offenlegung von Emissionsinformationen.

2.4 Zusammenspiel von SSPs und RCPs

Während die SSP-Basiszenarien eine Reihe von Ergebnissen ohne zusätzliche Klimapolitik darstellen, lässt sich auch untersuchen, wie Klimaschutzaktivitäten und Anpassung an die Klimaerwärmung in die von jedem SSP beschriebene Zukunft passen würden.

Um dies zu modellieren, werden gemeinsame politische Annahmen darüber verwendet, wie schnell eine internationale Zusammenarbeit in der Klimapolitik innerhalb jedes SSP stattfinden könnte, einschließlich der Beschränkungen, die durch die zugrunde liegenden Annahmen über Bevölkerungswachstum, wirtschaftliche Aktivität und technologische Entwicklung in jedem Pfad auferlegt werden (Hausfather 2018).

Die nachstehende Abbildung 2 zeigt die Emissionen im Laufe der Zeit unter allen SSP-Basislinien (graue Linien) und unter verschiedenen Minderungszielen, wobei die Strahlungsantriebe im Jahr 2100 auf 6,0, 4,5, 3,4, 2,6 und 1,9 Watt pro Quadratmeter (farbige Linien) begrenzt sind. Rechts ist zudem die durchschnittliche Erwärmung im Zusammenhang mit dem Bereich der Baselines und jedem der Ziele angegeben.

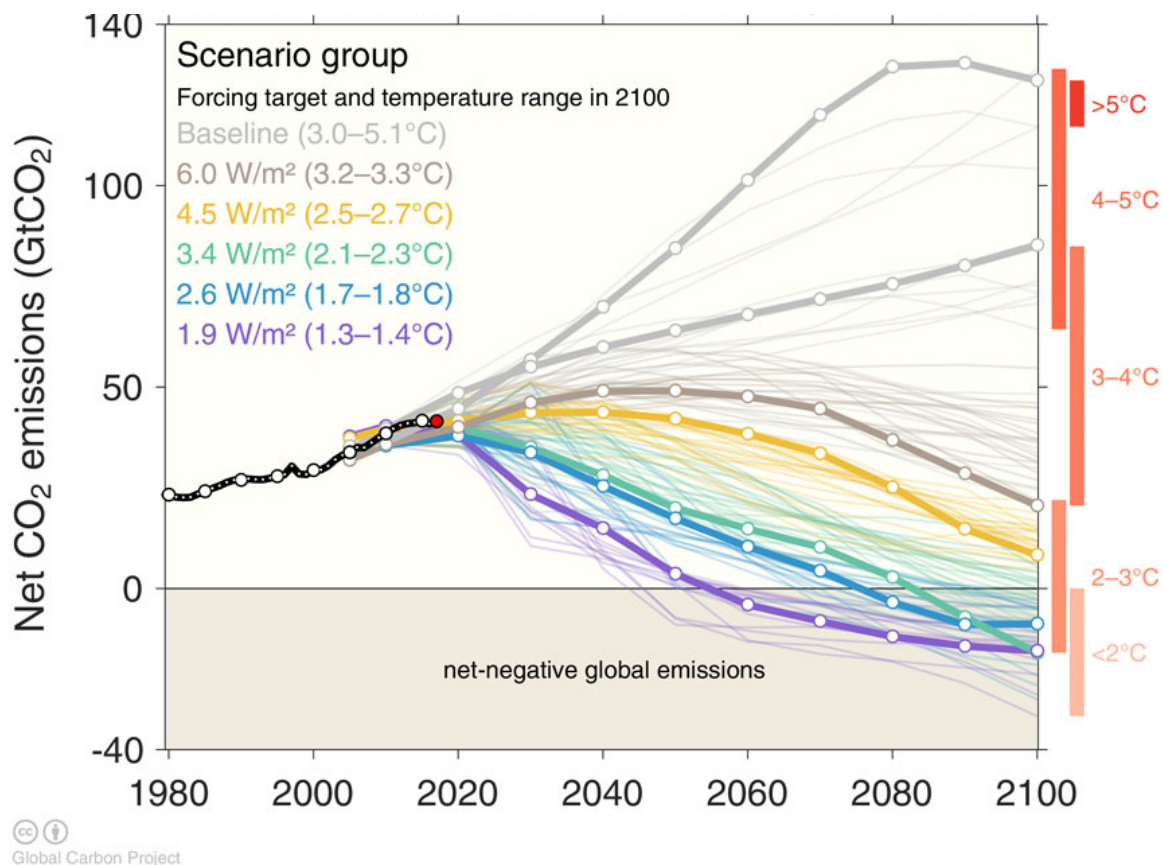


Abbildung 2: Globale CO₂-Emissionen (Gigatonnen, Gt CO₂) und mögliche Klimaerwärmung für alle IAM-Läufe in der SSP-Datenbank.

Quelle: Hausfather (2018), auf Basis von Riahi et al. (2017) und Rogelj et al. (2018a).

Hinweis: Nicht-klimapolitische Basiszenarien der SSP sind grau dargestellt, während verschiedene Minderungsziele farblich gekennzeichnet sind. Die fettgedruckten Linien zeigen die Teilmenge der Szenarien, die als Schwerpunkt für die Durchführung von CMIP6-Klimamodellsimulationen ausgewählt wurden.

Die Kombination der fünf SSPs und sechs RCPs ist in der folgenden Abbildung 3 dargestellt, der neue RCP7.0 wurde hier noch nicht berücksichtigt.

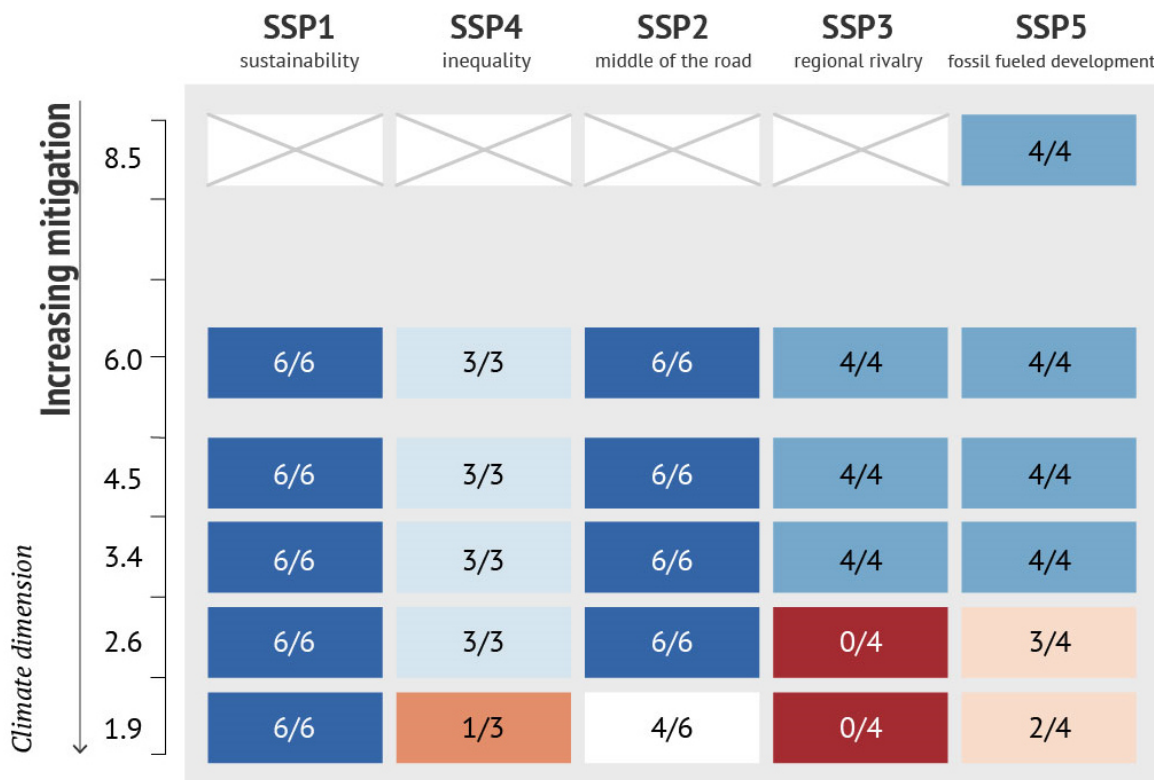


Abbildung 3: Kombination von SSP- und RCP-Modellierungsläufen.

Quelle: Schaubild von Hausfather (2018), angepasst aus Abbildung S1 in Rogelj et al. (2018a).

Hinweis: Die SSPs sind in der (groben) Reihenfolge der zunehmenden Herausforderungen für den Klimaschutz aufgeführt. Die Verhältnisse in den Zellen geben die Anzahl der Modelle an, die es geschafft haben, das Szenario aus der Gesamtzahl der für den jeweiligen SSP verfügbaren Modelle zu erreichen.

Jedes Kästchen in der Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Modelle, die das RCP-Ziel erfolgreich erreichen konnten, bezogen auf die Gesamtzahl der für eine bestimmte SSP verfügbaren Modelle. Zum Beispiel bedeutet das "3/4" in der Zelle SSP5 / RCP2.6, dass vier IAMs versucht haben, das RCP2.6 in einer SSP5-Welt zu erreichen, aber nur drei der Modelle eine Lösung finden konnten. Das andere Modell konnte entweder die Emissionen nicht schnell genug reduzieren oder nicht genügend negative Emissionen erzeugen. In ähnlicher Weise konnte nur SSP5 Szenarien erzeugen, die das RCP8.5-Niveau der Strahlungsantriebe erreichten, während die Emissionen in anderen SSP-Basislinien zu niedrig waren.

Um zu ermitteln, ob die einem SSP zugrunde liegenden sozioökonomischen Faktoren das zur Erreichung der RCP-Ziele erforderliche Maß an Minderung ermöglichen, wurden in den Modellen gemeinsame politische Annahmen über die kurz- bis mittelfristigen Grenzen der internationalen Zusammenarbeit und die mögliche Geschwindigkeit der Emissionsreduzierungen zugrunde gelegt.

Zum Beispiel sehen SSP1 und SSP4 die Möglichkeit einer "globalen Zusammenarbeit" in der Klimapolitik bis zum Jahr 2020. In den eher durch fossile Brennstoffe angetriebenen SSP2- und SSP5-Welten gibt es Verzögerungen bei der Festlegung globaler Maßnahmen, wobei die Regionen zwischen 2020-2040 zur globalen Zusammenarbeit übergehen. Bei der regional fragmentierten SSP3 schließen sich

einige Regionen mit höherem Einkommen zwischen 2020-2040 einer globalen Anstrengung zur Emissionsminderung an, während Regionen mit niedrigerem Einkommen zwischen 2030 und 2050 folgen.

Für die Landnutzung, die eine wichtige und schwer zu regulierende Emissionsquelle darstellt, ermöglichen SSP1 und SSP5 eine wirksame internationale Zusammenarbeit zur Emissionsminderung. SSP2 und SSP4 ermöglichen einige begrenzte Anstrengungen zur Reduzierung der Emissionen aus Entwaldung und Landwirtschaft, während SSP3 im Allgemeinen davon ausgeht, dass es nicht möglich sein wird, einzelne Länder zur Vermeidung von Entwaldung zu ermutigen.

Die Unterschiede zwischen den SSPs beeinflussen die Fähigkeit der Szenarien, in naher Zukunft eine große Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Während SSP1 und SSP4 ein rasches globales Handeln bei der Reduzierung von Emissionen ermöglichen, die über die bereits in den national festgelegten Beiträgen (NDCs) im Rahmen des Pariser Abkommens vereinbarten hinausgehen, stellen andere Szenarien, wie SSP3 und SSP5, fest, dass selbst diese bestehenden Verpflichtungen nur schwer vollständig zu erreichen sind.

Bei SSP5 steigen die Emissionen zu stark an und sinken zu langsam, um die Pariser Ziele ohne große Mengen negativer Emissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu erreichen. Drei von vier Modellen waren in der Lage, unter Verwendung von SSP5 mögliche Szenarien zu entwickeln, um die RCP2.6-Ziele zur Begrenzung der Erwärmung auf unter 2 °C zu erreichen, während nur zwei von vier einen Weg finden konnten, um RCP1.9 zu erreichen und die Erwärmung somit auf unter 1,5 °C zu begrenzen.

Im SSP3 waren die Modelle nicht in der Lage, entweder die RCP2.6- oder die RCP1.9-Ziele zu erreichen, da die regionale Rivalität und der wiederauflebende Nationalismus die Fähigkeit der Welt zur Zusammenarbeit bei der Reduzierung der Emissionen in den nächsten Jahrzehnten einschränken.

Die rasche technologische Entwicklung im SSP4 macht es zwar leichter, bescheidenere Minderungsziele zu erreichen, aber die hohe Ungleichheit macht es gleichzeitig schwieriger, sehr starke Emissionsreduktionen zu erreichen, insbesondere bei den Landnutzungsemissionen in ärmeren Ländern. Das bedeutet, dass zwar alle drei SSP4-Modelle ein RCP2.6-Ziel erreichen können, aber nur eines von drei Modellen das RCP1.9-Ziel erreichen und die Erwärmung auf unter 1,5 °C begrenzen kann.

Die nachstehende Abbildung 4 zeigt die verschiedenen Emissionskurven nach SSP und zeigt den Grad der Anpassungs- und Minderungsherausforderungen, die jeweils damit verbunden sind. Im Allgemeinen weist SSP1 (Kasten unten links) im Vergleich zu anderen SSP schnellere Emissionsreduktionen und weniger negative Emissionen auf, die im späteren Verlauf des Jahrhunderts bei tieferen Minderungsszenarien erforderlich sind.

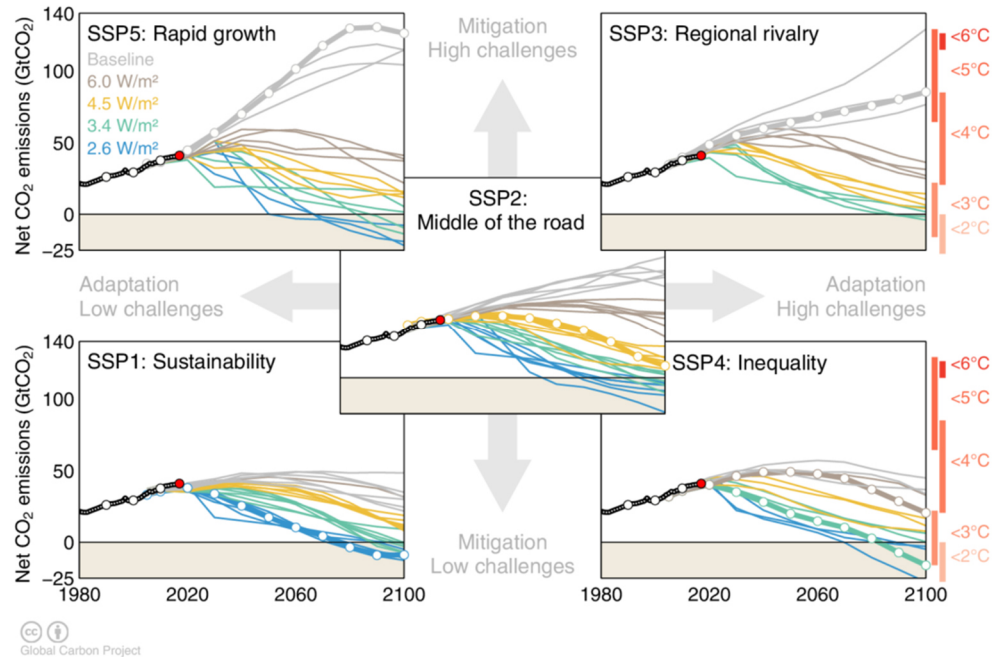


Abbildung 4: Globale CO₂-Emissionen (Gt CO₂) und resultierende wahrscheinliche Klimaerwärmung im Jahr 2100 für alle IAM-Läufe in der SSP-Datenbank, getrennt nach SSP

Quelle: Übernommen von Hausfather (2018).

Die Tatsache, dass IAMs für einige Szenarien unter 2 °C und unter 1,5 °C keine tragfähige Lösung finden konnten, bedeutet nicht unbedingt, dass diese Szenarien unmöglich sind. Die Modelle sind notwendigerweise unvollkommen und können nicht alle technologischen oder gesellschaftlichen Veränderungen vorhersehen, die sich im kommenden Jahrhundert vollziehen werden. Beispielsweise hatten die Modelle früher Mühe, die 2 °C-Ziele zu erreichen, bevor sie damit begannen, Technologien mit negativen Emissionen im großen Maßstab einzubeziehen - obwohl diese nach wie vor weitgehend nur in den Modellen und nicht in realen Einsätzen im Maßstab existieren.

3 Nutzung von Kontextszenarien und SSPs in ausgewählten Szenarien

In diesem Kapitel wird für ausgewählte vorliegende nationale und globale Klimaschutzszenarien untersucht, welche Annahmen dort jeweils in Hinblick auf die hier als Kontextszenarien beschriebenen Entwicklungen getroffen werden.¹ Diese Analyse dient der Einschätzung, inwiefern sich der in diesem Projekt gewählte Weg der Erstellung und Nutzung von Kontextszenarien von anderen Arbeiten unterscheidet bzw. welche Ähnlichkeiten es gibt.

Für diese Analyse wurden die folgenden fünf Szenariostudien betrachtet:

- dena-Leitstudie Integrierte Energiewende (Bründlinger et al. 2018)
- Klimapfade für Deutschland (Gerbert et al. 2018)
- Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität (Purr et al. 2019)
- Energy Technology Perspectives 2017 (IEA 2017)
- Achieving the Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5°C and +2°C (Teske (Hrsg.) 2019)

Die Szenariostudie der dena (Bründlinger et al. 2018) entwickelt und diskutiert fünf verschiedene Szenarien – ein Referenzszenario und vier Klimaschutzszenarien. Die Studie geht kaum auf die angenommene globale sozioökonomische Entwicklung ein. Es wird lediglich erwähnt, dass in allen Szenarien der Studie – sowohl im Referenzszenario als auch in den Klimaschutzszenarien – von ambitionierten globalen Klimaschutzanstrengungen ausgegangen wird (was zu der Annahme relativ niedriger Weltmarktpreise für fossile Energieträger führt). Es werden also für die verschiedenen Deutschland-Szenarien der Studie keine jeweils „passenden“ unterschiedlichen globalen Entwicklungen angenommen.

In der Studie für den Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (Gerbert et al. 2018) werden neben einem Referenzszenario zwei unterschiedlich ambitionierte Klimaschutzszenarien für Deutschland entwickelt. Für die in der Studie ebenfalls durchgeführte Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte der beiden Klimaschutzszenarien werden explizit zwei unterschiedliche globale „Kontexte“ herangezogen und deren jeweilige Konsequenzen für die beiden Szenarien diskutiert. Die beiden Kontexte – in der Studie „Zielszenarien“ genannt – unterscheiden sich jedoch nur im Hinblick auf den unterstellten Klimaschutz im Rest der Welt:

- Im Zielszenario „Nationale Alleingänge“ wird ambitionierter Klimaschutz nur von einem „Kern-Europa“ bestehend u. a. aus Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien und Skandinavien sowie wenigen weiteren nicht-europäischen Ländern verfolgt. Die großen internationalen Volkswirtschaften im Rest der Welt verfolgen hingegen annahmegemäß nur in sehr begrenztem Umfang Maßnahmen zur Emissionsreduktion, und dies nur zum Zweck der Erreichung innenpolitischer Ziele.
- Im Zielszenario „Globaler Klimaschutz“ wird angenommen, dass sich alle großen Volkswirtschaften zu einem jeweils angemessenen Beitrag für das Erreichen des 2 °C-Ziels verfolgen. Globale oder zumindest global koordinierte Klimaschutzinstrumente führen in diesem Zielszenario zu einem ähnlichen CO₂-Preisniveau in allen Industrie- und Schwellenländern.

¹ Bei globalen Klimaschutzszenarien werden zwar die globalen Entwicklungen und insbesondere die globale Klimaschutzpolitik (und damit indirekt der RCP) durch die Entwicklung der Szenarien selbst erfasst, allerdings stellt sich auch hier die Frage, welche SSP-Entwicklung der Szenarioerstellung implizit oder explizit zugrunde gelegt wurde.

In Hinblick auf sozioökonomische Entwicklungen werden jedoch in der Studie offenbar keine unterschiedlichen Annahmen zwischen den beiden Zielszenarien getroffen. Zwar unterscheiden sich in den Szenarien infolge der abweichenden globalen Klimaschutzpolitik die Preise für CO₂ und für fossile Energieträger; Unterschiede beim globalen Warenaustausch, im Wirtschaftswachstum oder in Lebensstilen werden jedoch nicht angenommen. Auch für Deutschland werden in den Klimaschutzszenarien keine wesentlichen Verhaltensänderungen angenommen, lediglich eine in beiden Szenarien angenommene moderate Verschiebung des motorisierten Individualverkehrs hin zu Bussen und Bahnen könnte als eine solche Lebensstiländerung angesehen werden.

Da also nicht von weitreichenden Lebensstiländerungen ausgegangen wird und ein weiter wachsender globaler Warenaustausch unterstellt wird, lässt sich der angenommene Kontext dieser Studie am ehesten dem SSP 2 („Middle-of-the-Road“) zuordnen.

In der Studie des Umweltbundesamtes (UBA) (Purr et al. 2019) werden sechs Klimaschutzszenarien beschrieben, die bis zum Jahr 2050 eine THG-Minderung gegenüber 1990 von mindestens 95 % erreichen. In einem der Szenarien („GreenSupreme“) werden die THG-Emissionen besonders schnell und bis 2050 um 97 % reduziert. Die Studie trifft auch explizite Annahmen zu sozioökonomischen und klimapolitischen Entwicklungen im Ausland. Diese Annahmen unterscheiden sich teilweise je nach Szenario. Grundsätzlich wird aber in allen Szenarien angenommen, dass Deutschland weiterhin eng in den internationalen Handel verflochten sein wird. „Die heutigen Strukturen verändern sich nicht fundamental.“

In allen Szenarien wird außerdem angenommen, dass auch international in Zukunft das Ambitionsniveau beim Klimaschutz deutlich verschärft wird und ähnlich stark auf Effizienz- und Erneuerbaren-Energien-Technologien gesetzt wird wie in den UBA-Szenarien in Deutschland. In den meisten der Szenarien wird aber angenommen, dass dies im Rest der Welt mit einem Verzug von rund zehn Jahren erfolgt. Insbesondere in den beiden Szenarien GreenLife und GreenSupreme werden zudem nicht nur für Deutschland, sondern zumindest teilweise auch für den Rest der Welt Verhaltensänderungen in Richtung suffizienterer Lebensstile angenommen. So wird eine Minderung des Fleischkonsums nicht nur in Deutschland sondern auch in anderen Ländern der Welt unterstellt. Zusätzlich wird von einer allmählichen Angleichung der Lebensverhältnisse ausgegangen.

In Bezug auf die UBA-Studie kann geschlussfolgert werden, dass sich die globalen Entwicklungen in den Szenarien zwischen SSP 2 („Middle-of-the-Road“) und SSP 1 („Sustainability“) einordnen lassen. Die Szenarien GreenEE1 und GreenEe mit einem etwas stärkeren Technik-Fokus liegen näher an SSP 2, während die Szenarien GreenLife und GreenSupreme mit ihren weitergehenden Lebensstiländerungen stärker im Bereich von SSP 1 verortet werden können.

Sowohl in der Studie der IEA (2017) als auch in der Studie von Teske (2019) werden jeweils drei globale Szenarien entwickelt und diskutiert – ein Referenzszenario und zwei unterschiedlich ambitionierte Klimaschutzszenarien. Die Studien legen für ihre Szenarien jeweils eine identische sozioökonomische Entwicklung zu Grunde, in der sich die Werte und Lebensstile der Menschen – in Abwesenheit klimapolitischer Maßnahmen – nicht wesentlich von heute unterscheiden und sich Wirtschaftswachstum und internationaler Handel im Wesentlichen entsprechend der Trends der letzten Jahre und Jahrzehnte weiterentwickelt. In den Referenzszenarien der beiden Studien steigt die Nutzung fossiler Energieträger auch (in absoluten Mengen) weiterhin an, wenn auch ihr Anteil am globalen Primärenergieverbrauch bis 2050 gegenüber heute moderat ausfällt. Entsprechend lässt sich die angenommene sozioökonomische Entwicklung in den Szenarien dieser beiden Studie am ehesten SSP

2 („Middle-of-the-Road“) zuordnen, evtl. mit einer gewissen Tendenz in Richtung SSP 5 („Fossil-Fueled Development“).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die betrachteten vorliegenden nationalen und globalen Szenariostudien implizit oder explizit eine sozioökonomische Entwicklung unterstellen, die im Wesentlichen einer Fortsetzung der Trends der letzten Jahrzehnte bzw. einem „Middle-of-the-Road“-Ansatz folgen, wenn auch die Annahmen in einzelnen Studien etwas von dieser Mittelposition hin zu den SSPs „Sustainability“ oder „Fossil-Fueled Development“ abweichen. Sehr starke zukünftige Abweichungen der Entwicklungen der Vergangenheit in Richtung deutlich nachhaltigerer Lebensstile (SSP 1, „Sustainability“) oder einer Wiedererstarkung der Investitionen in fossile Energieträger (SSP 5, „Fossil-Fueled Development“) werden in den untersuchten Szenarien nicht angenommen. Insbesondere werden auch keine Entwicklungen unterstellt, die einen starken Rückgang der internationalen Zusammenarbeit und stärkere regionale Konflikte beschreiben (SSP 3, „Regional Rivalry“) oder von einer zunehmenden ökonomischen Divergenz zwischen Ländern und Gesellschaften ausgehen (SSP 4, „Inequality“).

Anhand der drei untersuchten deutschen Szenariostudien lässt sich zudem erkennen, dass es mindestens drei unterschiedliche Herangehensweisen gibt, wie in nationalen Studien für einzelne Szenarien mit unsicheren zukünftigen Entwicklungen im Rest der Welt umgegangen wird:

- Einheitliche Annahmen über die globalen sozioökonomischen und klimapolitischen Entwicklungen über alle Szenarien hinweg (Bründlinger et al. 2018, dena).
- Keine Berücksichtigung unterschiedlicher globaler Entwicklungen bei der Erstellung der Szenarien, aber anschließende Spiegelung (hier: hinsichtlich der ökonomischen Implikationen) dieser Szenarien an abweichenden Annahmen zu globalen Entwicklungen (hier: des Klimaschutzambitionsniveaus) (Gerbert et al. 2018, BDI).
- Je nach Szenario spezifische Anpassungen der Annahmen zu den globalen sozioökonomischen und klimapolitischen Entwicklungen, um diese möglichst konsistent mit den je nach Szenario abweichenden Annahmen für Entwicklungen in Deutschland zu machen (Purr et al. 2019, UBA).

4 Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien

4.1 Vorüberlegungen für die Festlegung von Kontextszenarien

Die im vorliegenden Bericht dokumentierten Kontextszenarien sollen im laufenden Forschungsprojekt ein unterstützendes Instrument für die Beantwortung verschiedener relevanter Forschungsfragen darstellen. Sie sollen mehrere denkbare zukünftige globale sozioökonomische und klimapolitische Entwicklungen abbilden, die einen Teil der Vielzahl möglicher zukünftiger globaler Entwicklungen abdecken. Dabei sollen die Kontextszenarien auf die in der internationalen Forschung breit angewendeten Instrumente der SSPs und der RCPs zurückgreifen, um zum einen eine Anschlussfähigkeit an die internationale Forschung zu ermöglichen, und zum anderen in optimaler Weise auf die bereits vorliegende, auf SSPs und RCPs basierende Forschung zurückgreifen zu können.

Dabei bleiben in der Auswahl der Kontextszenarien jene möglichen globalen Entwicklungen bewusst ausgeklammert, die mit dem übergeordneten Ziel des Projektes – einer weitgehend treibhausgasneutralen NRW-Industrie bis zum Jahr 2050 – nicht in Einklang zu bringen sein dürften. Insbesondere solche globalen Entwicklungen werden hier nicht berücksichtigt, in denen weltweit keine oder nur minimale zusätzliche klimapolitische Maßnahmen umgesetzt werden, da vor einem solchen Hintergrund die dauerhafte Verfolgung des Ziels der Treibhausgasneutralität in Europa sehr unwahrscheinlich erscheint und zudem die Hoffnung besteht, dass der erfolgreiche klimaneutrale Umbau der NRW-Industrie weltweite Nachahmer findet. Ebenfalls nicht betrachtet werden mögliche politische, ökonomische oder soziale Entwicklungen, die gegenüber heute sehr starke Abweichungen darstellen würden, wie z. B. ein Auseinanderbrechen der EU.

Zwar ist eine große Anzahl globaler sozioökonomischer und klimapolitischer Entwicklungen denkbar, aber im laufenden Forschungsprojekt soll eine Begrenzung auf einige wenige Kontextszenarien vorgenommen werden, um relativ stark voneinander unterscheidbare Entwicklungen beschreiben zu können. Außerdem kann so die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass im Projektverlauf von verschiedenen Themenfeldern für die Beantwortung unterschiedlicher Forschungsfragen auf die gleichen Kontextszenarien zurückgegriffen wird, was einen einheitlichen Bezugsrahmen und damit eine bessere Vergleichbarkeit der Forschung in den verschiedenen Themenfeldern schafft.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich die folgenden Anforderungen an die im Rahmen dieses Projekts zu entwickelnden Kontextszenarien:

- Erstellung der Kontextszenarien unter Rückgriff auf das Instrumentarium der SSPs und RCPs
- Beschränkung auf diejenigen Entwicklungen, die grundsätzlich kompatibel sein könnten mit Treibhausgasneutralität in Deutschland und Europa bis 2050
- Deutliche Unterscheidbarkeit der entwickelten Kontextszenarien und damit einhergehende Begrenzung ihrer Anzahl

Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen wurden im Rahmen von Themenfeld 3 im Laufe des Frühlings und Sommers 2019 erste Überlegungen zur Definition verschiedener Kontextszenarien angestellt. Diese ersten Überlegungen wurden auf einem projektinternen Workshop im Juli 2019 mit den anderen Themenfeldern und allen im Projekt beteiligten Instituten diskutiert. Auf Grundlage dieser Diskussionen und unter Berücksichtigung der aus den verschiedenen Themenfeldern formulierten Anforderungen bzw. Wünsche an die Kontextszenarien hat Themenfeld 3 im Herbst 2019 eine

finale Entscheidung für drei Kontextszenarien getroffen, die im Folgenden kurz und im weiteren Verlauf dieses Kapitels ausführlich vorgestellt werden:

- **„Nachhaltigkeit“**: Dieses Kontextszenario geht von einer globalen Entwicklung aus, die durch starke internationale Kooperation und ein hohes Umweltbewusstsein innerhalb der Gesellschaften gekennzeichnet ist. Es findet eine anhaltende Verschiebung in Richtung weniger energie- und materialintensiver Lebensstile statt. Diese sozioökonomischen Entwicklungen werden durch eine ambitionierte und weltweit koordinierte Klimaschutzpolitik flankiert, die es auch dank schneller technischer Fortschritte bei den Klimaschutztechnologien ermöglicht, die globale Erwärmung auf rund 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.
- **„Technologie-Fokus“**: Die sozioökonomischen Entwicklungen in diesem Kontextszenario sind ähnlich wie in der Vergangenheit, d. h. es finden keine weitgehenden Lebensstiländerungen statt und die internationale Zusammenarbeit befindet sich auf einem mittleren Niveau. Dennoch gelingt es in diesem Kontextszenario über eine international weitgehend abgestimmte, ambitionierte Klimaschutzpolitik und einen starken und erfolgreichen Fokus auf technologische Lösungen (inkl. CCS), die globalen THG-Emissionen zeitnah und kontinuierlich abzusenken, so dass die globale Erhitzung auf etwa 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden kann.
- **„Unzureichender Klimaschutz“**: Wie der Name bereits verdeutlicht, sind die globalen Klimaschutzbemühungen in diesem Kontextszenario unzureichend, um die Zielspanne des Pariser Klimaschutzabkommens einhalten zu können. Die in den vergangenen Jahren in einigen Ländern der Welt beobachtete Tendenz zu einem Fokus auf nationale Interessen und einer damit einhergehenden Schwächung des Multilateralismus machen die Umsetzung von ambitioniertem Klimaschutz in diesem Szenario unmöglich. Einzelne Weltregionen wie die EU und einige verbündete Staaten verfolgen dennoch einen moderaten bis ambitionierten Klimaschutz, außerdem setzen einige Länder und Regionen auf einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, um eine größere Unabhängigkeit von Energieimporten zu erlangen. Aufgrund dieser Bemühungen können die globalen THG-Emissionen ab etwa Mitte der 2030er Jahre reduziert werden. Die globale Erwärmung steigt in diesem Kontextszenario bis Ende des Jahrhunderts auf etwa 3 °C an.

Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien

Wie die folgende Abbildung 5 verdeutlicht, werden diese drei Kontextszenarien jeweils im SSP 1 („Sustainability“), SSP 2 („Middle-of-the-Road“) und SSP 3 („Regional Rivalry“) verortet. Nicht zuletzt aufgrund der rasanten Fortschritte und Kostensenkungen im Bereich erneuerbarer Energien im Laufe der vergangenen Jahre wird hier eine globale Entwicklung, wie sie in SSP 5 („Fossil-Fueled Development“) skizziert wird, nicht als plausible zukünftige Entwicklung angesehen. SSP 4 („Inequality“) fokussiert hingegen auf eine große Ungleichheit zwischen und innerhalb von Ländern und die damit verbundenen Herausforderungen für die Anpassung an die Klimakrise, was für die im Projekt SCI4climate.NRW im Mittelpunkt stehenden Forschungsfragen von keiner besonderen Relevanz ist.

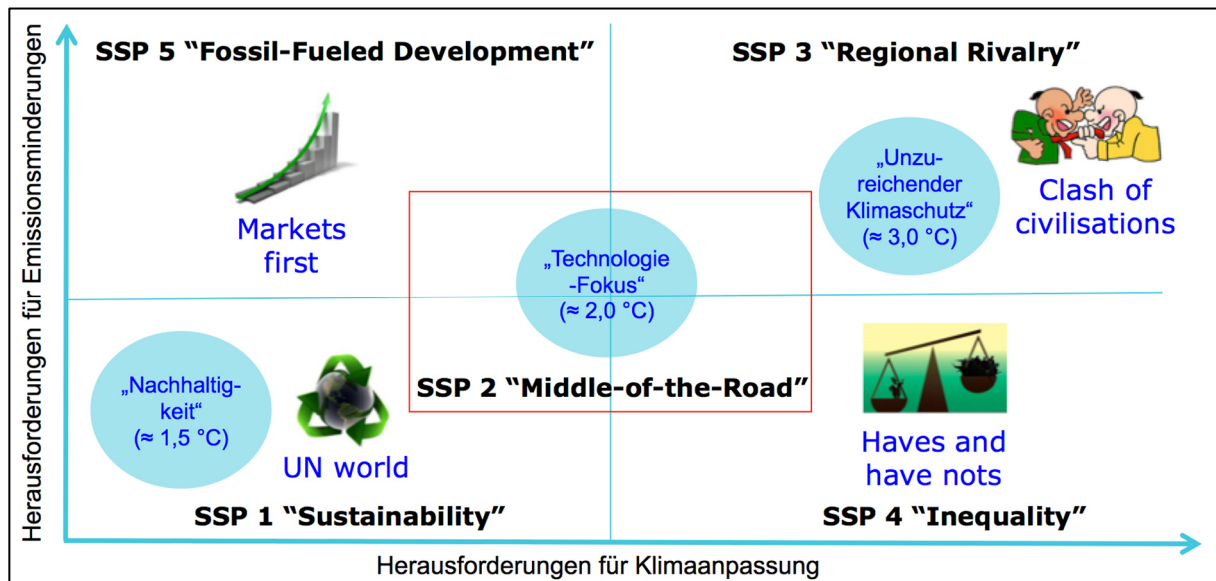


Abbildung 5: Unterscheidung der fünf SSPs und Verortung der drei hier entwickelten Kontextszenarien.

Quelle: Modifiziert auf Grundlage von van Vuuren 2016.

4.2 Ausführliche Storylines der drei Szenarien

Im Nachfolgenden sollen die Storylines der vorab skizzierten drei ausgewählten Szenarien eingehender beschrieben werden.

4.2.1 Storyline zum Szenario „Nachhaltigkeit“

Dieses Szenario ähnelt dem „Smarter“-Szenario des Club of Rome (Randers et al. 2018) und ist weitgehend konsistent mit der Klimaschutzstrategie des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU 2020). Weltweit hat sich ein hohes Umweltbewusstsein durchgesetzt, welches die Notwendigkeit von globaler Klimagerechtigkeit anerkennt und entsprechendes Handeln einfordert. Die Länder der Welt wählen eine mutige und transformatorische Politik. Ab Anfang der 2020er Jahre gibt es in den meisten Ländern kein "bloßes Gerede" mehr, sondern entschlossenes, konzertiertes Handeln. Dieses fußt in einer starken Werte- und Normenverschiebung hin zu einer „enkelgerechten“ Gesellschaft und Wirtschaftsweise (Otto et al. 2020), was sich auch in institutionellen und infrastrukturellen Veränderungen niederschlägt. Im internationalen Recht und dem Regelwerk der wiedererstarkten WTO erhält Klimaschutz eine Vorrangrolle, sodass Zölle und Handelsregularien effektiven Schutz vor Carbon Leakage gewährleisten und Transfers klimaschützender Technologien unterstützen.

Der Transformationswandel wird durch eine Reihe von Hebelpunkten eingeleitet, die eine synergetische Wirkung auf die nachhaltigen Entwicklungsziele haben: Die erneuerbaren Energien erfahren ein

Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien

beschleunigtes Wachstum zur Halbierung der Kohlenstoffemissionen in jedem Jahrzehnt, nachhaltige Nahrungsmittelketten können ihre Produktivität wesentlich erhöhen, durch die Einführung neuer Entwicklungsmodelle, beispiellose Maßnahmen zur Verringerung der Ungleichheit und schrittweise Veränderungen in den Bereichen Bildung, Gleichstellung der Geschlechter und Familienplanung kommt es u. a. zu einer Stabilisierung der Weltbevölkerung.

Auf den Finanzmärkten und in Gerichten wird klimaschädigendes Verhalten wirtschaftlicher und politischer Akteure zunehmend sanktioniert. Nahezu alle Investitionen in fossile Brennstoffe (historischer Durchschnitt von 1,5 bis 2 % des BIP pro Jahr) werden in den 2020er Jahren auf erneuerbare Energien und Strominfrastrukturen verlagert. Die höheren Investitionen werden sowohl durch eine Kombination aus einem Sog auf der Nachfrageseite angetrieben, da erneuerbare Energien allmählich eine höhere Rentabilität als fossile Brennstoffe aufweisen, als auch durch die Durchsetzung strengerer Vorgaben durch die Regierungen. Dies führt zu einer Verdoppelung der jährlichen Wachstumsraten bei Wind- und Sonnenenergie und anderen erneuerbaren Energien in den 2020er Jahren (Randers et al. 2018).

Begleitend wird fast weltweit eine ambitionierte Steigerung des CO₂-Preises eingeführt, sodass dieser – früh angekündigt und von einer breiten gesellschaftlichen Unterstützung getragen – bis 2030 auf durchschnittlich etwa 100 €, und im Jahr 2050 auf ca. 200 € pro Tonne CO₂-Äquivalent ansteigt. In Europa wird dieser flankiert durch eine Vielzahl von Werkzeugen, welche die Transformation der Industrie und des Mobilitätsbereichs ebenso unterstützen wie die generelle Energieeffizienz steigern. Mehrere sonnen- und windreiche Weltregionen wie unter anderem viele Länder der MENA-Region erreichen im Laufe der 2030er Jahre eine mehr als 100-prozentige Bedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien und entwickeln sich zu den neuen Exporteuren für Wasserstoff und synthetische Energieträger, manche Prozessschritte der energieintensiven Grundstoffindustrie verlagern sich stärker in diese Regionen, was zu einem teilweisen Angleichen der Industrialisierungsintensitäten zwischen Ländern des globalen Nordens und Südens führt und zu einer Verringerung des Wohlstandsgefälles beiträgt.

In den Jahren zwischen 2025 und 2035 kommt es durch wirtschaftspolitisch unterstützte Veränderungen in den Industrieländern zu einer starken Abnahme der nationalen Treibhausgasemissionen von ca. 50 % pro Dekade (Randers et al. 2018; SRU 2020), wodurch die Pariser Klimaziele eingehalten werden können und die Erderhitzung auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden kann.

Trotz dieser Fortschritte und klügerer Politik kommt es aufgrund der klimatischen Veränderungen und den sich über viele Jahrzehnte aufgebauten Umweltbelastungen – Luftverschmutzung, Wasserknappheit, Hitzewellen, Waldbrände – weltweit zu Umweltkatastrophen, sozialen Härten, Unruhen, manchmal auch Bürgerkriegen und auch Fluchtbewegungen in den Jahrzehnten bis 2040 im Vergleich zu 2015, die sich allerdings zumeist innerhalb des jeweiligen Kontinents abspielen. Sie üben dabei starken Druck auf viele fragile institutionelle Strukturen aus.

Auch Europa hat mit einer Zunahme von Extremwetterereignissen, Dürren, Überschwemmungen und Hitzewellen zu kämpfen, das Klima in Deutschland wird deutlich mediterraner und die Grundwasser- und Flusspegel sind stärkeren Schwankungen unterworfen (IPCC 2018). Dies ist hierzulande vor allem für die von Ausfällen betroffene Land- und Forstwirtschaft und den Binnenschiffsverkehr relevant, beeinflusst aber auch das Wohnen. Durch die vergleichsweise gut funktionierende internationale Kooperation können größere Verwerfungen vermieden werden, die internationalen Beziehungen

und der Handel entwickeln sich weitgehend reibungslos, die Lebensqualität nimmt weltweit zu. Das Wirtschaftswachstum in den stark industrialisierten Ländern und zunehmend auch in China verläuft moderat und schwächt sich bis 2050 zunehmend ab, was durch die abnehmende Binnennachfrage und die generell weniger energie- und materialintensiven Lebensstile bei weiterhin steigender Lebensqualität mit verursacht wird. Der verstärkte Aufbau einer Kreislaufwirtschaft reduziert den Bedarf an neuen Grundstoffen (Material Economics 2019), erhöht zugleich auch den Bedarf an digitalen Lösungen und der hochtechnologische Anlagenbau floriert. Private und öffentliche Investitionen sorgen für schnelle technische Fortschritte bei Klimaschutztechnologien. Der zunehmend engmaschige Aufbau von leistungsfähigen Transport- und Verteilnetzen und Speichern für erneuerbare Energie bzw. Energieträger wie Wasserstoff unterstützt den Umbauprozess.

Das sich verändernde Mobilitätsverhalten wird durch einen Umbau der Infrastruktur und finanzielle Steuerungsmechanismen unterstützt. Die meisten Länder verhängen auch Verbote für alle neuen Investitionen in fossile Brennstoffe, einschließlich der Ankündigung von Verkaufsverboten für neue fossile Kraftfahrzeuge in den 2020er Jahren (Randers et al. 2018). Das Flugverkehrsaufkommen ist rückläufig, das europäische Schienennetz wird in den Jahren zwischen 2030 und 2050 stark ausgebaut und auch der Güterverkehr verlagert sich zu einem merklichen Teil auf die Schiene. Elektromobilität, Wasserstoff und zu einem geringeren Anteil synthetische Kraftstoffe ersetzen die fossilen Energieträger (Rudolph et al. 2017). Die deutsche Automobilindustrie steht dabei vor großen Herausforderungen und durchläuft einen Schrumpfungsprozess.

4.2.2 Storyline zum Szenario „Technologie-Fokus“

Der Wertewandel ist in diesem Szenario nicht hinreichend stark ausgeprägt (Otto et al. 2020), um einen weitreichenden Normenwandel herbeizuführen. Das Szenario ist ähnlich einer optimistischen Lesart des „Harder“-Szenarios des Club of Rome (Randers et al. 2018), indem es stark auf technologische Lösungen für einen ambitionierten Klimaschutz und das weitest mögliche Berücksichtigen weiterer Planetarer Grenzen setzt. Als Reaktion auf die sich verschlechternden Umweltbedingungen, welche die globalen Gemeinschaftsgüter betreffen, vereinbaren die meisten Länder eine multilaterale Zusammenarbeit. Es werden neue Vereinbarungen und Abkommen getroffen, um grüne Konjunkturpakete, CO₂-Preisgestaltung, transparente und international koordinierte Besteuerung und Umweltvorschriften zu stärken. Alle Länder ziehen weitgehend an einem Strang und versuchen nachhaltig zu werden, jedoch mit meist unverbindlichen, freiwilligen Richtlinien. Es treten einige Verzögerungen bei der Einführung globaler Maßnahmen auf, wobei die verschiedenen Weltregionen zwischen 2020 und 2040 schrittweise zur globalen Zusammenarbeit übergehen (Riahi et al. 2017). Dennoch wird bis 2050 weitgehende Klimaneutralität und auch eine Begrenzung der Erderhitzung auf 2 °C innerhalb dieses Jahrhunderts erreicht, wobei mehr als die Hälfte aller Planetaren Grenzen entweder überschritten sind oder sich zumindest in der Unsicherheitszone befinden (Randers et al. 2018). Die Welt und die Stabilität des Erdsystems befindet sich hier in einer fortwährend prekären Situation, deren weitere Entwicklung sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts entscheidet.

Die wichtigsten Politiken in den Jahren 2020 bis 2040 bestehen weltweit in einer Steigerung der Arbeitslosen- und Gesundheitsleistungen, Familienplanung und Bildung von Frauen, grünen Konjunkturpaketen, der Unterstützung für Dekarbonisierung, Elektrifizierung, wasserwirtschaftliche Produktivität, und der Verlagerung der Besteuerung von Arbeit hin zu Ressourcen. CCS wird zu einer zentraler Technologie des Klimaschutzes und wird umfassend und in vielen Ländern angewandt, wobei die

Überwachung der Verfahren und die Stabilität der weltweiten Endlagerstätten ein fortwährendes Risiko darstellt.

Dabei treten als unbeabsichtigte Hindernisse und Herausforderungen in den Jahren 2025 bis 2050 zuvorderst die anhaltende globale Aufheizung und kostspielige extreme Wetterereignisse auf, sowie eine nach wie vor wachsende wirtschaftliche Ungleichheit. Der Glaube an rein technologische Lösungen und an langsame lineare Ökosystemveränderungen sind nach wie vor allgegenwärtig. In vielen Ländern kommt es infolge der wiederkehrenden Extremwetterereignisse und der damit einhergehenden Schäden zu einer Schwächung der öffentlichen Institutionen und der Regierungen. Wirtschaftliches Wachstum bleibt ein wesentlicher Baustein zur Erzeugung gesellschaftlicher Stabilität.

Umweltkatastrophen, Extremwetterereignisse, Dürre- und Hitzewellen und damit korrelierte weltweite Unruhen und Fluchtbewegungen treten im Vergleich häufiger auf als in der 1,5 °C-Welt (IPCC 2018). Auch Europa ist von diesen Entwicklungen stärker betroffen, mit Hitzewellen von mehr als 4 °C über denen zur letzten Jahrhundertwende sowie stark darüberhinausgehenden Extremhitzeereignissen und mit verstärkten Flussüberschwemmungen. Der Binnenschiffverkehr wird eine unzuverlässige Transportmethode, die Land- und Forstwirtschaft durchläuft erzwungenermaßen fundamentale Veränderungen. Hurrikane, Hitzewellen, Dürren und Überflutungen machen viele Gebiete der Welt fast unbewohnbar. Die Fischerei wird durch Eutrophierung der Ozeane, Oberflächenerwärmung und Versauerung geschwächt. Dies trifft die Armen unverhältnismäßig hart und trägt zu mehr Migration und mehr gescheiterten Staaten und Städten bei. Als Gegenreaktion auf die zunehmende internationale Migration werden in reicheren Ländern mehr Mauern errichtet und protektionistische Maßnahmen verstärkt (Randers et al. 2018).

Es verbleibt eine große Unsicherheit darüber, ob in diesem Szenario das Erdsystem über das Jahr 2100 hinaus nachhaltig destabilisiert wurde, ob es also zu einem durch Kippelemente und schon im System deponierte Wärmeenergie verursachten „Runaway“-Klimawandel kommt, oder ob das System durch die ergriffenen Maßnahmen gerade noch hinreichend stabil gehalten werden kann (Lenton et al. 2019; Steffen et al. 2018).

Europa kann eine ambitionierte Klimapolitik umsetzen, die dank internationaler Einbettung mit einem wirksamen Schutz gegen Carbon Leakage ausgestattet ist. Die MENA-Region kann sich als Exporteur klimaneutraler Energie unter anderem für Europa positionieren, auch wenn sie mit Unruhen und Migrationswellen zu kämpfen hat.

Die energieintensive Grundstoffindustrie wird bis 2050 weitgehend klimaneutral, was neben dem Einsatz diverser low-carbon breakthrough-Technologien und dem großskaligen Einsatz von Wasserstoff vor allem durch CCS ermöglicht wird. CCU erlangt zudem eine große Bedeutung als die primäre Kohlenstoffquelle vieler Prozesse im Bereich von Power-to-Liquids und Power-to-Chemicals (PtL/PtC). Ein entsprechendes Netz von Transportleitungen und Speichern für Wasserstoff, Kohlendioxid und synthetische Kohlenwasserstoffe wird mit staatlicher Unterstützung errichtet. Der CO₂-Preis steigt in Europa kontinuierlich an und pendelt 2050 um eine Marke von ca. 100 € pro Tonne. Im Bereich der Mobilität vollzieht sich primär eine Antriebs- und Kraftstoffwende hin zu 100 % CO₂-neutralen Energieträgern, das Mobilitätsverhalten verändert sich dabei nicht wesentlich, bleibt aber zumindest weitgehend konstant gegenüber dem heutigen. Dies hat zur Folge, dass die deutsche Automobilindustrie den wirtschaftlichen Umbau weitgehend übersteht. Die Produktion und Verwendung von Flugtreibstoffen werden zur Erreichung von klimaneutralem Fliegen im Jahr 2050 mit zusätzlich zu leistenden Negativemissions-Maßnahmen gekoppelt.

4.2.3 Storyline zum Szenario „Unzureichender Klimaschutz“

In diesem Szenario kann keine der Zielvorgaben des Pariser Klimaschutzabkommens eingehalten werden und stellt durch die teilweise Emissionssenkung dabei immer noch einen optimistischeren Pfad als Interpretationen von business-as-usual (BAU) mit weiterhin zunehmenden Emissionen dar, wie sie u. a. in den Szenarien „Same“ und „Faster“ des Club of Rome beschrieben werden (Randers et al. 2018). Dies liegt neben einer mangelnden gesellschaftlichen Unterstützung größerer Transformationsschritte auch an den verstärkten nationalen Egoismen und der Herausbildung von regionalen Clustern (einer davon vor allem zentriert auf die USA in Nordamerika inklusive Großbritannien, ein weiterer in Ostasien um China, sowie jeweils einer in Europa und in Südamerika) mit verstärkter Integration innerhalb derselben, wie der Schaffung gemeinsamer Märkte und Institutionen sowie aufeinander abgestimmter Politiken und verstärkter Freizügigkeit. Diese regionalen Cluster dienen zudem der Umsetzung von (militärischen) Sicherheitsbelangen und der Durchsetzung politischer und ökonomischer Interessen gegenüber anderen Ländern. Afrika bildet kleinere Cluster mit geringerem Gewicht, welche versuchen in Kooperation mit verschiedenen der größeren Cluster zu bleiben.

Die EU-Klimapolitik ist dabei ambitionierter als der weltweite Durchschnitt, was unter anderem am Druck aus der Zivilbevölkerung liegt. In mehreren europäischen Ländern inklusive Deutschland ist der Nachweis überzeugender Klimaschutzstrategien zu einem wichtigen Wahlkampfthema geworden und die Politik wird an deren Umsetzung auch gemessen. Regionen mit höherem Einkommen treten dem globalen Regime zwischen 2020 und 2040 sukzessive bei, während Regionen mit niedrigerem Einkommen zwischen 2030 und 2050 folgen (Riahi et al. 2017). Allgemein konzentriert sich die Umweltpolitik allerdings in vielen Teilen der Welt und auch einigen EU-Ländern zunächst vor allem auf unmittelbar in der Region wirksame Bereiche wie den Gewässerschutz und die Luftqualität und nur in unzureichendem Maße auf den Klimaschutz. Dies führt zu Verwerfungen innerhalb der EU und unterschiedliche Geschwindigkeiten hinsichtlich des regionalen Strukturwandels. Der Green Deal der EU trägt allerdings maßgeblich dazu bei, dass zumindest ein gewisses Ambitionsniveau erhalten bleibt und die EU ihre THG-Emissionen bis 2050 um etwa 90 % gegenüber dem aktuellen Niveau reduziert.

Einige der klassischen Kohle- und Grundstoffindustrieregionen stellen sich dem Strukturwandel entgegen und verpassen den Anschluss in Hinblick auf die Ansiedlung neuer Wissenszentren und Technologien. NRW geht in dieser Hinsicht einen progressiven Sonderweg und gestaltet den Umbau aktiv, was sich langfristig auszahlt. Während im EU-Durchschnitt die Grundstoffindustrie auch 2050 noch wesentliche THG-Emissionen aufweist, erreicht sie in NRW zur Jahrhundertmitte nahezu THG-Neutralität. Die entwickelten Technologien müssen zwar in der Anfangszeit stark öffentlich gefördert werden, können dafür aber ab Ende der 2030er Jahre erfolgreich exportiert werden. Die Konkurrenz mit anderen Weltregionen hinsichtlich der Grundstoffpreise und damit verbundenem Carbon Leakage ist dadurch reduziert, dass zwischen den Clustern der Großregionen zum Teil hohe Schutzzölle und Einfuhrbeschränkungen existieren. Erst in den 2030er und 2040er Jahren findet eine Ambitionssteigerung innerhalb diverser Regionalcluster statt, da die Auswirkungen der fortschreitenden Klimakrise unmittelbar spürbar sind und schwere wirtschaftliche und gesellschaftliche Verwerfungen erzeugen.

Technologischer Fortschritt in Klimaschutztechnologien verläuft in diesem Szenario zunächst überwiegend inkrementell. Ambitionierte, öffentlich gestützte Sprünge ereignen sich zumeist in den für die Konkurrenzfähigkeit zentralen Bereichen wie der Digitalisierung und wirken nur als Nebeneffekt klimatisch. Rebound-Effekte machen diese klimatischen Mitnahmeeffekte aber teilweise wieder zunichte. Der Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft erfolgt (gegenüber den beiden anderen Szenarien)

Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien

in abgeschwächter Form, was primär mit der unsicheren Verfügbarkeit entsprechender Importe zu tun hat. Wasserstoff wird daher strategisch in Pilotregionen und Schlüsseltechnologien eingesetzt.

Haupttreiber für den Ausbau erneuerbarer Energien ist in vielen Teilen der Welt nicht ambitionierter Klimaschutz, sondern die Kostenregression der Technologien sowie der politische und auch wirtschaftliche Wunsch größerer regionaler Unabhängigkeit von als Druckmittel nutzbaren Energieimporten aus anderen Weltregionen. Die EU verfolgt deswegen eine Strategie der Autarkiesteigerung, um den Energie- und Ressourcenbedarf der heimischen Industrie möglichst weitgehend von derartigen Unsicherheiten unabhängig zu machen. Auf der Nordsee entstehen großflächige Windparks, Länder wie Irland, Schottland und Norwegen steigen zu bedeutenden Exporteuren erneuerbarer Energien auf und decken einen wichtigen Teil der Energieimporte der kontinentaleuropäischen Länder ab.

Kreislaufwirtschaft und geschlossene Stoffströme werden zu einem Kernelement der wirtschaftlichen Neuausrichtung, die Primärmaterialproduktion wird so weit wie möglich durch rückgeführte Materialien wie Sekundärstahl und Kunststoffzyklal ersetzt. CCS ist eine Schlüsseltechnologie für die energieintensive Grundstoffindustrie, da auf diesem Weg der inländische Wasserstoff- und Elektrizitätsbedarf am ehesten begrenzt werden kann und zugleich die auf europäischer Ebene vereinbarten Klimaziele eingehalten werden können.

Durch das deutliche Überschreiten der schon mit großen Unsicherheiten behafteten 2 °C-Grenze werden diverse Kippelemente des Erdsystems ausgelöst, die zu einer weiteren längerfristigen Aufheizung des Planeten führen. So kann die Klimaerwärmung zwar bis 2100 auf etwa 3 °C begrenzt werden, durch die schon ausgelösten Kippelemente und die im System deponierte Energie ist eine deutliche weitere Erhitzung mit allen damit verbundenen Effekten jedoch sehr wahrscheinlich (Lenton et al. 2019; Steffen et al. 2018; Turetsky et al. 2019).

Box: Globale Reaktionen auf die Corona-Krise in den drei Kontextszenarien

Im Szenario „Nachhaltigkeit“ wird die Corona-Krise seitens der Gesellschaften und der Politik weltweit als Chance wahrgenommen, um auf einen nachhaltigeren Pfad umzuschwenken. Dies geschieht im Geiste der internationalen Kooperation, deren Nutzen nicht zuletzt auch die Corona-Krise verdeutlicht hat. Folglich erwächst aus der Krise eine deutliche Stärkung von Investitionen in klimafreundliche Technologien und ebenfalls eine Stärkung suffizienterer Lebensstile.

Auch im Szenario „Technologie-Fokus“ wird die Corona-Krise genutzt, um massive Konjunkturprogramme anzuschieben, die einen starken Fokus auf grüne Technologien und Infrastrukturen haben. Diese Reaktion unterstützt die Bemühungen in Richtung Klimaschutz in erheblicher Weise. Weitgehende Lebensstiländerungen bleiben in diesem Szenario allerdings aus.

Im Szenario „Unzureichender Klimaschutz“ führt die Corona-Krise nicht zu mehr internationaler Zusammenarbeit sondern in vielen Ländern der Welt – auch infolge der wirtschaftlichen Schwierigkeiten – zu einer Stärkung der politischen Ränder und einer weiteren Tendenz in Richtung des „my country first“-Gedankens. Die internationale Klimaschutzpolitik wird folglich zunehmend bedeutungslos. Nur wenige Länder bzw. Regionen gehen mit halbwegs ambitioniertem Klimaschutz voran (flankiert durch protektionistische Maßnahmen, um sich vor billigeren CO₂-intensiveren Importen zu schützen), andere Länder betreiben allerdings kaum bewussten Klimaschutz. Nur durch weiter fallende Kosten der erneuerbaren Energien und das Ziel vieler Staaten, unabhängiger von Energieimporten zu werden, sinken die globalen THG-Emissionen schließlich ab etwa Mitte der 2030er Jahre und es ergibt sich ein globaler Emissionspfad, der etwa mit einer Erwärmung um 3 °C bis 2100 kompatibel ist.

4.3 Quantifizierung wesentlicher Rahmenbedingungen der drei Kontextszenarien

Für die drei oben entwickelten Kontextszenarien werden in der folgenden Tabelle Annahmen und quantitative Elemente für die globale Ebene aus Fricko et al. (2017) übernommen und um Angaben aus KC und Lutz (2017) hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung und Dellink et al. (2017) hinsichtlich der Wirtschaftsentwicklung ergänzt. Dabei wird – entsprechend ihrer Storylines – für das Kontextszenario „Nachhaltigkeit“ auf die für SSP 1 beschriebenen Entwicklungen zurückgegriffen, für „Technologie-Fokus“ auf die SSP 2-Entwicklungen und für „Unzureichender Klimaschutz“ auf die SSP 3-Entwicklungen.

Tabelle 1: Quantifizierung wesentlicher Rahmenbedingungen der drei Kontextszenarien.

Kontextszenario	„Nachhaltigkeit“	„Technologie-Fokus“	„Unzureichender Klimaschutz“
Zugrunde gelegte SSP-Storyline	SSP 1	SSP 2	SSP 3
Zugrunde gelegter RCP-Pfad	RCP1.9	RCP2.6	RCP6.0
Bevölkerungsentwicklung	Anstieg auf ca. 8,5 Milliarden bis 2050, danach beginnender Rückgang, etwas über 7 Milliarden im Jahr 2100 (KC and Lutz 2017).	Anstieg auf 9,2 Milliarden Menschen im Jahr 2050, nach 2070 langsamer Rückgang auf 9 Milliarden im Jahr 2100 (KC and Lutz 2017).	Starker weiterer Bevölkerungsanstieg auf knapp 10 Milliarden im Jahr 2050, mit auch danach weiterem Anstieg (12,6 Mrd. im Jahr 2100) (KC and Lutz 2017).
Wirtschaftsentwicklung	Produktivitätszuwachs (engl. „total factor productivity“, TFP) ca. 1 % pro Jahr, langsame stetige Abschwächung des globalen Wirtschaftswachstums (BIP) von zunächst jährlich 4 % auf ca. 2,5 % im Jahr 2050; Durchschnittliches globales pro-Kopf-Einkommen im Jahr 2050 ca. 33.000 US-\$, gegenüber ca. 11.000 US-\$ im Jahr 2015 (Dellink et al. 2017). Ökonomische Ungleichheit geht von einem Gini-Index von aktuell ca. 0,6 stark zurück und erreicht etwa 0,34 im Jahr 2050 (Dellink et al. 2017).	Produktivitätszuwachs ca. 1,1 % pro Jahr, stetige Abschwächung des globalen Wirtschaftswachstums (BIP) von zunächst jährlich 4 % auf ca. 2 % im Jahr 2050; Durchschnittliches globales pro-Kopf-Einkommen im Jahr 2050 ca. 25.000 US-\$ (Dellink et al. 2017). Ökonomische Ungleichheit geht zurück, der Gini-Index erreicht 2050 etwa 0,43 (Dellink et al. 2017).	Produktivitätszuwachs ca. 0,6 % pro Jahr, schnelle Abschwächung des globalen Wirtschaftswachstums (BIP) von zunächst jährlich 4 % auf ca. 1 % bis 2050; Durchschnittliches globales pro-Kopf-Einkommen im Jahr 2050 ca. 18.000 US-\$ (Dellink et al. 2017). Ökonomische Ungleichheit geht kaum zurück, der Gini-Index liegt 2050 bei ca. 0,55 (Dellink et al. 2017).
Treibhausgasemissionen	In den Jahren bis 2040 fallen die globalen Emissionen drastisch ab, während Klimaneutralität erst nach 2050 erreicht wird. In der zweiten Jahrhunderthälfte ist	Negativemissionen ermöglichen Klimaneutralität in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ab ca. 2080 (Riahi et al. 2017)	Erst im Laufe der 2030er Jahre erreichen die globalen Treibhausgasemissionen ihren „Peak“; Treibhausgasneutralität wird auch zum Ende des Jahrhunderts noch nicht

Darstellung der drei ausgewählten Kontextszenarien

	es durch die Förderung natürlicher Senken und durch Direct Air Capture mit CO ₂ -Endlagerung (DAC+CCS) möglich, substantielle Negative-missionen zu erreichen.		erreicht (Riahi et al. 2017)
Endenergienachfrage	Die globale Endenergienachfrage liegt im Jahr 2050 etwa auf der gleichen Höhe wie im Jahr 2010, maximal 30 % höher (Rogelj et al. 2018).	Die globale Endenergienachfrage liegt im Jahr 2050 etwa 40 % höher als im Jahr 2010 (Bauer et al. 2017).	Die globale Endenergienachfrage liegt im Jahr 2050 etwa 50 bis 60 % höher als im Jahr 2010 (Bauer et al. 2017).
Stahlnachfrage und Anteil an Stahlschrott an der Rohstahlerzeugung	Der globale Rohstahlbedarf kann durch Maßnahmen zur intensiveren Nutzung von Produkten und Designänderungen etwa auf heutigem Niveau stabilisiert werden (angelehnt an Grubler et al. 2018). Starke Anstrengungen zur Steigerung der Recyclingrate erhöhen den Anteil von Stahlschrott an der Rohstahlerzeugung von knapp 36 % im Jahr 2017 (BIR 2018) auf 65 % im Jahr 2050.	Der globale Rohstahlbedarf steigt von 1670 Millionen Tonnen (Mt) im Jahr 2014 auf 2170 Mt im Jahr 2050 (IEA 2017). Der Anteil von Stahlschrott an der Rohstahlerzeugung steigt von knapp 36 % im Jahr 2017 (BIR 2018) auf 50 % im Jahr 2050.	Der globale Rohstahlbedarf steigt von 1670 Mt im Jahr 2014 auf 2170 Mt im Jahr 2050 (IEA 2017). Der Anteil von Stahlschrott an der Rohstahlerzeugung steigt von knapp 36 % im Jahr 2017 (BIR 2018) auf 50 % im Jahr 2050.
Nachfrage nach hochwertigen Chemikalien („high value chemicals“, HVC)	Die globale Nachfrage nach HVC steigt von 337 Mt im Jahr 2014 auf 553 Mt im Jahr 2050 (IEA 2017). Starke Bemühungen zur Weiterentwicklung von chemischem Recycling und zum Aufbau entsprechender Anlagen erhöht die globale Recyclingrate deutlich.	Die globale Nachfrage nach HVC steigt von 337 Mt im Jahr 2014 auf 623 Mt im Jahr 2050 (IEA 2017).	Die globale Nachfrage nach HVC steigt von 337 Mt im Jahr 2014 auf 623 Mt im Jahr 2050 (IEA 2017).

5 Fazit: Mögliche Nutzung der Kontextszenarien im Rahmen des Projekts SCI4climate.NRW

Im laufenden Forschungsprojekt SCI4climate.NRW wird zunächst ein ähnliches Vorgehen wie in der Studie des BDI (Gerbert et al. 2018) gewählt, d. h. es werden zunächst ohne explizite Berücksichtigung möglicher unterschiedlicher sozioökonomischer globaler Entwicklungen Szenarien für NRW und Deutschland erarbeitet. Anschließend wird diskutiert, welche Konsequenzen sich je nach globalen Entwicklungen für die einzelnen Szenarien ergeben würden bzw. ob bestimmte Szenarien mit bestimmten globalen Entwicklungen nicht oder kaum bzw. nur unter bestimmten Voraussetzungen in Einklang zu bringen wären. Dabei wird jedoch bezüglich der möglichen zukünftigen globalen Entwicklungen mit den drei in diesem Bericht skizzierten Kontextszenarien ein breiteres Möglichkeitsfenster aufgemacht als in der Studie von Gerbert et al. (2018).

In einem späteren Verlauf des Projektes ist es aber auch möglich, dass ausgehend von bestimmten globalen sozioökonomischen und klimapolitischen Entwicklungen (also in der in diesem Projekt verwendeten Begrifflichkeit „Kontextszenarien“) jeweils „passgenaue“ bzw. besonders gut kompatible Szenarien für NRW und Deutschland entwickelt werden.

Neben der Nutzung der Kontextszenarien für die Bewertung und ggf. Entwicklung von Szenarien für NRW und Deutschland sind auch weitere Einsatzbereiche im Rahmen des Projekts IN4climate.NRW denkbar. So könnten beispielsweise technologiespezifische Analysen in Themenfeld 1 oder Themenfeld 2 für eine Abschätzung möglicher zukünftiger Kostenentwicklungen auf Lernraten zurückgreifen und die dafür benötigten Annahmen zum zukünftigen globalen Ausbau einzelner Technologien anhand der Storylines der Kontextszenarien abschätzen. Ebenfalls ist vorstellbar, dass Themenfeld 4 bei der Diskussion passender politischer Rahmenbedingungen und Maßnahmen berücksichtigt, dass unterschiedliche globale Entwicklungen Rückwirkungen auf die Anwendbarkeit bzw. Vorteilhaftigkeit einzelner Politikinstrumente haben könnten.

Es ist denkbar, dass einzelne Forschungsfragen im Projekt SCI4climate.NRW, für die auf die hier entwickelten Kontextszenarien zurückgegriffen wird, weitere bzw. detailliertere (v. a. quantitative) Informationen über globale Entwicklungen in den einzelnen Szenarien benötigen werden. In diesem Fall könnte sowohl Themenfeld 3 als auch das Themenfeld, das die entsprechende Forschungsfrage bearbeitet, auf Grundlage der Storylines der Szenarien genauere Abschätzungen der entsprechenden Entwicklungen treffen.

Im weiteren Projektverlauf soll auf jeden Fall geprüft werden, ob es sinnvoll ist, zusätzliche Kontextszenarien bzw. Varianten der drei bestehenden Kontextszenarien zu erstellen.

Literaturverzeichnis

- Bauer, N.; Calvin, K.; Emmerling, J.; Fricko, O.; Fujimori, S.; Hilaire, J.; et al. (2017): Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector – Quantifying the Narratives. *Global Environmental Change* 42316–330. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.07.006.
- BIR (2018): World Steel Recycling in Figures 2013 – 2017; Steel Scrap – a Raw Material for Steelmaking. https://www.bdsv.org/fileadmin/user_upload/180222-Ferrous-report-2017-V07.pdf
- Bründlinger, T.; König, J. E.; Frank, O.; Gründig, D.; Jugel, C.; Kraft, P.; et al. (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. dena, ewi Energy Research & Scenarios gGmbH. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf.
- Dellink, R.; Chateau, J.; Lanzi, E.; Magné, B. (2017): Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change* 42200–214. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.06.004.
- Doelman, J. C.; Stehfest, E.; Tabeau, A.; van Meijl, H.; Lassaletta, L.; Gernaat, D. E. H. J.; et al. (2018): Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation. *Global Environmental Change* 48119–135. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014.
- Fricko, O.; Havlik, P.; Rogelj, J.; Klimont, Z.; Gusti, M.; Johnson, N.; et al. (2017): The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change* 42251–267. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004.
- Gerbert, P.; Herhold, P.; Burchardt, J.; Schönberger, S.; Rechenmacher, F.; Kirchner, A.; Kemmler, A.; Wunsch, M. (2018): Klimapfade für Deutschland. The Boston Consulting Group (BCG), Prognos, für den Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI).
- Gidden, M. J.; Riahi, K.; Smith, S. J.; Fujimori, S.; Luderer, G.; Kriegler, E.; et al. (2019): Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development* 12(4)1443–1475. doi: 10.5194/gmd-12-1443-2019.
- Grubler, A.; Wilson, C.; Bento, N.; Boza-Kiss, B.; Krey, V.; McCollum, D. L.; et al. (2018): A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy* 3(6)515. doi: 10.1038/s41560-018-0172-6.
- Hausfather, Z. (2018): Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>.
- IEA (2017): Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations. International Energy Agency, OECD. doi: 10.1787/energy_tech-2017-en.
- IPCC (2018): Global warming of 1.5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>.
- KC, S.; Lutz, W. (2017): The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Global Environmental Change* 42181–192. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.

- Kriegler, E.; O'Neill, B. C.; Hallegatte, S.; Kram, T.; Lempert, R. J.; Moss, R. H.; Wilbanks, T. (2012): The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change* 22 (4) 807–822. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2012.05.005.
- Leggett, J., W.J. Pepper and R.J. Swart, (1992): Emissions Scenarios for IPCC: An Update. In: *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* [Houghton, J.T., B.A. Callander and S.K. Varney (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Leimbach, M.; Kriegler, E.; Roming, N.; Schwanitz, J. (2017): Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach. *Global Environmental Change* 42 215–225. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.02.005.
- Lenton, T. M.; Rockström, J.; Gaffney, O.; Rahmstorf, S.; Richardson, K.; Steffen, W.; Schellnhuber, H. J. (2019): Climate tipping points — too risky to bet against. *Nature* 575 (7784) 592–595. doi: 10.1038/d41586-019-03595-0.
- Material Economics (2019): *Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*. Material Economics; Wuppertal Institute; Institute of European Studies, Vrije Universiteit Brussel.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., et al. (2000): *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- O'Neill, B. C.; Kriegler, E.; Ebi, K. L.; Kemp-Benedict, E.; Riahi, K.; Rothman, D. S.; et al. (2017): The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change* 42 169–180. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004.
- O'Neill, B. C.; Kriegler, E.; Riahi, K.; Ebi, K. L.; Hallegatte, S.; Carter, T. R.; Mathur, R.; Vuuren, D. P. van (2014): A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122 (3) 387–400. doi: 10.1007/s10584-013-0905-2.
- Otto, I. M.; Donges, J. F.; Cremades, R.; Bhowmik, A.; Hewitt, R. J.; Lucht, W.; et al. (2020): Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117 (5) 2354–2365. doi: 10.1073/pnas.1900577117.
- Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. (2019): *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität*. RESCUE -Studie No. 36/2019. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf.
- Randers, J.; Rockström, J.; Stoknes, P. E.; Golüke, U.; Collste, D.; Cornell, S. (2018): *Transformation is feasible. How to achieve the Sustainable Development Goals within Planetary Boundaries*. A report to the Club of Rome, for its 50 years anniversary 17 October 2018. to the Club of Rome from Stockholm Resilience Centre and BI Norwegian Business School.

- Raskin, P.; Banuri, T.; Gallopín, G.; Gutman, P.; Hammond, A.; Kates, R.; Swart, R. (2002): Great transition: the promise and lure of the times ahead. A report of the Global Scenario Group. Boston: Stockholm Environment Institute.
- Riahi, K.; van Vuuren, D. P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B. C.; Fujimori, S.; et al. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* 42 (Supplement C) 153–168. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.
- Rogelj, J.; Huppmann, D.; Krey, V.; Riahi, K.; Clarke, L.; Gidden, M.; Nicholls, Z.; Meinshausen, M. (2019): A new scenario logic for the Paris Agreement long-term temperature goal. *Nature* 573 (7774) 357–363. doi: 10.1038/s41586-019-1541-4.
- Rogelj, J.; Popp, A.; Calvin, K. V.; Luderer, G.; Emmerling, J.; Gernaat, D.; et al. (2018a): Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. *Nature Climate Change* 8 (4) 325–332. doi: 10.1038/s41558-018-0091-3.
- Rogelj, J.; Shindell, D.; Jiang, K.; Fifita, S.; Forster, P.; Ginzburg, V.; et al. (2018b): Chapter 2, Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: IPCC (Ed.), *Global warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Rothman, D. S.; Agard, J.; Alcamo, J.; Alder, J.; Al-Zubari, W. K.; Beek, T. aus der; et al. (2007): The Future Today. United Nations Environment Programme, *Global Environment Outlook GEO 4 Environment for Development (Section E - The Outlook - Towards 2015 and Beyond, Chapter 9)* 397–454.
- Rudolph, F.; Koska, T.; Schneider, C. (2017): *Verkehrswende fuer Deutschland: Der Weg zu CO2-freier Mobilitaet bis 2035*. Wuppertal / Hamburg: Greenpeace / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Mobilitaetsszenario_2035_Langfassung.pdf.
- SRU (2020): *Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO₂-Budget*. Sachverständigenrat für Umweltfragen. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_02_Pariser_Klimaziele.html
- Steffen, W.; Rockström, J.; Richardson, K.; Lenton, T. M.; Folke, C.; Liverman, D.; et al. (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 201810141. doi: 10.1073/pnas.1810141115.
- Teske, S. (Ed.) (2019): *Achieving the Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5°C and +2°C*. Springer International Publishing. <https://www.springer.com/gp/book/9783030058425>.
- Turetsky, M. R.; Abbott, B. W.; Jones, M. C.; Anthony, K. W.; Olefeldt, D.; Schuur, E. A. G.; et al. (2019): Permafrost collapse is accelerating carbon release. *Nature* 569 (7754) 32–34. doi: 10.1038/d41586-019-01313-4.
- van Vuuren (2016): *Recent development in scenario analysis*. https://lcs-rnet.org/pdf/lcs_rnet_8th_presentations/PS1.1-1_Detlef%20van%20Vuuren.pdf.

van Vuuren, D. P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K.; et al. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109(1–2)5–31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.

van Vuuren, D. P.; Stehfest, E.; Gernaat, D. E. H. J.; Doelman, J. C.; van den Berg, M.; Harmsen, M.; et al. (2017): Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environmental Change* 42237–250. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008.

Zandersen, M.; Hyytiäinen, K.; Meier, H. E. M.; Tomczak, M. T.; Bauer, B.; Haapasaari, P. E.; et al. (2019): Shared socio-economic pathways extended for the Baltic Sea: exploring long-term environmental problems. *Regional Environmental Change* 19 (4) 1073–1086. doi: 10.1007/s10113-018-1453-0.