



HINTERGRUND // NOVEMBER 2019

Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität

Executive Summary der RESCUE-Studie

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

Autoren:

Jens Günther, Harry Lehmann, Philip Nuss und Katja Purr

Basierend auf

„Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie“

Redaktion:

Fachgebiet V1.2
„Strategien und Szenarien für Energie und Klima“
Katja Purr

Satz und Layout:

publicgarden GmbH, Berlin

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquelle: BigBoom / shutterstock

Stand: November 2019

ISSN 2363-829X0

HINTERGRUND // NOVEMBER 2019

**Wege in eine ressourcenschonende
Treibhausgasneutralität**

Executive Summary der RESCUE-Studie

Inhalt

1 Herausforderungen annehmen	6
2 Lösungsraum aufzeigen	9
3 Lösungsoptionen – Klimaschutz	11
4 Lösungsoptionen – Ressourcenschonung	15
5 Klimaschutz und Ressourcenschonung erfolgreich umsetzen	18
6 Quellenverzeichnis	23

1 Herausforderungen annehmen

Der Mensch ist zum wichtigen Einflussfaktor auf die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse der Erde geworden (Crutzen, 2006). Durch sein Handeln und Wirtschaften, durch Bergbau, Siedlungs- und Infrastrukturmaßnahmen sowie Land- und Forstwirtschaft beeinflusst der Mensch die Entwicklung der natürlichen Ökosysteme und Prozesse der Atmosphäre. Das bisherige globale Wachstum fußt auf der Nutzung natürlicher Ressourcen, wie fossile Energieträger und andere Rohstoffe, aber auch Land und Wasser. Diese Einflussnahme bedrohen zunehmend unsere Umwelt und Lebensgrundlage.

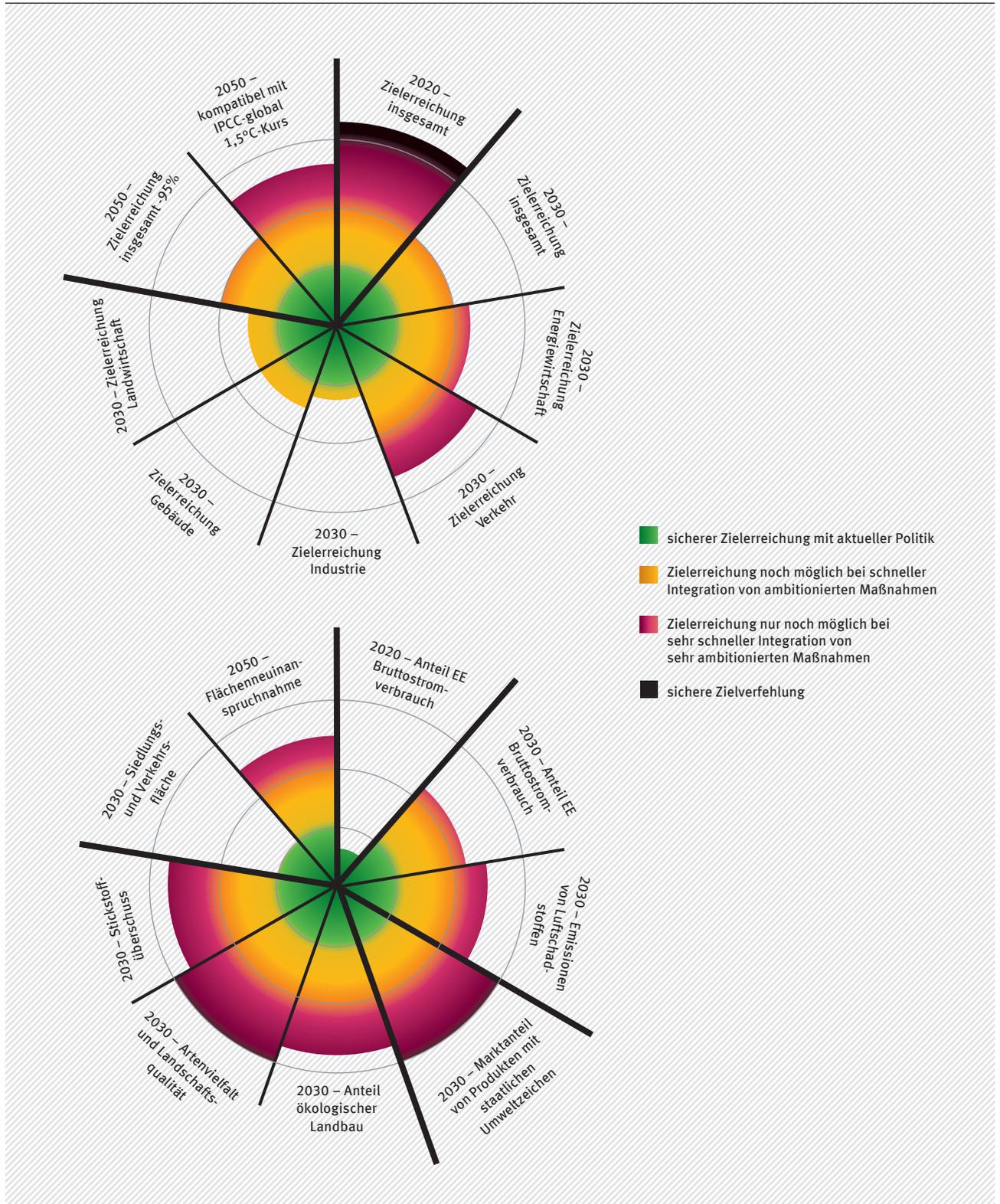
So steigt die Nutzung der natürlichen Ressourcen menschenverursacht kontinuierlich an und führt auf Dauer zu einem Überschreiten der planetaren Grenzen. **So ist die Rohstoffanspruchnahme (Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralien) von sechs Gigatonnen (Gt) im Jahr 1900 um das Fünffache auf rund 92 Gt in 2017 gestiegen (UNEP, 2017, 2019).** Bei einer steigenden Weltbevölkerung könnte bis zum Jahr 2050 die Nachfrage nach Rohstoffen auf über 180 Gt ansteigen (Hatfield-Dodds et al., 2017). Der Abbau und die Verarbeitung von Rohstoffen verursacht momentan rund die Hälfte der weltweiten Treibhausgasemissionen sowie mehr als 90% des weltweiten Artensterbens und der Wasserknappheit (UNEP, 2019).

Die globalen Treibhausgasemissionen steigen trotz wachsender Klimaschutzmaßnahmen weiter an. So lagen 2017 die fossilen CO₂-Emissionen weltweit mit 37 Gt rund 63% über denen von 1990 (EK, 2019). Hauptverursacher ist dabei die Nutzung fossiler Energieträger die neben den obenstehenden Wirkungen zur Primärrohstoffanspruchnahme Folgen für die natürlichen Prozesse in der Atmosphäre hat. So führt der Anstieg der Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre zu einem Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur. Im Jahr 2016 waren die Temperaturen im Mittel um 1,1 °C höher als im vorindustriellen Zeitalter (WMO, 2017). **Die Folgen wirken auf alle natürlichen Ökosysteme und betreffen auch die Verfügbarkeit der natürlichen Ressourcen, wie Fläche und Wasser, sowie die biologische Vielfalt.**

Um diesen Herausforderungen entgegenzutreten hat die Bundesregierung sich verschiedene Klima- und Umweltziele gesetzt. Mit dem Klimaschutzplan wurden bis 2030 sektorale Beiträge zur Treibhausgasminderung und das übergreifende Handlungsziel einer „weitgehende Treibhausgasneutralität“ für Deutschland bis 2050 definiert. Gleichwohl wurde selbst im Kontext der internationalen Verpflichtungen von Paris der Zielkorridor aus dem Jahr 2010 einer Treibhausgasminderung um 80 bis 95 % gegenüber 1990 bestätigt. Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris (ÜvP) haben sich nach aktuellem Stand (UNFCCC, 2019) 185 von 196 Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention verpflichtet, gemeinsam die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, den Temperaturanstieg bereits bei 1,5 °C zu stoppen (UNFCCC, 2015). Mit den im September 2019 vorgelegten „Eckpunkten für das Klimaschutzprogramm 2030“ (Bundesregierung, 2019) legt die Bundesregierung „Treibhausgasneutralität“ für Deutschland bis 2050 als neues Umwelthandlungsziel fest und zeigt auf, wie die Ziele 2030 erreicht werden sollen. Eine Ambitionssteigerung für den Zeithorizont 2030 wird indes nicht vorgenommen. **Ambitionierte Klimaziele, die einen angemessenen Beitrag zum ÜvP leisten, sind nur noch durch ein deutliches und schnelles Handeln realisierbar**, wie Abbildung 1 zeigt. **Auch andere Klima- und Umweltziele der Bundesregierung sind nur bei gesteigertem Ambitionsniveau erreichbar**, wie die Reduktion der Flächenneversiegelung, welche bis 2050 bei Netto Null liegen soll. Bei der Ressourcenpolitik, wo als Leitindikator die „Gesamtrohstoffproduktivität“ definiert ist und Deutschlands Fortschritt im sparsamen und effizienten Einsatz von Rohstoffen darstellt, ist eine Zielerreichung gewährleistet. Das Ziel der Bundesregierung ist es, die Gesamtrohstoffproduktivität weiter um durchschnittlich 1,5 % pro Jahr von 2010 bis 2030 zu erhöhen. Der durchschnittliche Anstieg liegt aktuell mit 1,9 % über diesem Ziel. Gleichwohl steigt die Primärrohstoffanspruchnahme durch das derzeitige Wirtschaften stetig an.

Abbildung 1

Qualitative Einschätzung zur Erreichbarkeit von Klima- und Umweltzielen



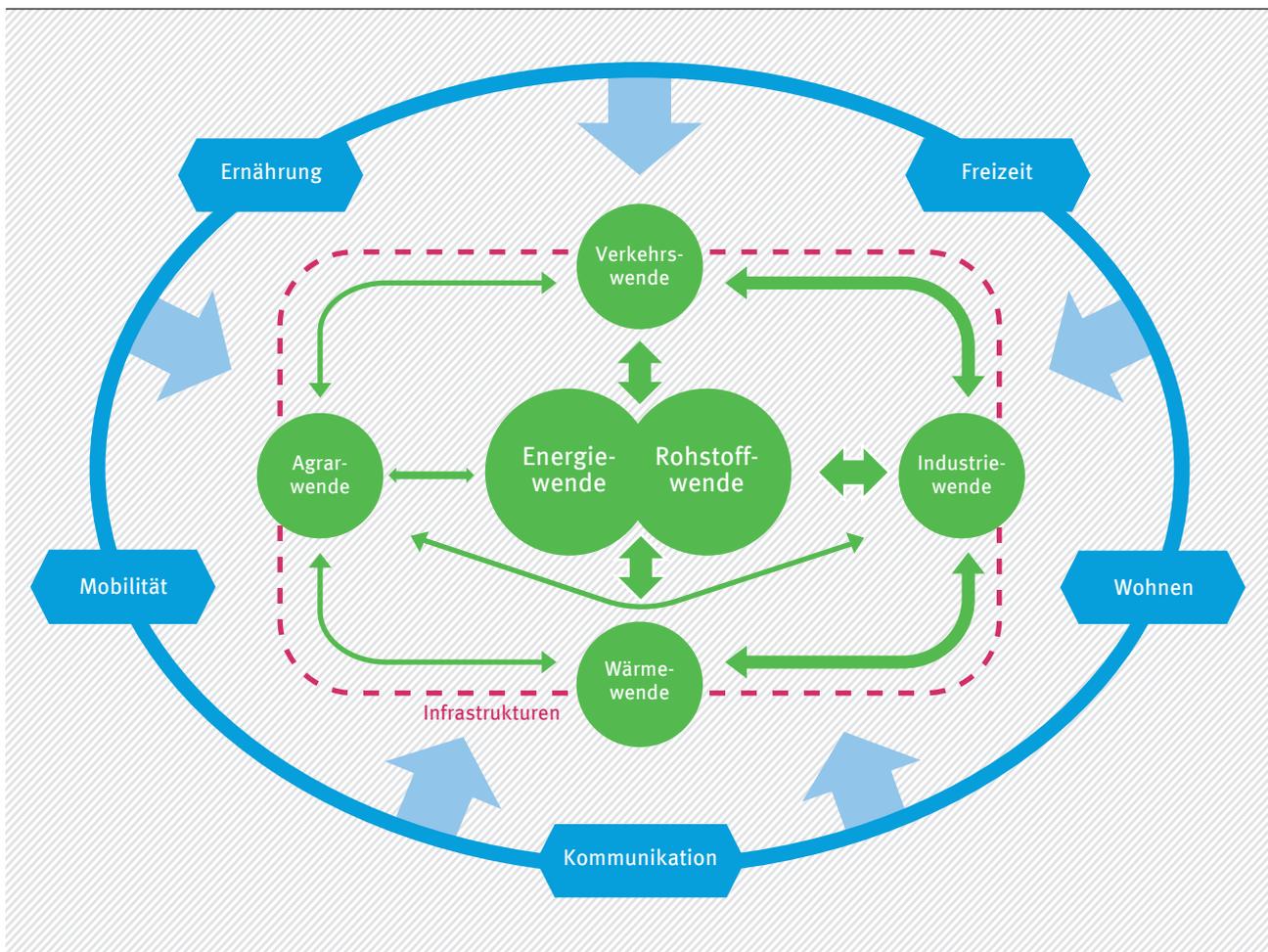
Quelle: Umweltbundesamt; eigene Einschätzung sowie auf Basis von Statistisches Bundesamt, 2018

Eine grundlegende Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung, die bereits die erforderlichen Anpassungen an den Klimawandel berücksichtigt, ist dringend erforderlich. Dabei sind alle Bereiche unseres täglichen Handelns und Wirtschaften betroffen und über diverse Wechselwirkungen mit einander verknüpft, siehe Abbildung 2. In besonderer Weise ist die Umstrukturierung der Energieversorgung (Energiewende) und das Umdenken bei der Primärrohstoffanspruchnahme hin zu einem geringeren „Rohstoffabdruck Deutschlands“ (Rohstoffwende) mit den Anpassungen der

Anwendungsbereiche und umgekehrt verknüpft. Insgesamt muss die Transformation in allen Bereichen unter Aspekten des Klima- und Ressourcenschutzes Hand in Hand gehen. Dabei ist die richtige Balance zwischen Klimaschutz und Ressourcenschonung hinsichtlich der Ausbaugeschwindigkeit zu finden, um eventuell Rohstoffbedarfsspitzen und kumulierten Treibhausgasemissionen zu minimieren und gleichzeitig die richtigen Anreize zu setzen, um die langfristige Wirkung von Maßnahmen und Einsatzbereitschaft von Techniken sowie die dafür erforderlichen Infrastrukturen zu gewährleisten.

Abbildung 2

Schematische Darstellung des gemeinschaftlichen Transformationspfades



Quelle: Umweltbundesamt

2 Lösungsraum aufzeigen

Um Lösungen für diese Herausforderungen mit komplexen und dynamischen Wechselwirkungen nahezu kommen, werden Szenarienstudien entwickelt. Diese ermöglichen verschiedene mögliche „Zukünfte“ und Wege dorthin zu analysieren und spannen so einen Lösungsraum für eine nachhaltige Transformation auf. In der **RESCUE-Studie** „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität“ (UBA, 2019) wurden sechs verschiedene Szenarien zur Beschreibung der Lösungs- und Handlungsspielräume für den Weg in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2050 betrachtet. Dabei wird Deutschland nicht isoliert betrachtet, sondern eingebettet in die Europäische Union und die Welt, als produzierender Industriestandort im globalen Handel mit einer modernen leistungsfähigen Gesellschaft. Klimaschutz, Dekarbonisierung, Energieeinsparung und mehr Ressourcenschutz als gemeinschaftliches Verständnis charakterisieren den erforderlichen gesellschaftlichen und industriellen Wandel. Allen Szenarien ist gemein, dass sie für Deutschland eine Treibhausgasreduzierung bis 2050 von mindestens 95 % und bis 2030 von mindestens 55 % gegenüber 1990 vorsehen. Dabei wird bei den entwickelten Treibhausgasreduzierungsstrategien jeweils ein Mix aus Vermeidung, Substitution und der Nutzung natürlicher Senken verfolgt.

Zum Überblick sind die charakteristischen Eigenschaften der sechs Szenarien in Abbildung 3 zusammenfassend dargestellt.

Die Szenarien **GreenEe1** und **GreenLate** charakterisieren insgesamt steigende Produktionskapazitäten und weiterhin eine auf Exporte orientierte Produktion in Deutschland. Sie unterscheiden sich jedoch deutlich im Ambitionsniveau zur Treibhausgasreduzierung im Transformationspfad sowie zur Energie- und Materialeffizienzsteigerung. So werden in **GreenLate** auch langfristig konventionelle Techniken, wie Verbrennungsmotoren im Schwerlasttransport oder Gasverbrennungstechniken, eingesetzt und die systemisch energetisch effizienten Techniken, wie Elektromobilität und Power to Heat, sind weniger integriert. Wesentliches Charakteristikum von **GreenLate** ist auch, dass zwar 2030 eine Treibhausgasreduzierung

um 55 % gegenüber 1990 erreicht wird, aber erst in der Dekade nach 2040 eine erneute deutliche Steigerung der Klimaschutzmaßnahmen und Techninnovationen erfolgt, um die Treibhausgasreduzierung um mindestens 95 % bis 2050 sicher zu erreichen. **GreenLate** stellt damit ein Szenario der geringen „Elektrifizierung“ und des „verspäteten Handelns“ bei Innovationen und Umsetzung dar. Bezüglich der Treibhausgasreduzierung liegt **GreenLate** am ambitionierten Rand des Zielkorridors der Bundesregierung, also Reduzierung um 55 % bis 2030, 70 % bis 2040 und 95 % bis 2050.

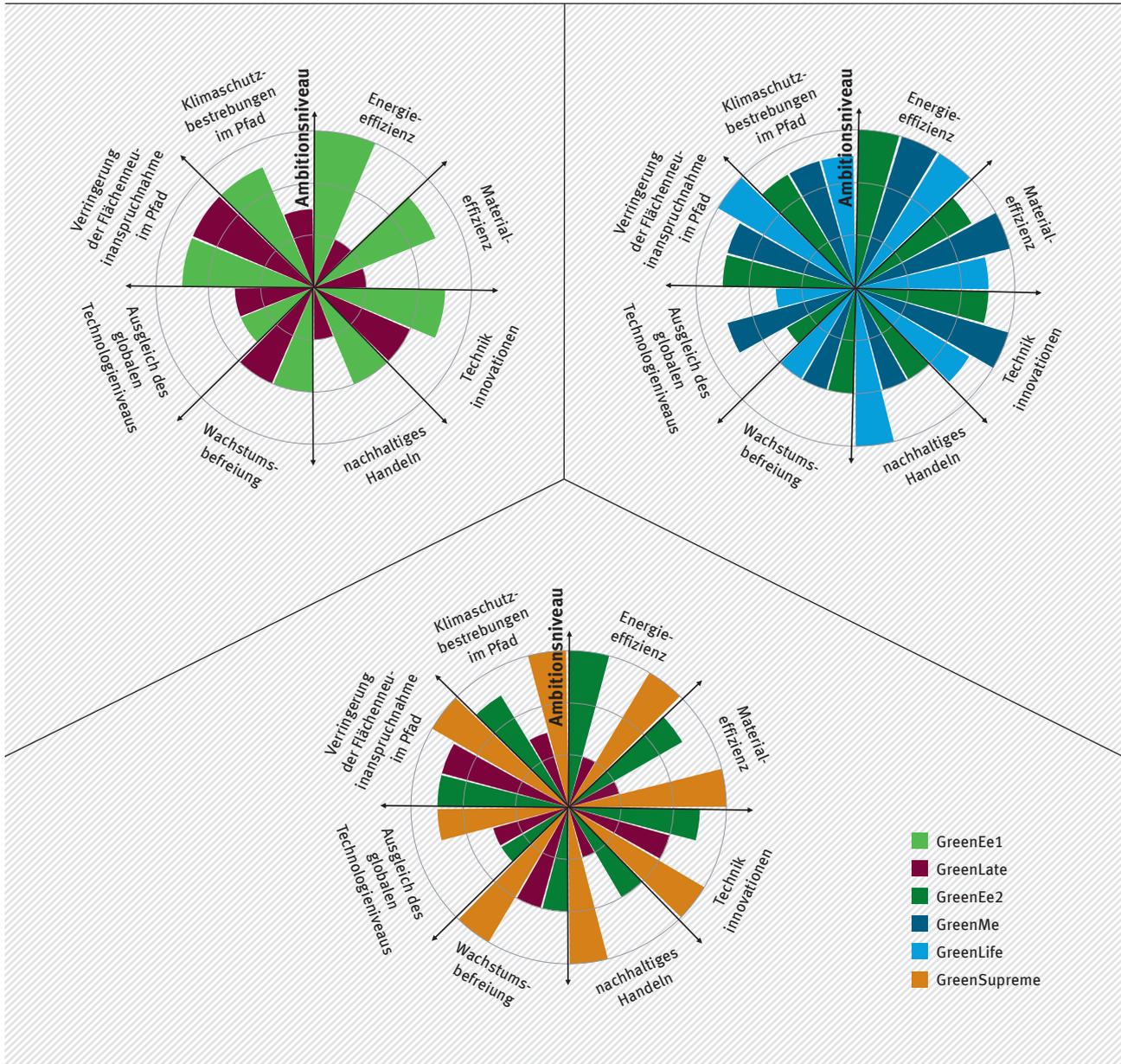
Bei einer ausgeglicheneren Handelsbilanz werden in **GreenEe2**, **GreenMe** und **GreenLife**, die Einflüsse technischer Klimaschutz- und Rohstoffeffizienzmaßnahmen sowie Änderungen der Lebensweise auf den möglichen Transformationspfad dargestellt. **GreenEe2** fokussiert wie **GreenEe1** auf hohe technische Innovationen, Integration effizienter Sektorkopplungstechniken und dem Heben von Energieeffizienzpotentialen.

Im **GreenMe**-Szenario wird davon ausgegangen, dass sich das Technikniveau der Welt durch Wissens- und Technologietransfer schnell entwickelt und im Jahr 2050 dem Stand in Deutschland und Europa entspricht. In den anderen Szenarien wird hingegen davon ausgegangen, dass das Technikniveau sich global zwar deutlich angleicht aber dennoch im Jahr 2050 etwa 10 Jahre Unterschied zwischen heutigen Entwicklungs- und Industrieländern besteht. Zu dem hohen Ambitionsniveau bei der Energieeffizienz kommt in **GreenMe** eine weitere Steigerung der Materialeffizienz und Rohstoffeinsparung. **GreenLife** charakterisiert ein deutlich nachhaltigeres Handeln in der Gesellschaft, zum Beispiel eine gesündere, fleischarmere Ernährung und die Nutzung reparaturfähiger, rohstoffsparender Produkte.

Das **GreenSupreme-Szenario** vereinigt alle vorteilhaften Innovationen, technischen Maßnahmen sowie Lebensweisen. Zusätzlich erfolgt die Integration und Umsetzung dieser Maßnahmen deutlich schneller als in den anderen Szenarien, um so die kumulierten Emissionen zu reduzieren und einen

Abbildung 3

Überblick über die charakteristischen Einflussfaktoren der Green-Szenarien



Quelle: Umweltbundesamt

für den internationalen Klimaschutz wichtigen Beitrag zu gewährleisten. So wird nicht nur kurzfristig der Ausstieg aus der Kohleverstromung, sondern auch der Ausstieg der generellen Kohlenutzung eingeleitet. 2030 erfolgt bereits keine Verstromung von Kohle mehr und bis 2040 ist der vollständige Ausstieg aus der Kohlenutzung realisiert. Auch wird

im Unterschied zu allen anderen Szenarien eine stärkere Wachstumsbefreiung¹ der Gesamtwirtschaft angenommen.

¹ In GreenSupreme findet ab 2030 in Deutschland, wie im heutigen Japan, zwar ein durchschnittliches Null-Wachstum der Gesamtwirtschaft statt, gleichwohl steigt das Pro-Kopf Bruttoinlandsprodukt im Vergleich zu heute weiter an.

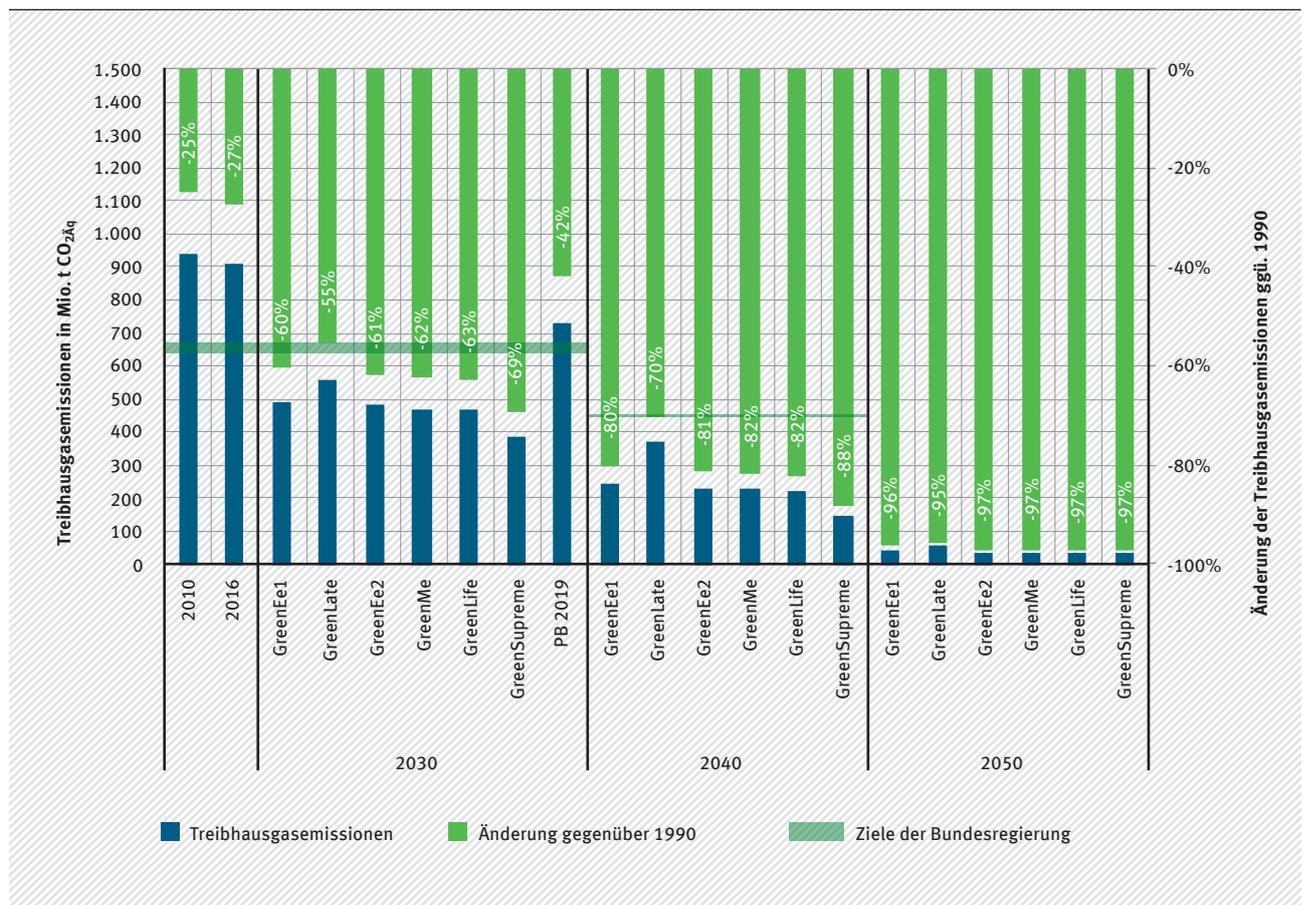
3 Lösungsoptionen – Klimaschutz

Die Green-Szenarien fokussieren die weitestgehende Treibhausgasneutralität oder Treibhausgasneutralität bis 2050 und spannen insbesondere im Transformationspfad dorthin einen Lösungsraum über alle Emissionsquellgruppen auf. **Trotz der Verfehlung einzelner sektoraler Ziele des Klimaschutzplans ist das Gesamtminierungsziel bis 2030 in allen Green-Szenarien sicher gewährleistet.** Anschließend das GreenLate-Szenario bleibt mit einer Minderung um 55 % gegenüber 1990 bis 2030 im Zielbereich des Klimaschutzplans (KSP). Die anderen Szenarien gehen deutlich darüber hinaus. GreenEe1 erreicht 60% und GreenEe2, GreenMe sowie GreenLife liegen in einem engen Bereich von 61 bis 63 % Treibhausgasminderung gegenüber 1990. GreenSupreme

weist mit dem Anspruch einer schnellen Treibhausgasminderung, um die von Menschen verursachten kumulierten Emissionen in der Atmosphäre effektiv zu begrenzen, bereits 2030 eine Reduktion von 69 % auf. **Dominiert werden die Minderungen bis 2030 durch den eingeleiteten und in GreenSupreme den vollzogenen Ausstieg aus der Kohlenutzung zur Stromversorgung.** Das sektorale KSP-Ziel für die Energiewirtschaft wird in allen Green-Szenarien 2030 sicher erreicht und übertroffen. Auch die sektoralen Ziele in der Industrie und Landwirtschaft werden in allen Szenarien sicher erreicht. Vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der energetischen Biomassenutzung und dem schnellen Verzicht auf dezentrale Biomasseheizungsanlagen kann das Ziel im Sektor

Abbildung 4

Treibhausgasminderungen der Green-Szenarien bis 2050



Hinweis: Es werden nur die Treibhausgasemissionen dargestellt, die in den Zielen der Bundesregierung berücksichtigt werden. PB2019 - Projektionsbericht 2019.

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e und BMU, 2019

Gebäude nur in GreenSupreme erreicht werden. Bis spätestens 2035 erreichen jedoch alle Green-Szenarien auch mit dem Ausstiegspfad aus der dezentralen Biomassenutzung das sektorale Treibhausgasminde- rungsziel für 2030. Durch zögerndes Handeln ver- fehlt GreenLate im Sektor Verkehr bis 2030 deutlich das sektorale Klimaschutzziel. Die beiden GreenEe- Szenarien verfehlen nur knapp das sektorale Ziel im Verkehr, während GreenMe es sicher erreicht. Green- Life übertrifft mit 42 % und GreenSupreme mit einer Minderung von 51 % sogar die sektoralen Zielvorga- ben des Klimaschutzplans in 2030.

Insgesamt wird deutlich, dass ein gesteigertes Minderungsniveau gegenüber den Zielen der Bundesregierung in 2030 zwar unter hohen Anstrengungen, aber dennoch erreichbar ist.

Deutschland sollte daher im Kontext der internatio- nalen Verpflichtungen im Rahmen des Übereinkom- mens von Paris diese hohen Minderungsbeiträge auch anstreben.

Unter Berücksichtigung der auf die Ziele der Bundesregierung anrechenbaren Treibhausgas- emissionen erreichen die Green-Szenarien Minderungen bis 2050 von 95 % in GreenLate bis hin zu 97 % in GreenSupreme, siehe Abbil- dung 4. Dabei werden die energiebedingten Treibhausgasemissionen vollständig vermieden. Die gesamte Energieversorgung, also Strom-, Brenn-, Kraftstoff- und Rohstoffversorgung², basieren vollständig auf erneuerbaren Energien. Trotz gesünderer, fleischärmerer Ernährung und Re- duktion der Tierbestandzahlen in Deutschland wer- den die verbliebenen Treibhausgasemissionen zu 60 bis 67 % aus der Landwirtschaft verursacht. Auch in der Industrie können nach heutigem Kenntnisstand nicht alle rohstoffbedingten Treibhausgasemissionen vermieden werden. Im Jahr 2050 stammen noch zwi- schen 27 % (GreenSupreme) und 37 % (GreenLate) der Treibhausgasemissionen aus der Industrie. Hauptver- ursacher sind die Zement-, Kalk- und Glasindustrie.

Die Green-Szenarien zeigen, dass unterschiedliche Pfade zur Treibhausgasneutralität führen und damit im Laufe des Transformationspfades auch unter- schiedliche Treibhausgasemissionen in Summe anfallen. In GreenSupreme werden bis 2050 noch einmal knapp die Hälfte der seit 1990 bis 2015 emi- tierten Treibhausgasemissionen emittiert. **Insbe- sondere durch einen schnellen Ausstieg aus der Kohlenutzung, auch über die Stromversorgung hinaus, können die kumulierten Treibhausgas- emissionen begrenzt werden.**

Die Auswirkungen eines verzögerten Handelns werden mit GreenLate offenkundig. Zwar wird die weitestgehende Treibhausgasneutralität bis 2050 erreicht, aber auf dem Weg dahin werden etwa 37 % mehr Treibhausgasemissionen als in GreenSupreme ausgestoßen. Alle anderen Szenarien stoßen bereits vor 2040 so viele Treibhausgasemissionen aus, wie in GreenSupreme aufsummiert bis 2050 emittiert wer- den. **Geringe Verschärfungen der kurzfristigen Treibhausgasminde- rungsziele (2030) in Deutsch- land haben somit nur ungenügende Wirkung, um den nationalen Beitrag zu den globalen Heraus- forderungen der Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C gerecht zu werden. Es bedarf vielmehr schnelles und deutlich ambitioniertes Handeln.**

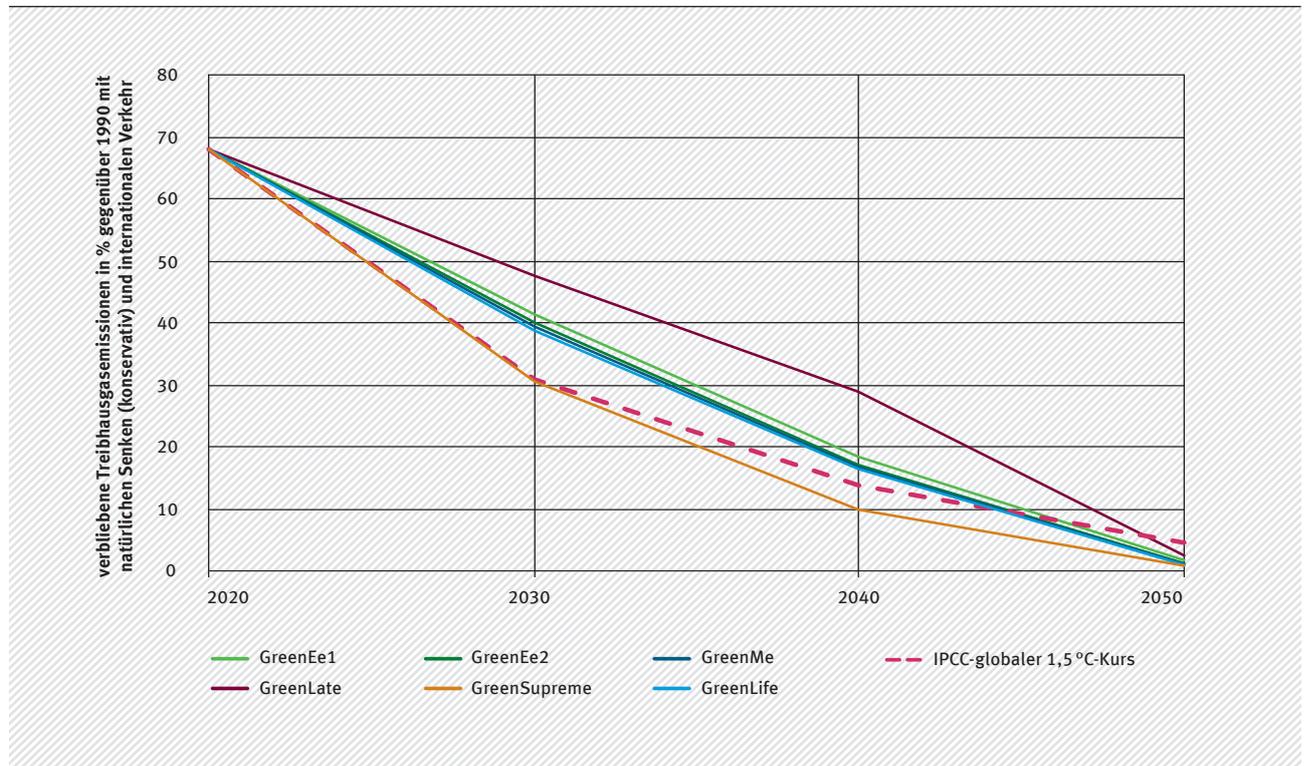
Weiterhin ist zu bedenken, dass die Treibhausgas- emissionen, welche auf die Ziele der Bundesregierung angerechnet werden, nur einen Teil der national verursachten Emissionen darstellen. Im Bereich der Landnutzung und Landnutzungsänderungen, Wald- bewirtschaftung und durch national verursachten internationalen Verkehre, entstehende Treibhausgas- emissionen sind gleichfalls zu berücksichtigen. Von besondere Bedeutung sind die natürlichen Senken in Verbindung mit einer nachhaltigen Waldbewirtschaf- tung, Holznutzung und Flächennutzung. Mit dem Verzicht der energetischen Nutzung von Waldrest- holz, den freiwerdenden³ Flächen durch Verzicht auf den Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung, freiwerdenden landwirtschaftlichen Flächen durch Reduktion der Tierbestandzahlen wird ergänzend

2 Mit letzterem ist der nicht-energetische Bedarf der chemischen Industrie gemeint.

3 Vereinfachender Begriff für Flächen, die vor einer Nutzungsänderung stehen.

Abbildung 5

Entwicklung der verbleibenden Treibhausgasemissionen der Green-Szenarien unter Berücksichtigung von LULUCF (konservativ) und den CO₂-Emissionen der international verursachten Verkehre



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e und IIASA, 2019

zur Waldbewirtschaftung die natürliche Kohlenstoffsenke gestärkt. In der vorliegenden Studie erfolgten keine Ökosystemberechnungen, so dass nur näherungsweise der Minderungsbeitrag ermittelt werden kann. Aus der Literatur wurde hierfür ein Korridor unter konservativen und optimistischen Annahmen für die Green-Szenarien aufgespannt. **Die Szenarien zeigen, dass durch die nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung die ambitionierten Szenarien GreenLife und GreenSupreme Netto-Null-Emissionen sicher erreichen können und selbst GreenLate diesem Anspruch nahe kommt. Für die Erreichung nationaler Treibhausgasneutralität ist somit kein CCS (Kohlenstoff-Abscheidung und Speicherung) erforderlich, sondern vielmehr das Stärken natürlicher Senken. Gleichzeitig können so Synergien zu anderen Umweltherausforderungen, wie dem Biodiversitätsschutz, erschlossen werden.**

Den internationalen Verpflichtungen am nächsten kommt das GreenSupreme-Szenario. Die Entwicklung der Green-Szenarien sind im Vergleich zu einem Durchschnittspfad (IPCC-globaler 1,5 °C-Kurs), der auf unterschiedlichen globalen 1,5 °C-Pfaden basiert, in Abbildung 5 zu sehen. Der IPCC-globale 1,5 °C-Kurs stellt einen durchschnittlichen Transformationspfad dar, auf den sich in Summe die Weltgemeinschaft und alle von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen ungefähr bewegen müssen. Er bedeutet nicht, dass jede einzelne Nation exakt diesen Pfad einhalten muss. Vor dem Hintergrund, dass der Wohlstand und die Wirtschaftsleistung Deutschlands auf treibhausgasintensiven Techniken und der Nutzung fossiler Energieträger beruht, sollte Deutschland einen entsprechend ambitionierten Beitrag zur Begrenzung der menschenverursachten Treibhausgasemissionen leisten. **Es ist erkenntlich, dass selbst die hohen Ambitionsannahmen in**

GreenEe1, GreenEe2, GreenMe und GreenLife nicht den Anforderungen dieses durchschnittlichen globalen 1,5 °C-Kurses nach IPCC genügen. GreenLate, welches auch die Ziele der Bundesregierung darstellt, wird den internationalen Verpflichtungen durch die nationalen Bestrebungen nicht gerecht. Es ist zu beachten, dass dieser globale 1,5 °C-Kurs jedoch in keiner Weise Erwägungen zu Fragen der globalen Gerechtigkeit abbildet. Mit dem Übereinkommen von Paris (ÜvP) besteht auch Einverständnis darüber, dass wohlhabende(re)n Ländern wie Deutschland eine besondere Bedeutung zufällt (vgl. Artikel 4 (1) ÜvP, UNFCCC, 2015). In der Literatur zeigen Studien z.B. (Climate Analytics, 2018; Höhne et al., 2019), dass unter Gerechtigkeitsaspekten Deutschland bereits vor 2035 Treibhausgasneutralität erreichen müsste. Die Bewertung und Festlegung eines gerechten Beitrags aller Länder bleibt weiterhin vornehmliche Aufgabe der Politik. **Um einem global**

angemessenen Beitrag Deutschlands so nah wie möglich zu kommen, sind über der umfassenden und schnellen Umsetzung von nationalen Klimaschutzmaßnahmen – wie in GreenSupreme dargestellt – hinaus eine ambitionierte internationale Kooperation, Finanzierung und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen außerhalb Deutschlands notwendig. Nicht zu vernachlässigen sind zudem weitere klimarelevante Emissionen die durch den Menschen verursacht werden, welche derzeit aus wissenschaftlicher Perspektive aber noch nicht genau quantifiziert werden können, bspw. die Nicht-CO₂-Effekte im Luftverkehr. **Daher ist allein aus dem Vorsorgeprinzip heraus ein schnelles Handeln in allen Bereichen erforderlich, um annähernd den globalen Herausforderungen für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C gerecht zu werden.**

4 Lösungsoptionen – Ressourcenschonung

Die Transformation hin zu einem treibhausgasneutralen Deutschland hat erhebliche Auswirkungen auf Deutschlands **Rohstoffinanspruchnahme** (Biomasse, fossile Energieträger, nicht-metallische Mineralien und Metalle). Diese wird in der RESCUE-Studie schwerpunktmäßig durch den **Indikator RMC (Raw Material Consumption)**⁴ betrachtet, **welcher die Primärrohstoffnutzung für den inländischen Konsum und die Investitionen („Primärrohstoffkonsum“) abbildet**. Wichtige Faktoren zur Reduktion des RMC umfassen u.a. die vollständige Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbaren Energien und dem damit verbundenen Wegfall der Nachfrage nach fossilen Energieträgern. Weitere wichtige Faktoren sind die Reduktion der Ausweisung von Siedlungsflächen, Energieeinsparungen, der verstärkte Einsatz von Sekundärrohstoffen, die Optimierung von Verarbeitungsprozessen durch Materialsubstitutionen und Materialeffizienzsteigerungen sowie Lebensstiländerungen. In allen Szenarien wird eine Erhöhung der Materialeffizienz und Entwicklung des technologischen Stands in und außerhalb Europas angenommen.

Im Ausgangsjahr 2010 liegt Deutschlands Primärrohstoffkonsum (RMC) inklusive Vorleistungen im Ausland bei 1,37 Mrd. t und wird mengenmäßig dominiert durch nicht-metallische Mineralien und fossile Rohstoffe, wie in Abbildung 6 zu sehen ist.

Mit dem Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger, geht in allen Szenarien anteilig die größte Reduktion des Rohstoffbedarfs einher.

Bereits im GreenLate-Szenario finden, mit einer Verzögerung im Vergleich zu den anderen Szenarien, über alle Anwendungsbereiche hinweg auch eine kontinuierliche Fortsetzung einer ambitionierten Ressourcenschonungspolitik inkl. eines verstärkten Einsatzes von Sekundärrohstoffen und Materialsubstitution sowie erste Umstellungen hin zu nachhaltigeren

Lebensstilen⁵ statt. Dies führt bereits zu einem **Rückgang im RMC bis 2050 um -56 % im Vergleich zu 2010**.

In den beiden **GreenEe-Szenarien** findet, mit einem Fokus auf Energieeffizienz und ergänzt um weitere Aspekte nachhaltiger Lebensstile⁶, ein **Rückgang im RMC um rund 61 % bis 62 % bis 2050** statt. **Zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Materialeffizienz (GreenMe)** haben das Potential, den **Materialkonsum um insgesamt -68 % zu senken**. Dies beinhalten u.a. die Ausschöpfung des ökologisch-technischen Recyclingpotenzials, eine deutlich ausgeprägtere Materialsubstitution im Vergleich zu GreenLate, den Einsatz innovativer Materialien wie Textilbeton sowie verstärkter Holzbau. Zusätzlich wird angenommen, dass auch global zusätzliche Anstrengungen zur Erhöhung der Materialeffizienz analog zu Deutschland getroffen werden und sich somit auch in den mit den Importen verbundenen Produkten eine ambitionierte Ressourcenschonungspolitik niederschlägt.

Darüber hinausgehende Lebensstiländerungen, wie raumeffizientes Bauen und damit einhergehend eine gegenüber heute reduzierte Pro-Kopf-Wohnfläche, die Bevorzugung langlebiger und reparaturfähiger Produkte sowie die hauptsächliche Nutzung von Gütern im Rahmen von Sharingangeboten (**GreenLife**) **führen zu einer Reduktion des RMC um -63 % im Vergleich zu 2010**. Weiterhin wird im **GreenSupreme-Szenario** durch einen **schnelleren und noch ambitionierteren Umbau des Energiesystems verbunden mit einer Befreiung vom Wirtschaftswachstum, eine Reduktion des Materialkonsums um -70 % bis 2050 erreicht**.

Die kontinuierliche Abnahme des RMC führt trotz der Annahme eines weiteren Wirtschaftswachstums von jährlich 0,7 % (alle Szenarien bis auf

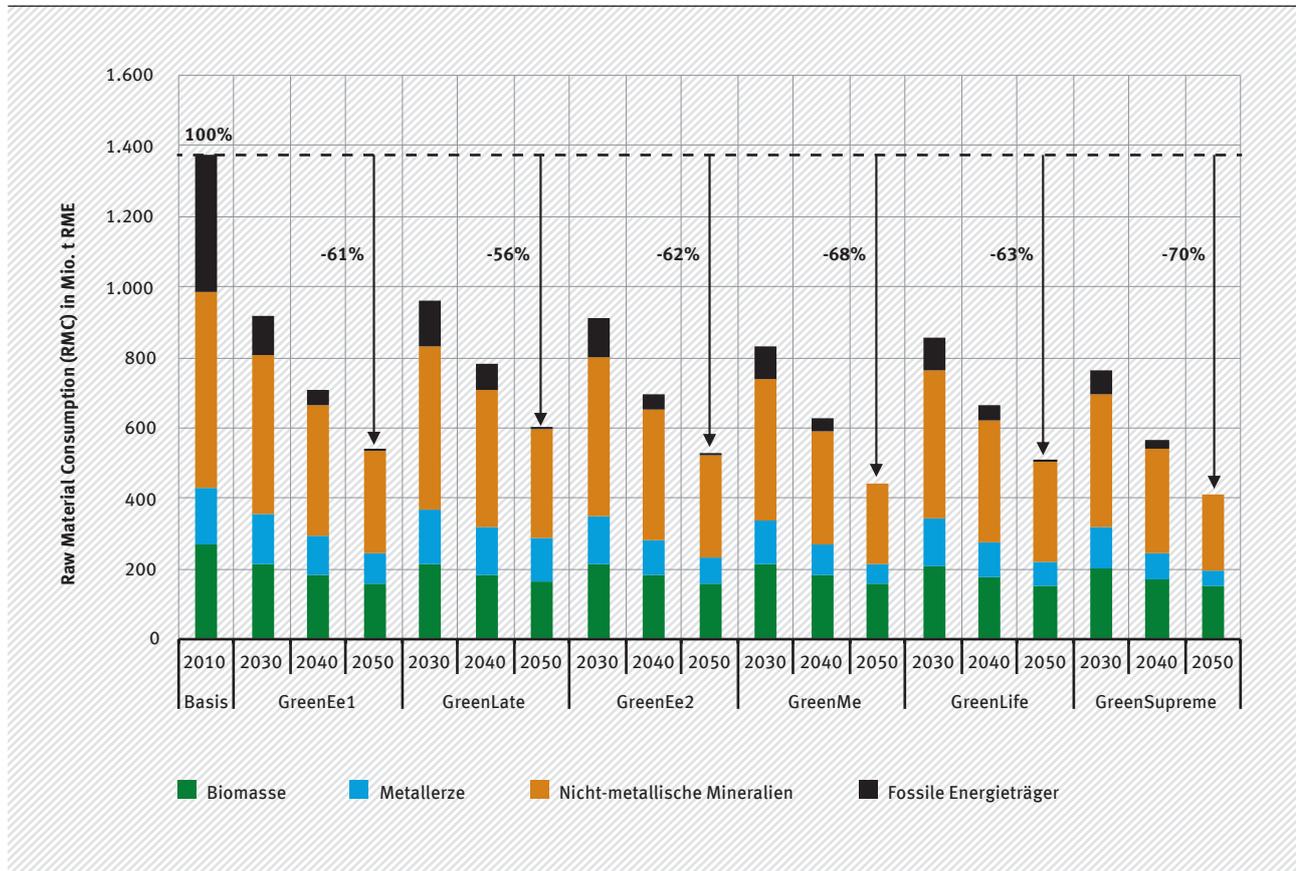
4 RMC (Raw Material Consumption) setzt sich zusammen aus der inländischen Rohstoffentnahme und den Importen abzüglich der Rohstoffe, die für die Herstellung exportierter Güter verwendet werden. Um die indirekten Importe („Rohstoff-Äquivalente“ (engl. „Raw Material Equivalents“ (RME)) zu berechnen, werden die Input-Output-Tabellen des URMOD-Modells inkl. Daten zu Im- und Exporten der deutschen Volkswirtschaft herangezogen. RME berücksichtigen alle Rohstoffe, die im In- und Ausland zur Erzeugung der Güter genutzt wurden.

5 Da im GreenLate-Szenario der Fokus auf technischen Maßnahmen liegt, sind nur einige Aspekte nachhaltigerer Lebensstile in diesem Szenario einbezogen, insbesondere die Reduktion des Fleischkonsums und die Ansätze zur Verkehrswende durch Vermeidung und Verlagerung. Diese finden allerdings aufgrund einer späteren Umstellung zeitverzögert im Vergleich zu den anderen Green-Szenarien statt.

6 Hierzu zählt beispielsweise auch die im Vergleich zu GreenLate geringere Wohnfläche oder eine stärkere Änderung des persönlichen Mobilitätsverhaltens.

Abbildung 6

Primärrohstoffkonsum (RMC) nach Rohstoffkategorien in den Green-Szenarien



Hinweis: Berechnung in Rohstoffäquivalenten (RME).

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e

GreenSupreme ab 2030⁷⁾ zu einer **Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität⁸⁾, welche mit durchschnittlich 2,3 % bis 3,0 % pro Jahr über alle Szenarien hinweg über den Zielvorgaben beispielsweise von ProgRess II (BMUB, 2016) und der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, 2018) liegt.**

Der Einsatz von **nichtmetallischen Mineralien** (Sand, Kies, Kalkstein, etc.) sinkt in allen Szenarien

bis 2050. Insbesondere die Annahmen zur Entwicklung der Wohnfläche und die Erreichung des Ziels der Bundesregierung zur Reduktion der Flächenneuinanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr auf 0 ha/Tag bis 2050 (BMU, 2016) führen in allen Green-Szenarien zu einer Reduktion des Bedarfs an nicht-metallischen Mineralien. Ebenso sind die szenariospezifischen Annahmen zum Sekundärrohstoffeinsatz, zur Materialsubstitution (z.B. verstärkter Holzeinsatz und Textilbeton in GreenMe und GreenSupreme) und zur Materialeffizienzsteigerung von Bedeutung.

Umstellungen der Ernährung, insbesondere der verringerte Fleischkonsum in Verbindung mit einem reduzierten Tierbestand, sowie eine leichte Abnahme der Bevölkerung und der Verzicht auf den Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung nach 2030, tragen wesentlich zum Rückgang der **Biomassenutzung** bis 2050 bei. Umgekehrt

7 In GreenSupreme erfolgt im Wesentlichen ein qualitatives Wachstum einzelner Branchen und Sektoren. Dieses wird aber durch rückläufige Entwicklungen in anderen Bereichen kompensiert. Das bedeutet, dass ab 2030 zwar ein durchschnittliches Null-Wachstum der Gesamtwirtschaft erfolgt, aber dennoch das Pro-Kopf Bruttoinlandsprodukt im Vergleich zu heute weiter ansteigt.

8 Die Gesamtrohstoffproduktivität ist definiert als preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt zuzüglich der preisbereinigten Ausgaben für Importe (BIP+M) geteilt durch die Masse der inländischen genutzten Entnahme von Rohstoffen zuzüglich der Masse der Importe ausgedrückt in Rohstoffäquivalenten (RME). Die Gesamtrohstoffproduktivität umfasst abiotische und biotische Rohstoffe. Sie dient als produktionsbezogener Indikator für die Rohstoffeffizienz der deutschen Volkswirtschaft.

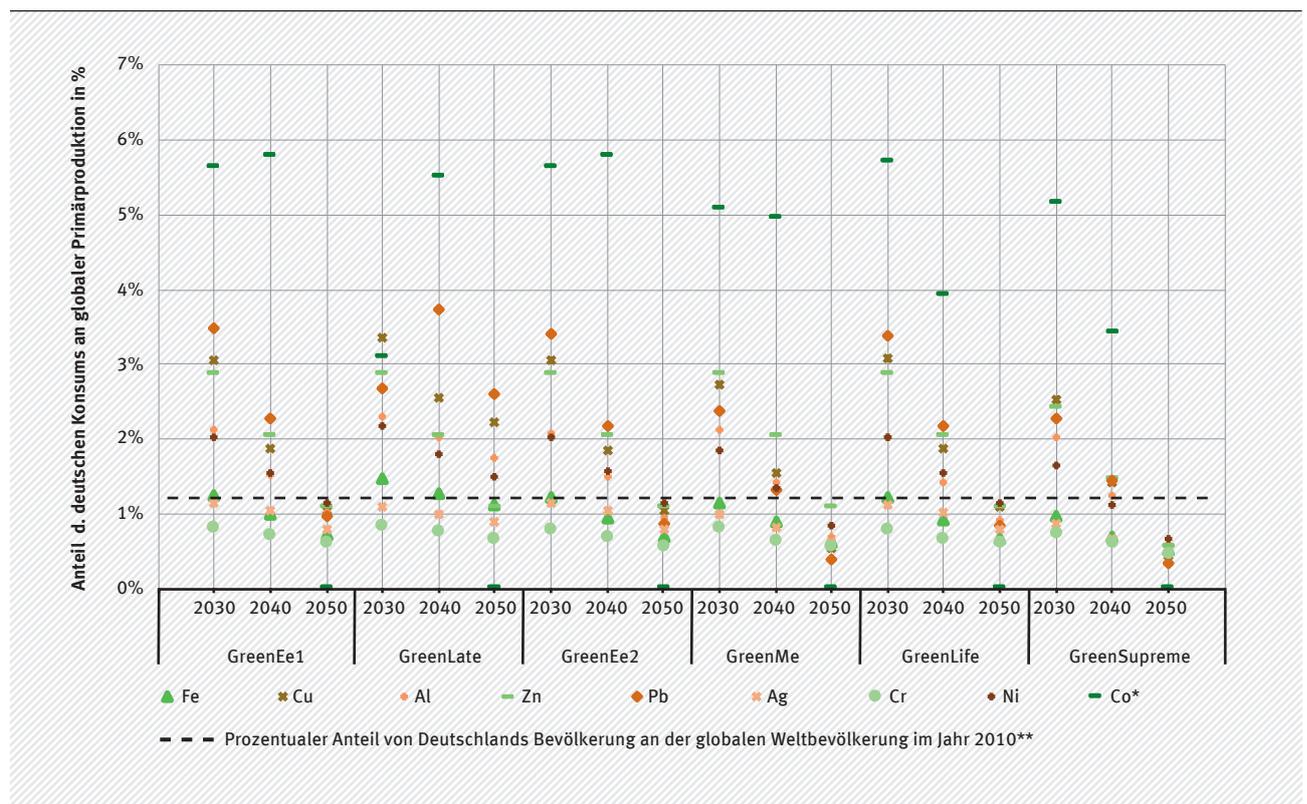
erhöhen die Annahmen zum zunehmenden Holzbau in allen Green-Szenarien außer GreenLate sowie die Substitution von abiotischen Materialien vor allem durch Holz (z.B. Dämmstoffe) den Biomassebedarf, insbesondere in den Szenarien GreenMe und GreenSupreme. Dieser Effekt nimmt jedoch aufgrund der unterstellten Wohnflächenentwicklungen und den damit verbundenen Neubau- und Abrissaktivitäten nach 2030 kontinuierlich ab.

Die Inanspruchnahme von **Metallerzen** insgesamt nimmt durch den Mehrbedarf für den Umbau der Volkswirtschaft bis 2030 nur um rund -4 % bis -29 % ab, wohingegen 2040 bereits eine Reduktion um -16 %

bis -53 % erreicht wird. Im GreenLate Szenario verzögert sich der Umbau und nimmt erst nach 2030 Fahrt auf. **Allerdings ist der in den Green-Szenarien beschriebene Umbau der deutschen Volkswirtschaft auch mit einer zwischenzeitlichen Mehrinanspruchnahme einzelner Rohstoffe** wie z.B. Kobalt, Blei, Kupfer oder Lithium (siehe RESCUE-Studie) **verbunden** und liegen deutlich über dem gegenwärtigen Anteil Deutschlands an der globalen Bevölkerung (gestrichelte Linie in Abbildung 7). **Vor dem Hintergrund einer global gerechten Rohstoffnutzung sollte deshalb ein möglichst ambitionierter Transformationspfad analog GreenSupreme verfolgt werden.**

Abbildung 7

Anteil der letzten inländischen Verwendung (LIV) ausgewählter Materialien in 2030, 2040 und 2050 in Prozent an der globalen Produktion 2015/2016.



* Bedarf nur für Batterien in Mobilität berücksichtigt.

** Deutschlands Bevölkerung im Jahr 2010 lag bei 81,75 Mio. Personen und die globale Bevölkerung bei 6,96 Milliarden Personen (81,75 Millionen Personen / 6,96 Milliarden = 1,17%).

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e. Globale Produktionsdaten vom US Geological Survey für das letzte verfügbare Jahr (USGS, 2019). Für Chrom wurden die Bergbaustatistiken für Chromit herangezogen und ein Metallgehalt von 30% angenommen.

5 Klimaschutz und Ressourcenschonung erfolgreich umsetzen

Um sowohl einen angemessenen Beitrag Deutschlands zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 °C als auch einer global gerechten Rohstoffnutzung nahe zu kommen, sind große nationale Anstrengungen entsprechend dem GreenSupreme-Szenario nötig. Um dies erfolgreich zu gestalten, sind in ausgewogener Balance folgende drei grundsätzliche Strategien zum Klima- und Ressourcenschutz zu verfolgen:

- ▶ **Substitution:** Ersetzen von treibhausgas- und ressourcenintensiven Techniken und Produkten durch treibhausgasneutrale bzw. treibhausgas- und ressourcenarme Alternativen.
- ▶ **Vermeidung:** Durch Effizienz, Suffizienz und Konsistenz reduzierter Verbrauch von Produkten und Aktivitäten, die zu geringen Treibhausgasemissionen und niedriger Primärrohstoffanspruchnahme und Ressourcenbeanspruchung führen.
- ▶ **Senken:** Die Entnahme von bereits emittiertem CO₂ aus der Atmosphäre durch Kohlenstoffsinken (CDR) zur Treibhausgasminderung.

Durch Substitution von treibhausgas- und ressourcenintensiven Prozessen und Produkten kann ein sehr hoher Minderungsbeitrag geleistet werden. Substitution ist im Wesentlichen durch technische Maßnahmen geprägt. Darunter ist bspw. die vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien zur Brenn-, Kraft- und Rohstoffversorgung zu verstehen. Hier sind sowohl die erforderlichen Investitionen als auch die teilweise noch notwendigen Forschungen und Weiterentwicklung von erneuerbaren Techniken übergreifend zu gewährleisten. Auch können durch Forschung und Weiterentwicklung treibhausgasarme Prozesstechniken und Produkte entwickelt werden, wie bspw. alternative Betone. Grundsätzlich besteht aber auch hier die Herausforderung, dass verspätetes Handeln das Potential des Minderungsbeitrags zur Treibhausgasneutralität senkt. So sind frühzeitig Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zu initiieren, die notwendigen Infrastrukturen müssen ausgebaut werden, rechtzeitig muss der erforderliche Ausbau an erneuerbaren

Energien gestaltet und erforderliche Investitionen in allen Bereichen getätigt werden, um einen möglichst hohen Minderungsbeitrag dieser Strategie bis 2050 gewährleisten zu können. Um die notwendigen schnellen technischen Fortschritte und sehr ambitionierten Transformationsschritte auch außerhalb Europas zu befördern, sind globale Partnerschaften für einen Wissens- und Technologietransfer erforderlich. Die dem Szenario GreenSupreme zugrundeliegenden Handlungsempfehlungen sind in Abbildung 8 zusammengefasst.

Einzig mit Substitution als Minderungsstrategie ist jedoch Treibhausgasneutralität nicht erreichbar. In der Industrie verbleiben nach heutigem Kenntnisstand rohstofflich bedingte Treibhausgasemissionen, bspw. aus der Glas- oder Zementindustrie. Genauso können Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft und durch Landnutzungsänderungen nicht durch die Strategie der Substitution vermieden werden. Auch jede und jeder Einzelne generiert über Bedürfnisse und Konsumverhalten in Freizeit, Wohnen, Kommunikation, Mobilität und Ernährung entsprechende Nachfragen, welche wiederum auf die Entwicklung der verschiedenen Produktions- und Dienstleistungsbereiche wirken. Durch ein nachhaltiges Handeln kann die Nachfrage an treibhausgasverursachenden und ressourcenintensiven Produkten reduziert werden. Gleichfalls kann durch die Bereitstellung, langlebiger, ressourcenschonender Produkte die Nachfrage nach neuen Produkten entsprechend verändert werden.

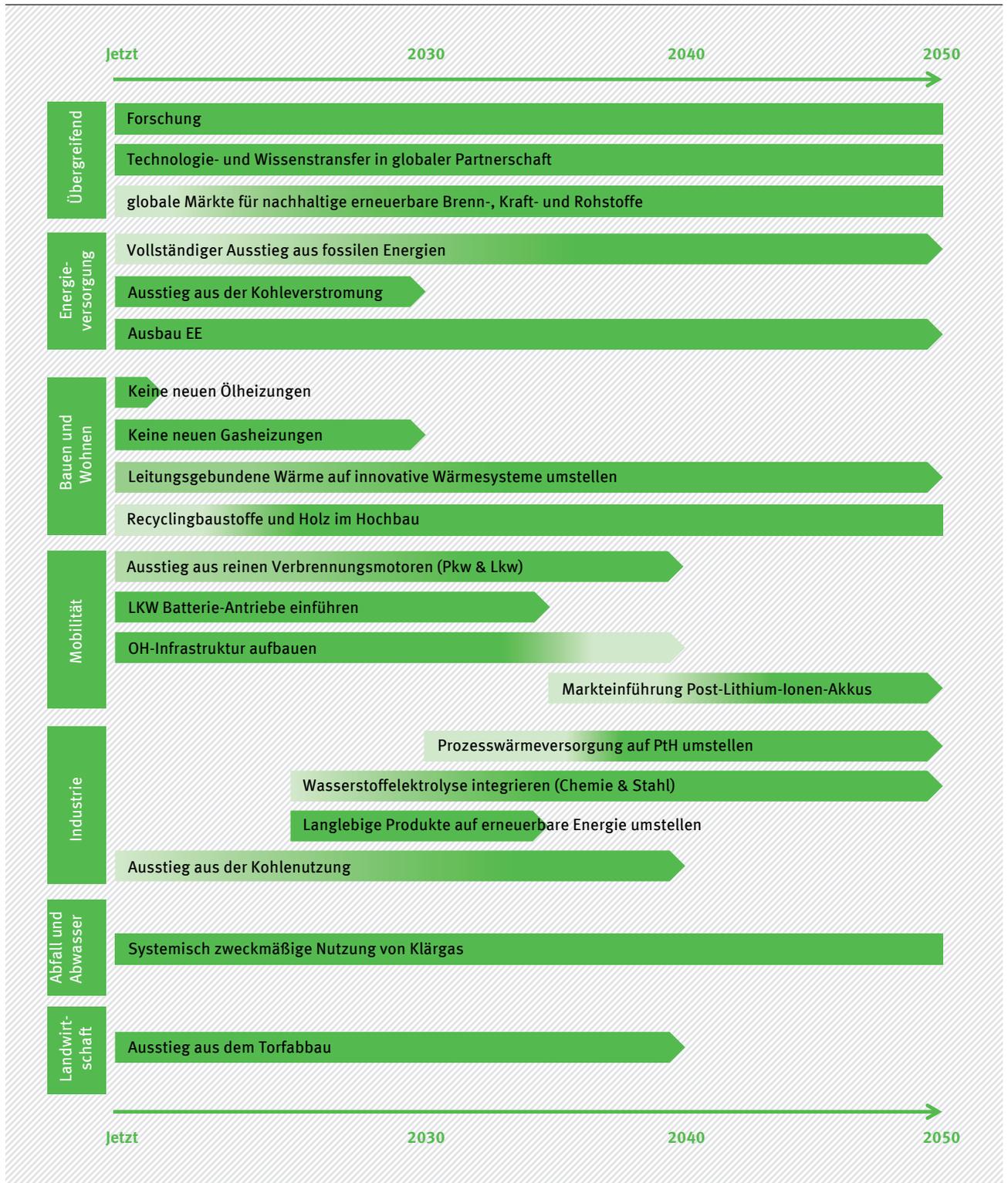
Daher greift **die Strategie der Vermeidung** an beiden Enden dieser Wechselwirkungen an und **umfasst sowohl Maßnahmen auf der Angebotsseite als auch auf der Nachfrageseite.** Die Ansätze zur Vermeidung und zur Veränderung der Nachfrage basieren vor allem auf dem gesellschaftlichen Wandel und nachhaltigen Handeln jeder einzelnen Person und werden unterstützt durch planerische⁹ und regulatorische¹⁰ Maßnahmen. Hierfür ist mittel- und langfristig vorausschauendes Handeln erforderlich.

⁹ Bspw. Stadt der kurzen Wege.

¹⁰ Bspw. Öko-Design-Richtlinie.

Abbildung 8

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Strategie „Substitution“



Hinweis: Die jeweiligen Pfeile verdeutlichen den Zeitraum der Handlungsempfehlung. Die Schattierungen symbolisieren die Dringlichkeit zur Umsetzung. Das Ende der jeweiligen Pfeile charakterisiert die erfolgreiche und abgeschlossene Umsetzung der Handlungsempfehlung.

Quelle: Umweltbundesamt

Hinweis: nähere Informationen finden sich im Kapitel 7.1 der RESCUE-Studie (UBA, 2019).

Abbildung 9

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Strategie „Vermeidung“



Hinweis: Die jeweiligen Pfeile verdeutlichen den Zeitraum der Handlungsempfehlung. Die Schattierungen symbolisieren die Dringlichkeit zur Umsetzung. Das Ende der jeweiligen Pfeile charakterisiert die erfolgreiche und abgeschlossene Umsetzung der Handlungsempfehlung.

Quelle: Umweltbundesamt

Hinweis: nähere Informationen finden sich im Kapitel 7.1 der RESCUE-Studie (UBA, 2019).

Werden Minderungsmaßnahmen zu spät ergriffen, kann das Potential dieser Strategie bis 2050 ebenfalls nicht voll ausgeschöpft werden und der mögliche Beitrag zur Treibhausgasneutralität verringert sich.

Die Strategie zur Vermeidung ist zum Klima- und Ressourcenschutz allerdings nur eingeschränkt anwendbar, da bspw. der vollständige Verzicht von Energie und Mobilität in einer modernen Gesellschaft schwer vorstellbar sind. Eine Vermeidungsstrategie **ist jedoch erforderlich**, um langfristig die Klimaschutzziele zu erreichen und eine global gerechte Nachfrage an Ressourcen zu ermöglichen. Für alle Bereiche – außer der Land- und Forstwirtschaft – können nur Maßnahmen der Strategien Substitution und Vermeidung ergriffen werden und sind volkswirtschaftlich zielorientiert zu kombinieren. Die dem Szenario GreenSupreme zugrundeliegenden Handlungsempfehlungen zur Vermeidung in den einzelnen Bereichen sind in Abbildung 9 zusammenfassend dargestellt.

Die Strategie der Senken adressiert im Wesentlichen den Klimaschutz, tangiert dabei jedoch den Ressourcenschutz und kann Synergien zu anderen Umweltaspekten heben. Senken stellen eine weitere Option zur Beeinflussung der Treibhausgase in der Atmosphäre durch die Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre (CDR – Carbon Dioxide Removal) dar. Im IPCC 1.5-Grad-Sonderbericht beinhalten alle zu Grunde liegenden Szenarien, die eine Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 °C darstellen, den Einsatz von Senken. Festzuhalten ist, dass mindestens die THG-Emissionen, die sich nicht durch die beiden vorhergehenden Minderungsstrategien vermeiden lassen, durch zusätzliche Maßnahmen der Atmosphäre wieder entzogen werden müssen. Gleichwohl sind CDR-Maßnahmen jedoch physikalisch in ihrer Kapazität begrenzt und mit zunehmender Inanspruchnahme technischer CDR-Maßnahmen steigen die Risiken für die Nachhaltigkeit. Die Stärkung natürlicher Kohlenstoffsenken bietet hingegen schon heute die Möglichkeit

Abbildung 10

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Strategie „Senken“



Hinweis: Die jeweiligen Pfeile verdeutlichen den Zeitraum der Handlungsempfehlung. Die Schattierungen symbolisieren die Dringlichkeit zur Umsetzung. Das Ende der jeweiligen Pfeile charakterisiert die erfolgreiche und abgeschlossene Umsetzung der Handlungsempfehlung.

Quelle: Umweltbundesamt

Hinweis: nähere Informationen finden sich im Kapitel 7.1 der RESCUE-Studie (UBA, 2019).

einer nachhaltigen CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre. Auch diese sind begrenzt, aber national in relevanter und global in signifikanter Höhe möglich. **Senken sind also kein Ersatz für Substitution und Vermeidung von Treibhausgasemissionen, aber für einen erfolgreichen Klimaschutz unausweichlich.** Je schneller über die ersten beiden Strategien Treibhausgasemissionen reduziert werden, desto geringer sind die mit CDR-Maßnahmen verbundenen Zielkonflikte und Risiken. Die dem Szenario GreenSupreme zugrundeliegenden Handlungsempfehlungen für die Senken sind in Abbildung 10 dargestellt.

Daneben bedarf es übergreifender Maßnahmen, die eine volkswirtschaftlich kostengünstige, ressourcenschonende Treibhausgasneutralität sicherstellen. Ökonomische Instrumente, wie die Energiebesteuerung und CO₂-Bepreisung fossiler Energie, die Förderungen von Forschung und deren Umsetzung sowie der Abbau von umweltschädlichen Subventionen sind für technische und soziale Innovationen, für Investitionen in Infrastrukturen, für Standortentscheidungen der Wirtschaft sowie für den individuellen Energiekonsum richtungsweisend. Dabei vermeidet eine langfristig orientierte Politik Strukturbrüche und schafft durch klare gesetzliche Regelungen langfristige Planbarkeit bei allen Akteuren der Gesellschaft. **Unbenommen ist auch, dass ein globales, gemeinschaftliches Verständnis für Klima- und Ressourcenschutz schnell entwickelt werden muss. Nur so kann Klima- und Ressourcenschutz erfolgreich sein und die nationalen Bestrebungen und Investitionen in Deutschland volkswirtschaftlich sinnvoll erfolgen.**

Hierfür ist auch global die zügige Einführung treibhausgasneutraler und rohstoffsparender Techniken, Produktionen und Produkte durch beschleunigte technische Entwicklung und internationalen Wissens- und Technologietransfer notwendig.

Wenn gleich die RESCUE-Studie vor dem Hintergrund aktueller Trends, politischen Entscheidungen und gesellschaftlichen Diskussionen als ambitioniert erscheint, so zeigt sie, dass Treibhausgasneutralität in Deutschland und das Erreichen eines nachhaltigeren Niveaus der Primärrohstoffinanspruchnahme durch ambitioniertes Handeln möglich sind. Dabei stellt sich jedoch nicht mehr die Frage, ob und wann einzelne Beiträge erbracht werden sollen und Entwicklungen angegangen werden müssen. Vielmehr wird deutlich: Es muss jetzt gehandelt werden und jeder Beitrag, sowohl in Produktion als auch Konsum, ist zur Erreichung der Klima- und Ressourcenschutzziele wichtig!

Die ambitionierten nationalen Ziele können nur erreicht werden, wenn diese auch in entsprechende europäische und internationale Entwicklungen eingebettet sind und sich am Übereinkommen von Paris und der Agenda 2030 orientieren. Innerhalb der nächsten Jahre müssen hierfür global, europäisch und national die richtigen Weichen gestellt werden!

6 Quellenverzeichnis

- BMU (2016).** Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Download unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf (Zugriff am 19.09.2017)
- BMU (2019).** Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Berlin. Download unter: https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf (Zugriff am 01.04.2019)
- BMUB (2016).** Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin. Download unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf (Zugriff am 02.07.2019)
- Bundesregierung (2018).** Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018. Berlin. Download unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1546450/65089964ed4a2ab07ca8a4919e09e0af/2018-11-07-aktualisierung-dns-2018-data.pdf?download=1> (Zugriff am 13.09.2019)
- Bundesregierung (2019).** Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030. Fassung nach Klimakabinett. Berlin. Download unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1673502/855f58eed07bcbbd697820b4644e83a7/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1> (Zugriff am 26.09.2019)
- Climate Analytics (2018).** Wissenschaftlich begründeter Kohle-Ausstiegspfad für Deutschland im Einklang mit der 1,5°C Erwärmungsgrenze des Pariser Klima-Abkommens. Chance und Nutzen einer beschleunigten Energiewende. Download unter: https://climateanalytics.org/media/deutsch_extended_executive_summary_final.pdf (Zugriff am 13.09.2019)
- Crutzen, P. J. (2006).** The “Anthropocene”. In E. Ehlers & T. Krafft (Eds.), *Earth System Science in the Anthropocene* (pp. 13-18). Berlin, Heidelberg: Springer.
- EK (2019).** Emissions Database for Global Atmospheric Research. Download unter: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/> (Zugriff am 12.09.2019)
- Hatfield-Dodds, S., Schandl, H., Newth, D., Obersteiner, M., Cai, Y., Baynes, T., . . . Havlik, P. (2017).** Assessing global resource use and greenhouse emissions to 2050, with ambitious resource efficiency and climate mitigation policies. *Journal of Cleaner Production*, 144, 403-414.
- Höhne, N., Emmrich, J., Fekete, H. & Kuramochi, T. (2019).** 1,5°C: Was Deutschland tun muss. Verden/Aller. Download unter: https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/03/Deutschland_1.5_Web.pdf (Zugriff am 13.09.2019)
- IIASA (2019).** IAMC 1.5°C Scenario Explorer. International Institute for Applied Systems Analysis. Download am 12.09.2019 unter: <https://db1.ene.iiasa.ac.at/IPCCSR15DB/dsd?Action=htmlpage&page=welcome>
- Statistisches Bundesamt (2018).** Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2018. Wiesbaden. Download unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/Publikationen/Downloads-Nachhaltigkeit/indikatoren-0230001189004.pdf;jsessionid=5F53CAE9C151A395F084E38C18749E20.internet732?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff am 11.05.2019)
- UBA (2019).** RESCUE – Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. Dessau-Roßlau. Download unter: www.uba.de/rescue
- UBA (2020a).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenEe Climate Change 01/2020. Dessau-Roßlau.
- UBA (2020b).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenLate. Climate Change 02/2020. Dessau-Roßlau.
- UBA (2020c).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenMe. Climate Change 03/2020. Dessau-Roßlau.
- UBA (2020d).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenLife. Climate Change 04/2020. Dessau-Roßlau.
- UBA (2020e).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenSupreme. Climate Change 05/2020. Dessau-Roßlau.
- UNEP (2017).** Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel. Nairobi.
- UNEP (2019).** Global Resources Outlook. 2019: Natural Resources for the Future We Want. Download unter: <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook> (Zugriff am 16.09.2019)
- UNFCCC (2015).** Paris Agreement. Paris. Download unter: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- UNFCCC (2019).** Paris Agreement – Status of Ratification. Download unter: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification> (Zugriff am 16.09.2019)
- WMO (2017).** WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016. WMO-No. 1189. Genf. Download unter: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3414 (Zugriff am 21.09.2017)



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

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