

Was bedeutet das Pariser Abkommen für den Klimaschutz in Deutschland?



Kurzstudie von NewClimate Institute im Auftrag von Greenpeace.

NewClimate – Institute for Climate Policy and Global Sustainability gGmbH

Büro Köln:
Am Hof 20–26
50667 Köln

Büro Berlin:
Gormannstraße 14
10119 Berlin
www.newclimate.org
kinfo@newclimate.org
Tel.: +49 (221) 999 833 - 00
Fax: +49 (221) 999 833 - 19

Autoren:
Niklas Höhne, Takeshi Kuramochi, Sebastian Sterl, Lina Röschel

Februar 2016

➔ Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace ist eine internationale Umweltorganisation, die mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen kämpft. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Rund 580.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden einen regelmäßigen Beitrag an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.

Impressum

Greenpeace e.V., Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, Tel. 040/3 06 18-0 **Pressestelle** Tel. 040/3 06 18-340, F 040/3 06 18-340, presse@greenpeace.de, www.greenpeace.de
Politische Vertretung Berlin Marienstraße 19–20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0 **V.i.S.d.P.** Andree Böhling **Foto** Paul Langrock/Greenpeace
Zur Deckung unserer Herstellungskosten bitten wir um eine Spende:
GLS Bank, IBAN DE49 4306 0967 0000 0334 01, BIC GENODEM1GLS

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Zusammenfassung

Die langfristigen globalen Klimaschutzziele, die im Pariser Abkommen im Dezember 2015 von fast 200 Ländern beschlossen wurden, bedeuten für Deutschland erheblich größere Klimaschutzanstrengungen als bisher geplant.

Die neuen Formulierungen im Vertragstext zu langfristigen Klimaschutzzielen gehen weit über das hinaus, was bisher politischer Konsens war. Jetzt gilt es, den weltweiten Temperaturanstieg auf ein Niveau von „weit unter 2°C“ zu begrenzen, bzw. „Anstrengungen zu unternehmen, einen Anstieg auf 1,5°C nicht zu überschreiten“ und die globalen Treibhausgasemissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auf Netto-Null zu senken.

Zweck dieser Kurzanalyse ist es, die im Pariser Abkommen beschlossenen neuen globalen Zieleetzungen für die Klimapolitik in Deutschland zu übersetzen. Zunächst wurden dafür Klimaschutzzszenarien aus bereits vorhandener Literatur verglichen. Da die Literatur nur unzureichend 1,5°C kompatible Szenarien für Deutschland abdeckt, werden globalen Szenarien und das für 1,5°C zur Verfügung stehende CO₂-Budget zugrunde gelegt. Aus dem Szenarienvergleich werden dann Schlussfolgerungen gezogen.

Kernaussagen

Um mit den in Paris beschlossenen langfristigen Klimaschutzzielen kompatibel zu sein, müssten...

- **...die globalen CO₂-Emissionen aus der Energieerzeugung und -nutzung sowie der Land- und Forstwirtschaft etwa um 2035 null erreichen.** Nur so kann die Temperaturerhöhung „weit unter 2°C“ in Richtung 1,5°C begrenzt werden, ohne das Risiko einzugehen, künftig CO₂ in großem Stil wieder aus der Atmosphäre entfernen zu müssen. Gleichzeitig bleibt ein geringes Emissionsbudget für Sektoren, in denen (nach Annahmen der meisten Modelle) Emissionen schwerer reduziert werden können, z.B. nicht-CO₂ Emissionen etwa aus der Landwirtschaft aus Tierhaltung und Böden.
- **...Industrieländern wie Deutschland ihre Treibhausgasemissionen früher als im globalen Durchschnitt auf null senken, die heimischen CO₂-Emissionen also vor dem Jahr 2035.** Dies ergibt sich aus der historischen Verantwortung der Industrieländer für den Klimawandel und ermöglicht Entwicklungsmöglichkeiten für stark wachsende Schwellen- und Entwicklungsländer (Tabelle 1).
- **...der Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix (Stromerzeugung, Gebäudewärme, Industrie und Transport) in Deutschland vor dem Jahr 2035 100% erreichen.** Der Ausbau erneuerbarer Energien muss im Vergleich zu den jetzigen Ausbauzielen drastisch beschleunigt werden. Dies gilt aufgrund der Elektrifizierung anderer Sektoren in besonderem Maße für den *Stromsektor* in Deutschland, bereits vor 2030 sollte eine 100%ige Versorgung erreicht sein, bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie und ohne CCS.
- **...der Ausstieg aus der Braun- und Steinkohle zur Stromerzeugung in Deutschland bis etwa 2025 erfolgen.** Andere fossile Energieträger für die Stromerzeugung wie Erdgas müssten bis spätestens 2030 ebenso ersetzt werden. Neubau von Kohlekraftwerken ist nicht möglich, da sie mit einer Lebensdauer von etwa 40 Jahre nicht mit diesem Ziel vereinbar wären. Auch müssen existierende Kraftwerke beschleunigt abgeschaltet werden.
- **...Verkehr vermieden und verlagert werden, sowie der Anteil von PKWs ohne Verbrennungsmotor erhöht werden z.B. durch die Förderung der Elektromobilität über die jetzigen Ziele hinaus.** Eine Abnahme des Individualverkehrs zu Gunsten des öffentlichen Verkehrs in der Größenordnung 10% pro Dekade ist für 1,5°C nötig. Zusätzlich muss der Indivi-

dualverkehr elektrifiziert werden. Das gesetzte Ziel der Bundesregierung (1 Million Elektroautos bis 2020 und sechs Millionen bis 2030, 14% im Vergleich zu heute etwa 44 Millionen Autos) ist für einen Temperaturanstieg von 2°C nicht ausreichend, geschweige denn für eine Begrenzung auf 1,5°C. Für 1,5°C muss der Individualverkehr vor 2035 vollständig elektrifiziert sein.

- **...5% der Gebäude in Deutschland pro Jahr energetisch saniert werden. Alle Neubauten müssen den Nullenergie-Standard erfüllen.** Für Neubauten gelten bereits strenge Vorschriften. Durch die lange Lebensdauer von Gebäuden werden die zukünftigen Emissionen *vom Bestand* bestimmt, der bis spätestens 2035 vollständig renoviert sein müsste, um keine Emissionen mehr zu erzeugen.
- **... in der Industrie Energieeffizienz erhöht und Elektrifizierung ausgebaut, sowie Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden.** Potenziale für Reduktionen sind vorhanden, aber noch fehlen in einigen Bereichen technische Optionen, um die nötige Emissionsreduktion auf null zu erreichen.
- **... Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft letztendlich auch auf fast null gesenkt werden, wenn auch eventuell etwas später als die energiebedingten Emissionen.** Maßnahmen sind z.B. effizientere Nutzung von Stickstoffdünger, Nutzung von Wirtschaftsdünger (Dung) in Biogasanlagen, Verringerung des Konsums von tierischen Produkten, Umstellung auf ökologische Anbaumethoden, Erhöhung von CO₂-Speichern in Böden und im Wald bzw. in Holzprodukten. Optionen, sämtliche Treibhausgasemissionen aus Tierhaltung und Böden zu eliminieren, fehlen derzeit noch.

Ein Großteil des für 2°C bzw. 1,5°C Erwärmung verfügbaren CO₂-Budgets ist bereits „verbraucht“. Für eine bestimmte Temperaturerhöhung sind die kumulativen Emissionen im Laufe des Jahrhunderts ausschlaggebend. Falls zunächst zu viel emittiert wird, könnte theoretisch später CO₂ wieder aus der Atmosphäre entfernt werden. Die Technologie, die dies bewerkstelligen könnten, die Nutzung von Biomasse in Verbindung mit CO₂-Abscheidung und Speicherung, birgt jedoch erhebliche Probleme und Risiken. In dieser Kurzanalyse wird deshalb angenommen, dass das Emissionsbudget eingehalten werden muss, ohne auf „negative Emissionen“ zurückzugreifen.

Tabelle 1. Was die Langfristziele des Pariser Abkommens („weit unter 2°C“ und Anstrengungen zu unternehmen, unter 1.5°C zu bleiben und Netto-Null Emissionen) für Deutschland bedeuten

Themenbereich / Sektor	Indikator	Ziel der Bundesregierung	Herausforderung 2°C Ziel	Herausforderung 1.5°C Ziel nach Pariser Abkommen
Treibhausgasemissionen aus Energienutzung	Zeitpunkt zu dem Emissionen aus Energienutzung null erreichen müssen	./.	2050-2060	vor 2035
Erneuerbare Energien	Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergiemix	30% bis 2030 45% bis 2040 60% bis 2050	100% in 2050 bis 2060	100% vor 2035
	Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix	50% bis 2030 65% bis 2040 80% bis 2050	100% bis 2050	100% vor 2030
Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Zeitpunkt zu dem Emissionen aus Kohleverstromung null erreichen müssen	./.	2040 / 2050	etwa 2025
	Zeitpunkt zu dem Emissionen aus Stromerzeugung aus Erdgas null erreichen müssen	./.	2050	vor 2030
Mobilität	Verkehrsvermeidung und -verlagerung: Reduktion des Individualverkehrs	./. (Individualverkehr nimmt zu)	Reduktion des Individualverkehrs spätestens ab 2015-2030	Reduktion des Individualverkehrs um etwa 10% pro Dekade
	Anteil an PKW ohne Verbrennungsmotor, z.B. Elektromotor	6 Mio in 2030 = etwa 14%	23% in 2030 100% in 2050 – 2060	100% vor 2035
Gebäude	Jährliche Rate für energetische Sanierung von Gebäuden	1%	2%-3,5%	5%
Industrie	Zeitpunkt zu dem Emissionen aus Energienutzung null erreichen müssen	./.	2050-2060	vor 2035
Land- und Forstwirtschaft			Reduktion der Netto-Emissionen auf ein technisch mögliches Minimum	

Summary

The long-term global climate goals of the Paris Agreement adopted by nearly 200 countries in December 2015, imply enhanced efforts for greenhouse gas emissions reductions in Germany.

The phrasing of the long term goals of the Paris Agreement goes beyond prior political consensus. The objective is to limit the global increase in temperature to “well below 2°C” above pre-industrial levels, “pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C”, as well as to lower the net GHG emissions to zero in the second half of the century.

The aim of this brief analysis is to translate the goals of the international climate regime as determined by the Paris Agreement into the German context. Firstly, emissions reduction scenarios on a sectoral level from existing literature sources are compared. Since the literature on this topic does not cover 1.5°C scenarios for Germany to a sufficient degree, global scenarios and the total CO₂ budget available for 1.5°C are taken as a basis. Conclusions are drawn from the comparison of different emissions reduction scenarios.

Key messages

To be compatible with the long-term goals of the Paris Agreement ...

- **... global CO₂ emissions from energy generation and use as well as from agriculture and forestry will need to decrease to zero by 2035.** This way, temperature increase is likely to be kept “well below 2°C” and aiming towards 1.5°C without taking the risk of needing to remove CO₂ from the atmosphere at large scale in the future. Simultaneously, a smaller budget of emissions remains for sectors where (according to most models) a reduction of emissions would be exceedingly demanding, as is the case for non-CO₂ emissions from agriculture through livestock and soil.
- **... developed countries such as Germany would have to decrease greenhouse gas emissions to zero earlier than the global average, i.e. CO₂ emissions *before* 2035.** This follows from the historic responsibility developed countries have on human-induced climate change and allows for emerging economies to continue their economic development (Table 2).
- **... the share of renewables in the energy mix (electricity production, building heating and cooling, industry, and transport) should reach 100% in Germany *before* 2035.** The development of renewable energy needs to be increased drastically in comparison to current goals. Due to the increased electrification of end-use sectors, this applies in particular to the *electricity sector* in Germany. The provision of electricity completely from renewable sources should be reached before 2030. This assumes the agreed phase out of nuclear energy and no use of CCS.
- **... the lignite and hard coal phase-out from electricity production should be achieved by around 2025 in Germany.** Other fossil energy sources for electricity such as natural gases should be replaced by 2030 at the latest. Any further construction of coal-fired power plants would not be possible, as their life expectancy is at 40 years and not compatible with the necessary phase-out goal. Existing power plants should be shut down rapidly.
- **... avoidance of travel, modal shift and increase in share of cars without combustion engine, e.g. through the development of electric mobility, are necessary beyond current targets in Germany.** Car transport should be reduced in favour of public transport with roughly 10% per decade in order to achieve the 1.5°C goal. In addition, the private transport will have to be electrified. The target of the German government to have one million electric vehicles on the road until 2020 and six million until 2030 (14% in comparison to the 44 million cars

in Germany today) is not compatible with a 2°C temperature increase, let alone a 1.5°C limit. In order to stay within a 1.5°C limit, all vehicles would need to be electric by 2035.

- **... 5% of Germany's existing buildings need to be renovated to nearly zero energy standards per year, in addition to 100% of new stock conforming to nearly zero energy standards.** Strict regulations are already being enforced for new buildings in Germany. Because of the high durability of existing buildings, future emissions will be defined by the existing stock, which would have to be fully renovated by 2035 in order to limit emissions in this sector to zero.
- **... energy efficiency and electrification in industry have to be enhanced, in addition to research and development.** Technical options to reduce emissions to zero in some industry sectors are not yet available.
- **... emissions from agriculture and forestry need to eventually be reduced to nearly zero as well, even if a little later than energy related emissions.** Measures are, for example, efficient use of nitrogen fertiliser, usage of manure in biogas plants, reduction of consumption of animal products, conversion to organic farming, increased storage of CO₂ storage in soils, forests and wood products. Options to eliminate all greenhouse gas emissions from livestock and soils are still missing.

A large part of the CO₂ budget available to limit temperature increase to 2°C or 1.5°C is already spent. In order to limit the global average temperature increase to the abovementioned levels, the cumulative emissions over this century are the determining factor. If emissions are too high now, CO₂ could theoretically still be removed from the atmosphere at a later point in time. However, the technology that could enable this subsequent removal, i.e. the utilization of biomass in combination with carbon capture and storage (CCS), encompasses significant problems and risks. This brief analysis consequently assumes that the emission budget has to be reached without these "negative emission" technologies.

Table 2. Implications for Germany of the long term goals of the Paris Agreement („well below 2°C“, “working towards 1.5°C“ and net zero emissions)

Subject area / sector	Indicator	Targets of the German government	Challenge for 2°C limit	Challenge at 1.5°C limit according to Paris Agreement
Greenhouse gas emissions from energy use	Time at which emissions from energy use need to be zero	./.	2050-2060	before 2035
Renewable energy	Share of renewable energy in total energy mix	30% by 2030 45% by 2040 60% by 2050	100% in 2050 until 2060	100% before 2035
	Share of renewable energy in electricity mix	50% by 2030 65% by 2040 80% by 2050	100% by 2050	100% before 2030
Power generation through fossil fuels	Time at which emissions from coal-fired generation should be zero	./.	2040 / 2050	around 2025
	Time at which emissions from natural gas-fired generation should be zero	./.	2050	before 2030
Mobility	Avoidance of travel and modal shift: reduction of car transport	./. (car transport increases)	Reduction of car transport as of 2015-2030 at the latest	Reduction of car transport by about 10% per decade
	Share of cars without combustion engine, e.g. electric motor	6 million in 2030 = about 14%	23% in 2030 100% in 2050 - 2060	100% before 2035
Buildings	Annual rate for energy-related renovation of buildings	1%	2% - 3.5%	5%
Industry	Time at which emissions from energy use need to be zero	./.	2050-2060	before 2035
Agriculture and Forestry			Reduction of net emissions to a technical minimum	

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	A
Summary	D
Inhaltsverzeichnis	G
1. Einleitung.....	1
2. Globale Klimaziele und ihre Übersetzung in nationale Ziele.....	2
2.1. Wann müssen globale Emissionen null erreichen?	2
2.2. Wie können globale Szenarien auf Länder heruntergebrochen werden?	4
2.3. Mit welchen Maßnahmen können Treibhausgasemissionen auf null reduziert werden?	5
3. Emissionsreduktionen pro Sektor	6
3.1. Erneuerbare Energien.....	6
3.2. Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen	8
3.3. Mobilität	10
3.4. Gebäude.....	11
3.5. Industrie.....	12
3.6. Agrar- und Forstwirtschaft.....	13
4. Referenzen.....	14
Anhang	16

1. Einleitung

Das Klimaabkommen von Paris, im Dezember 2015 beschlossen, ist ein bahnbrechender Erfolg der internationalen Klimadiplomatie. Zum ersten Mal umfasst ein internationales Klimaabkommen nationale Emissionsreduktionsziele und Maßnahmen die von fast 200 Staaten vorgelegt wurden.

Besonders bedeutend sind die beschlossenen Langfristziele:

- **1,5/2°C:** Der Klimawandel soll auf weit unter 2°C begrenzt werden und Anstrengungen sollen unternommen werden, ihn auf 1,5°C zu begrenzen „(...) holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5°C“ (UNFCCC, 2015).
- **Ausstieg aus Treibhausgasemissionen:** Um die Temperaturziele zu erreichen, müssen globale Emissionen schnellstmöglich zu sinken beginnen, so dass sie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts Netto-Null erreichen, d.h. dass die Emissionen nicht größer als die Senken sind ("In order to achieve the long-term temperature goal (...) parties should aim to reach global peaking of greenhouse gas emissions as soon as possible (...) and undertake rapid reductions (...) so as to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century") (UNFCCC, 2015).

Diese Formulierungen gehen weit über den bisherigen internationalen politischen Konsens hinaus, der vorsah, den Klimawandel auf 2°C zu begrenzen, ohne Nullemissionen oder 1,5°C so deutlich zu nennen.

Es bedarf weltweit großer Anstrengungen, diese Ziele einzuhalten. Die bisherigen Maßnahmen der Länder reichen bei weitem nicht aus.

Zweck dieser Kurzanalyse ist es, die im Pariser Abkommen beschlossenen neuen globalen Ziele für Deutschland zu übersetzen. Dies erfolgt durch den Vergleich von bereits bestehenden Klimaschutzszenarien aus existierender Literatur und die Identifizierung verschiedener technischer Maßnahmen, die mit den im Abkommen festgelegten Zielen kompatibel sind.

Kapitel 2 beschreibt globale Szenarien, den Unterschied und Zusammenhang zwischen 2°C, 1,5°C und Nullemissionen, sowie die Übersetzung von globalen Szenarien in Nationale. Kapitel 3 stellt Ergebnisse für ausgewählte Sektoren dar.

2. Globale Klimaziele und ihre Übersetzung in nationale Ziele

2.1. Wann müssen globale Emissionen null erreichen?

Das Pariser Abkommen strebt das Absenken der globalen Emissionen auf Netto-Null an. Je früher die dazu nötigen globalen Emissionsminderungen erreicht werden, desto niedriger fallen die resultierenden Temperaturerhöhungen und damit die schädlichen Folgen des Klimawandels aus.

Während die globalen Emissionen ohne jeden Klimaschutz bis zum Ende des Jahrhunderts weiter steigen würden („Baselines“ in Abbildung 1), so zeichnet sich mit den derzeit beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen aller Länder eine Stabilisierung der globalen Emissionen während der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ab („Current policies“ in Abbildung 1) was bis 2100 zu einer Temperaturerhöhung von rund 3,6°C führen würde. Würden die im Rahmen des Pariser Abkommens gemachten nationalen Vorschläge voll umgesetzt und ähnlich nach 2030 fortgesetzt, so würden globale Emissionen ab etwa der Mitte des Jahrhunderts sinken („Pledges and INDCs“ in Abbildung 1) und bis 2100 eine Temperaturerhöhung von rund 2,7°C erreicht werden. Um die Temperaturerhöhung unter 2°C oder 1,5°C zu halten, sind erheblich höhere Reduktionen nötig (Abbildung 1).

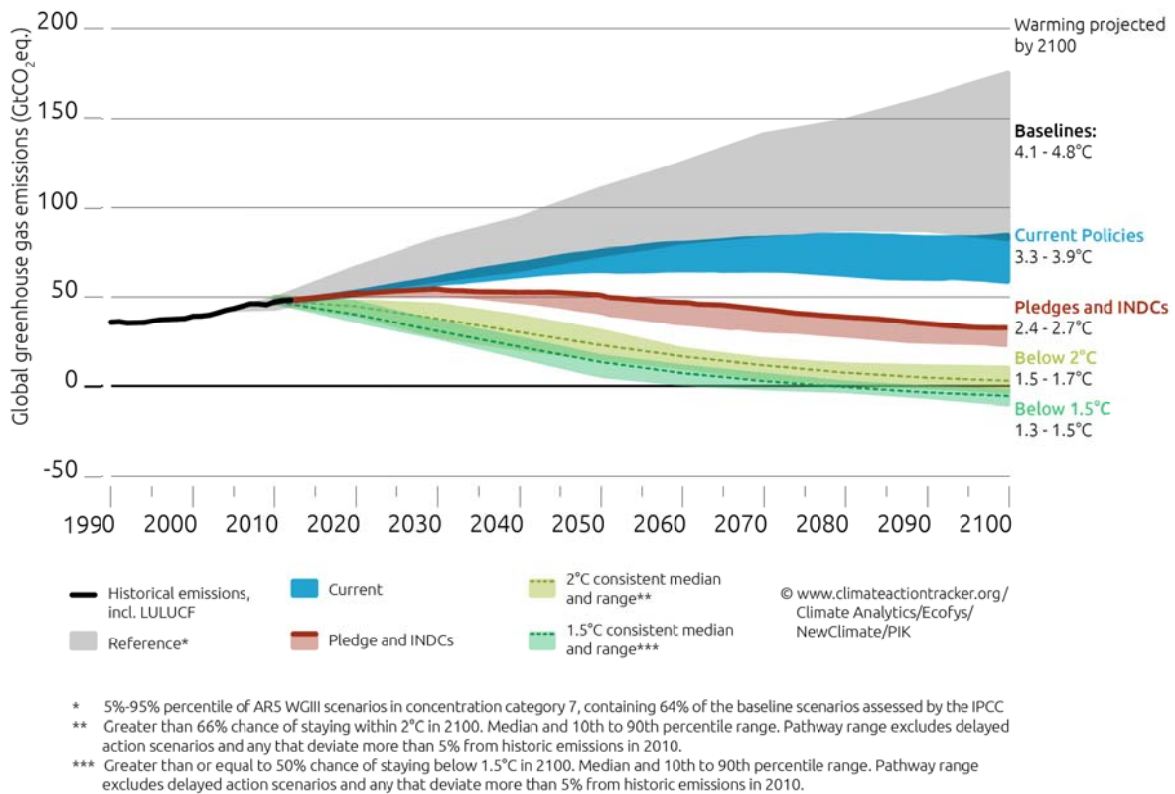


Abbildung 1. Globale Treibhausgasemissionen unter verschiedenen Szenarien (Climate Action Tracker, 2015)

Da für eine bestimmte Temperaturerhöhung die kumulativen Emissionen im Laufe des Jahrhunderts ausschlaggebend sind und bereits ein Großteil des für 2°C und 1,5°C verfügbaren Budgets „verbraucht“ ist, nehmen viele Modell-Szenarien an, dass CO₂ in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts in großem Stil aus der Atmosphäre entfernt wird. Dies kann derzeit nur durch Biomasse in Verbindung mit CCS bewerkstelligt werden, oder eine neue Technologie müsste erfunden werden. In jedem Fall sind dazu erhebliche

Mengen Biomasse, zusätzliche Energie für die Abscheidung und Speicherung sowie zuverlässige Lagerstätten notwendig. Zahlreiche Probleme sind noch nicht gelöst.

Stützt man sich auf Szenarien, die in großem Maße „negative Emissionen“ annehmen, gleicht das einer Wette auf die Akzeptanz, technische Durchführbarkeit und Finanzierbarkeit dieser Technologien in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Wann genau globale Emissionen null erreichen müssen, hängt überwiegend von drei Faktoren ab: a) dem Temperaturziel und der Wahrscheinlichkeit, mit der es erreicht werden soll, b) der Zulassung von „negativen Emissionen“ und c) der Frage, welche Treibhausgase und Sektoren man überhaupt betrachtet.

Auf der Basis von modellierten Szenarien (die meist mit „negativen Emissionen“ operieren), müssten die globalen Emissionen aller Treibhausgase in allen Sektoren in etwa 2100 auf null gesenkt werden, um mit 66-prozentiger Wahrscheinlichkeit („wahrscheinliches Eintreten“) unter 2°C zu bleiben (Abbildung 2). Wenn der Temperaturanstieg mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit unter nur 1,5°C beschränkt bleiben soll, müssen alle globalen Emissionen aller Treibhausgase in sämtlichen Sektoren in etwa 2060 bis 2080 null erreichen. Alle Szenarien nehmen an, dass Emissionen in großem Stil wieder aus der Atmosphäre entfernt werden. Szenarien, die unter 1,5°C bleiben, aber keine negativen Emissionen annehmen, existieren derzeit nicht.

Die globalen Modell-Szenarien nehmen generell an, dass Emissionen durch Energieerzeugung und –nutzung sowie Prozessemissionen¹ aus der Industrie schneller reduziert werden können als CO₂ Emissionen aus Entwaldung und nicht-CO₂ Emissionen z.B. aus der Landwirtschaft aus Tierhaltung und Böden. Dementsprechend muss die Nulllinie für Emissionen durch Energieerzeugung und –nutzung früher erreicht werden. Um mit einer 66-prozentigen Wahrscheinlichkeit unter 2°C zu bleiben, müssten etwa zwischen 2060 bis 2080 globale CO₂ Emissionen aus Energieerzeugung und –nutzung null erreichen (Abbildung 2). Um mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit unter 1,5°C globaler Erderwärmung zu bleiben, dürften schon etwa zwischen 2050 bis 2060 global keine Emissionen aus Energieerzeugung und –nutzung entstehen.

Will man nicht darauf wetten, dass Emissionen in ferner Zukunft und in großem Stil wieder aus der Atmosphäre entfernt werden, muss der Nullpunkt noch früher erreicht werden. Da es keine globalen Modell-Szenarien für einen solchen Fall gibt, berechnen wir hier das Jahr des Nullpunktes auf Basis des zur Verfügung stehenden Emissionsbudgets (s. Anhang). Demnach müssen CO₂ Emissionen durch Energieerzeugung und –nutzung sowie Forstwirtschaft etwa 2056 null erreichen, um mit einer 66-prozentigen Wahrscheinlichkeit unter 2°C zu bleiben (Abbildung 2). Um mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit unter 1,5°C globaler Erderwärmung zu bleiben, dürften schon etwa zwischen 2034 global keine CO₂ Emissionen aus Energieerzeugung und –nutzung sowie Forstwirtschaft entstehen. Für eine 66% Chance unter 1,5°C zu bleiben, müsste der Nullpunkt schon 2026 erreicht sein.

¹ Im folgenden Text verkürzt „Energieerzeugung und –nutzung“ genannt.

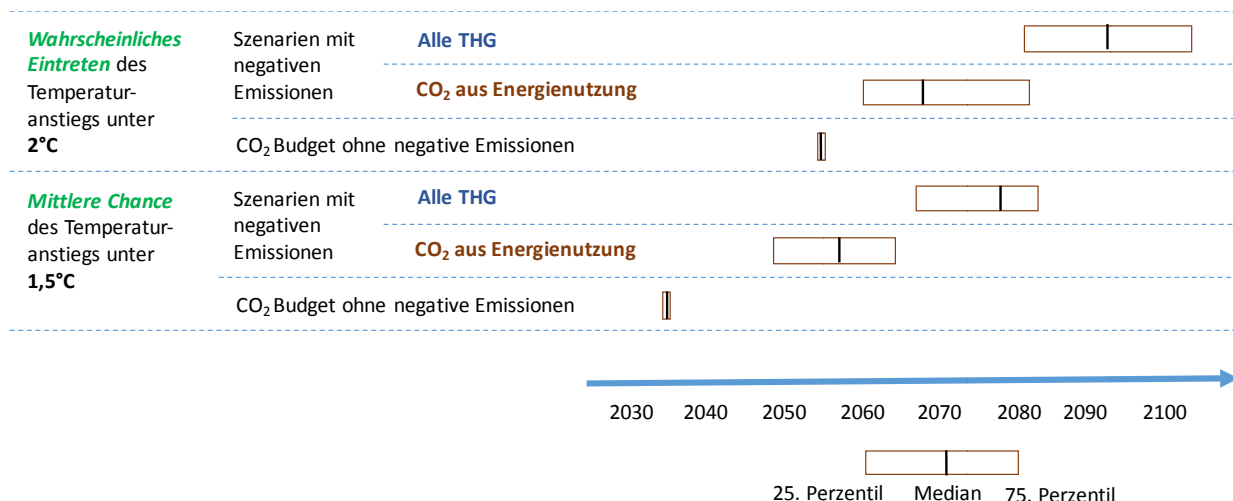


Abbildung 2: Jahr an dem globale Treibhausgas-Emissionen null erreichen, basiert auf die IPCC Emissionsszenarien. Datenquellen: (Rogelj, Schaeffer, et al., 2015a) und eigene Berechnungen (s. Anhang)

Globale CO₂-Emissionen aus Energieerzeugung und -nutzung und Forstwirtschaft müssten also etwa um 2035 null erreichen, um mit den langfristigen Klimaschutzzielen vom Pariser Abkommen kompatibel zu sein, ohne dabei auf die Möglichkeit von negativen Emissionen zu wetten. Nur so kann die Temperaturerhöhung „weit unter 2°C“ in Richtung 1,5°C begrenzt werden.

2.2. Wie können globale Szenarien auf Länder heruntergebrochen werden?

Die Wissenschaft hält zwei Ansätze bereit, die *globalen* Emissionen und die daraus folgenden nötigen Reduktionen auf *einzelne Länder* zu verteilen.

Zum einen kann man die Reduktionen so auf Sektoren und Länder aufteilen, dass die globalen Kosten minimiert werden. Hierbei wird die Verteilungsgerechtigkeit außer Acht gelassen, es wird reduziert, wo es am günstigsten ist. Hier zeigt sich, dass OECD Länder Treibhausgasemissionen etwa 10 Jahre schneller auf Netto-Null reduzieren als der globale Durchschnitt. Auf Basis von Szenarien mit negativen Emissionen bedeutet das, dass energiebezogene Emissionen etwa zwischen 2040 und 2050 null erreichen (Höhne, den Elzen, & Admiraal, 2015); ohne negative Emissionen noch vor 2035. Dies ermöglicht Entwicklungsmöglichkeiten für stark wachsende Schwellen- und Entwicklungsländer.

Die Aufteilung der globalen Emissionen kann auch gerechtigkeitsbasiert berechnet werden (Clarke et al., 2014; Höhne, den Elzen, & Escalante, 2014). Hier können verschiedene Prinzipien zur Aufteilung zugrunde gelegt werden. Zum Beispiel können bei der Verteilung Emissionen aus der Vergangenheit mit einbezogen werden, um die Gesamtemissionen seit der Zeit der Industrialisierung pro Land zu berechnen. Hierbei könnten Länder mit niedrigen historischen CO₂-Emissionen das Recht bekommen, künftig mehr zu emittieren als Länder mit historisch hohen Emissionen, wie sie fast alle Industriestaaten aufweisen.

Wir betrachten im Folgenden nur kostenoptimierte Ansätze und Szenarien. Man sollte dabei beachten, dass der gerechtigkeitsbasierte Ansatz in den meisten Fällen jedoch für Deutschland zu noch strikteren Emissionsreduktionen führen würde.

2.3. Mit welchen Maßnahmen können Treibhausgasemissionen auf null reduziert werden?

Allen Szenarien stimmen überein, dass mindestens drei Maßnahmen umgesetzt werden müssen, um die globalen Treibhausgasemissionen auf null zu senken:

- **Energieeffizienz:** In allen Bereichen muss Energie so effizient wie möglich genutzt werden, z.B. durch effiziente Beleuchtung, gedämmte Häuser, effiziente Industrieproduktion und Verlagerung auf effiziente öffentliche Verkehrsmittel.
- **Erneuerbare Energien:** Die erneuerbaren Energien müssen signifikant ausgebaut werden, da sie keine oder nur einen Bruchteil der Treibhausgasemissionen von fossilen Brennstoffen verursachen.
- **Verlagerung auf Strom als Energieträger:** Da Strom gut durch erneuerbare Energie bereitgestellt werden kann, muss eine Verlagerung von Brennstoffen hin zu Strom stattfinden, insbesondere in der Industrie (z.B. Wärme aus Strom und nicht durch Brennstoffe), in Gebäuden (elektrische Wärmepumpen) und im Verkehr (Elektromobilität).

Globale Szenarien legen unterschiedliche Annahmen zugrunde bezüglich der Nutzung fossiler Brennstoffe (Kohle und Gas) mit „Carbon Capture and Storage“ (CCS), also Verfahren, bei denen das entstandene CO₂ abgeschieden und gelagert wird. Andere sehen einen Ausbau der Kernenergie vor.

3. Emissionsreduktionen pro Sektor

Die folgenden Abschnitte beschreiben den aktuellen Stand der Emissionen für die wichtigsten Sektoren in Deutschland, sowie die nötige Entwicklung, um ein 2°C, beziehungsweise 1,5°C Klimaszenario einzuhalten.

Ausgangsbasis sind die „Politikszenerien“, die die Grundlage für die deutsche Klimapolitik bilden, mit dem Aktuelle-Politik-Szenario (mit allen beschlossenen politischen Maßnahmen) und dem Energiewendeszenario (welches das 40% Ziel in 2030 erreicht) (Matthes, Hansen, Diekmann, & Eichhammer, 2013). Fünf weitere Szenarien für Deutschland, die auf 2°C ausgerichtet sind, werden betrachtet: Das *BMU Leitszenario* (BMU, 2010), *Model Deutschland* vom WWF (Institut & Prognos, 2010), das Szenario für Deutschland aus dem Deep Decarbonisation Pathways Project vom Wuppertal Institut (Hillebrandt, 2015), *Klimaneutrales Deutschland 2050* vom Umweltbundesamt (Benndorf et al., 2014) und *Der Plan* von Greenpeace (Stenglein et al., 2015). Da 1,5°C Szenarien für Deutschland nicht verfügbar sind, nutzen wir auch globale Szenarien, um den Unterschied zwischen 2°C und 1,5°C generell zu beschreiben (Clarke et al., 2014; Rogelj, Luderer, et al., 2015; Rogelj, Schaeffer, et al., 2015b).

3.1. Erneuerbare Energien

Die Emissionen, die in Deutschland aus der Energienutzung entstehen, müssen vor 2035 auf null reduziert werden, um eine maximale globale Temperaturerhöhung von 1,5°C einzuhalten und ohne auf negative Emissionen zu wetten (s. Kapitel 2.2).

Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es verschiedene technische Ansätze. Zum einen nehmen manche Szenarien einen Zuwachs an Kernenergie an, um Emissionen aus dem Energiesektor zu reduzieren. Dies wird hier für Deutschland nicht weiter betrachtet, da in Deutschland mit breitem Konsens aller Parteien der Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen wurde.

Eine weitere Option wären fossile Brennstoffe (Kohle und Gas) mit „Carbon Capture and Storage“ (CCS), also Verfahren, bei denen das entstandene CO₂ abgeschieden und gelagert wird. Dies ist derzeit in Deutschland kurzfristig nicht realisierbar.

Als wahrscheinlichste Möglichkeit, Emissionen aus Energienutzung in Deutschland auf null zu senken, verbleibt demnach allein der Ausbau der erneuerbaren Energien.

Für den gesamten Energieverbrauch (also Stromerzeugung, Gebäudewärme, Industrie und Transport) müssten die erneuerbaren Energien ausgebaut werden, für 2°C auf 100% der gesamten Energiebilanz bis 2050 bis 2060 (Abbildung 3). Da für 1,5°C die gesamten Emissionen vor 2035 null erreichen müssen, müssen auch die erneuerbaren Energien bis dahin 100% erreichen.

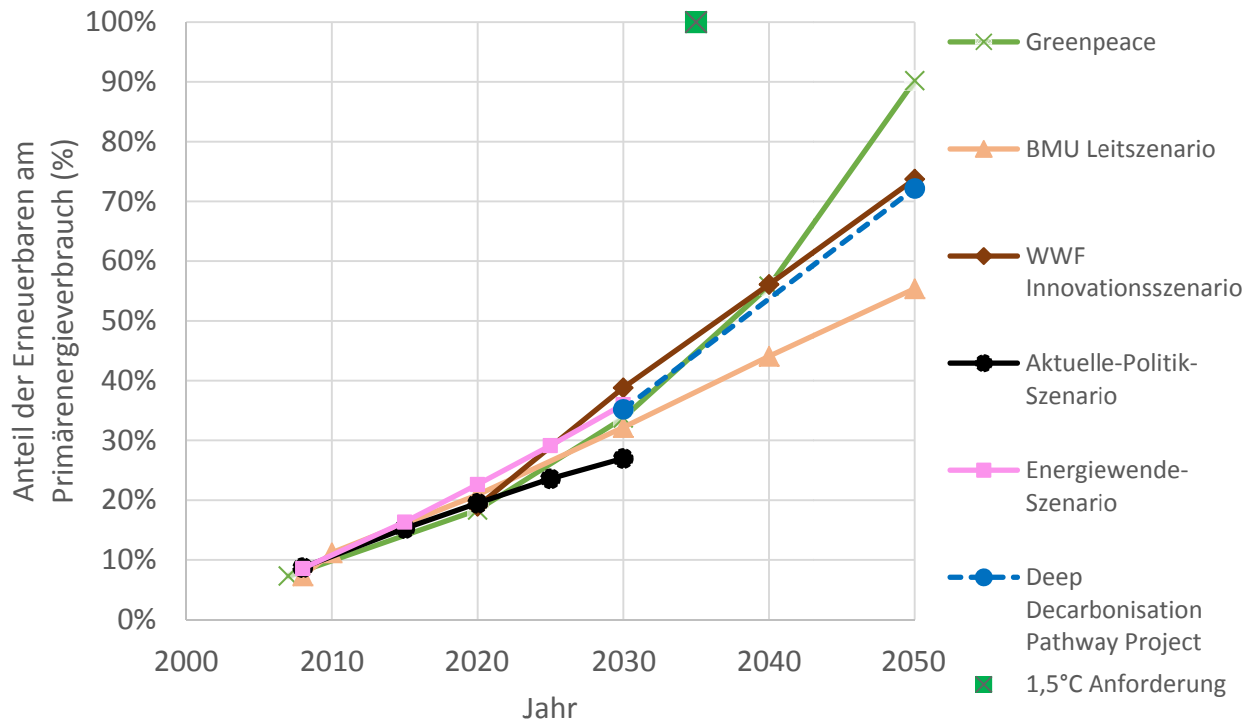


Abbildung 3. Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch unter verschiedenen 2°C Szenarien im Vergleich zur Anforderung für 1,5°C

Die Szenarien beschreiben im Allgemeinen, dass erneuerbare Energien aus Wind und Sonne im Stromsektor schneller ausgebaut werden können, als in den anderen Sektoren, wie Industrie, Gebäudewärme und Verkehr. Demnach müsste der Anteil an erneuerbaren Energien im Stromsektor in Deutschland 100% für 2°C Szenarien etwa in 2050 erreichen (Abbildung 4). Für 1,5°C müssten demnach bereits vor 2030 der komplette Strom aus erneuerbaren Energien produziert werden.

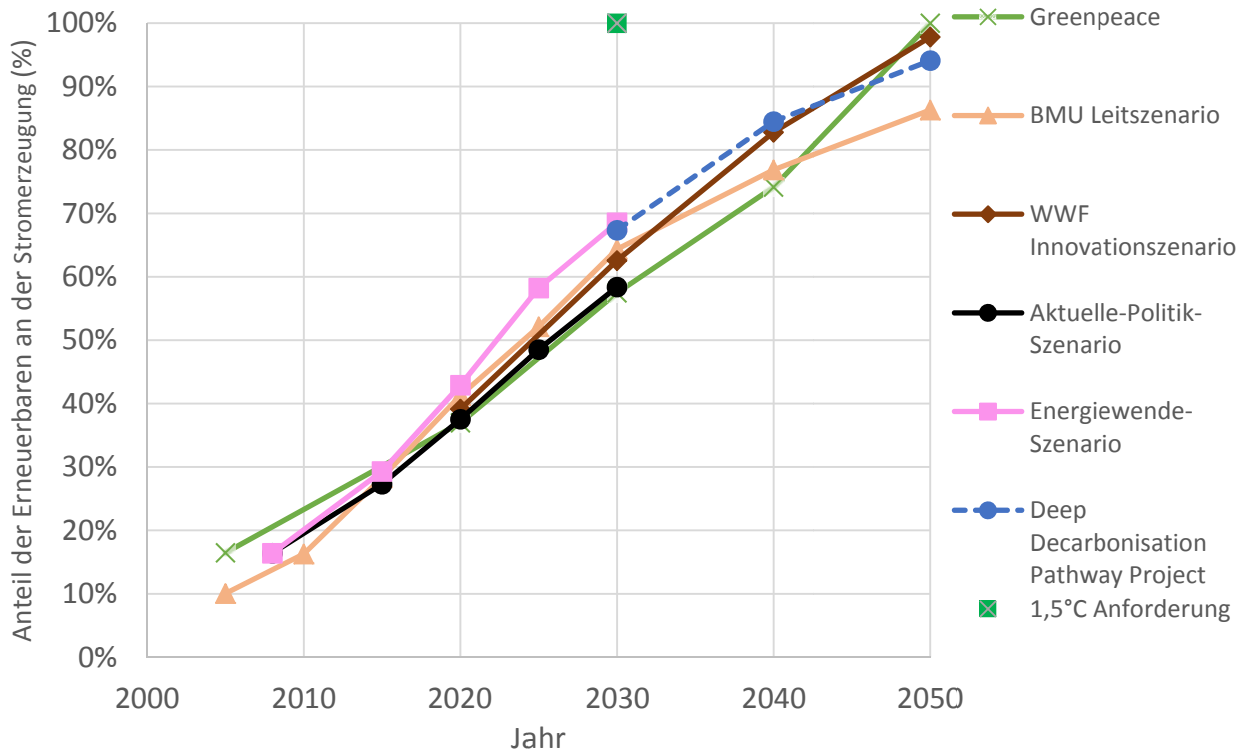


Abbildung 4. Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung unter verschiedenen 2°C Szenarien im Vergleich zur Anforderung für 1,5°C

3.2. Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen

Der Anteil von Braunkohle in der Bruttostromerzeugung lag 2015 in Deutschland bei 24% und der Anteil von Steinkohle bei 18,2% (AGEB, 2015). Der Anteil an Kohlestrom liegt damit insgesamt etwa 10%-Punkte höher als im EU-Durchschnitt.

Auch beim Kohleausstieg gilt, je früher eine drastische Reduzierung bzw. der endgültige Ausstieg erfolgt, desto niedriger die Temperaturerhöhung und damit die Folgen des Klimawandels. Nach den Modellszenarien des IPCC ist der *weltweite* Ausstieg aus der Kohleverstromung (ohne CCS) bis etwa 2050 nötig, um den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 2°C zu begrenzen, wenn man danach negative Emissionen annimmt. Um das Klimaziel von einem maximalen Anstieg auf 1.5°C zu erreichen, muss der Ausstieg etwa 10 Jahre früher, also bereits 2040 erfolgen (Abbildung 5). Lässt man keine negativen Emissionen zu, so ist der *weltweite* Ausstieg noch vor 2035 zu erreichen.

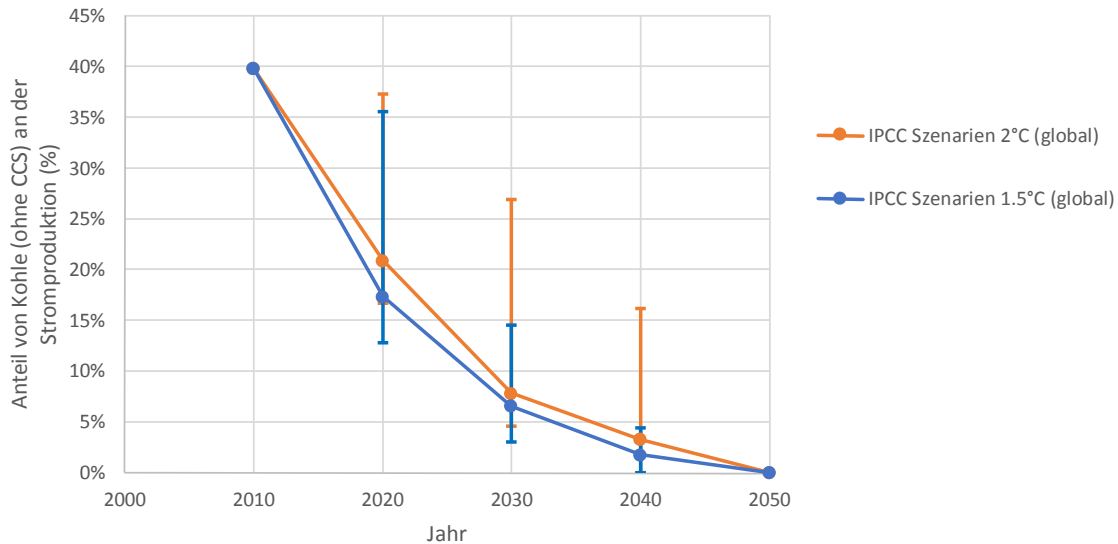


Abbildung 5. Anteil von Kohle ohne CCS an der weltweiten Stromproduktion nach Szenarien im IPCC Bericht.

Szenarien die mit 2°C kompatibel sind, sehen für Deutschland einen Ausstieg aus der Kohleverstromung für 2040 / 2050 vor (Abbildung 6). Um die Temperaturerhöhung unter 1,5°C zu halten und 100% Strom aus erneuerbaren Energien vor 2030 zu erreichen (s.o.), müsste Deutschland noch früher aus Kohleverstromung aussteigen, nämlich etwa 2025. Flexible Gaskraftwerke könnten etwas länger, jedoch nicht über das Jahr 2030 hinaus am Netz bleiben.

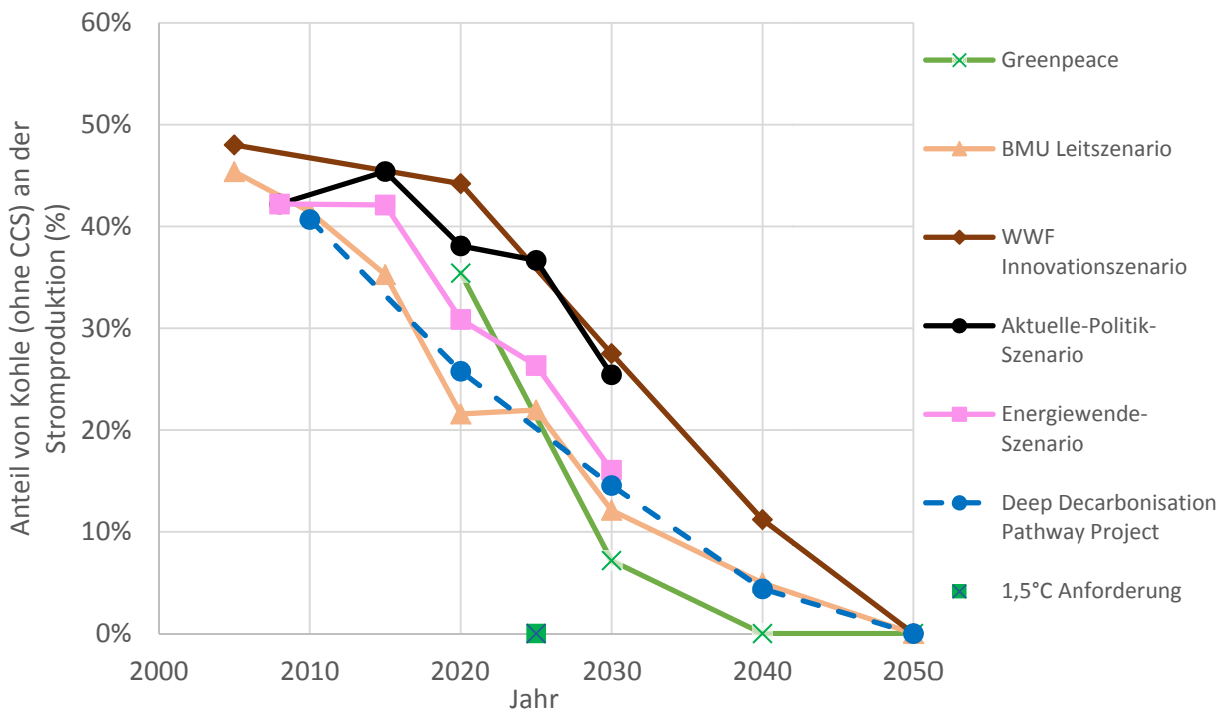


Abbildung 6. Anteil von Kohle ohne CCS an der deutschen Stromproduktion nach 2°C Szenarien im Vergleich zur Anforderung für 1,5°C

Ein Kohleausstieg vor 2025 schließt den Bau neuer Kohlekraftwerke in Deutschland aus. Kraftwerke haben eine Lebensdauer von 40 Jahren, entsprechend würde die Kalkulation eines Neubaus einen Ausstieg in den kommenden zehn Jahren ausschließen. Um das Temperaturlimit des Pariser Abkommens zu erreichen, wird zusätzlich das raschere Abschalten existierender Kraftwerke nötig sein.

3.3. Mobilität

Im Bereich Mobilität sind zwei Maßnahmen entscheidend: einerseits die Verkehrsvermeidung und -verlagerung auf zum Beispiel den öffentlichen Verkehr und andererseits hohe Effizienz und klimaneutrale Energie.

Alle 2°C Szenarien gehen davon aus, dass sich die bisherige Zunahme der Transportaktivitäten spätestens ab 2030 stabilisiert oder sinkt. Am konsequentesten wird im Konzept der Umweltverbände Verkehr vermieden und verlagert, der Individualverkehr sinkt mit ungefähr 10% pro Dekade zu Gunsten des öffentlichen Verkehrs (Abbildung 7). Für 1,5°C müssten solche Maßnahmen massiv ausgebaut werden, um die schnell nötigen Reduktionen zu erreichen.

Zum Vergleich: In Japan hat Individualverkehr mit 63% den niedrigsten Anteil an der Mobilität im Vergleich zum anderen OECD Staaten. Der Individualverkehr nimmt derzeit in Deutschland einen Anteil von 75% an. Japans geringer Wert wird für Deutschland bei jetzigen Maßnahmen nicht einmal bis 2030 erreicht werden können.

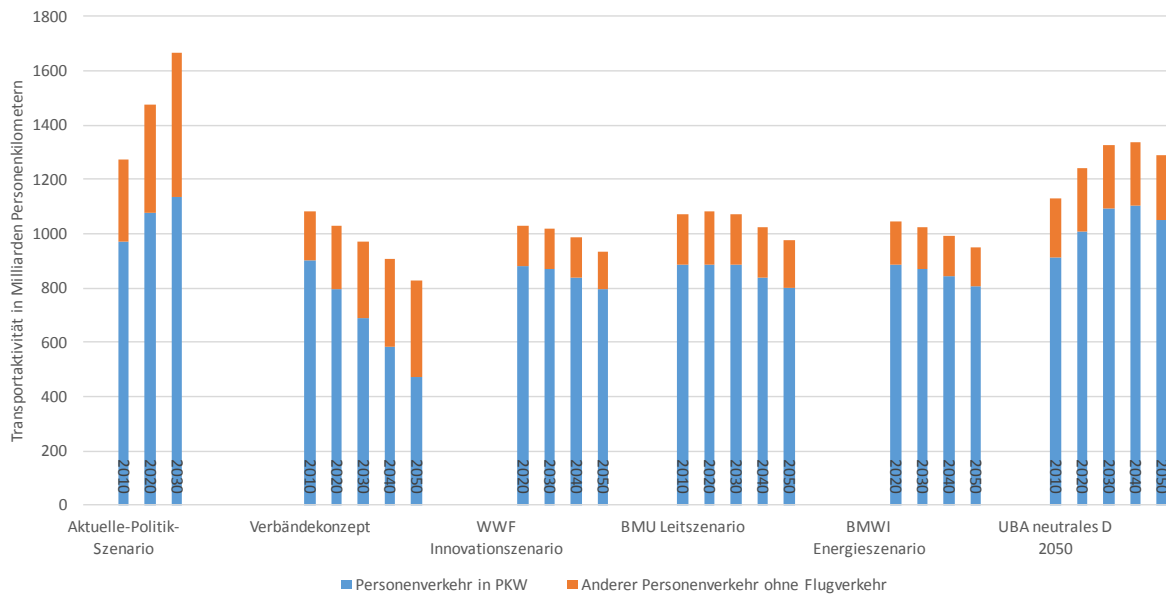


Abbildung 7. Transportaktivität unter verschiedenen 2°C Szenarien im Vergleich zur aktuellen Politik (Szenarienrechnungen starten von leicht unterschiedlichen Werten in 2010.)²

Das Ziel von null Emissionen kann langfristig nur mit dem Ersatz von Verbrennungsmotoren durch zum Beispiel Elektromobilität erreicht werden, deren Strom vollständig aus erneuerbaren Energien stammt. In diesem Bereich besteht in Deutschland jedoch noch hoher Entwicklungsbedarf. Alternativ wären auch andere Technologiepfade wie zum Beispiel der Einsatz von Wasserstoff als Brennstoff möglich, allerdings erscheinen deren Realisierungschancen aus heutiger Sicht noch weitaus schlechter. Für eine Begren-

² Nicht eher genannte Quellen: Verbändekonzept (Erhard et al., 2014); BMWI Energiezeszenario (BMW, 2010).

zung des Temperaturanstiegs auf 2°C müssten im Personenverkehr Verbrennungsmotoren in Deutschland bis 2050 fast vollständig durch z.B. 100%ige Elektromobilität ersetzt werden (und gleichzeitig die Stromerzeugung CO₂-frei gemacht werden). Wenn sich der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf nur 1,5°C beschränken soll, muss die vollkommene Umrüstung auf Elektromobilität bis spätestens 2035 stattfinden, um vor 2035 keine Emissionen aus Energienutzung entstehen zu lassen.

Das gesetzte Ziel der Bundesregierung entspricht einer Million Elektroautos im deutschen Straßenverkehr bis 2020 mit einem Anstieg auf sechs Millionen bis 2030, das entspricht etwa 14% des heutigen Fahrzeugbestands von etwa 44 Millionen Autos. Diese schon heute unsichere Zielsetzung ist für einen Temperaturanstieg von 2°C nicht ausreichend, geschweige denn für eine Begrenzung auf 1,5°C.

Schnellere Wachstumsraten sind möglich. In Norwegen, dem Land mit der höchsten pro Kopf Zahl von Elektroautos, sind zurzeit knapp 20% der neuangemeldeten Fahrzeuge Elektroautos (ICCT Europe, 2014). Der Verkauf von Elektroautos hat sich dort seit 2012 jährlich verdoppelt (Aasness & Odeck, 2015). Grund dafür sind die Anreize, die die norwegische Regierung eingeführt hat. Befreiung von Zollzahlungen, Befreiung von Steuern beim Kauf, sowie die Nutzung von ÖPNV-Straßen machen den Kauf eines Elektroautos sehr attraktiv (Bjerkan, Norbeck, & Nordtomme, 2016).

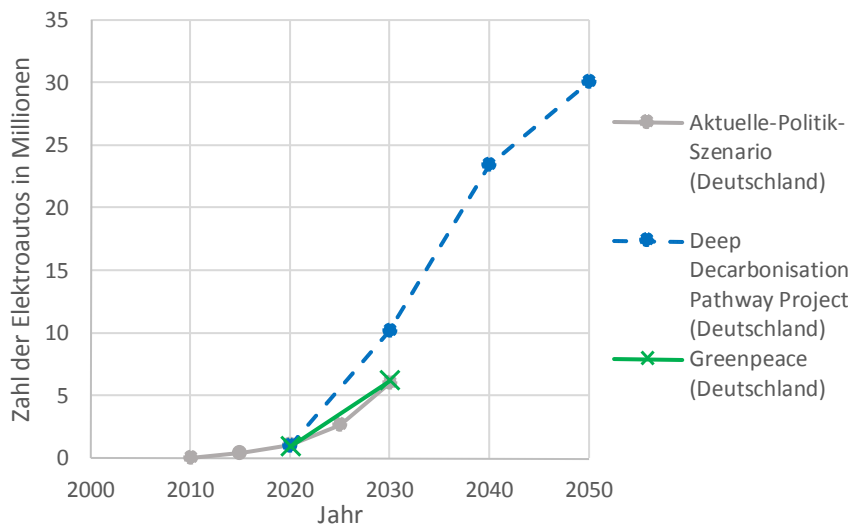


Abbildung 8. Anzahl der Elektroautos in Deutschland nach verschiedenen Szenarien

3.4. Gebäude

EU-weit gilt bereits, dass ab 2020 alle Neubauten als „fast Nullenergiegebäude“ („nearly zero energy buildings“) gebaut werden müssen und dass die von der Bundesregierung erworbenen Gebäude hochenergieeffizient sein müssen („Energy Performance of Buildings Directive“ von 2010 und die „Energy Efficiency Directive“ von 2012).

Da für Neubauten bereits sehr strenge Vorschriften gelten, werden die zukünftigen Emissionen in erster Linie durch Gebäudebestand bestimmt. Dort können bei den langen Lebensdauern von Gebäuden Emissionen nur reduziert werden, wenn die Raten der energetischen Sanierung erhöht werden. Derzeit liegt diese Rate bei 1% pro Jahr (Abbildung 9). Das heißt, es dauert 100 Jahre bis der gesamte Gebäudebestand in Deutschland renoviert ist. Bei einer 2-prozentigen Sanierungsrate wären es zwar nur noch 50

Jahre bis alle bestehenden Gebäude in Deutschland erneuert wären, doch wäre dieser Zeitraum immer noch zu lang, um die Treibhausgasemissionen in diesem Sektor bis 2050 auf null herunterzufahren und kompatibel mit 2°C zu sein. Um dieses Ziel zu erreichen, müsste laut Szenarien die Sanierungsrate auf 3.5% ansteigen, folglich alle Gebäude in einem Zeitraum von etwa 30 Jahren erneuert werden. Für 1,5°C wäre eine weitere Beschleunigung auf 5% pro Jahr nötig um den Gebäudebestand in 20 Jahren bis 2035 zu renovieren.

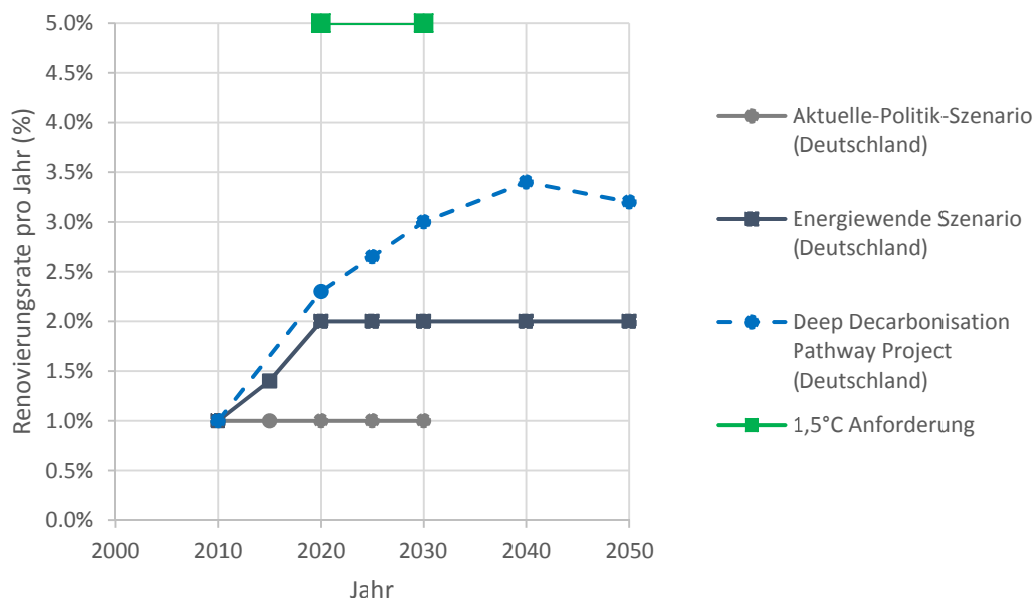


Abbildung 9. Rate der energetischen Sanierung für Deutschland nach verschiedenen Szenarien im Vergleich zur Anforderung für 1,5°C

3.5. Industrie

Auch im Industriesektor müssen Emissionen auf null sinken, um das globale Klimaziel zu erreichen. Hier sollte ein Schwerpunkt auf Maßnahmen zum Ausbau von Energieeffizienz und Elektrifizierung gesetzt werden. Energiemodelle bilden den Industriesektor oft nur sehr unscharf ab, da die einzelnen Industriezweige sehr unterschiedlich sind. Aus diesem Grund werden hier keine Szenarien dargestellt.

Für einige Industriezweige, wie zum Beispiel in der Eisen-, Stahl- und Zementproduktion, bestehen erhebliche Einsparpotenziale, es fehlt jedoch noch an gängigen technischen Optionen, um Emissionen gänzlich auf null zu reduzieren. Zusätzlich zur Realisierung der Einsparpotenziale müsste die Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden. Bei der Stahlproduktion können Emissionen durch Recycling erheblich gesenkt werden, die vollständige Reduzierung der Prozessemissionen bedarf aber einer Alternative zum klassischen Hochofenprozess. Emissionen in der Zementherstellung können durch weniger kalkreiche Rohstoffe kostengünstig gesenkt werden, ein Teil der Emissionen bleibt jedoch, da er durch die Chemie des Prozesses entsteht. Neue Bindemittel müssen entwickelt oder auf alternative Baumaterialien wie Holz zurückgegriffen werden.

3.6. Agrar- und Forstwirtschaft

Zur Reduktion von Emissionen in der Agrar- und Forstwirtschaft (Methan und Lachgas aus Böden und Tierhaltung, sowie CO₂ aus Wäldern und Böden) gibt es in Deutschland zurzeit weniger Aktivitäten im Vergleich zum energiebezogenen Emissionen (Osterburg, Kätsch, & Wolff, 2013).

Auch diese Emissionen müssten letztendlich auf fast null gesenkt werden. In den meisten Modell-Szenarien wird angenommen, dass diese Emissionen etwas später als die energiebedingten Emissionen reduziert werden. Eine Senkung der Emissionen auf null ist aufgrund einiger Besonderheiten im Agrar-sektor besonders schwierig. Die gesamten Methan- und Lachgasemissionen der Landwirtschaft entstehen zu etwa einem Drittel aus Verdauungsprozessen von Nutztieren (enterische Fermentation), zu etwa 15% aus dem Wirtschaftsdüngermanagement sowie über die Hälfte der Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (im Wesentlichen verursacht durch den Einsatz von Stickstoffdünger). CO₂ kann in Wäldern und Böden gespeichert werden. Diese Speicherung kann aber auch jederzeit wieder rückgängig gemacht werden.

Nach der Studie „Klimaneutrales Deutschland bis 2050“ könnten Treibhausgasemissionen aus der Agrarwirtschaft (ohne CO₂ aus Forstwirtschaft und Böden) bis 2050 auf 35 MtCO₂e reduziert werden, ungefähr eine Halbierung gegenüber 2015. Mit Effizienzmaßnahmen, also ohne Reduktion der Produktion, ist nur ein Zielwert von ca. 45 MtCO₂e zu erreichen. Konkrete Maßnahmen beinhalten die effizientere Nutzung von Stickstoffdünger, Nutzung von Wirtschaftsdünger (Dung) in Biogasanlagen. Weniger Konsum von tierischen Produkten und einhergehende Reduktion der Produktion würde zu Minderung der Emissionen führen. Eine Minderung u.a. der Milchkuh- (-38%), Schweine- (-55%) und Schafsbestände (-50%) würde Emissionen um weitere 10 MtCO₂e reduzieren (Benndorf et al., 2014).

Im Bereich Kohlenstoff aus Forstwirtschaft und Böden stehen Emissionen von etwa 40 MtCO₂e aus intensiv genutzten Flächen einer abnehmenden Senke von grob 20 MtCO₂e durch Wald gegenüber (Benndorf et al., 2014). Notwendige Maßnahmen zu Nutzflächen sind daher z.B. Umstellung auf ökologische Anbaumethoden, Umstellung der Bewirtschaftung hin zu humusmehrenden Fruchtfolgen, Verbot des Umbruchs von Grünland in Ackerland, Wiedervernässung humusreicher Böden, z.B. Mooren. Die Wälder in Deutschland bieten große Minderungspotenziale durch die Senkenfunktion insbesondere von naturnahen und vorratsreichen Wäldern und feuchten Waldstandorten sowie durch die CO₂-Speicherkapazität von Holz in langlebigen Holzprodukten. Dazu ist eine Erhöhung des Holzvorrates und Verlängerung der Umtriebszeiten, der Aufbau von Kohlenstoffvorräten im Waldboden (nassen humusreichen Standorten), die Ausdehnung der Waldfläche, sowie die Schaffung von Waldflächen mit natürlicher Waldentwicklung notwendig. Durch Erhöhung der Wertholzproduktion und Verringerung des Industrieholzanteils sowie der energetischen Holzverwendung kann der CO₂ Speicher in Form langlebiger Holzprodukte erhalten und erhöht werden.

4. Referenzen

- Aasness, M. A., & Odeck, J. (2015). The increase of electric vehicle usage in Norway - incentives and adverse effects. *European Transport Research Review*, 7(34). doi:10.1007/s12544-015-0182-4
- Benndorf, R., Bernicke, M., Bertram, A., Butz, W., Dettling, F., Drotleff, J., ... Zietlow, B. (2014). Treibhausgasneutrales Deutschland, 350. Retrieved from <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>
- Bjerkkan, K. Y., Norbech, T. E., & Nordtomme, M. E. (2016). Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43, 169–180. doi:10.1016/j.trd.2015.12.002
- BMU. (2010). *„Leitstudie 2010“: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Stuttgart. Retrieved from http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/leitstudie2011_bf.pdf
- BMW. (2010). Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. *Energy Scenarios for an Energy Plan of the Federal Government Prognos AG Basel EWI Köln GWS Osnabrück, LNCS 4084*(12), 267.
- Clarke, L., Jiang, K., Akimoto, K., Babiker, M., Blanford, G., Fisher-Vanden, K., ... van Vuuren, D. P. (2014). Assessing Transformation Pathways. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, ... J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. (pp. 418–491). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Climate Action Tracker. (2015). *INDCs lower projected warming to 2.7°C: significant progress but still above 2°C. Climate Action Tracker Update 1st October 2015*. Climate Action Tracker (PIK Potsdam, Climate Analytics, NewClimate Institute, Ecofys). Retrieved from http://climateactiontracker.org/assets/publications/CAT_global_temperature_update_October_2015.pdf
- Erhard, J., Reh, W., Treber, M., Oeliger, D., Rieger, D., & Müller-Görnert, M. (2014). *Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland: Weichenstellungen bis 2050*.
- Friedlingstein, P., Andrew, R. M., Rogelj, J., Peters, G. P., Canadell, J. G., Knutti, R., ... Le Quéré, C. (2014). Persistent growth of CO₂ emissions and implications for reaching climate targets. *Nature Geoscience*, 7(10), 709–715. doi:10.1038/ngeo2248
- Hillebrandt, K. et al. (2015). *Pathways to deep carbonization in Germany*. Berlin. Retrieved from deepdecarbonization.org
- Höhne, N., den Elzen, M., & Admiraal, A. (2015). *Analysis beyond IPCC AR5: Net Phase Out of Global and Regional Greenhouse Gas Emissions and Reduction Implications for 2030 and 2050*. The Hague.
- Höhne, N., den Elzen, M., & Escalante, D. (2014). Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies. *Climate Policy*, 14(1), 122–147. doi:10.1080/14693062.2014.849452
- ICCT Europe. (2014). *European Vehicle Market Statistics*. (Dr. Peter Mock, Ed.). Berlin: International Council on Clean Transportation. Retrieved from http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU_pocketbook_2014.pdf
- Institut, O., & Prognos. (2010). *Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her Denken*. Retrieved from <http://www.wwf.de/fileadmin/fm->

wwf/pdf_neu/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC.
- Matthes, F., Hansen, P., Diekmann, J., & Eichhammer, W. (2013). *Politikszenerarien für den Klimaschutz VI*. Retrieved from <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/politikszenerarien-fuer-den-klimaschutz-vi>
- Osterburg, B., Kätsch, S., & Wolff, A. (2013). *Thünen-Report: Szenarioanalyse zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050*. Braunschweig.
- Rogelj, J., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Schaeffer, M., Krey, V., & Riahi, K. (2015). Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5°C. *Nature Climate Change*, 5, 519–527. doi:10.1038/NCLIMATE2572
- Rogelj, J., Schaeffer, M., Meinshausen, M., Knutti, R., Alcamo, J., Riahi, K., & Hare, W. (2015a). Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. *Environ. Res. Lett.* , 10, 1–11. doi:10.1088/1748-9326/10/10/105007
- Rogelj, J., Schaeffer, M., Meinshausen, M., Knutti, R., Alcamo, J., Riahi, K., & Hare, W. (2015b). Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. *Environ. Res. Lett.* , 10, 1–11. doi:10.1088/1748-9326/10/10/105007
- Stenglein, J., Achner, S., Brühl, S., Milatz, B., Schuffelen, L., Krzikalla, N., ... Häsel, S. (2015). *Klimaschutz: Der Plan | Greenpeace*. Hamburg.
- UNFCCC. (2015). *Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President. Draft decision -/CP.21. Conference of the Parties. Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December 2015. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 (Vol. 21932)*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

Anhang

Das Jahr, an dem weltweite CO₂ Emissionen null erreichen müssen, wurde auf Basis des zur Verfügung stehenden CO₂ Budgets errechnet (Tabelle 3). Startpunkt ist das Budget 2010 bis 2100 wie es im Fünften Sachstandsbericht des IPCC vorgegeben ist. Abgezogen werden Emissionen von 2011 bis 2014. Danach wird angenommen, dass die Emissionen linear auf null sinken, bis das Budget verbraucht ist. Daraus ergibt sich, dass weltweite Emissionen für 1,5°C mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% im Jahr 2034 (gerundet 2035) null erreichen müssen. Daraus folgt wiederum, dass Emissionen in Deutschland vor 2035 null erreichen müssen (ohne zu spezifizieren wie viele Jahre), um Raum für Entwicklungsländer zu lassen.

Tabelle 3. Globales CO₂-Budget und Zeitpunkt an dem weltweite CO₂ Emissionen null erreichen müssen

Indikator	Temperaturerhöhung über vorindustriellem Niveau	
	<1.5°C	<2°C
66% Wahrscheinlichkeit	CO ₂ Budget (GtCO ₂)	
Verbleibendes CO ₂ Budget: Ende 2010 ¹⁾	400	1000
Verbleibendes CO ₂ Budget: Ende 2014 ²⁾	243	843
Zahl der Jahre bis das Budget verbraucht ist unter der Annahme einer linearen Reduktion ab 2014 ³⁾	12	42
Jahr in dem der Nullpunkt erreicht wird	2026	2056
50% Wahrscheinlichkeit	CO ₂ Budget (GtCO ₂)	
Verbleibendes CO ₂ Budget: Ende 2010 ¹⁾	550	1300
Verbleibendes CO ₂ Budget: Ende 2014 ²⁾	393	1143
Zahl der Jahre bis das Budget verbraucht ist unter der Annahme einer linearen Reduktion ab 2014 ³⁾	20	57
Jahr in dem der Nullpunkt erreicht wird	2034	2071

¹⁾ IPCC (2014), Tabelle 2.2

²⁾ 157 GtCO₂ wurden zwischen 2011 und 2014 emittiert (Friedlingstein et al., 2014).

³⁾ Startpunkt ist 40.3 GtCO₂ in 2014 (Friedlingstein et al., 2014).