

FIT FÜR DEN KLIMAWANDEL

DAS QUIZ

A. LORK

DER WEG IN DIE KLIMANEUTRALITÄT

MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN

OHNE FOSSILE BRENNSTOFFE



Da sitzt ein großer dicker grauer Elefant in
unserem Raum...

... und keiner sagt etwas.

Sie sehen, es wird nicht ganz einfach für mich. Denn normalerweise halten Sie ein Buch in den Händen, das Sie auch gerne lesen möchten. Ich möchte Ihnen ein Buch über den großen dicken grauen Elefanten unterjubeln, was Sie am Ende auch noch lesen sollen.

Wie wäre es da mit einem Quiz?

Andreas Lork

Fit für den Klimawandel

Das Quiz

**Der Weg in die Klimaneutralität
mit erneuerbaren Energien
ohne fossile Brennstoffe**

Andreas Lork hat als Diplom-Ingenieur der Elektrotechnik schon früh die Möglichkeiten der erneuerbaren Energien kennen gelernt. Mit der Vertiefungsrichtung Umweltmesstechnik standen ihm auch im Experiment die faszinierenden Eigenschaften unserer Atmosphäre offen. Heute arbeitet er als selbstständiger Softwareentwickler. Auch seine Erfahrungen aus dem Reporting finden sich in diesem Buch wieder. Sein Engagement für den Klimaschutz ist unabhängig von Firmen, Organisationen oder Parteien. Den Klimawandel und die Vorteile eines klimaneutralen Lebens knapp und einfach zu vermitteln, liegt ihm besonders am Herzen.

Weitere Beträge finden sich unter www.klimawandelquiz.de.

Für meine Freunde

ISBN Taschenbuch: 978-3-347-85392-8

ISBN Hardcover: 978-3-347-85393-5

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Für die Inhalte ist der Autor verantwortlich.

Diese Online-Version des Werks kann genutzt werden als:

„Creative Commons BY NC ND 4.0“

BY: Namensnennung

NC: Nicht kommerziell

ND: Keine Bearbeitungen

4.0: 4.0 International Public License

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.de>.

Der Autor ist unter info@klimawandelquiz.de zu erreichen.

Andreas Lork – Düsseldorf Jan. 2023

Herzlichen Dank an

Thomas

und meine hilfreiche und zu kurz gekommene

Familie

Vorwort

Der Klimawandel ist nicht mehr zu übersehen und wird immer bedrohlicher. Dabei ist ein klimaneutrales Leben unproblematisch, vorteilhaft und unterscheidet sich nicht wesentlich von unserem heutigen. Und doch steuern wir möglicherweise auf plus drei Grad Erderwärmung zu. Ist das viel? Später im Buch heißt es dazu:

3 °C wäre ein enormer Temperaturanstieg. Das zeigt ein Vergleich mit der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren. Dort war es drei Grad kälter, Nordeuropa lag teilweise unter massiven Eisschilden und der Meeresspiegel war 120 m tiefer. --- Eine andere Welt. --- Weder in einer um drei Grad kälteren noch wärmeren Welt wollen wir aus heutiger Sicht leben.

Nur wie konnte es soweit kommen, dass wir drei Grad Erderwärmung fürchten müssen? Um dies zu beantworten, müssen wir das Wirken eines auf den ersten Blick harmlosen Gases besser verstehen, die Vorteile einer Energieversorgung ohne fossile Brennstoffe kennen lernen und uns anschauen, bis wann wir wo stehen können.

Es bleibt eine Mammutaufgabe, ohne fossile Brennstoffe auszukommen. Keine Frage. Sich offen dem Thema zu stellen, ist jedoch immer der erste Schritt. Lassen Sie uns diesen Schritt gemeinsam gehen, diese große Aufgabe in übersichtliche Portionen zerlegen und schauen, wo der Schuh drückt.

Wissen Sie erst einmal die Antwort auf alle Fragen in diesem Buch, werden Sie nur noch eine Frage haben: Warum eigentlich nicht schon früher so? Doch Vorsicht, auch wenn die meisten Antworten leicht zu erraten sind, herrscht Glatteisgefahr, denn selten lässt die Reaktion „Das hätte ich nicht gedacht.“ lange auf sich warten.

Viel Spaß!

Inhalt

Raten Sie los	1
Teil 1 – Wie funktioniert der Klimawandel.....	3
Der Treibhauseffekt.....	5
Das Treibhausgas CO ₂	19
Der weltweite Temperaturanstieg und seine Auswirkungen.....	37
Teil 2 – Welche Maßnahmen gibt es	65
Der richtige Hebel.....	65
Erneuerbare Energie für alle Bereiche	77
Das können Sie tun	105
Teil 3 – Was haben wir bisher geschafft und was ist noch zu tun..	121
Das Bundes-Klimaschutzgesetz	121
Der Einsatz von Schlüsseltechnologien	135
Die weltweite Entwicklung	151
Anhang – Mein Appell	163
Meine Tipps für die wichtigsten Schritte.....	164
Klimaschutz durch kleine Veränderungen.....	169
Lieber jetzt als später	171
Sicherer Wohlstand auf Dauer	173
Disclaimer	176
Literaturverzeichnis	177
Abkürzungsverzeichnis	185

Raten Sie los

Überlegen Sie sich kurz die Antwort auf die folgenden Fragen. Keine Angst, Sie brauchen die Antworten nicht zu kennen, denn Sie dürfen gerne raten.

In geselliger Runde können Sie auch gemeinsam die Fragen als Quiz organisieren. Es gibt 10 Punkte für jede richtige Antwort. Es können Teams oder einzelne Kandidaten antreten. Werden mehrere Antworten pro Frage ausgewählt, gibt es fairerweise für jede falsche Antwort 10 Punkte Abzug.

Die Bonusfragen am Ende jedes Kapitels zählen nicht zum eigentlichen Quiz. Diese vertiefen den Inhalt und können gerne übersprungen werden. Fit für den Klimawandel werden Sie auch so.

Ohne größere Unterbrechungen sollten Sie in zweieinhalb Stunden sämtliche Fragen beantwortet haben. Je nachdem wie ausführlich Sie auf die weiteren oder referenzierten Inhalte eingehen, kann dieses Buch auch Abende füllen.

Ihr Feedback:

Ich freue mich immer über Anregungen und Kommentare unter info@klimawandelquiz.de.

Gerne stehe ich auch für Diskussionen oder Tipps zum Klimaschutz im privaten Bereich zur Verfügung.

Teil 1 – Wie funktioniert der Klimawandel

Was ist eigentlich der Klimawandel und betrifft er mich überhaupt? Diese oder ähnliche Fragen werden Sie wahrscheinlich aus dem Bauch heraus beantworten. Wie auch sonst. Doch irgendwie muss ich da immer an die Geschichte vom Wanderer mit dem Steinchen im Schuh denken: „Ein Wanderer hatte einst ein Steinchen im Schuh. Jedes Mal wenn das Steinchen ihn zu sehr schmerzte, schubste er es mit den Zehen zu einer anderen Stelle im Schuh. Als er schließlich zu Hause den Schuh auszog und seinen geschundenen Fuß besah, da reute er seiner Tatenlosigkeit beim Wandern.“ Diese Geschichte unbekannter Herkunft wird so oder so ähnlich erzählt. Mich hat sie nachdenklich gemacht. Was ist, wenn der Wanderer gar nicht zu faul war, das Steinchen herauszuholen und die Lage nur falsch einschätzte. Vielleicht fehlte ihm ein erfahrener Wanderer, der den eindringlichen Hinweis gibt: „Wenn du ein Steinchen im Schuh hast, nimm es gleich heraus.“

Gute Ratschläge gibt es reichlich auf dieser Welt. Alle zu befolgen, geht nicht. Deswegen sollen Sie, ohne Ihren Bauch zu bemühen, entscheiden, ob der Klimawandel Sie betrifft oder nicht. Dazu lassen Sie uns zunächst klären, wie der Klimawandel funktioniert und was seine Auswirkungen sind. Hierfür sind die Fragen im ersten Teil dieses Buches, von denen jede für sich klar beantwortet werden kann. Alle zusammen zeigen uns dann die Funktionsweise des Klimawandels und geben einen Eindruck von seinen Auswirkungen.

Am besten wir beginnen beim Treibhauseffekt.

Der Treibhauseffekt

Wenn der Treibhauseffekt keine großen Auswirkungen auf den Klimawandel hat, müssen wir ihn auch nicht weiter berücksichtigen. Also vergleichen wir zunächst den Zustand der Erde mit und ohne Treibhauseffekt:

Wie hoch ist die Durchschnittstemperatur auf der Erde?

A: 10 °C

B: 15 °C

C: 20°C

B: 15 °C

Die durch Messungen ermittelte durchschnittliche Oberflächentemperatur auf der Erde beträgt 15 °C.¹

Wie hoch wäre die Durchschnittstemperatur auf der Erde, wenn es keine Atmosphäre gäbe?

A: –15 °C

B: 0 °C

C: 15 °C

¹ Die Durchschnittstemperatur auf der Erde wird über die verschiedenen Wetterstationen berechnet. Da die Verteilung der Wetterstationen recht unterschiedliche ist, ist der absolute Temperaturwert nicht sehr genau. Die relativen Temperaturänderungen lassen sich jedoch genauer feststellen.

A: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Die Erde absorbiert Sonnenstrahlen. Dadurch erhöht sich die Temperatur auf der Erde. Bei steigender Temperatur strahlt die Erde auch immer mehr Wärmestrahlung in den Weltraum zurück, bis sich ein Strahlungsgleichgewicht zwischen einfallender Sonnenstrahlung und ausgehender Wärmestrahlung ergibt.

Geht man davon aus, dass die Erde aus physikalischer Sicht ein idealer Wärmestrahler ist, bei dem alle Oberflächen den vollen Emissionsgrad haben, ergibt sich nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz eine Durchschnittstemperatur von $-18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.²

Wird berücksichtigt, dass die Erde kein idealer Wärmestrahler ist und einen etwas niedrigeren Emissionsgrad hat, ergibt sich eine Durchschnittstemperatur von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Welcher Effekt sorgt hauptsächlich für die um $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ höhere Durchschnittstemperatur auf der Erde?

A: Treibhauseffekt

B: Kondensationswärme

C: Aufsteigende Luft

² Bei dieser Berechnung wird die Albedo der Erde ohne Atmosphäre gleich der Albedo mit Atmosphäre gesetzt. Was eine Vereinfachung ist, denn ohne Atmosphäre würde die Reflektion der Wolken fehlen. Allerdings hätte eine deutlich kältere Erde mehr Schnee- und Eisflächen, die wiederum die Albedo erhöhen würden.

Die Albedo ist ein Maß für die diffuse Rückstrahlung und gibt hier an, wie weiß die Erde erscheint.

A: Treibhauseffekt

Obwohl Kondensationswärme (Evapotranspiration³), aufsteigende Luft (Konvektion⁴) und direkt absorbierte Sonnenstrahlen insgesamt ein Drittel zur Erwärmung der Atmosphäre beitragen, sorgt doch fast ausschließlich die Gegenstrahlung⁵ des Treibhauseffekts dafür, dass die erwärmte Atmosphäre auch die Erdoberfläche erwärmen kann und die gemessene Durchschnittstemperatur um 30 °C höher ist als die berechnete ohne Atmosphäre.

³ Verdunstet Wasser auf der Erdoberfläche, entsteht dort Verdunstungskälte. Kondensiert der Dampf als Wolken in unserer Atmosphäre, entsteht dort Kondensationswärme. Durch diese beiden Effekte wird Wärme von der Erdoberfläche in die Atmosphäre transportiert.

⁴ Bei der Konvektion gibt eine warme Oberfläche Wärme an die Luft ab. Diese erwärmte Luft steigt auf und transportiert so Wärme ab.

⁵ Die Erde erwärmt sich durch absorbiertes Sonnenlicht und strahlt Wärmestrahlung zurück, die fast vollständig durch die erdnahe Atmosphäre absorbiert wird. Die erwärmte Atmosphäre strahlt nun auch Wärmestrahlung ab. Der Teil, der zur Erdoberfläche zurückgestrahlt wird, wird Gegenstrahlung genannt.

Insgesamt bewirkt die Gegenstrahlung, dass mehr Wärmestrahlung von der Erde absorbiert wird, als von der Sonne zur Erde ausgestrahlt wird. Trotz der reflektierenden Eigenschaften unserer Wolken und der Erdoberfläche wird fast um die Hälfte mehr absorbiert, als von der Sonne ausgestrahlt wird.

Das mag verwirrend klingen, denn wie kann mehr Wärmestrahlung auf der Erde ankommen, als die Sonne zu uns aussendet?

Eine Atmosphäre ohne Treibhausgase würde also einen enormen Temperatursturz bewirken. Schätzen Sie doch mal den Treibhausgasanteil in unserer Atmosphäre, bevor ich Ihnen die Treibhausgase weiter vorstelle:

Wie hoch ist der Treibhausgasanteil in der Atmosphäre?

A: 1 %

B: 10 %

C: 99 %

A: 1 %

Die trockene bodennahe Atmosphäre setzt sich im Prinzip zu 100 % aus Stickstoff (78 %), Sauerstoff (21 %) und Argon (1 %) zusammen (Prozentwerte gerundet). Diese Gase sind jedoch alle keine Treibhausgase.

Wasserdampf (H_2O) hat in der feuchten Atmosphäre einen stark schwankenden Anteil von 0 bis 4 % Vol.

Kohlendioxid (CO_2) ist das am meisten enthaltene Treibhausgas in der trockenen Luft. Es hat jedoch nur einen geringen Anteil von unter einem Promille.⁶

So ist alleine durch Wasserdampf der Treibhausgasanteil in unserer Atmosphäre im Bereich von 1 %.

Die Fragen dieses Kapitels machen eins eindrucksvoll deutlich:

Obwohl der Treibhausgasanteil in unserer Atmosphäre nur sehr gering ist, hat er große Auswirkungen und bestimmt letzten Endes, ob und wie wir auf unseren Planeten leben können.

Aus diesem Grund werden im nächsten Kapitel „Das Treibhausgas CO_2 “ die Treibhausgase genauer betrachtet, ohne die es keinen Treibhauseffekt gäbe.

⁶ IPCC (2022): A.1.1

Tauschen Sie sich auch mit Freunden über den Treibhauseffekt aus. Dabei könnten Sie folgende Fragen anbringen:

Was ist eigentlich Wärmestrahlung?

Wie lässt sich der Treibhauseffekt mit eigenen Worten beschreiben?

Warum zählt nur so ein kleiner Bestandteil unserer Atmosphäre zu den Treibhausgasen?

Wie ist Klimawandel eigentlich definiert?

Die Antworten finden Sie im folgenden Abschlusstext zu diesem Kapitel.

Wärme kann auf unterschiedliche Art und Weise übertragen werden. Ein Kamin wärmt einerseits durch Wärmestrahlung andererseits durch aufsteigende Luft. Wenn sie sich unter Berücksichtigung der Hinweise des Ofenherstellers dichter ans Feuer setzen, merken Sie, wie sich ihr Gesicht beim Betrachten des Feuers erwärmt. Halten Sie eine Hand mit leichtem Abstand vor Ihr Gesicht und Sie werden merken, wie sich die zum Feuer gewandte Handseite erwärmt und sich Ihr nun abgeschirmtes Gesicht abkühlt. Die Wärme die Sie verspürt haben, wurde durch Wärmestrahlung verursacht und nicht durch die warme Raumluft. Die Wärmestrahlung ist direkt vom Feuer ausgegangen und gradlinig zu Ihnen gelangt.

Den hier zweiten Effekt der Wärmeübertragung, die am Kamin aufsteigende Luft, machen Sie am besten sichtbar, wenn Sie ein Teelichtkarussell auf den Kamin stellen und beobachten, wie es sich zu drehen beginnt. Bei dieser Wärmeübertragung wird Luft durch direkten Kontakt mit dem Kamin erwärmt, steigt auf, kann etwas

Leichtes in Bewegung setzen, verteilt sich im Raum und erwärmt diesen dadurch.

Die Wärmestrahlung ist für uns ein großer Segen, denn sie transportiert ohne Verluste und kostenlos Licht und Wärme von der Sonne zu uns. Ohne den Treibhauseffekt wäre die Wärmeversorgung jedoch nur ungenügend. So zeigt sich der Treibhauseffekt als Wärmeregler an unserem solaren Heizungssystem und sorgt für gemäßigte Temperaturen.

Dabei ähnelt der Treibhauseffekt nur bedingt dem eines Gewächshauses. Während in einem Gewächshaus die Wärmestrahlung durch die gläsernen Wände hindurch geht und die erwärmte Luft bei geschlossenen Fenstern im Gewächshaus bleibt, ist es beim planetaren Treibhauseffekt eher umgekehrt. Die erwärmte Luft kann von der Erdoberfläche weichen und die abgestrahlte Wärmestrahlung wird zum großen Teil durch die Atmosphäre zurückgestrahlt.

Beim Treibhauseffekt durchdringt das Licht der Sonne zum großen Teil ungehindert die Atmosphäre, erwärmt die Erdoberfläche und die von der Erde abgestrahlte Wärmestrahlung durchdringt kaum noch die Atmosphäre. So sind die beiden Strahlungsarten, einfallendes Sonnenlicht und abgestrahlte Erdwärmestrahlung, grundlegend verschieden für unsere Atmosphäre.

Für beide gilt jedoch das Plancksche Strahlungsgesetz: Je heißer ein Körper wird, desto kurzwelliger und größer wird sein Strahlungsmaximum. Da die Sonne um ein Vielfaches heißer ist als die Erde, ist ihr einfallendes Licht auch viel kurzwelliger als das der kälteren Erde, was für die Absorptionsrate unserer Atmosphäre entscheidend ist.

Wussten Sie eigentlich, dass unsere Erde auch im Dunkeln leuchtet? Nein? Sie leuchtet aber im Infrarotbereich, der für das menschliche Auge jedoch nicht sichtbar ist.

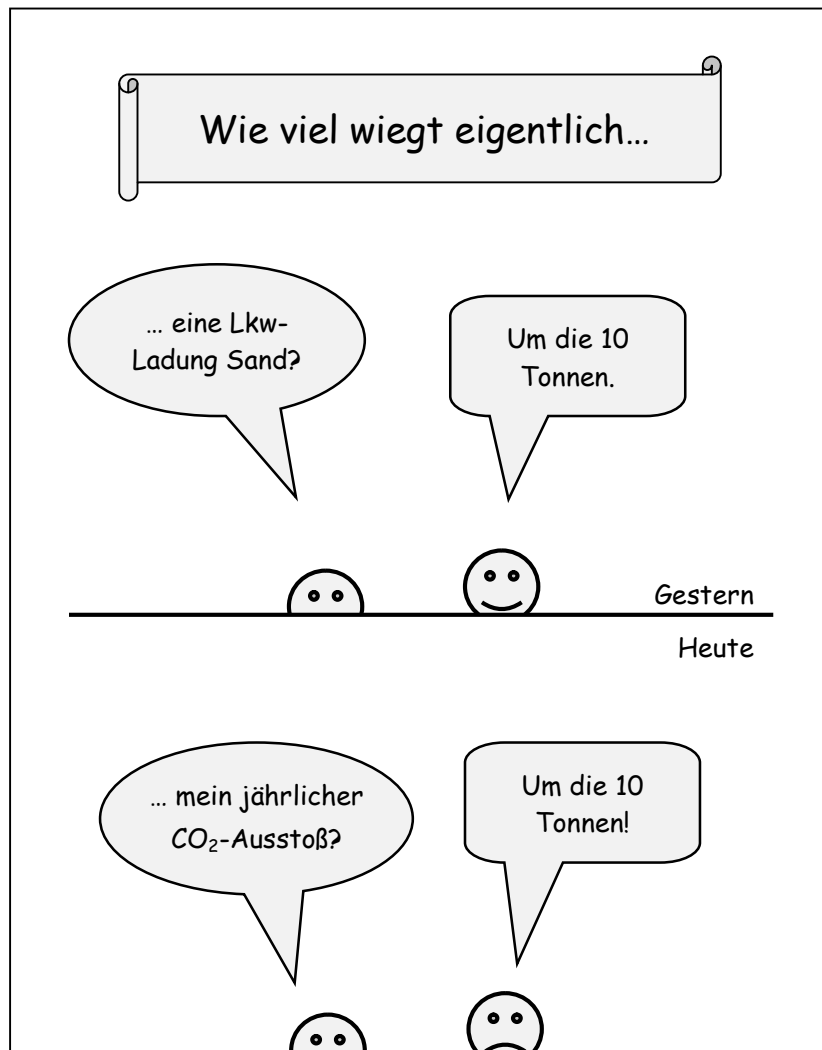
Diese von der Erde ausgehende langwellige Wärmestrahlung kann von gewissen Molekülen in der Atmosphäre absorbiert werden, aber nicht von allen. Hier kommen nur dreiatomige und komplexere Moleküle in Frage, welche einen Dipol bilden. Ein solcher Dipol wird durch einen asymmetrischen Aufbau und die ungleiche Ladungsverteilung im Molekül verursacht. Liegt der Abstand der Ladungen so zueinander, dass eine Wellenlänge des elektromagnetischen Lichts diese in Schwingung oder Rotation versetzen kann, dann wird Wärmestrahlung absorbiert und dieses Molekül gehört damit zu den Treibhausgasen. Die so absorbierte Wärmestrahlung kann wieder von der Atmosphäre abgegeben werden und erwärmt die Erde zusätzlich.

Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2) und Argon (Ar) haben keinen dreiatomigen oder komplexeren Aufbau. Sie gehören damit nicht zu den Treibhausgasen. Ihr Anteil in unserer Atmosphäre macht allerdings fast 100 % aus. So bleibt für die Treibhausgase nur der verbliebene sehr kleine Anteil in unserer Atmosphäre übrig.

Diesen kleinen Anteil beeinflussen wir seit Beginn der industriellen Revolution maßgeblich, so dass die Vereinten Nationen 1992 in ihrem Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen in Artikel 1 den Klimawandel (Climate Change) wie folgt definierten:

„Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen.“

So ist mit Klimawandel also bereits in erster Linie der vom Menschen verursachte (anthropogene) gemeint.



Das Treibhausgas CO₂

Welches Treibhausgas bleibt über Generationen in der Atmosphäre?

A: Wasserdampf (H₂O)

B: Methan (CH₄)

C: Kohlendioxid (CO₂)

C: Kohlendioxid (CO₂)

Die durchschnittliche Verweildauer von Wasserdampf beträgt nur zehn Tage. Denn Wasserdampf bildet in kälteren Luftschichten Wassertröpfchen oder Eiskristalle. Und diese fallen dann schließlich ganz als Niederschlag auf die Erde.⁷

Methan kann in der Atmosphäre mit anderen Molekülen reagieren und so abgebaut werden. Die durchschnittliche Verweildauer beträgt ungefähr zehn Jahre.⁸

Der größte Teil des CO₂-Ausstoßes hält sich hingegen über Generationen in der Atmosphäre. Die restlichen Teile werden vom Ozean aufgenommen oder auf natürliche Weise an Land gebunden.⁹

Je größer der CO₂-Ausstoß ist, desto geringer wird die Aufnahmerate des Ozean und der Landsysteme.¹⁰

CO₂ hält sich deswegen so lange in der Atmosphäre, da es für CO₂ keine Abbauprozesse in der Atmosphäre gibt. CO₂ wird zwischen den Speichersystemen der Erde nur umverteilt. Dabei findet ein schneller Austausch zwischen der Atmosphäre, dem oberen Ozean und der Vegetation statt. Ein Austausch mit Böden und der Tiefsee dauert Jahrhunderte bis Jahrtausende. Während der Austausch mit Gesteinen mehrere Zehn- bis Hunderttausendjahre dauert.¹¹

Damit sind für menschliche Verhältnisse auch alle Klimaveränderungen, die der Mensch durch seinen CO₂-Ausstoß herbeiführt, perma-

nent. Es müssen also noch Generationen nach uns mit dem hohen CO₂-Gehalt in der Atmosphäre leben.

Um wie viel Prozent hat sich die Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre seit der Industrialisierung erhöht?

A: 1 %

B: 10 %

C: 45 %

⁷ IPCC (2017): FAQ 8.1

⁸ IPCC (2017): FAQ 12.3

⁹ IPCC (2022): A.1.1

¹⁰ IPCC (2022): B.4

¹¹ IPCC (2017): FAQ 6.2

C: 45 %

In der Tat ist die Konzentration mittlerweile auf über 410 ppm angestiegen. Nie zuvor, seitdem es Menschen gibt, ist die CO₂-Konzentration so hoch gewesen. Als Charles David Keeling 1958 mit seinen Aufzeichnungen begann, betrug die Konzentration noch 315 ppm. Für 1850 muss der Wert rekonstruiert werden und kann mit ungefähr 280 ppm angenommen werden.¹²

Dabei erfolgte die Zunahme nicht gleichmäßig. Da immer mehr CO₂ in die Atmosphäre ausgestoßen wird, beschleunigt sich auch der Anstieg der CO₂-Konzentration. Zwischen 1990 und 2020 ist die Konzentration alleine um 60 ppm gestiegen. So ist nahezu die Hälfte des Anstiegs den letzten 30 Jahren geschuldet.

Wie groß ist der menschliche Einfluss auf den Klimawandel?

A: Doppelt so hoch,

B: dreimal so hoch oder

C: zwanzigmal so hoch

wie die natürlichen Einflüsse auf den Klimawandel?

¹² Die Universität of California San Diego führt die atmosphärischen Messungen von Charles David Keeling fort und veröffentlicht den CO₂-Gehalt der Atmosphäre als die Keeling-Kurve unter <https://keelingcurve.ucsd.edu>.

C: Zwanzigmal so hoch

Natürliche Einflüsse sind Vulkanausbrüche, die Ausrichtung der Erde zur Sonne und die Sonnenaktivität selbst.

Große Vulkanausbrüche verursachen eine Veränderung von kurzen Perioden. Während die Staub- und Aschewolken bei einem Vulkanausbruch zunächst für fallende Temperaturen sorgen, bewirken die ausgestoßenen Treibhausgase insgesamt eine Erwärmung.

Die Sonnenaktivität schwankt in Zyklen über mehrere Jahre. Auch nimmt die Intensität der Sonnenstrahlen mit dem Altern eines Sterns über Jahrmillionen zu.

Diese und weitere Zyklen, die über viele tausende von Jahren wirken, werden als Milanković-Zyklen beschrieben. Diese berücksichtigen weiter die Erdumlaufbahn und die Ausrichtung zur Sonne.

Insgesamt trugen die natürlichen Prozesse in den letzten 250 Jahren nur so wenig zum Klimawandel bei, dass sie gegenüber denen vom Menschen gemachten vernachlässigt werden können.¹³

Welches vom Menschen in die Atmosphäre abgegebene Treibhausgas ist der größte Treiber des Klimawandels?

A: CO₂

B: Wasserdampf

C: Methan

¹³ **IPCC (2021)**: Table AIII.4: Jahr 2019; Total Anthropogen von 2,72 zu Total Natürlich von 0,12 W m⁻²

A: CO₂

Zwar sind Wasserdampf und Methan viel klimaschädlichere Treibhausgase, jedoch haben sich diese nicht über viele Jahrzehnte in der Atmosphäre angesammelt¹⁴ und führen einen derartigen Klimawandel herbei.

Der Anteil von CO₂ zum Klimawandel ist fast doppelt so hoch wie der der anderen gut durchmischten Treibhausgase.¹⁵

Wasserdampf leistet zwar den größten Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt, sein atmosphärischer Gehalt wird aber nicht durch vom Menschen erzeugten Wasserdampf sondern durch die Temperatur bestimmt. Daher wird Wasserdampf als Rückkopplungseffekt zum menschengemachten Klimawandel verstanden.¹⁶

Wie stark muss der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert werden, wenn die weltweite Durchschnittstemperatur nicht mehr steigen soll – also Klimaneutralität erreicht werden soll (abgesehen vom unabwendbaren Klimawandel, welcher im nächsten Kapitel unter Bonusfragen angesprochen wird)?

A: Der Ausstoß darf nicht mehr steigen

B: Auf den Stand von 1990

C: Auf die netto Null

¹⁴ IPCC (2017): FAQ 12.3 Verweildauer Methan ungefähr zehn Jahre

¹⁵ IPCC (2021): Table AIII.4: Jahr 2019; CO₂ von 2,16 zu 1,16 durch CH₄, N₂O und Halogenkohlenwasserstoffe in W m⁻²

¹⁶ IPCC (2017): FAQ 8.1

C: Auf die netto Null

Ziel ist die netto Null. Es dürfen nur noch so viele Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, wie auf natürliche oder technische Weise der Atmosphäre entnommen werden können.

Dieser Zustand wird auch Klimaneutralität genannt.

Praktisch bedeutet das: Es dürfen keine fossilen Brennstoffe mehr benutzt werden.

Wie viel Tonnen Kohlenstoff müssten jährlich für Deutschland entnommen werden, um auf die netto Null zu kommen (in Cheops-Pyramiden)?

A: 20 Pyramiden

B: 40 Pyramiden

C: 2000 Pyramiden

B: 40 Pyramiden

In Deutschland werden jährlich noch so viele Tonnen CO₂ ausgestoßen, dass wir Jahr für Jahr 40 Pyramiden mit dem Gewicht der Cheops-Pyramide aus reinem Kohlenstoff bauen müssten, um das ausgestoßene CO₂ zu kompensieren.

Die Kosten dafür wären immens und unnötig, wie das Kapitel Maßnahmen zeigen wird.

Würde Deutschland seinen Pro-Kopf-Verbrauch an den weltweiten Durchschnitt anpassen, müssten noch 20 Pyramiden jährlich errichtet werden.

Weltweit müssten jedes Jahr 2000 Pyramiden entstehen, um den globalen menschengemachten CO₂-Ausstoß zu kompensieren.¹⁷

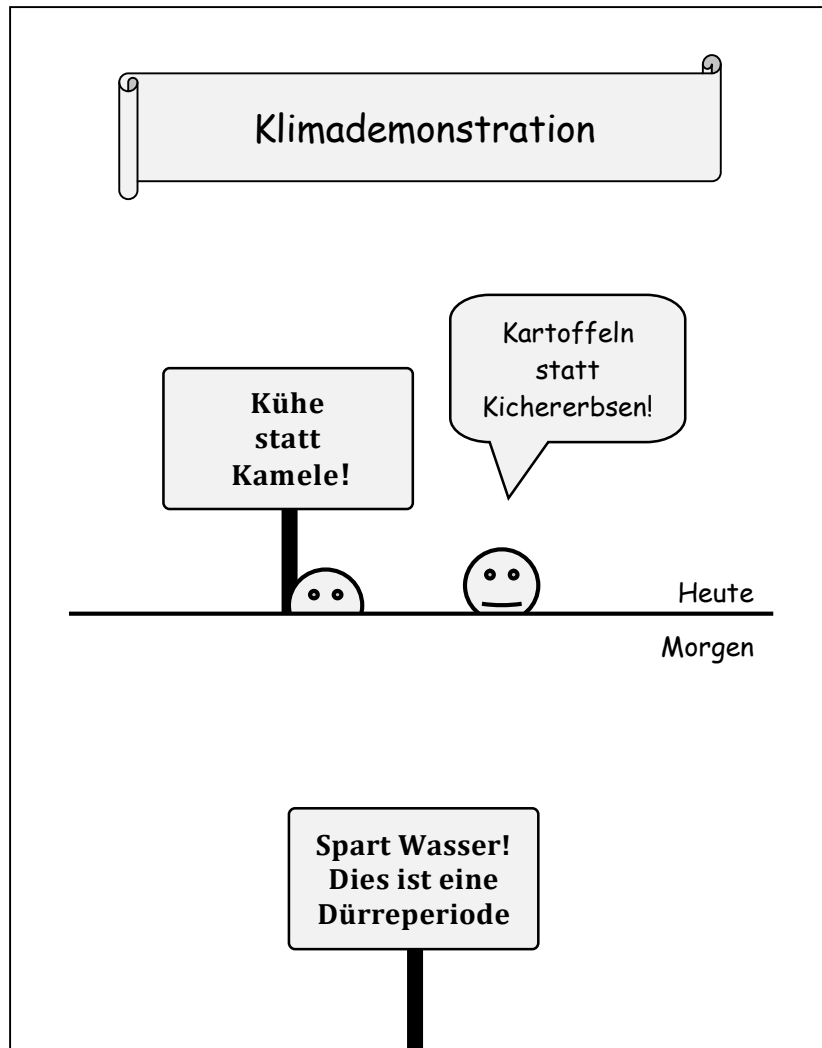
Der Treibhauseffekt hat große Auswirkungen, das wissen wir spätestens seit dem ersten Kapitel. Nun kommt hinzu, dass wir große Auswirkungen auf den Treibhauseffekt haben:

Unser Einfluss auf den Treibhauseffekt ist es, der den Klimawandel bewirkt. Getrieben wird der Klimawandel durch den menschengemachten Ausstoß von Treibhausgasen. Andere natürliche Ursachen für den Klimawandel können dabei vernachlässigt werden. Es ist der CO₂-Ausstoß, der besonders problematisch ist. Denn das CO₂ sammelt sich viel schneller an, als es sich auf natürliche Weise abbaut oder durch technische Verfahren abbauen ließe. Damit ist jede herbeigeführte globale Erwärmung über Generationen beständig.

Aber mit welchem Temperaturanstieg ist eigentlich zu rechnen? Und wie sehen seine Auswirkungen aus?

Das folgt im Kapitel „Der weltweite Temperaturanstieg und seine Auswirkungen“.

¹⁷ **IPCC (2018):** C.1.3 Satz 3: 42 Gt CO₂ entsprechen 11,5 GtC. Geschätztes Gewicht Cheops-Pyramide 5,75 Megatonnen (2,3 Millionen Steine je 2,5 t).



Ein tieferer Einblick in die Physik der Treibhausgase ist zum Beurteilen der Klimawandelproblematik nicht unbedingt nötig. Möchten Sie jedoch mehr über Treibhausgase erfahren, springen Sie noch nicht zum nächsten Kapitel, denn es gibt noch viele spannende Fragen:

Was kann CO₂ noch alles?

Welche Rolle spielt Wasserdampf?

Welches Treibhausgas hat die größten Auswirkungen auf den Treibhauseffekt?

Welches Treibhausgas ist das effizienteste?

CO₂ hat viele bemerkenswerte Eigenschaften. Es riecht nicht, es ist in der Luft unsichtbar, wir schmecken und fühlen es nicht. Es ist sogar ein Abfallprodukt unseres Stoffwechsels und wir atmen es permanent aus. Ohne CO₂ wäre das pflanzliche Wachstum nicht möglich und damit unsere Existenz, wie wir sie kennen.

Es ist also zunächst einmal nicht einsehbar, warum ein so lebenswichtiges Gas ein Problem darstellen soll. Ein Blick in die Erdgeschichte offenbart jedoch Erstaunliches und Dramatisches.

Es hat sich bereits vor 3,5 Milliarden Jahren Leben auf der Erde entwickelt. Zu dieser Zeit war die Sonnenaktivität noch so schwach, dass die Erde ein lebloser Eisplanet hätte sein müssen. Dies war allerdings nicht der Fall, denn anstatt Sauerstoff gab es viele Treibhausgase in unserer Atmosphäre, vor allem CO₂ und Methan, welche die von der Sonne ausgehende Wärme auf der Erde hielten.

Vor 2,3 Milliarden Jahren fingen lebende Organismen an, Sauerstoff durch Photosynthese zu produzieren. Dabei wurde CO₂ aus der At-

mosphäre entnommen und das Methan oxidierte. Die Treibhausgase nahmen so stark ab, dass sich die Erde in einen Schneeball verwandelte. Auf einem solchen Schneeball konnte das Leben vielleicht nur zwischen Eisschollen am Äquator bestehen.

Vulkanausbrüche fügten der Atmosphäre wieder Treibhausgase hinzu, so dass sich die Erde wieder erwärmen konnte. Seitdem haben Vulkanausbrüche, die Erdumlaufbahn, die Neigung der Erdachse, Meteoriten und die Sonnenaktivität immer wieder starke Klimaveränderungen ausgelöst. Getrieben wurden die Klimaveränderungen jedoch letzten Endes wieder durch den steigenden oder sinkenden CO₂-Gehalt in der Atmosphäre.

Momentan steigt der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre schnell an. Denn durch die Verbrennung der fossilen Brennstoffe wird ein Teil des in längst vergangenen Erdzeitaltern und über Jahrmillionen entnommenen CO₂ wieder der Atmosphäre hinzugefügt. Einer Atmosphäre, die nicht mehr so viel CO₂ verträgt, um eine gemäßigte Durchschnittstemperatur zu halten. Denn die Sonnenaktivität nahm über Millionen von Jahren stetig zu. Ein Ungleichgewicht, das durch einen niedrigeren CO₂-Gehalt ausgeglichen wurde. Diesen Ausgleich lassen wir momentan viel zu schnell und viel zu stark aus dem Ruder laufen.

Effektiv gesehen wirkt sich Wasserdampf am stärksten auf den Treibhauseffekt aus. Denn Wasserdampf ist mit Abstand das am häufigsten auftretende Treibhausgas in unserer Atmosphäre. Auch ist Wasserdampf ein effizienteres Treibhausgas als CO₂. Es kann bei gleicher Menge mehr zum Treibhauseffekt beitragen. Jedoch wird die Menge von Wasserdampf in unserer Atmosphäre überwiegend durch die Lufttemperatur und nicht durch unseren Ausstoß bestimmt. Je wärmer es wird, desto mehr Wasserdampf kann unsere Atmosphäre aufnehmen. Egal wie viel Wasserdampf wir auch er-

zeugen mögen, nach durchschnittlich zehn Tagen geht Wasserdampf als Niederschlag auf die Erde zurück.¹⁸

Trotzdem verschärft Wasserdampf den Klimawandel. Denn er wirkt wie ein Verstärker für die anderen Treibhausgase. Erhöhen diese die Temperatur ein wenig, kann die Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen und der Effekt wird noch verstärkt.

Zum Vergleich: Methan ist ein 26,5-mal klimaschädlicheres Treibhausgas als CO₂.¹⁹ Wasserdampf ist sogar noch klimaschädlicher und kommt in viel größeren Mengen in der Atmosphäre vor. Und doch ist CO₂ der Haupttreiber dieses Klimawandels. Denn CO₂ kann langfristige Veränderungen herbeiführen, indem es sich stetig Jahr für Jahr in der Atmosphäre ansammelt.

¹⁸ IPCC (2017): FAQ 8.1

¹⁹ IPCC (2013b): Appendix 8.A



Der weltweite Temperaturanstieg und seine Auswirkungen

Wo erwärmen sich die Oberflächentemperaturen überall besonders stark? (Achtung, ab jetzt können mehrere Antworten richtig sein.)

A: Im Ozean

B: An Land

C: Dort, wo Eisschilde und Schneedecken verschwinden

B und C: An Land und dort, wo Eisschilde und Schneedecken verschwinden

Die Oberflächentemperatur der Ozeane erwärmt sich langsamer als die an Land.

Besonders stark ändern sich die Temperaturen dort, wo Eisschilde oder Schneedecken verschwinden, da Böden oder Wasserschichten ohne ihre reflektierenden Eigenschaften viel mehr Wärmestrahlung absorbieren können.

An Land sollten wir uns also auf höhere Temperaturen einstellen als die prognostizierte durchschnittliche globale Erwärmung.²⁰

Um wie viel hat sich bereits die Erde erwärmt (seit der Industrialisierung)?

A: 0,78 °C B: 1,09 °C C: 1,2 °C

²⁰ IPCC (2014): Abbildung SPM.1

B: 1,09 °C

Gegenüber der Referenzperiode von 1850 bis 1900 war es im ersten Jahrzehnt unseres 21-Jahrhunders um 0,78 °C wärmer.²¹

Im zweiten Jahrzehnt war es um 1,09 °C wärmer.²²

Da sich die Temperatur auf den Mittelwert eines Jahrzehnts bezieht und die Temperatur mittlerweile pro Jahrzehnt um 0,2 bzw. 0,3 °C steigt, muss die aktuelle Temperaturerhöhung mittels linearem Trend angenommen werden. So wäre es 2020 bereits um über 1,2 °C wärmer.

Bei dem aktuellen Trend wird das 1,5-Grad-Ziel noch vor 2030 verfehlt.²³

Was bedeutet es, wenn das 1,5-Grad- Ziel verfehlt wird?

- A: Das Durchlaufen von Kipppunkten kann nicht mehr ausgeschlossen werden
- B: Die Kosten zur Bereinigung von Klimaschäden und für nötige Anpassungsmaßnahmen überwiegen die Investitionen zur Abwendung des Klimawandels
- C: Regionale Katastrophen, wie der Verlust von 70 bis 90 % aller Korallen durch die Korallenbleiche, treten auf

²¹ **IPCC (2014)**: B.1

²² **IPCC (2022)**: A.1.2

²³ **IPCC (2022)**: Siehe auch Tabelle SPM.2 zum verbleibenden CO₂-Restbudget ab 2020 von 400 Gt CO₂ (67 % Wahrscheinlichkeit)

A, B und C:

Zu A: Das Durchlaufen von Kippunkten kann nicht mehr ausgeschlossen werden

Viele Prozesse in der Natur beschleunigen sich aus sich selbst heraus. Eisschilde und Schneedecken reflektieren im hohen Maße Wärmestrahlung. Gehen diese verloren, weil es wärmer wird, wird es noch wärmer, da ihre reflektierenden Eigenschaften fehlen. Taut der Permafrost auf, da zu viele Treibhausgase das Klima erwärmen, werden die im Permafrost gebundenen Treibhausgase, insbesondere Methan, freigesetzt und verstärken den Treibhauseffekt noch mehr.

Wird das 1,5-Grad-Ziel verfehlt, kann nicht mehr ausgeschlossen werden, dass Kippunkte durchlaufen werden.²⁴ Im Übereinkommen von Paris wird für die Erwärmung ein Temperaturkorridor von 1,5 bis 2 °C angegeben. Folgende Kippelemente könnten bereits in diesem Korridor kippen: Das Westantarktische Eisschild, Grönländisches Eisschild, Arktisches Sommermeereis, Alpine Gletscher und Warmwasserkorallen.²⁵

Während die Erwärmung durch den menschengemachten Ausstoß von Treibhausgasen mittels langfristiger und zahlreiche Messdaten mit hoher Wahrscheinlichkeit nachgewiesen werden kann, bergen die Kippelemente ein gewisses Risiko, da Verlauf und Auswirkung nur abgeschätzt werden können und noch zu beobachten sind. Fest steht nur die Unumkehrbarkeit.

²⁴ **IPCC (2018a):** FAQ 3.1 letzter Absatz

²⁵ **Schellnhuber et al. (2016)**

Zu B: Die Kosten zur Bereinigung von Klimaschäden und für nötige Anpassungsmaßnahmen überwiegen die Investitionen zur Abwendung des Klimawandels

Die Biodiversität und bedrohte Ökosysteme werden durch den Klimawandel zusätzlich gefährdet. Unsere Infrastruktur in Form von Straßen, Schienen, Schifffahrtswegen, Energie- und Wasserversorgung sowie Hochwasserschutz, unsere Forst- und Landwirtschaft, unsere Siedlungen und unser Katastrophenschutz sind gegenüber den sich ausweitenden Wetterextremen nicht angepasst.²⁶ Die Kosten für Anpassungsmaßnahmen und zur Beseitigung von Klimaschäden übersteigen bereits die Investitionen zur Abwendung des Klimawandels beim Verfehlen des 1,5-Grad-Ziels.²⁷ Welche Investitionen in welcher Höhe getroffen werden müssen, wird im Kapitel Maßnahmen erläutert. Jedenfalls werden es Investitionen sein, die sich rentieren und die unser Leben günstiger und sicherer machen werden.

²⁶ **IPCC (2018):** Abbildung SPM.2

²⁷ **IPCC (2014a):** FAQ 6.3

Zu C: Regionale Katastrophen, wie der Verlust von 70 bis 90 % aller Korallen durch die Korallenbleiche, treten auf

Anstatt vom Klimawandel wird von einer Klimakrise gesprochen, wenn eine Klimakatastrophe in Aussicht steht und diese noch verhindert werden kann.

Eine Klimakatastrophe erzeugt nicht wieder herzustellende Schäden und übersteigt die vorhandenen Schutz- und Abwehrmaßnahmen.

Bereits beim Verfehlen des 1,5-Grad-Ziels kommt es regional zu katastrophalen Auswirkungen. So werden in diesem Fall unter anderem wahrscheinlich 70 bis 90 % aller Korallen durch die Korallenbleiche verloren gehen.²⁸

Welcher Temperaturanstieg ist vom „Weltklimarat“ als gefährlich definiert worden?

A: 1,5 °C

B: 2 °C

C: 3 °C

²⁸ IPCC (2018): Abbildung SPM.2 und B.4.2

B: 2 °C

In der Klimarahmenkonvention von 1992 soll ein „gefährlicher“ Temperaturanstieg vermieden werden.

Was unter einem gefährlichen Temperaturanstieg zu verstehen ist, war in den folgenden Jahren Teil eines intensiven und vielseitigen Diskurses.

Seit der Klimakonferenz 2010 im mexikanischen Cancún ist die 2-Grad-Grenze Ziel der internationalen Klimaschutzbemühungen.

Mit dem Pariser Übereinkommen wurde diese Grenze erstmals in das völkerrechtliche Übereinkommen aufgenommen und hinzugefügt, dass der Temperaturanstieg „deutlich unter 2 °C [...] gehalten wird und Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C [...] zu begrenzen“.

Dies folgt nicht zuletzt der Einsicht, dass bereits im 1,5 bis 2 °C Korridor Kippunkte überschritten werden könnten.

Mit welchen Auswirkungen ist zu rechnen bei einer Erwärmung von 2 °C?

A: Extrem heiße Tage werden um 4 °C wärmer

B: Hitzerekorde und Hitzewellen werden Normalität

C: Die Anzahl an Gebieten mit Überschwemmungsrisiko nimmt zu

A, B und C: Extrem heiße Tage werden um 4 °C wärmer, Hitzerekorde und Hitzewellen werden Normalität und die Anzahl an Gebieten mit Überschwemmungsrisiko nimmt zu

Die extrem heißen Tage werden auch in Europa um 4 °C wärmer.²⁹

Klimafakten.de (2018)³⁰ verdeutlicht diese Auswirkungen am Beispiel vergangener Wetterextreme:

Neun von zehn Jahren werden so heiß sein, wie das weltweite Rekordjahr von 2016.

In zwei von drei Jahren wird es Hitzewellen wie die von 2003 geben, welche in Europa viele Todesopfer gefordert hat.

Weltweit nimmt die Landfläche, bei der das Risiko von Überschwemmungen an Flüssen deutlich steigt, um 21 % zu.

In Deutschland wird bereits ein Trend zu mehr Hitzeereignissen und Dürremonaten verzeichnet. Inwieweit eine erwärmte Atmosphäre, die mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann, in Deutschland auch zu vermehrten Starkregenereignissen führt, muss differenziert betrachtet werden.³¹

Stellen Sie sich also auf höhere Lebensmittelpreise ein, wenn immer mehr Ernten von Dürre oder Extremwetter betroffen sind. Steigende Versicherungsbeiträge oder der Verlust des Versicherungsschutzes in besonderen Situationen könnten eine Anpassung an sich ändernde Niederschlagsereignisse sein.

Auf welchen Temperaturanstieg steuern wir gerade bis zum Ende des 21-Jahrhunders zu?

A: 2 °C

B: 2,7 °C

C: 4,4 °C

²⁹ **IPCC (2018):** B.1.2

³⁰ **Klimafakten.de (2018):** Klimawandel: Macht ein halbes Grad wirklich einen Unterschied? Modifiziert von Andreas Lork

³¹ **Deutscher Wetterdienst (2022)**

B oder C: 2,7 oder 4,4 °C

Nimmt weltweit der Treibhausgasausstoß weiterhin zu³², landen wir Ende des Jahrhunderts bei einem Temperaturanstieg von 4,4 °C.³³

Wird angenommen, dass sich die Treibhausgasemissionen, wie geplant stärker verringern, landen wir bei 2,7 °C, was einem anderen Planeten entspricht, auf dem wir aus heutiger Sicht nicht leben wollen.³⁴

Wie schnell erwärmt sich die Erde durch den menschengemachten Klimawandel?

A: Langsamer,

B: schneller oder

C: um ein Vielfaches schneller

gegenüber einem natürlichen Klimawandel?

³² Siehe letztes Kapitel aus Teil 3 „Die weltweite Entwicklung“

³³ **IPCC (2022)**: Tabelle SPM.1 Szenario SSP5-8.5 und Box SPM.1

³⁴ **IPCC (2022)**: Tabelle SPM.1 Szenario SSP2-4.5 und Box SPM.1

C: Um ein Vielfaches schneller gegenüber einem natürlichen Klimawandel

Eigentlich leben wir in einer Eiszeit. Geprägt von kürzeren Abschnitten von Kalt- und Warmzeiten.

Diese Abschnitte lassen sich anhand von Eisbohrkernen erforschen. Eisbohrkerne sind ein wichtiges Klimaarchiv. Anhand dieser kann am genauesten über mehrere Hunderttausendjahre in die Vergangenheit geschaut werden.

Findet ein Übergang von einer Kaltzeit zu einer Zwischenwarmzeit statt, können besonders ausgeprägte Erwärmungen rekonstruiert werden. Jedoch hat der derzeitige Temperatursprung von 1 °C um ein vielfaches schneller stattgefunden als die rekonstruierten.

Wird neben der rekonstruierten Temperatur der gemessene CO₂-Gehalt aus den Eisbohrkernen betrachtet, ist der menschengemachte Anstieg noch ausgeprägter. Ein CO₂-Anstieg von 100 ppm entspricht dem Übergang von einer Kalt- in eine Zwischenwarmzeit und findet als natürlicher Prozess hundertmal langsamer statt als der menschengemachte CO₂-Anstieg.

Ab welchem Temperaturanstieg ist mit einem Massensterben, wie zu Zeiten der Dinosaurier zu rechnen?

A: 3 °C

B: 5 °C

C: 10 °C

B bzw. C: 5 beziehungsweise 10 °C

3 °C wäre ein enormer Temperaturanstieg. Das zeigt ein Vergleich mit der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren. Dort war es drei Grad kälter, Nordeuropa lag teilweise unter massiven Eisschilden und der Meeresspiegel war 120 m tiefer.

Ab einem Temperaturanstieg von 3 °C wird die Wahrscheinlichkeit auf 50 % geschätzt, dass ein sich selbstverstärkender Klimawandel eintritt. Diese Gefahr besteht in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts, wenn die prognostizierten 2,8 °C erreicht werden. Auch Anpassungsgrenzen werden vermehrt erreicht.³⁵

Bei einem Temperaturanstieg von 5 °C könnte ein Massensterben eintreten, wenn weitere nachteilige Faktoren hinzukommen. Weitere nachteilige Faktoren könnten der unnatürlich schnelle Temperaturanstieg oder die Zerstörung ganzer Lebensräume sein.

Ab einem Temperaturanstieg von 10 °C tritt ein Massensterben mit sehr großer Zuverlässigkeit ein.³⁶

Ein Temperaturanstieg von über 10 °C würde eintreten, wenn alle fossilen Brennstoffe verbrannt werden.

Wie schnell müssen wir die netto Null erreichen, um das 2-Grad-Ziel zu erreichen?

A: Bis 2100

B: Bis 2050

C: Bis 2045 bei Einhaltung der Zwischenziele

³⁵ **Randers (2016):** Kapitel 9 und weitere

³⁶ **Bond et al. (2017)**

C: Bis 2045 bei Einhaltung der Zwischenziele

Das ursprüngliche und bereits ambitionierte Ziel war, 2050 klimaneutral zu werden. Es ging davon aus, dass sofort mit den Einsparungen begonnen wird und dass alle Treibhausgasreduktionen gerecht über den gesamten Zeitraum verteilt werden. In erster Näherung verdeutlicht Abbildung 1 diesen Verlauf.

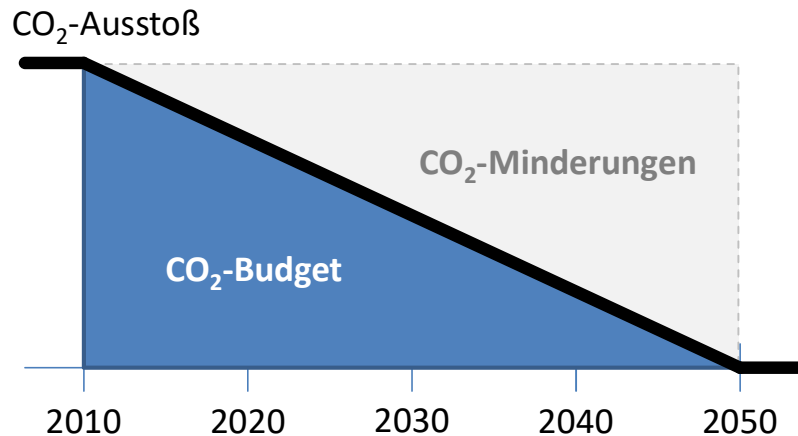


Abb. 1: Linearer Rückgang der CO₂-Emissionen bei maximaler Ausnutzung des CO₂-Budgets mit Start um 2010

Das 2-Grad-Ziel ist an eine Menge CO₂ gekoppelt, die maximal ausgestoßen werden darf. Diese Menge wird auch das verbleibende CO₂-Budget genannt und wird durch die dunkelblaue Fläche verdeutlicht. Beginnen wir später mit den Einsparungen, ist das CO₂-Budget früher aufgebraucht. Wollen wir dem entgegenwirken und das 2-Grad-Ziel trotzdem umsetzen, müssen wir die Einsparungsrate erhöhen und die Klimaneutralität früher erreichen.

Da bis 2020 die weltweiten Treibhausgasemissionen eher gleich geblieben sind, ergibt sich nun folgender Verlauf bei gleichem Budget:

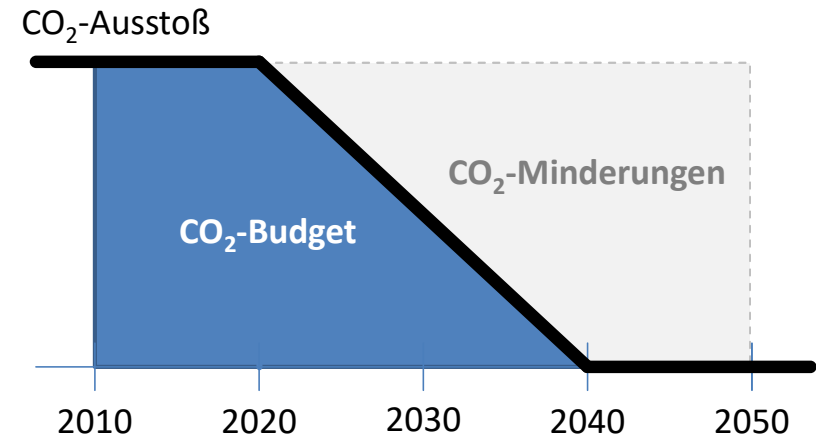


Abb. 2: Linearer Rückgang der CO₂-Emissionen bei maximaler Ausnutzung des CO₂-Budgets mit verzögertem Start um 2020

Dass das CO₂-Budget gleich geblieben ist, kann an der Gesamtfläche überprüft werden. Denn die unveränderte Gesamtfläche wird wieder zu gleichen Teilen von der dunkelblauen und hellgrauen Fläche ausgefüllt.

Auf die verspäteten Einsparungen hat die EU bereits reagiert und ihre Ziele zur Klimaneutralität auf 2045 vorverlegt. Eine Maßnahme, die zunächst erhöhte Klimaschutzambitionen suggeriert. Allerdings kann dies auch nur eine unzureichende Maßnahme im Rahmen der politischen Möglichkeiten sein, die auf Dauer zu einer Überschreitung des CO₂-Budgets führt.

Sollte der weltweite CO₂-Ausstoß bis 2030 gleich bleiben, ergäbe sich ein abrupter Stopp des gesamten menschengemachten CO₂-Ausstoßes. Es dürfte von einem auf den anderen Tag kein CO₂ mehr ausgestoßen werden:

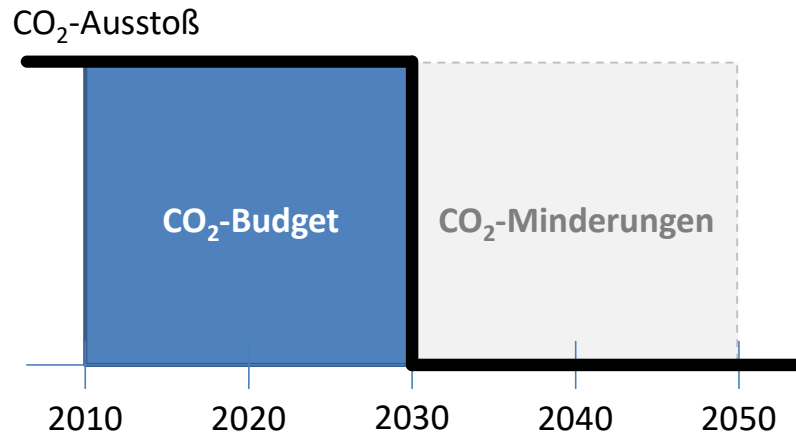


Abb. 3: Abrupter Stopp der CO₂-Emissionen um 2030 bei voller Ausnutzung des CO₂-Budgets

Wenn Zwischenziele verfehlt werden, ist eine feste Jahreszahl zum Erreichen der Klimaneutralität irreführend. Denn jedes verfehlt Zwischenziel wirkt sich doppelt erschwerend aus. Einmal muss die Klimaneutralität früher erreicht werden und andererseits muss die Einsparungsrate erhöht werden. Diese beiden Nachteile sollten hauptsächlich mit diesen drei Verläufen gezeigt werden.

Das aktuelle Restbudget lässt sich hingegen mittels der CO₂-Uhr vom MCC nachverfolgen:

<https://www.mcc-berlin.net/de/forschung/co2-budget.html>

Diese ermittelt anhand des Restbudgets und des aktuellen Ausstoßes die verbleibende Zeit, bis das CO₂-Budget aufgebraucht ist.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, welche großen Auswirkungen bereits eine kleine globale Erwärmung von wenigen Grad hat und wie sehr wir bereits unser Klima erwärmt haben.

Gewohnt stabile Wetterverhältnisse sind auf der Erde keine Selbstverständlichkeit. Wir führen eine über Generationen bestehende Veränderung herbei, die unser Leben erschwert und viele Risiken erhöht. Um eine Klimakatastrophe sicher abzuwenden, reagieren wir zu träge.

Wie wir reagieren können, damit wir aus der Klimakrise herauskommen, erfahren Sie in diesem Buch unten „Teil 2 - Welche Maßnahmen gibt es“.

Wie bereits in den Kapiteln zuvor gibt es auch in diesem viele weiterführende Fragen. Fragen, die zu unerwarteten Zusammenhängen führen, deren Auswirkungen uns alle betreffen:

Wie schätzen Sie den Meeresspiegelanstieg ein?

Wissen Sie warum der Golfstrom abnimmt und was das für unser Klima bedeutet?

Wissen Sie warum der Jetstream abnimmt?

Wie schätzen Sie die Gefahr von Waldbränden ein?

Welche Kippunkte kennen Sie?

Warum gibt es den unabwendbaren Klimawandel?

Ein Blick in die Erdgeschichte verrät, wenn es wärmer wird, dann steigt auch der Meeresspiegel an. Beim aktuellen CO₂-Gehalt der Atmosphäre und der damit verbundenen Erwärmung müsste der Meeresspiegel auf lange Sicht über 9 m ansteigen.³⁷ Kippelemente, wie das Abschmelzen des Grönlandeisschildes, erschweren jedoch die Prognose.

Das Abschmelzen des Grönlandeisschildes zählt zu den Kippelementen, da ein begonnener Abschmelzprozess nicht aufgehalten werden kann. Selbst wenn die globale Erwärmung ein Ende findet. Dies hängt mit dem beschleunigten Abtauprozess zusammen. Ist der mehrere hundert Meter hohe Eisschild erstmals ein Stück abgetaut, kommt es dadurch in wärmere Luftschichten und taut noch schneller ab. Erschwerend kommt hinzu, dass die polaren Eisschilde Über-

bleibsel der letzten Eiszeiten sind und nur während einer neuen Eiszeit wieder aufgebaut werden können. Würden also Teile Norddeutschlands durch ein Kippen von polaren Eisschilden überflutet, müssen diese erst wieder während einer neuen Eiszeit unter einem dicken Eisschild verschwinden, um nach der erneuten Eiszeit wieder über dem Meeresspiegel zu liegen. Der Kippunkt des Grönlandeisschildes liegt wahrscheinlich bei 1,6 °C globaler Erwärmung.

Da das Ansteigen des Meeresspiegels ein sehr langsamer Prozess ist, findet dieser für unsere Wahrnehmung kaum statt.³⁸ Und obwohl momentan viel Meereis und Schelfeis auftaut, trägt dies in erster Linie nicht zum Meeresspiegelanstieg bei. Denn dieses Eis schwimmt schon im Wasser und verdrängt im festen Zustand so viel Wasser wie im flüssigen. Nur tauendes Festlandeis trägt zur Erhöhung des Meeresspiegels bei. Der aktuelle Meeresspiegelanstieg ist sogar hauptsächlich der thermischen Ausdehnung des Wassers geschuldet.³⁹ Trotzdem hat das stark zurückgehende Meereis globale Auswirkungen. Es schwächt den Golfstrom und verringert den Jetstream.

Der Golfstrom ist Teil eines globalen maritimen Zirkulationssystems. Ein Antriebsmotor für dieses Strömungssystem ist das arktische Meereis, wenn es beim Gefrieren mit Salz angereichertes Wasser abscheidet. Dieses Wasser mit höherem Salzgehalt ist schwerer und sinkt nach unten, fließt als Nordatlantische Tiefenströmung ab und der Golfstrom fließt als Oberflächenströmung nach. Taut immer mehr grönländisches Festlandeis wird das salzige Meerwasser mit Süßwasser verdünnt und schwächt zusätzlich diesen Antrieb.

³⁷ Foster et al. (2013): Abstract

³⁸ IPCC (2022): B

³⁹ IPCC(2014): B.4

Jetstreams gehören zu den stärksten natürlich auftretenden Winden. Sie bilden aus meteorologischer Sicht relativ stabile Windbänder in großer Höhe. Angetrieben werden sie durch ein äquatoriales Höhenhoch und ein polares Höhentief. Der Jetstream verläuft regelmäßig über Europa und reißt tiefer gelegene Hoch- und Tiefdruckgebiete mit sich. Nimmt dieser ab oder tritt dieser nicht ein, begünstigt dies stabile Hoch- und Tiefdruckgebiete in Europa, die bereits zu vermehrten Hitzewellen, Dürren und übermäßig starken Regenfällen geführt haben. Die veränderten Luftdruckverhältnisse durch das Abnehmen des Golfstroms begünstigen dies zusätzlich.

So führen über die unglückliche Verkettung mehrerer Umstände die stark schrumpfenden polaren Eisschilde dazu, dass bei uns in Europa die Gefahr von Waldbränden und Überschwemmungen stärker steigt.

Ein weiteres Kippelement, was den Meeresspiegelanstieg betrifft, ist das Abschmelzen des Westantarktischen Eisschildes. Gletscher dieses Eisschildes fußen bis in eine Tiefe von mehreren hundert Metern auf einen Festlandrücken. Die Erwärmung des umschließenden Wassers sorgt für ein schnelleres Abschmelzen und eine größere Instabilität, was den Meeresspiegelanstieg fördert, welcher den Abschmelzprozess rückgekoppelt weiter vorantreibt.

Dass das teilweise Abschmelzen der polaren Eisschilde einen Meeresspiegelanstieg von mehreren Metern zu Folge hat, kann auch auf folgende Weise abgeschätzt werden:

Das Verhältnis der polaren Gletscherfläche zur Meeresoberfläche sei 1/25. Wird nur die Hälfte der Gletscherfläche von einem 3000 m dicken Eisschild bedeckt, ergibt sich ein potentieller Meeresspiegelanstieg von 60 m.

Da die Antarktis jedoch sehr kalt ist, die Ostantarktischen Eisschilde stabil sind und der Abschmelzprozess sehr langsam stattfindet, ist

ein Meeresspiegelanstieg von 60 m nur ein theoretischer Worst Case Wert.

Insgesamt gibt es noch mehr Kippelemente von globaler Tragweite. Weitere werden in den nächsten Kapiteln aufgegriffen und die Forschung mag noch den einen oder anderen entdecken oder die Auswirkungen genauer erkunden.

Einen Wermutstropfen gibt es jedoch noch beim Erreichen der netto Null – den unabwendbaren Klimawandel, welcher auch weiterhin zu geringen Temperaturerhöhungen bei gleichbleibenden Treibhausgaskonzentrationen führt. Denn die thermische Trägheit des Ozeans und langsame Prozesse an Land und in den Böden bis hin zu Gesteinsschichten, verzögern das Erreichen eines Gleichgewichtszustandes.⁴⁰

⁴⁰ IPCC (2017): FAQ 12.3



Teil 2 – Welche Maßnahmen gibt es

Der richtige Hebel

Um bei den Maßnahmen den richtigen Hebel anzusetzen, muss verstanden werden, was den menschengemachten Klimawandel bewirkt. Als langfristiges Problem und Hauptursache ist der menschengemachte CO₂-Ausstoß identifiziert worden. Dieser muss bis auf die netto Null gebracht werden.

Um die erste Frage dieses Kapitels zu beantworten, sollten Sie den Begriff Landnutzungsänderungen schon einmal gehört haben. Hinter diesem umständlichen Begriff verbirgt sich die einfache Erkenntnis, dass an Land unterschiedlich viel Kohlenstoff gebunden ist. Während Moore und Wälder viel Kohlenstoff speichern, speichert Ackerland weniger. Wird also die Nutzung eines Landabschnitts geändert, kann dadurch CO₂ in die Atmosphäre gelangen.

Aber nun zur ersten Frage dieses Kapitels:

Wodurch wird der menschengemachte CO₂-Ausstoß erzeugt?

- A: Verbrennung fossiler Brennstoffe
- B: Landnutzungsänderungen
- C: Zementproduktion

A, B und C: Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landnutzungsänderungen und Zementproduktion

Der menschengemachte Ausstoß von CO₂ ergibt sich nahezu vollständig aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Landnutzungsänderungen und der Zementproduktion.⁴¹

Kohlenstoff ist in fossilen Brennstoffen, Biomasse und in Rohstoffen gebunden.

Werden fossile Brennstoffe verbrannt, wird der gebundene Kohlenstoff in Form von CO₂ freigesetzt.

Reduziert sich die Biomasse durch eine Landnutzungsänderung, kann CO₂ freigesetzt werden. Ausgeprägte Beispiele hierfür wären das Trockenlegen von Mooren und die Brandrohdung von natürlichen Wäldern.

Binden Rohstoffe Kohlenstoff, kann dieser bei der Verarbeitung freigesetzt werden. So ist das Brennen von Kalk für die Zementproduktion nicht nur energieintensiv, sondern setzt auch viel gebundenen Kohlenstoff in Form von CO₂ frei.

Nun haben Sie die drei Bereiche kennen gelernt, in welche das ausgestoßene CO₂ nach seinem Ursprung her eingeteilt wird. Welcher Bereich ist für den größten menschengemachten CO₂-Ausstoß verantwortlich?

A: Verbrennung fossiler Brennstoffe

B: Landnutzungsänderungen

C: Zementproduktion

⁴¹ IPCC(2014): B.5 Abs. 3

A: Verbrennung fossiler Brennstoffe

Je nachdem, wie viel Land erschlossen oder umgewandelt wird, wie viel mit Zement gebaut wird und wie viele fossile Brennstoffe benötigt werden, so ändern sich auch die Anteile des CO₂-Ausstoßes.⁴²

Zur Reduktion des Ausstoßes sind besonders die Verhältnisse der letzten Jahre wichtig. Hier dominiert der CO₂-Ausstoß durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen mit 80 %.

Gegenüber der Zementproduktion verursachen die Landnutzungsänderungen einen geringfügig höheren Ausstoß. Die Anteile können vereinfacht jeweils mit 10 % bemessen werden.⁴³

Durch welche Maßnahme kann am stärksten der CO₂-Ausstoß reduziert werden?

A: Umstellung des Bauwesens

B: Ausgleich von Landnutzungsänderungen

C: Energiewende mit Sektorkopplung

⁴² **IPCC (2013)**: Figure 6.8

⁴³ **IPCC(2014)**: B.5 Abs. 3 und **IPCC (2013)**: Figure 6.8

C: Energiewende mit Sektorkopplung

Alle drei Maßnahmen müssen greifen, damit die Klimaneutralität erreicht werden kann. Die Energiewende mit Sektorkopplung ist besonders vielversprechend, da durch sie vollständig auf fossile Brennstoffe verzichtet werden kann, welche momentan den größten Treibhausgasausstoß verursachen.⁴⁴ Deswegen ist ihr auch das Kapitel „Erneuerbare Energie für alle Bereiche“ gewidmet, in dem sie näher erklärt wird.

In der Zementproduktion wird viel Energie benötigt, welche durch die Energiewende mit Sektorkopplung klimaneutral bereitgestellt werden kann. Weiter wird zur Zementproduktion Kalk benötigt, der während der Produktion gebundenes CO₂ freisetzt. Zwar gibt es Zementarten, die weniger CO₂ bei der Produktion freisetzen, jedoch ist selbst ein stark reduzierter Anteil beim weltweit drittgrößten Posten immer noch eine sehr große Menge. Ob es in Zukunft Zementarten gibt, die nicht auf Kalk basieren oder sogar CO₂ binden können, muss sich noch zeigen.

Je nach Entwicklungsstand und Beschaffenheit einer Region erfahren Landnutzungsänderungen eine größere Bedeutung. Bei der Landnutzungsänderung werden CO₂-Senken oder Kohlenstoffspeicher zerstört. Dies geschieht bei der Trockenlegung von Mooren, bei der Brandrohdung und dem Rückgang der Humusschicht im Boden. Werden diese Landnutzungsänderungen nicht gestoppt oder durch die Renaturierung von Mooren oder dem Aufforsten von Wäldern ausgeglichen, kann hier keine Klimaneutralität erreicht werden.

Der richtige Hebel muss also weltweit passend angesetzt werden:

Alle drei Ursachen, fossile Brennstoffe, Landnutzungsänderungen und Zementproduktion, müssen weltweit geschlossen und gezielt angegangen werden, um die Klimakrise zu bewältigen.

Im Fall Deutschlands ist ein Greifen der Sektorkopplung mit Energiewende besonders wichtig. Wie das funktioniert, folgt im Kapitel „Erneuerbare Energie für alle Bereiche“.

⁴⁴ acatech et al. (2017)

Zunahme der Strahlungsstärke

Je nach Reflektionsgrad müsste jeder 40ste bis 74ste Quadratmeter verspiegelt werden, um eine Zunahme von $2,2 \text{ W/m}^2$ auszugleichen.

Was machst du da?

Ich verspiegele einen Teil meines Gartens, dann ist alles wieder beim Alten.

Bloß wer verspiegelt den Rest der Welt. Das wären dann Ringe von 1 m Breite alle 40 bis 74 m um die gesamte Welt?

Die Bonusfragen und der Abschlusstext zu diesem Kapitel beschäftigen sich mit der Rolle der Kippelemente, der Landwirtschaft und weiteren Nutzungsformen der fossilen Brennstoffe:

Welche Mengen an Treibhausgasen sind noch gespeichert?

Wurden die Kippelemente bei den Ursachen bereits mit einbezogen?

Welche Rolle spielt der Methanausstoß bei der Viehzucht?

Inwiefern sind Kunststoffprodukte aus fossilen Brennstoffen ein Problem?

Auf der Erde gibt es noch mehrere große Kohlenstoffspeicher, aus denen Treibhausgase freigesetzt werden können: Die Vegetation und die damit verbundenen Böden mit ihrer Humusschicht oder Moore stellen den größten Speicher da. Fossile Brennstoffe und der Permafrost sind ähnlich große Speicher. Auch Methanhydrate stellen einen großen Treibhausgasspeicher da.⁴⁵ All diese Speicher sind ein Vielfaches größer als das Restbudget, das uns zum Erreichen des 2-Grad-Ziels zur Verfügung steht.⁴⁶

Die Arktis ist bis jetzt eine Netto-Treibhausgassenke. Der Treibhausgasausstoß von Permafrost und Methanhydraten werden durch temperaturbedingtes stärkeres Wachstum also ausgeglichen. Sollte allerdings nur ein Teil der im Permafrost gespeicherten Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, würden diese die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre so ansteigen lassen,

⁴⁵ IPCC (2013): Figure 6.1

⁴⁶ IPCC (2022): Tabelle SPM.2

dass sich höhere Temperaturen ergeben, welche wiederum zu mehr freigesetzten Treibhausgasen aus dem Permafrost führen würden.⁴⁷

Dieser Rückkopplungseffekt mit ähnlichem Potential besteht auch weltweit bei der Vegetation und den mit ihr verbundenen Böden.⁴⁸

Die Modelle hierzu sind teilweise noch recht ungenau, prognostizieren aber Mengen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, die größer als das vorhandene Restbudget des 2-Grad-Ziels sind.⁴⁹

Da es bisher noch keine signifikanten Belege für eine Änderung der Klimabilanz für diese Kippelemente gibt, werden diese wohl noch nicht als separate Ursache für den bisherigen Treibhausgasausstoß aufgeführt. In Projektionen für zukünftige Temperaturverläufe fließt die Rückkopplung dieser Kippelemente aber bereits teilweise ein.⁵⁰

Eine weitere viel diskutierte Treibhausgasquelle ist die Landwirtschaft und unser Fleischkonsum. Diese Ursachen tauchen nicht separat auf, da sie unter Landnutzungsänderungen und fossile Brennstoffe fallen. Wird mehr Fleisch gegessen, gehen natürliche Landökosysteme verloren, da zur Futtermittelgewinnung mehr Fläche benötigt wird als beim direkten Anbau von pflanzlichen Nahrungsmitteln für den Menschen. Weiter scheiden die Zuchttiere viel Methan aus, was die Klimabilanz dieses Treibhausgases verschlechtert und auch unter Landnutzungsänderungen erfasst wird. Müssen Ställe geheizt, Düngemittel energieintensiv hergestellt oder Güter der Landwirtschaft transportiert werden, wird dies unter fossile Brennstoffe erfasst, wenn dafür keine erneuerbaren Energien eingesetzt worden sind.

⁴⁷ **IPCC (2017):** FAQ 6.1 Abstract Abs. 1

⁴⁸ **IPCC (2013):** Figure 6.1

⁴⁹ **IPCC (2017):** FAQ 6.1 Abstract Abs. 2

⁵⁰ **IPCC (2022):** B.4.3

Eine Besonderheit gibt es jedoch bei der Landwirtschaft: Zum Erzielen der Klimaneutralität könnte sie so bleiben, wie sie ist. Vorausgesetzt die fossilen Brennstoffe werden durch erneuerbare Energien ersetzt. Denn nur eine Ausweitung der Landwirtschaft erzeugt neue Landnutzungsänderungen. Was uns vor das gesellschaftlich-politische Problem stellt, die Nahrungsmittel und den Fleischkonsum gerecht auf einer Welt mit immer mehr und immer anspruchsvolleren Menschen zu verteilen.

Bei der Produktion von Kunststoffen und bei chemischen Prozessen werden fossile Brennstoffe zu Produkten weiterverarbeitet, deren Zweck nicht der Verbrennung dient. Diese Produkte gehen nur in die Statistik für fossile Brennstoffe ein, wenn zu ihrer Herstellung Energie durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen verwendet worden ist oder wenn diese am Ende ihres Lebenszyklusses energierecycelt, also verbrannt, werden. Auf diese Produkte muss in Zukunft nicht verzichtet werden, wenn die Energie zur Herstellung aus erneuerbaren Energien stammt, bei den Ursprungsmaterialien umgedacht oder der Trend zu Wegwerfprodukten umgekehrt wird.



Erneuerbare Energie für alle Bereiche

Unsere beiden gezeichneten Freunde auf der gegenüberliegenden Seite haben es bereits karikiert. Es benötigt eine unermesslich hohe Anzahl von Wasserkochern oder Heizlüftern, um die Erde nur um wenige Zehntel Grad zu erwärmen und diese Temperatur dann auch zu halten. Wird aber bei der Stromerzeugung der Treibhauseffekt verstärkt, dann reduziert sich die Anzahl und irgendwann können diese ganz abgestellt werden. Wir müssen also überall, wo Energie benötigt wird, diese klimaneutral bereit stellen. Denn schließlich wollen wir gerade nicht zu einer Erwärmung beitragen, egal was unsere beiden gezeichneten Freunde auch immer im Schilde führen.

Eine Energiewende, die quer durch alle Bereiche geht, in denen fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen, heißt in der Fachsprache Energiewende mit Sektorkopplung. Hinter diesem treffenden aber schrecklichen Begriff verbirgt sich das Ziel, nicht nur die komplette Stromerzeugung auf erneuerbare Energien umzustellen, sondern diese auch in anderen Bereichen zu nutzen. So können beispielsweise Verbrennungsmotoren durch elektrische ersetzt und es kann mit elektrischen Wärmepumpen geheizt werden. Werden die Überschüsse zwischen den Bereichen zusätzlich noch umverteilt und Speicherungsmöglichkeiten gemeinsam genutzt, hat dies viele Vorteile und die Sektorkopplung ist perfekt.

Für eine solche Energiewende mit Sektorkopplung gibt es verschiedene Szenarien. Vielversprechend sind transeuropäische Verbünde, die die jeweiligen regionalen Vorteile zur Stromerzeugung aus Wind und Sonne nutzen. In diesem Kapitel wird allerdings nur die Energiewende mit Sektorkopplung im Fall Deutschlands aufgeführt. Denn Deutschland kann sich durchaus selbst vollständig mit Energie versorgen. Hätten Sie das gedacht? Falls nicht, werden Sie einige

unerwartete Nebeneffekte, die dieses vermeidliche Wunder entzaubern, kennen lernen, wie den sinkenden Primärenergieverbrauch. Im Folgenden sind auch eventuelle Wasserstoffimporte zur Unterstützung der Energieversorgung möglich, solange Wasserstoff günstiger importiert als Hierzulande produziert werden kann und Wasserstoff ein Nebenbestandteil der Energieversorgung bleibt.

Jetzt ist bereits so häufig der Begriff Energiewende mit Sektorkopplung gefallen, dass Sie sich hoffentlich schon daran gewöhnt haben und Ihr Interesse geweckt ist.

Wie funktioniert die Energiewende mit Sektorkopplung?

- A: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
- B: Elektrifizierung der Sektoren Wärmeversorgung, Verkehr und industrielle Prozesse
- C: Optimierung des Gesamtsystems durch Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr

A, B und C:

- **Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien**
- **Elektrifizierung der Sektoren Wärmeversorgung, Verkehr und industrielle Prozesse**
- **Optimierung des Gesamtsystems durch Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr⁵¹**

Für unsere Haushaltsgeräte verbrauchen wir Strom der teilweise schon aus erneuerbaren Energien kommt.

Mittels elektrisch betriebener Wärmepumpen kann eine Wärmeversorgung stattfinden.

Der Verkehr ist bereits durch E-Autos und durch die Eisenbahn teilweise elektrifiziert.

Industrielle Prozesse brauchen Energie in Form von Strom und Wärme.

Wird der Strom, für die Haushalte, für Wärmepumpen, für den Verkehr und für industrielle Prozesse aus erneuerbaren Energien gewonnen, werden keine fossilen Brennstoffe mehr benötigt.

Durch die Kombination von Nutzlasten, Speichermöglichkeiten und Übertragungswegen werden die Sektoren verkoppelt. Die Verkopplung optimiert die Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien und spart Kosten.

Wie viel Strom wird zukünftig benötigt, wenn die Energiewende mit Sektorkopplung umgesetzt wird?

A: Halb so viel

B: Gleich viel

C: Über die Hälfte mehr, wobei sich der Primärenergieverbrauch halbieren wird

Primärenergieverbrauch:

Die insgesamt benötigte Energie aus Kohle, Öl, Gas und erneuerbaren Quellen. Zur Stromerzeugung wird derzeit nur ein Teil der Primärenergie verwendet. Weitere Teile werden in der Industrie, für Gebäude, im Verkehr oder in der Landwirtschaft eingesetzt.

⁵¹ **acatech et al. (2017):** 1.2 und 4

C: Über die Hälfte mehr, wobei sich der Primärenergieverbrauch halbieren wird

Auf Verbrennung basierende Kraftwerke oder Motoren haben hohe Verluste. Wind und Photovoltaik arbeiten fast vollständig ohne Umwandlungsverluste. Bei Wärmepumpen wird zusätzlich Umweltwärme genutzt. Energetische Sanierungen und Effizienzsteigerungen tragen weiter zu Energieeinsparungen bei, so dass insgesamt der Primärenergieverbrauch sich halbieren wird.⁵²

Zusätzlicher Strom wird für die Elektrifizierung des Verkehrs, die Wasserstoffherstellung und die Industrie benötigt. Insgesamt wird so der Stromverbrauch über die Hälfte zunehmen.⁵³

Aus welchen erneuerbaren Energien soll der Strom überwiegend gewonnen werden?

A: Wasser

B: Biomasse

C: Wind und Sonne

⁵² Prognos et al. (2021): Abbildung 7

⁵³ Prognos et al. (2021): Abbildung 8

C: Wind und Sonne

Für die zukünftige Energieversorgung brauchen Wasserkraft und Biomasse nur eine sehr geringe Rolle zu spielen. Dies ist für das Klima vorteilhaft, da ein Ausbau dieser Technologien große Landnutzungsänderungen nach sich ziehen würde, welche zu den drei großen Verursachern des Klimawandels zählen.

Aus Wind und Sonne soll die zukünftige Energieversorgung fast vollständig bestehen.⁵⁴ Dabei ist es wichtig, zwischen installierter Leistung und gewonnener Energie zu unterscheiden. Die installierte Leistung soll bei der Photovoltaik (PV) deutlich höher ausfallen als bei der Windkraft. Trotzdem wird mehr Strom aus Wind als aus der Sonne erzeugt werden.⁵⁵ Dies liegt an den fest installierten PV-Modulen, die sich nicht mit der Sonne drehen, und an der größeren Unbeständigkeit der Sonne zum Wind. Während Windkraftanlagen (Windräder) in guter Lage über das ganze Jahr 24 Stunden am Tag Strom produzieren können, brauchen Photovoltaikmodule Sonne, um Strom zu erzeugen, die im Winter nur unzureichend vorhanden ist. Nachts kann der nicht vorhandene Strom aus der Sonne gut mit den täglichen Überschüssen aus Batteriespeichern kompensiert werden.

Windkraft und Sonne ergänzen sich gut. Windarme Phasen sind meistens mit viel Sonnenschein verbunden. Bei längeren Windflauten im Winter, den sogenannten kalten Dunkelflauten, hilft die Rückverstromung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und Stromimporte aus Skandinavien und der Alpenregion, wo die Spei-

cherstände von Wasserkraftwerken insbesondere im Sommer und Herbst durch Stromexporte geschont werden können.⁵⁶

Kann genug Strom aus erneuerbaren Energien für alle Sektoren gewonnen werden?

A: Ja

B: Nein

C: Bedingt

⁵⁴ Prognos et al. (2021): Abbildung 10 oben links

⁵⁵ Prognos et al. (2021): Abbildung 10 oben rechts

⁵⁶ Prognos et al. (2021): Drei Hebel der Beschleunigung: Hebel 2 – erneuerbare Stromerzeugung und Elektrifizierung

A bzw. C: Ja, wenn auch nur bedingt

Ja, das weltweite Potential an erneuerbaren Energien ist mehrere tausendmal größer, als der Energieverbrauch der gesamten Menschheit. Je nach Region steht diese Energie allerdings in unterschiedlicher Menge und Wirtschaftlichkeit zur Verfügung.

Deutschland ist eine ausgewogene Region, in der bedingt genug Strom aus erneuerbarer Energie erzeugt werden kann. Denn es kommt auf das Wie an: Wird auf die Produktion von Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen (grüne Energieträger) möglichst verzichtet, dann ja und das auch bei kalten Dunkelflauten. Problematisch ist es, wenn die grünen Energieträger die fossilen Brennstoffe nur ersetzen sollen und diese beispielsweise nur verbrannt werden.

Für die Herstellung von grünen Energieträgern aus erneuerbaren Energien wird viel Energie zur Umwandlung benötigt. Weiter geht viel Energie bei der Nutzung dieser Energieträger verloren, was diese insgesamt ineffizient macht.⁵⁷

Zwar können groß skalierte Importe von grünen Energieträgern aus dem Sonnengürtel der Erde oder windstarken Regionen zu Marktpreisen stattfinden, jedoch bleiben die verlustreiche Verbrennung oder die hohen Verluste einer Brennstoffzelle. Die E-Mobilität und Wärmepumpen sind da effizienter und wirtschaftlicher, wenn sie direkt Strom aus Windkraft und Photovoltaik nutzen, ohne diesen zuvor in grüne Energieträger zu wandeln.

⁵⁷ **acatech et al. (2017):** Abbildung 5

Dies kann mit folgender Betrachtung verdeutlicht werden: Eine Windkraftanlage von 3 MW kann entweder für die Fahrleistung von

1600 E-Autos (batterieelektrisch),
600 H₂-Autos (Wasserstoffautos mit Brennstoffzelle) oder
300 eFuel-Autos

aufkommen.⁵⁸ Bei der Versorgung von Wärmepumpen oder eFuel-Heizkesseln wäre der Unterschied noch extremer, da Wärmepumpen zusätzlich Umgebungswärme nutzen.

Auch werden groß skalierte Importe stärker politisch hinterfragt, wenn die ausländischen Partner andere Werte vertreten und Abhängigkeiten vom Ausland vermieden werden sollen. Dazu trägt bereits die durch den Ukrainekrieg verursachte Zeitenwende bei.

Müssen wir uns an den Anblick von Windrädern oder Photovoltaik auf Dächern gewöhnen?

A: Ja

B: Nein

C: Haben wir doch schon

⁵⁸ **acatech et al. (2017):** Mit den Wirkungsgradangaben aus Abbildung 5 und auf 10er-Stellen gerundet

A, bzw. C: Ja, wenn wir es noch nicht haben

Strom wird im Idealfall in der Region produziert, wo er auch verbraucht wird. Die Offshorewindparks nehmen da eine Sonderstellung ein. An Land sollen Windräder ländergerecht über günstige Lagen verteilt werden.

Dazu sollen in Deutschland insgesamt 2 % der Landesfläche ausgewiesen werden. Momentan werden in Deutschland 0,5 % der Landesfläche für Windenergie genutzt. Da sich der Ausbau knapp verdreifachen soll und in einigen Regionen bereits deutlich mehr Windräder stehen, haben wir uns teilweise schon an den Anblick von Windrädern in ausreichender Menge gewöhnt.

Photovoltaik kann auf verschiedene Weise installiert werden. Auf Dächern und an Fassaden, über Verkehrswegen, integriert in Fahrzeugen, über Agrarflächen oder schwimmend auf Seen.⁵⁹ Auf 2 bis 5 % der Dächer befindet sich bereits eine Photovoltaikanlage. Der Photovoltaikausbau soll sich von 2020 bis 2045 fast verachtfachen.⁶⁰ Alleine die Dachflächen würden dafür ausreichen.⁶¹ Photovoltaik werden wir also in Zukunft häufiger vorfinden.

Insgesamt sind die Ausbaumöglichkeiten bei Photovoltaik riesig. Energietechnisch stünde also einer groß skalierten Anwendung von grünen Energieträgern in Deutschland nichts im Wege. Einzig die Preise für Batteriespeicher, Elektrolyse- oder Brennstoffzellenprozesse müssen noch um Größenordnungen fallen, was durchaus im

Bereich des Möglichen ist, wenn die Preisentwicklung für Photovoltaikmodule⁶² als Maßstab genommen wird.

Was kostet die Energiewende mit Sektorkopplung?

A: Genaue Vorhersage nicht möglich

B: Vergleichbar mit der Wiedervereinigung

C: Das zehnfache der Wiedervereinigung

⁵⁹ Fraunhofer ISE (2022): 11.

⁶⁰ Prognos et al. (2021): Abb. 13 und Fraunhofer ISE (2022): Abb. 2

⁶¹ Fraunhofer ISE (2022): 11., Gebäudehüllen

⁶² Fraunhofer ISE (2022): Abbildung 4

B, wobei A gilt: Vergleichbar mit der Wiedervereinigung, wobei eine genaue Vorhersage nicht möglich ist

Die Kosten eines volkswirtschaftlichen Großprojekts über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten lassen sich nur schwer abschätzen. Werden die Kosten für Betrieb und Investitionen aus heutiger Sicht eingefroren, kann der heutige Stand mit dem zu erzielenden zukünftigen verglichen werden und es wird ein Modell für die Mehrkosten gebildet.

Diese Mehrkosten variieren deutlich in Abhängigkeit des gewählten Transformationsszenarios. Soll viel Wasserstoff in Deutschland produziert werden, steigen die Mehrkosten auch stark.

Bei einem ausgewogenen Szenario lägen die über den gesamten Zeitraum kumulierten Kosten im Bereich der Wiedervereinigung.

In der Kalkulation sind volkswirtschaftliche Aspekte, wie lokale Wertschöpfung, Beschäftigungseffekte und Exportchancen, günstigere Importe von synthetischen Brennstoffen oder Wasserstoff, der Handel mit CO₂-Zertifikaten, sinkende Stromgestehungskosten bei den erneuerbaren Energien und steigende Stromgestehungskosten im Bereich der fossilen Energieträger oder Folgekosten von ungenügendem Klimaschutz nicht enthalten.⁶³

Wie lange würde die Umbauphase dauern?

A: Unbekannt ohne regulierende Maßnahmen der Politik

B: Über 30 Jahre

C: 15 Jahre theoretisch möglich

⁶³ acatech et al. (2017): 2.8 und 4

A, B bzw. C: Unbekannt ohne regulierende Maßnahmen der Politik, über 30 Jahre beziehungsweise in 15 Jahren theoretisch möglich

Ohne politische Rahmenbedingungen droht ein Marktversagen, bei dem kurzfristige Amortisationserwartungen von Unternehmen und Haushalten einem langfristigen volkswirtschaftlichen Nutzen entgegen stehen.⁶⁴

Bei der Berechnung der Mehrkosten ist von einem Umsetzungszeitraum von 33 Jahren ausgegangen worden, der 2050 enden sollte.⁶⁵

Bei Machbarkeitsanalysen zur Umsetzung des 1,5-Grad-Ziels ist von einem Zeitraum von 15 Jahren ausgegangen worden, der 2035 enden sollte.⁶⁶

In beiden Szenarien wird von technisch realisierbaren Verläufen und ähnlich hohen Gesamtkosten ausgegangen.

Können Mehrkosten im Rahmen dieses volkswirtschaftlichen Großprojektes finanziert werden?

A: Ja

B: Nein

C: Vielleicht

⁶⁴ acatech et al. (2017): 3

⁶⁵ acatech et al. (2017): 2.8

⁶⁶ Wuppertal Institut (2020)

A: Ja

Ähnliche volkswirtschaftliche Großprojekte wurden in der Vergangenheit bereits durchgeführt. So wurde die Wiedervereinigung zu ihrem 25-jährigen Bestehen mit 2.000 Milliarden Euro beziffert. Auch wenn die Berechnungsgrundlage eine andere ist, lässt der Vergleich mit der Wiedervereinigung den Zeitraum von 33 Jahren und die Investitionen von 1.000 bis 2.000 Milliarden Euro plausibel erscheinen.

Im Mittel beliefen sich die jährlichen Ausgaben während der Umbauphase auf 30 bis 60 Milliarden Euro, was 1 bis 2 % des Bruttoinlandsprodukts (BIP) entspricht.⁶⁷

Als weitere Orientierungsgrößen können die Militärausgaben dienen, die nach der Zeitenwende wieder 3 % des BIP betragen sollen, oder die Importe von fossilen Brennstoffen, welche sich 2021 auf ungefähr 80 Milliarden Euro beliefen. Eine Summe die über 10 Milliarden Euro höher wäre, wenn wir noch keine erneuerbaren Energien nutzen würden.

Für wen rentiert sich die Energiewende mit Sektorkopplung?

A: Für den Endverbraucher

B: Für die Volkswirtschaft

C: Für energiereiche Industrien

⁶⁷ acatech et al. (2017): 4

A, B, bedingt C:

In bereits absehbarer Zeit werden Maßnahmen, die nicht heute getroffen werden, in keinem Verhältnis mehr zu den Folgekosten von ungenügendem Klimaschutz stehen.⁶⁸ Damit rentieren sich die Mehrkosten volkswirtschaftlich in jedem Fall.

Auch handelt es sich bei den Mehrkosten hauptsächlich um Investitionen und nicht um Betriebskosten, da für die Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien keine Energieträger eingekauft werden müssen. Wind und Sonne kosten nichts. Fossile Brennstoffe für konventionelle Kraftwerke schon.

Viele Investitionen von privaten Haushalten sind schon heute rentabel (siehe Kapitel „Das können Sie tun“).

Andere Investitionen wie beispielsweise die in eine Ladeinfrastruktur für E-Autos erschließen neue Märkte. Diese Investition würde den Energieversorgern schätzungsweise 37 Milliarden Euro kosten und diesen viele neue Kunden bescheren.⁶⁹

Generell liegen die Stromgestehungskosten der erneuerbaren Energien im Bereich der fossilen Brennstoffe. Bei Neuanlagen sind die der fossilen bereits höher. Bereits 2030 sollen die Stromgestehungskosten selbst bei bestehenden, konventionellen Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen deutlich höher liegen im Vergleich zu den erneuerbaren.⁷⁰

Insgesamt kann es zu Mehrbelastungen im Vergleich zu heute kommen, wenn die Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien ausgeglichen werden muss. Diese Mehrbelastungen werden jedoch

durch Effizienzgewinne und einen insgesamt sinkenden Primärenergieverbrauch ausgeglichen.

In Deutschland sind Stromgestehungskosten von 5 ct/kWh bei den erneuerbaren Energien möglich und in anderen Regionen der Welt von unter einem Cent pro Kilowattstunde. Energiereiche Industrien profitierten in der Vergangenheit teilweise von einem Strompreis von deutlich unter 5 ct/kWh. Ob diese Industrien standorttreu in Deutschland gehalten werden können und ob dies sinnvoll ist, bleibt abzuwarten.

⁶⁸ **dena (2021):** Zusammenfassung

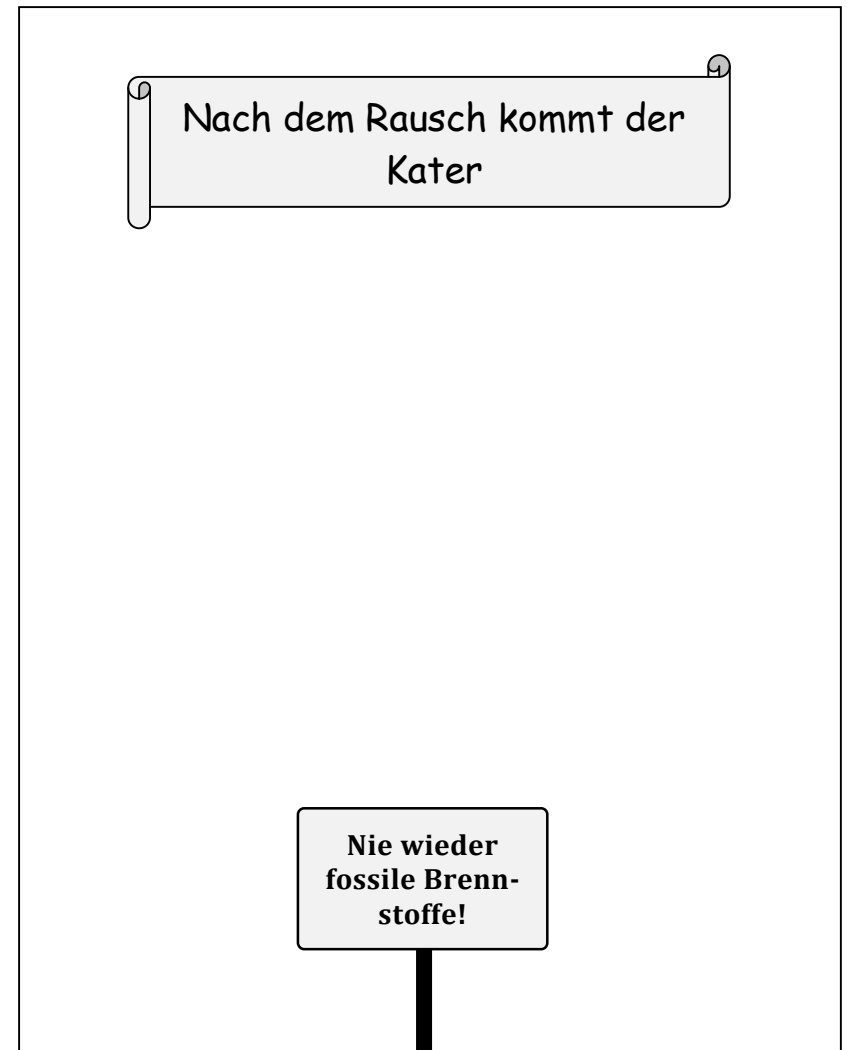
⁶⁹ **UBA (2016):** Tabelle II-30

⁷⁰ **Fraunhofer ISE (2021)**

Prinzipiell müssen wir aus Sicht des Klimas nicht unsere Art zu leben ändern, wir müssen aber nachhaltige Technologien einsetzen und besonders die verbliebenen natürlichen Landökosysteme schützen:

Die Energiewende mit Sektorkopplung ist entscheidend für die deutsche Klimaneutralität. Sie ist machbar, sinnvoll und wirtschaftlich. Ohne politische Regulierungen greift sie jedoch nicht oder zu langsam.

Was dies im Einzelnen für uns alle bedeutet, wird im Kapitel „Das können Sie tun“ beschrieben.



Der Extrabeitrag dieses Kapitels greift die Atomkraft und die Kernfusion sowie Bedenken zum Umweltschutz an unserer Energieversorgung auf:

Welche Rolle kann Atomkraft spielen?

Ist Kernfusion die Lösung?

Welche Probleme gibt es bei der Ölförderung?

Ist die Lithiumgewinnung ein Problem?

In welchem Maßstab verbrauchen wir Energie?

Wird zur Herstellung von Photovoltaik mehr Energie verbraucht als später durch sie gewonnen?

Die Atomkraft wird in vielen Punkten kontrovers diskutiert:

Ist die Atomkraft eine grüne Technologie oder nicht,

sollte der deutsche Atomausstieg rückgängig gemacht werden oder nicht,

können radioaktive Abfälle aufbereitet werden oder nicht,

sind Atomkraftwerke (AKW) sicher oder nicht,

kann ein AKW innerhalb von 15 Jahren gebaut werden oder nicht,

reichen die Rückstellungen für den Rückbau von AKW aus oder nicht und

gibt es ein Endlager für radioaktive Abfälle oder nicht (in den Weltraum schießen ist klimatechnisch keine Option).

Neben der Tatsache, dass ohne Kühlwasser ein AKW eine nukleare Katastrophe ist, spricht gegen neue AKW hauptsächlich, dass Strom neuer AKW zu teuer ist. Weiter ist Atomstrom unflexibel und kann technisch wie wirtschaftlich nur unter gleichbleibender Last erzeugt werden. Auch die Schäden eines katastrophalen AKW-Unfalls sind nicht versicherbar und müssten von der gesamten Gesellschaft übernommen werden. Weiter wird der Stromverbrauch über die Hälfte zunehmen. Und es ist fraglich, ob in Deutschland genügend neue AKW-Standorte gefunden werden können.

Die Kernfusion verspricht, eine ökologisch unbedenkliche und nachhaltige Alternative zur Atomkraft zu werden. In der Tat bieten erste Versuchsreaktoren in der Größe späterer Fusionskraftwerke vielversprechende Resultate. Bis jetzt ist es allerdings noch nicht abzusehen, wann oder ob überhaupt wirtschaftlich nutzbare Energie in Fusionsreaktoren erzeugt werden kann.

Zwar kann immer argumentiert werden, dass neue Technologien, wie Mini-AKW oder ein Durchbruch bei der Kernfusion, zum Gamechanger werden, jedoch sollte dies nicht den beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien bremsen, da für diese eine im Hier und Jetzt funktionierende Lösung existiert, die zur Bewältigung der Klimakrise benötigt wird.

Seit den Zehnerjahren dieses Jahrhunderts befinden wir uns in der Ölpeakförderung. Das heißt, dass mit konventionellen Ölquellen die steigende Ölnachfrage nicht mehr gedeckt werden kann. Um den Bedarf an Öl und Gas zu decken, müssen diese aus Ölsanden oder Schiefergas (Frackinggas) gefördert werden. Diese Förderungen gehen mit massiven zusätzlichen Umweltschutzbedenken einher.

Auch die Förderung aus konventionellen Ölquellen ist mittlerweile durch immer aufwendigere Bohrungen zu kleineren Ölreservoirs sehr energieintensiv geworden. So wird zum Bereitstellen von 6 l Diesel bereits so viel Energie benötigt, wie ein Elektroauto für eine Fahrstrecke von 200 km benötigt.⁷¹

Lithium, welches beispielsweise für die E-Mobilität benötigt wird, kann durch Bergbau, Extraktion aus lithiumhaltigen Salzseen oder Thermalwasser sowie durch Recycling gewonnen werden. In Deutschland kann Lithium klimaneutral und umweltfreundlich aus Thermalwasser und durch Recycling gewonnen werden.

Windräder und Photovoltaik sind deutlich sichtbar. Bei Windrädern wird dies als besonders störend empfunden. Damit nicht unnötig viele Windräder errichtet werden, wurde die benötigte Fläche für Windräder auf eine möglichst kleine von 2 % der gesamten Landesfläche beschränkt.

Wenn zum Heizen Holz gehackt wird, für Licht Kerzen angezündet werden oder zum Transport Pferde gehalten werden, wird der eigene Energieverbrauch spürbar. Wenn Strom und Gas durch das städtische Versorgungsnetz geliefert werden oder Kontinente in wenigen Stunden per Flugzeug überbrückt werden können, scheint zwar Energie unbegrenzt zur Verfügung zu stehen. Es handelt sich aber um endliche Energie aus fossilen Brennstoffen, die freigesetzt den Klimawandel antreibt und im Laufe von Millionen Jahren angesammelt worden ist. Windkraft und Photovoltaik macht unseren Energieverbrauch wieder sichtbar. Ein 100 m hohes Windrad von 2,5 MW entspricht der Leistung von knapp 3.400 Pferdestärken. Eine Einfamilienhaus-Photovoltaikanlage von 10 kWp ersetzt zu Spitzenzeiten die Pferdestärken eines Stalls von 13 Tieren.

⁷¹ **Burkert (2021):** „sechs Liter Diesel etwa 42 kWh“

Zur Beurteilung wie viel Energie eine Photovoltaikanlage während ihres Lebenszyklusses liefert, gibt es drei wichtige Kenngrößen: Die Amortisierung aus finanzieller Sicht, die Lebensdauer und den Ernteertrag.

Photovoltaikmodule verlieren innerhalb von 20 Jahren ca. 6,4 % ihrer Leistung.⁷² Ein Modul mit 350 Wp hätte dann nach 20 Jahren noch eine Leistung von über 325 Wp. Energetische amortisieren sich die Anlagen ebenfalls. Der Zeitraum hängt von verschiedenen Faktoren ab, kann allerdings mit weniger als zwei Jahren angenommen werden. Nach dieser Zeit liefert das Modul mehr Energie, als zur Installation und Produktion aufgebracht werden musste. Mit einer Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren ergibt sich dann ein Erntefaktor von 11 bis 18. Finanziell amortisiert sich eine Photovoltaikanlage in ganz unterschiedlichen Zeiträumen. Hier muss im Einzelfall überprüft werden, ob die finanzielle Amortisation in sieben oder eher in 20 Jahren erfolgt.

⁷² **Fraunhofer ISE (2022):** 15.3 „jährlichen Ertragsdegradation von 0,35%“



Das können Sie tun

Welche politischen Maßnahmen brauchen Unterstützung?

- A: Subvention der fossilen Brennstoffe
- B: CO₂-Bepreisung
- C: Klimaneutralität fördern

B und C: CO₂-Bepreisung und Klimaneutralität fördern

Klimapolitik geht uns alle an und wird parteiübergreifend aufgegriffen. Unsere Abgeordneten brauchen Unterstützung und müssen wissen, dass Klimaschutz für uns Priorität hat.

Subventionen von fossilen Brennstoffen müssen abgebaut werden.

Durch die Einnahmen einer CO₂-Bepreisung kann der Klimaschutz stärker gefördert werden und sozial gerecht verteilt werden. Gleichzeitig wird durch eine CO₂-Bepreisung klimaschädliches Verhalten unattraktiver.

Eine CO₂-Bepreisung kann durch eine CO₂-Steuer und den Emissionshandel umgesetzt werden.

Förderungen sind wichtig, um die Akzeptanz von Maßnahmen zu erhöhen, die ein Umdenken erfordern, oder die Finanzierung zu gewährleisten. Förderungen können Technologien den großskalierten Markteintritt ermöglichen, die große Stückzahlen benötigen, um am Markt ohne Subventionen bestehen zu können. Auch können Förderungen einen Anreiz zum schnelleren Handeln liefern, wo Klimaschutzziele der Umsetzung hinterherhinken.

Wie werden zukünftig hauptsächlich unsere Gebäude beheizt?

A: Mit grünem Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen

B: Mit Biogas und Holz

C: Durch Wärmepumpen

C: Durch Wärmepumpen

Mit grünem Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen kann klimaneutral geheizt werden. Die Verbrennung dieser ist aber ineffizient. Allerdings könnte günstig importierter grüner Wasserstoff in Kombination mit einer Brennstoffzelle und einer Wärmepumpe zum Heizen sowie zur Stromversorgung genutzt werden, solange die Wärmeverluste der Brennstoffzelle ebenfalls zum Heizen genutzt werden.

Biogas und Holz (Biomasse) können klimaneutral zum Heizen verwendet werden. Jedoch steht nicht genug kostengünstig zur Verfügung, ohne neue nachteilige Landnutzungsänderungen durch die Gefährdung von Urwäldern zu bewirken, um einen Großteil der Gebäude zu versorgen.⁷³

Wärmepumpen nutzen Umweltenergie und werden mit Ökostrom klimaneutral betrieben. Wärmepumpen arbeiten im Tieftemperaturbereich besonders günstig und können in Kombination mit einer Klimaanlage realisiert werden. Soll auf eine Tieftemperaturheizungsanlage umgerüstet werden, empfiehlt sich eine Fußbodenheizung oder ein Heizkörperaustausch mit Tieftemperaturheizkörpern. Da die Ausbauziele der erneuerbaren Energien einen großflächigen Einsatz von Wärmepumpen berücksichtigen, sollten diese hauptsächlich zum Heizen von Gebäuden benutzt werden.⁷⁴

In Innenstädten mit hoher Siedlungsdichte kann Fernwärme eine lohnende Option sein. Auch in Neubaugebieten könnten dezentrale Anlagen für mehrere Gebäude oder Wohnungen zur Wärmeversorgung genutzt werden.

⁷³ Hier sei auch an den Earth Overshoot Day erinnert, der 2022 für die gesamte Welt auf den 28. Juli fiel.

⁷⁴ Prognos et al. (2021): Abbildung 13

Welche Maßnahmen sind bei der privaten Stromversorgung für das Klima sinnvoll?

A: Auf Ökostrom umstellen

B: Photovoltaikanlage installieren

C: Photovoltaikanlage um Batteriespeicher ergänzen

A, B und C: Auf Ökostrom umstellen und eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher installieren

Beim Strombezug wird ein Strommix aus sämtlichen Energieträgern geliefert. Wird jedoch mehr Ökostrom bestellt, muss die Einspeisung von Ökostrom erhöht werden, was den Anteil von Strom aus fossilen Energieträgern verringert.

Eine Photovoltaikanlage liefert in unseren Breiten ein Vielfaches der Energie, die zur Herstellung benötigt wird. Da sich der Photovoltaikausbau von 2020 bis 2045 fast verachtfachen soll, wäre dieser Zubau minimal invasiv, wenn bereits bebaute Flächen in Form von Dächern, Fassaden oder versiegelter Fläche benutzt werden.⁷⁵

Batteriespeicher erhöhen den Autarkiegrad Ihrer Stromversorgung. Sie eignen sich ideal als Kurzspeicher für den Tag-Nacht-Ausgleich. Bis 2050 beziehungsweise mittlerweile bis 2045 sind diese millionenfach als Hausspeicher oder tausendfach als Großanlage eingeplant.⁷⁶

Die Fördermodelle, die technischen Auslegungen und Ihre finanziellen Vorteile sind hierzu mannigfaltig und unterliegen stetigen Änderungen. Energieberaterinnen und Energieberater können Ihnen bei der Umsetzung helfen.

Sollen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch elektrische ersetzt werden?

A: Ja

B: Nein

C: Nur in kleinem Maßstab

⁷⁵ Prognos et al. (2021): Abb. 13 und Fraunhofer ISE (2022): Abb. 2

⁷⁶ acatech et al. (2017): 2.5.1

A: Ja

Auch hier ist die Zukunft noch nicht geschrieben. Wir bewegen uns zu Lande, zu Wasser und in der Luft auf verschiedenste Art und Weise fort. Und in der Zukunft sind viele klimaneutrale Fortbewegungsmethoden denkbar.

Zum Erreichen der Klimaziele bis 2030 ist es jedoch nötig, dass vorhandene Lösungen zum Ersatz des Verbrennungsmotors genutzt werden. So sollen bis 2030 14 Millionen Autos vollelektrisch oder als Plug-In-Hybride auf den Straßen unterwegs sein, mehr Güter mit der Bahn transportiert werden und fast ein Drittel der Lkw-Fahrten elektrisch stattfinden. Ob die elektrische Energie dazu aus einer Batterie, Oberleitung oder Brennstoffzelle kommt, ist beim Lkw noch nicht abzusehen.⁷⁷ Die Chancen für einen ersten größeren Einsatz von Lkw mit Batterien stehen jedoch gut. Auch wird wohl beim Ersetzen des Verbrennungsmotors ein größerer Anteil von vollelektrischen Autos gegenüber Plug-In-Hybriden zu begrüßen sein.

Zu Fuß oder mit dem Fahrrad ist für viele Wege allerdings immer noch die umweltfreundlichste und gesündeste Lösung.

Wie viel Treibhausgas wird für einen Hin- und Rückflug von insgesamt 6 bis 8 Stunden pro Passagier freigesetzt?

A: 1 %,

B: 10 % oder

C: 100 % vom jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland (bezogen auf das Jahr 2020)

⁷⁷ **Prognos et al. (2021):** Bereits 2045 klimaneutral – wie wir schneller 95 Prozent Minderung der Emissionen erreichen (Abs. Verkehr)

B: 10 %

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und dem Umweltbundesamt hat KlimaAktiv einen CO₂-Rechner entwickelt, mit dem jeder seinen individuellen CO₂-Ausstoß berechnen und mit dem deutschen Durchschnitt vergleichen kann:

https://uba.co2-rechner.de/de_DE/

2022 wird ein Durchschnitt von 10,78 t CO₂-Äquivalente angegeben.

Für einen Hin- und Rückflug von insgesamt sechs bis acht Stunden Dauer werden pro Passagier eine Tonne CO₂-Äquivalente freigesetzt.

Ähnliche Mengen stößt ein Auto bei einer Fahrleistung von 5.000 km und einem Benzinverbrauch von 7,5 Liter/100 km aus.

Eine mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizung für ein Einfamilienhaus erzeugt im Jahr ungefähr so viel Treibhausgas wie fünf dieser Flüge.⁷⁸

Bezieht man jährlich 3000 kWh Strom und stellt auf Ökostrom um, wird ebenfalls eine Tonne CO₂-Äquivalente eingespart.

Auch der allgemeine Konsum und der Fleischverzehr sind ohne vollzogene Energiewende mit Sektorkopplung klimaschädlich. Jährlich 1.500 € weniger konsumieren oder zwei Jahre von fleischbetonter auf fleischreduzierte Kost wechseln, soll ebenfalls jeweils eine Tonne CO₂-Äquivalente einsparen.

Der Klimawandel kann aufgehalten werden, aber es braucht die Unterstützung aller:

Wir halten einen entscheidenden Teil unserer Klimabilanz in eigenen Händen. Der Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen ist beschlossene Sache. Alle können mithelfen, diesen Ausstieg zu beschleunigen. Damit die gesamte Gesellschaft auch mitmacht, werden gesetzliche Regelungen immer konkreter.

Welche gesetzlichen Regelungen es bereits gibt und welche vielleicht noch kommen, folgt im nächsten Kapitel „Das Bundes-Klimaschutzgesetz“.

⁷⁸ Bei einem Verbrauch von 18.000 kWh/Jahr.

Was war die größte humanitäre Katastrophe im 21. Jahrhundert

Der
Klimawandel!

Szenario 1

Szenario 2

Der Chipmangel
bei Kaffeefull-
automaten!

Die Bilanz erscheint bisher ernüchternd. Im Rahmen steigender Kosten und Bedrohungen durch den Klimawandel sollen wir lieb gewordene Gewohnheiten ändern und uns mit neuen Technologien vertraut machen. Deswegen endet dieses Kapitel mit einem ausichtsreichen motivierenden Blick in eine mögliche Zukunft:

Wie rosig kann die Zukunft aussehen?

Wie lautet das Narrativ für die Klimaneutralität?

Nach viel Überzeugungsarbeit und anfänglichen Schwierigkeiten in den Zwanzigerjahren dieses Jahrhunderts waren die erneuerbaren Energien, nicht mehr aufzuhalten. Wie erwartet, sind mit steigenden Stückzahlen die Preise für Batteriespeicher und Wasserstofftechnologien weiter gefallen. Dieses Verhalten wurde zuvor bereits bei den Photovoltaikmodulen und elektronischen Chips beobachtet. Windkraft und Photovoltaik wurden konsequent weiter entwickelt und liefern zuverlässig Energie für eine unabhängige Energieversorgung zu niedrigen Preisen.

Lithium der Rohstoff für Batteriespeicher wird umweltfreundlich und nachhaltig in Deutschland gefördert und recycelt. Mit der Zeit ist Lithium aber durch andere Rohstoffe mit ungeahnten Möglichkeiten ersetzt worden. Laut Feuerwehr gehören antriebsbedingte Autobrände dank der Feststoffbatterie der Vergangenheit an. Elektroautos können unterwegs für mehrere hundert Kilometer minutenschnell geladen werden. Reichweite ist kein Thema mehr. Batteriespeicher im Haus oder Auto stabilisieren das Stromnetz, überbrücken einzelne Dunkelflauten und generieren Einnahmen durch diesen Stromhandel. Ein transeuropäisches Hochleistungsstromnetz wurde pünktlich und kostengünstig im Meer verlegt. Dieses Strom-

netz macht Energie aus Wind und Sonne in den günstigsten Lagen Europas und darüber hinaus stets zu top Preisen verfügbar.

Der Ausbau des Bahnnetzes hat aufgrund der langen Planzeiten etwas länger gedauert. Vorhandene Ausbauprojekte konnten jedoch beschleunigt werden. Viele Kurzstreckenflüge wurden ersetzt und der Straßenverkehr wurde deutlich entlastet. Ländliche Regionen sind durch zubuchbaren autonomen öffentlichen Nahverkehr besser angebunden. Im öffentlichen Nah- und Fernverkehr wird schon lange auf fossile Brennstoffe verzichtet.

Bewegung liegt weiter im Trend. Gerade die städtischen Ballungszentren erleben eine deutliche Entlastung des Straßenverkehrs durch zahlreiche Radfahrer. Viele davon nutzen die beliebten E-Bikes (Pedelects). Über große Strecken steht ein großzügiges und durch physische Barrieren geschütztes Radwegenetz zur Verfügung.

Neben Autos sind Wärmepumpen das neue Statussymbol vor unserer Haustür. Zuverlässig günstige Ökostrompreise haben die Nutzung von Wärmepumpen beflügelt, die ein Vielfaches der eingesetzten elektrischen Energie an Umweltwärme für Gebäude nutzbar machen. Die Energiekosten sind nicht zuletzt wegen des geringeren Primärenergieverbrauchs gesunken. Dieser konnte sinken, da Gebäude besser isoliert sind, elektrische Geräte stromsparender wurden und die verlustreiche Verbrennung abgeschafft wurde.

Für industrielle und chemische Prozesse steht genug gesicherte Energie in Form von Wasserstoff zur Verfügung. Der Atmosphäre entzogenes CO₂ bietet ein riesiges Reservoir für kohlenstoffbasierte Grundstoffe der Chemie.

Überschüssige Energie wird konsequent zur Erzeugung von synthetischen Brennstoffen genutzt, die noch für eine längere Zeit für Langstreckenflüge zur Verfügung gestellt werden müssen. Flugzeugtypen

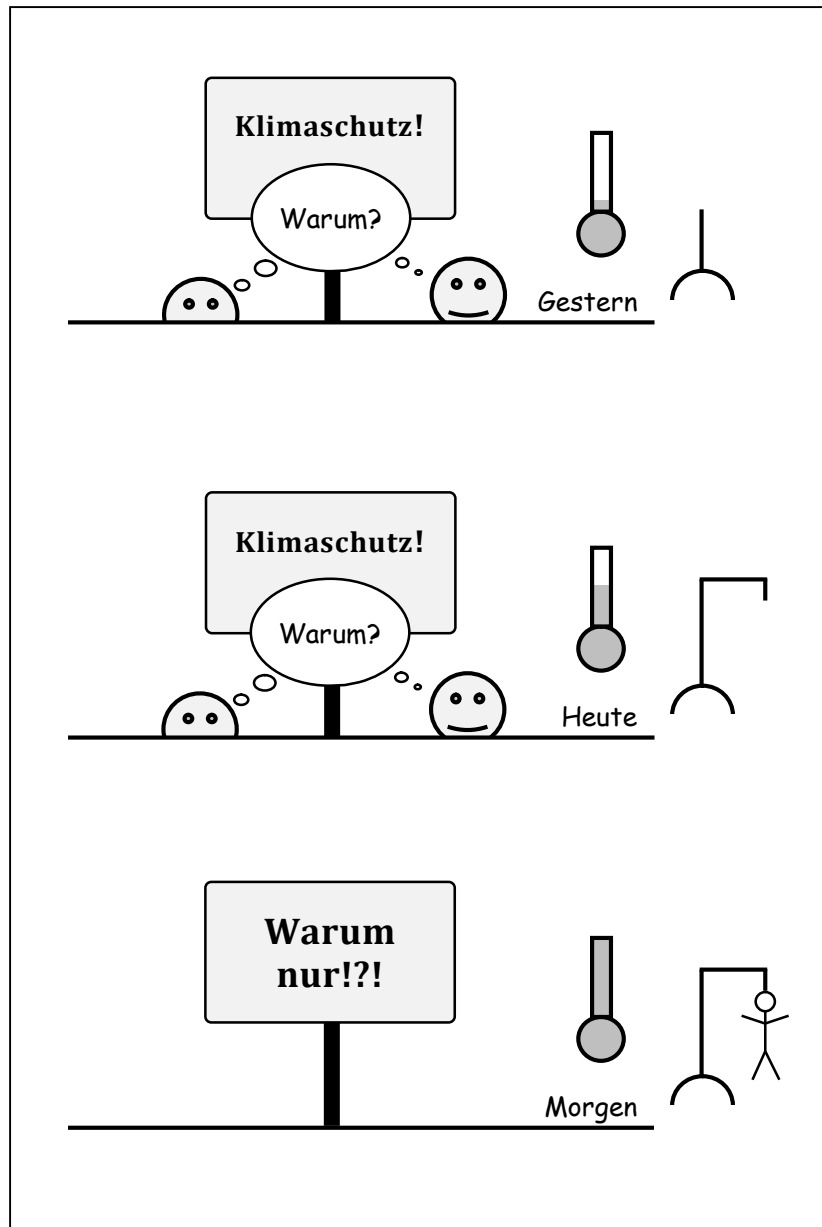
kürzerer Reichweite haben eine Transformation zu batterieelektrisch betriebenen vollzogen.

Herkömmlicher Zement wird nur noch selten eingesetzt. Die neuen Baustoffe binden überwiegend CO₂ und setzen es nicht bei der Produktion frei. Ein Zertifizierungssystem bei Gebäuden greift diesen Aspekt auf.

Die Begrenzung des Temperaturanstiegs wird durch die internationale Gemeinschaft einheitlich fokussiert. Verbliebene natürliche Ökosysteme sind als Naturerbe und CO₂-Senke streng geschützt. Die Renaturierung von Mooren und die Wiederaufforstung von Wäldern haben Priorität. Durch Kompensationszahlungen und Emissionshandel mit CO₂-Zertifikaten konnten finanzschwache Staaten die Industrieländer bei der Energiewende mit erneuerbaren Energien überholen.

Dies alles ist keine Fiktion, wenn die anfänglichen Schwierigkeiten und Anstrengungen in diesen Zwanzigerjahren konsequent angegangen und überwunden werden.

Wir können uns die Zeit, in der wir leben, nicht aussuchen. Wie auch schon Generationen vor uns in der Not ihr Schicksal in die eigene Hand genommen haben, so ist es jetzt auch an uns, unsere Möglichkeiten eindrucksvoll zu zeigen. Den Dingen ihren Lauf zu lassen, ist ein schmeichelhaftes Angebot. Aber in jeder Krise ist die schlechteste aller Visionen, zu glauben, es könnte alles so bleiben, wie es ist. Vielleicht ist die größte Herausforderung in dieser Krise, zu erkennen, dass das restliche CO₂-Budget bereits für die Umstrukturierung in eine klimaneutrale Gesellschaft verplant ist und wir mit Veränderungen nicht mehr warten können, bis das CO₂-Budget verbraucht ist.



Teil 3 – Was haben wir bisher geschafft und was ist noch zu tun

Das Bundes-Klimaschutzgesetz

Welchen Zweck hat das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG):

- A: Dem Übereinkommen von Paris nachkommen
- B: Nationale Klimaschutzziele erfüllen und europäische Zielvorgaben gewährleisten
- C: Ökologische, soziale und ökonomische Folgen berücksichtigen

A, B und C: Dem Übereinkommen von Paris nachkommen, nationale Klimaschutzziele erfüllen sowie europäische Zielvorgaben gewährleisten und ökologische, soziale und ökonomische Folgen berücksichtigen.

§ 1 KSG:

"[...] die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen werden berücksichtigt. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris [...], wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist, [...]"

Wie sollen die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 im KSG gemindert werden?

A: Bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent

B: Bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 Prozent

C: Bis zum Jahr 2045 auf die netto Null

A, B und C: Bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent, bis zum Jahr 2040 um mindestens bis zu 88 Prozent und bis zum Jahr 2045 auf die netto Null.

2020 wurde der Treibhausgasausstoß auf 41 % im Vergleich zu 1990 gemindert. 2021 klangen die Auswirkungen der Corona-Pandemie ab und die Reduzierung des Treibhausgasausstoßes betrug nur noch 39 %, was eine Verschlechterung ist, da das Ziel für 2030 bei 65 % liegt.

§ 3 KSG schreibt eine Minderung wie folgt fort:

„(1) Die Treibhausgasemissionen werden im Vergleich zum Jahr 1990 schrittweise wie folgt gemindert:

1. bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent,
2. bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 Prozent.

(2) Bis zum Jahr 2045 werden die Treibhausgasemissionen so weit gemindert, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Nach dem Jahr 2050 sollen negative Treibhausgasemissionen erreicht werden.“

Eine Minderung von 40 auf 65 % innerhalb von zehn Jahren klingt nicht nach besonders viel. Jedoch müssen in den nächsten 10 Jahren fast so viele Treibhausgasemissionen eingespart werden, wie in den letzten 30 eingespart worden sind.

In § 4 des KSG werden die Sektoren und ihre Einsparziele festgelegt. In welchem Sektor sind seit 1990 prozentual am wenigsten Treibhausgasemissionen eingespart worden?

A: Energiewirtschaft

B: Industrie

C: Verkehr

C: Verkehr

2019 war der Treibhausgasausstoß im Verkehrssektor so hoch wie 1990. Der Treibhausgasausstoß im Verkehrssektor kommt nahezu vollständig vom Straßenverkehr. Effizienzgewinne im Pkw-Bereich wurden durch den Trend zu größeren Autos aufgehoben. Ein nennenswerter Trend zum Schienenverkehr hat sich nicht abgezeichnet. Alternative Antriebe, wie die E-Mobilität, waren vor 2020 noch mit einem zu geringem Anteil vorhanden, um den Treibhausgasausstoß im Verkehrssektor merklich zu beeinflussen.

Der Treibhausgasausstoß wird laut KSG § 5 durch das Umweltbundesamt veröffentlicht. Aus diesen Zahlen ergeben sich folgende erzielte Einsparungen:

Sektor nach KSG	Treibhausgasausstoß [tausend t CO ₂ -Äquivalente]			Einspar. [%]
	1990	2019	2021	
Energiewirtschaft	466.093	258.844	247.287	46,9
Industrie	283.658	183.302	181.295	36,1
Gebäude	209.703	121.349	115.453	44,9
Verkehr	163.400	164.074	148.058	9,4
Landwirtschaft	81.061	62.969	61.108	24,6
Abfallwirtsch. u. Sonst.	38.003	9.196	8.391	77,9

Aus der Energiewirtschaft kommen die größten Einsparungen. Die erneuerbaren Energien haben dies größten Teils möglich gemacht, die im Jahr 2021 einen Anteil von 41 % bei der Stromerzeugung hatten.⁷⁹

Danach wurden in der Industrie am meisten Treibhausgase eingespart. Ein stetiger Prozess hin zu mehr Effizienz und ein Rückgang von energiereichen Industrien hierzulande und ein Zuwachs im Aus-

land hat dies zum großen Teil bewirkt. Die Verlagerung ins Ausland trägt dabei freilich nicht zur Minderung des Klimawandels bei, da der Klimawandel vom weltweiten Treibhausgasausstoß abhängig ist.

Im Gebäudebereich haben Gebäudesanierungen mit besserer Isolierung und effizienteren Heizungssystemen überwiegend die drittgrößte Reduzierung des Treibhausgasausstoßes innerhalb eines Sektors bewirkt.

Auffallend bei der Industrie und im Gebäudebereich ist, dass die Abnahme in den letzten Jahren zunehmend stagnierte. Hier wurden zunächst die Low Hanging Fruits geerntet. Weitere Erfolge benötigen einen echten Systemwechsel weg von den fossilen Brennstoffen. Diese wurden in der Industrie noch nicht in nennenswerten Zahlen ersetzt und im Gebäudebereich wurden Wärmepumpen kaum eingesetzt.

Wie soll ein Verfehlen der Zielvorgaben beim Treibhausgasausstoß vermieden und wiedergutmacht werden?

A: Durch Sofortprogramme

B: Durch Klimaschutzprogramme

C: Durch Berichterstattung

⁷⁹ UBA (2022): Strom aus erneuerbaren Energien

A, B und C: Durch Sofort- und Klimaschutzprogramme sowie durch Berichterstattung

Bei Überschreitung der Jahresemissionsmengen in einem Sektor weist das zuständige Ministerium nach § 8 KSG ein Sofortprogramm aus, was durch den Expertenrat § 11 KSG begutachtet wird. Die Bundesregierung beschließt daraufhin schnellstmöglich Maßnahmen.

Diese Maßnahmen fließen in das Klimaschutzprogramm nach § 9 KSG ein, welches nach Fortschreiten des Klimaschutzplans um Maßnahmen ergänzt wird, um den Treibhausgasausstoß entsprechend der Projektionen aus der Berichterstattung nach § 10 KSG und den Zielvorgaben aus § 4 KSG nachzukommen.

Versäumte Einsparungen aus vergangenen Jahren müssen also durch stärkere Einsparungen in den Folgejahren nachgeholt werden.

Zusammengefasst rührten die Einsparungen beim Treibhausgasausstoß der letzten 30 Jahre hauptsächlich von der Einführung der erneuerbaren Energien und vom Einsparen fossiler Brennstoffe her. In den nächsten zehn Jahren soll eine ähnlich große Menge an Treibhausgasen eingespart werden. Dazu reichen die verbliebenen Low Hanging Fruits in Form von effizienter genutzten fossilen Brennstoffen nicht mehr aus.

Ohne einen massiv vorangetriebenen Systemwechsel hin zur Energiewende mit Sektorkopplung werden wir die Zielvorgaben nicht erfüllen. In diesen Zwanzigerjahren muss das Motto sein: Weg von den fossilen Brennstoffen.

Mit dem Osterpaket von 2022 wird der Ausbau der erneuerbaren Energien stark gefördert. Weitere Gesetze zur Photovoltaikpflicht auf Gebäuden und zu Heizungssystemen mit einem festen Anteil an erneuerbaren Energien sollen kommen. Inwieweit damit die Zielvorgaben umgesetzt werden können und Verzögerungen im Ablauf weitere Maßnahmen behindern, bleibt abzuwarten.

Wie stark der Treibhausgasausstoß in den nächsten Jahren reduziert werden soll und wo die Zahlen eingesehen werden können, wurde gezeigt. Bleibt die Frage, welche Schlüsseltechnologien dafür eingesetzt werden müssen und in welchem Maße ihr Einsatz fortschreitet? Dies wird im Kapitel „Der Einsatz von Schlüsseltechnologien“ aufgeführt und überwacht.

Zwei weitere Regulierungen zur Klimaneutralität sind der CO₂-Preis und der Emissionshandel mit Treibhausgasen. Beide werden hier mit den Bonusfragen vorgestellt:

Hat CO₂ einen Preis?

Wie hoch ist der CO₂-Preis?

Wie wird sich der Emissionshandel mit Treibhausgasen entwickeln?

Wird der Ausstoß von Treibhausgasen zukünftig zur Straftat?

Der CO₂-Gehalt in unserer Atmosphäre stieg und fiel auf natürliche Weise über die Erdzeitalter hinweg. War er früher einmal höher, kann er so nicht mit dem von heute verglichen werden, da die Sonne über Jahrmillionen an Intensität zugenommen hat. Das Holozän, in welchem sich auch die menschliche Zivilisation entwickelt hat, ist eine erdzeitalterliche Epoche, welche von gleichbleibenden Verhältnissen geprägt ist. Weder die Temperatur noch der CO₂-Gehalt unterlagen im Verhältnis zu anderen Erdzeitaltern größeren Veränderungen. Der menschengemachte Klimawandel hat dieses Gleichgewicht beendet. Unsere Zivilisation ist jedoch nur an die bekannten lokalen Klimaverhältnisse vor Ort angepasst und wachsende klimatische Veränderungen erzeugen zunehmend Schäden.

Verschiedene Studien schätzen die Schäden des Klimawandels ab. Ein schwieriges Unterfangen, das nicht alle Wechselwirkungen in einer Zahl zusammenfassen kann. Jedoch ist klar, dass die Schadensrate mit zunehmendem Klimawandel steigt. Und abgesehen von den materiellen Schäden werden menschliche Gesundheit, Kultur-

und Naturerbe wohl nie in angemessener Form berücksichtigt werden können.

Bereits jetzt entstehen Schäden durch den Klimawandel, welche das Umweltbundesamt abschätzt. Während 2016 die Schäden mit 180 Euro pro Tonne beziffert worden sind⁸⁰, sind diese bereits 2021 mit 201 Euro pro Tonne beziffert worden. Mit dem CO₂-Preis für 2021 und dem deutschen Treibhausgasausstoß von 2021 ergibt sich ein Schaden von 153 Milliarden Euro.⁸¹

Erstmalig wurde ein CO₂-Preis 2021 mit 25 Euro pro Tonne eingeführt. Dieser CO₂-Preis gilt für fossile Brennstoffe im Verkehr und für Wärme (Gebäudesektor), wird durch den Erwerb von Zertifikaten über den nationalen Emissionshandel beglichen und soll bis 2025 schrittweise auf 55 Euro pro Tonne angehoben werden. Für 2026 soll der Preis nicht über 65 Euro steigen. Ab 2027 sollen die Verschmutzungsrechte gehandelt und gemäß den Klimaschutzzielen begrenzt werden.

Der europäische Emissionshandel wurde 2005 für die Energiewirtschaft, die energieintensive Industrie und 2012 auch für den inner-europäischen Luftverkehr eingerichtet. Im Prinzip wird eine sich immer stärker verknappende Obergrenze (Cap) des Treibhausgasausstoßes an die teilnehmenden Anlagen verteilt. Die Anlagenbetreiber dürfen die Caps dann frei handeln. Seit 2017 wird diese Regulierung preiswirksam angewandt. Bis 2021 ist der Preis dadurch auf 55 Euro pro Tonne gestiegen. Weitere Preisentwicklungen müssen abgewartet werden und sollen sich nach Angebot und Nachfrage richten.

⁸⁰ UBA (2018)

⁸¹ UBA (2021): Klimakosten von Treibhausgas-Emissionen

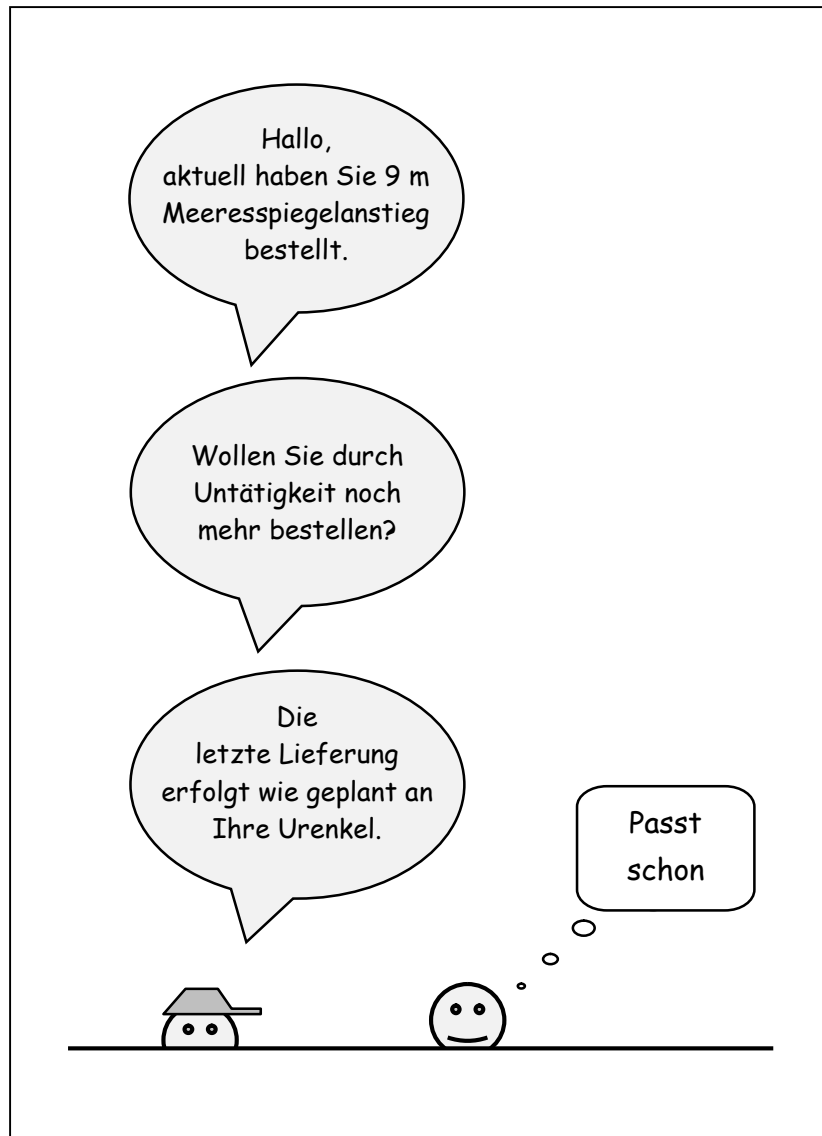
Mit dem nationalen und dem europäischen Emissionshandel sind Instrumente geschaffen worden, um den Ausstoß von CO₂ in den vier wichtigsten Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr zu bepreisen. Wird der so generierte CO₂-Preis mit den ermittelten Schäden verglichen, stellt sich heraus, dass dieser noch deutlich geringer und mehr ein Steuerinstrument ist, um die Verursacher an die Vorgaben des Klimaschutzplans zu gewöhnen, als hiermit den Verursachern Schäden anzulasten.

Die niedrigen Preise in der Eingewöhnungsphase des nationalen Emissionshandels erzeugen nur verminderte Anreize für mehr Klimaschutz im Verkehrs- und Gebäudebereich. Es bleibt abzuwarten, ob damit die Klimaschutzziele erfüllt werden können. Versäumnisse bei den Treibhausgasminderungen sollten jedoch nach der Einführungsphase zu einer stärkeren Preisentwicklung bei den CO₂-Zertifikaten führen. Zur Einschätzung der Mehrbelastung durch den CO₂-Preis folgende Beispiele:

Der jährliche Verbrauch einer Familie, die mit fossilen Brennstoffen heizt sei 20.000 kWh. Der damit verbundene CO₂-Ausstoß sei 5,5 Tonnen. Bei einem CO₂-Preis von 100 Euro wäre die jährliche Mehrbelastung 550 Euro. Eine ähnliche Mehrbelastung dürfte mit einem Benzinerverbrauch bei einer Fahrstrecke von 27.500 km entstehen. Eine bessere Gebäudedämmung, die effiziente Isolierung von Heizungsrohren und die Nutzung von Umweltwärme durch eine Wärmepumpe könnten den Energieverbrauch von 20.000 auf 5.000 kWh senken. Da der reduzierte Energieverbrauch von 5.000 kWh mittels einer Wärmepumpe bestritten wird, kann diese mit Ökostrom betrieben werden, bei dem kein CO₂-Preis anfällt. Die Fahrstrecke von 27.500 km könnte ebenfalls elektrisch mit Ökostrom zurückgelegt werden. So würde in diesem Beispiel aus einer Mehrbelastung auf Dauer eine Kosteneinsparung, wenn zeitnah in klimaneutrale Technologien investiert und energetisch saniert wird.

Die staatlichen Einnahmen durch den Emissionshandel kommen auf verschiedene Weise dem Klimaschutz und der Gesellschaft zu Gute. Unter den finanzierten Maßnahmen sind Förderungen klimaneutraler Technologien und Entlastungen für die Bürgerinnen und Bürger. So lohnt sich ein klimafreundliches Verhalten mehrfach, da Mehrbelastungen ausbleiben und Entlastungen an alle gehen und klimaneutrale Anschaffungen eventuell gefördert werden. Doch Vorsicht, einer erhöhten Nachfrage bei Handwerksbetrieben kann nicht unmittelbar nachgekommen werden. Hier müssen erst noch Strukturen entstehen oder wachsen. Ein frühzeitiges Erkundigen nach Terminen und Verfügbarkeit hilft bei Bedarf.

Die Schäden durch den Klimawandel machen deutlich, dass unsere Atmosphäre nicht als unbeschränkte Deponie für CO₂ benutzt werden kann. Es zeugen bereits viele Schicksale auf tragische Weise von der Gewalt des Klimawandels. Einzelne Gerichte befassen sich bereits mit Schadensersatzansprüchen. Das restliche CO₂-Budget ist durch das Übereinkommen von Paris festgelegt worden. Auch wenn die EU ihre Klimaschutzziele erfüllt, ist es trotz der weltweiten Entwicklung möglich, dass das CO₂-Budget bereits vor dem Erreichen der Klimaneutralität, auch in der EU, verbraucht ist. In diesem Fall müssen wir die Folgen des vom Weltklimarat als „gefährlich“ eingestuften Klimawandels über uns ergehen lassen - mit weltweit tragischen Schicksalen auf breiter Ebene, die momentan die eher theoretische Frage nach einer Straftat für den Ausstoß von Treibhausgasen sehr lebendig werden lassen.



Der Einsatz von Schlüsseltechnologien

Es gibt mehrere denkbare Pfade, auf denen die Klimaschutzziele gemäß dem Bundes-Klimaschutzgesetz erfüllt werden können. Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“⁸² zeigt einen dieser Pfade auf. Im Folgenden wird überprüft, wie gut es mit der Umsetzung vorangeht.

Wie hoch muss der jährliche Windenergieausbau sein?

A: Doppelt so hoch wie,

B: höher als oder

C: niedriger als

die bisherigen Spitzenwerte aus den vergangenen Jahren.

⁸² Prognos et al. (2021)

C: Niedriger als die bisherigen Spitzenwerte

Der benötigte Windenergieausbau bis 2030 wäre technisch realisierbar, wenn die bisherigen Spitzenwerte der vergangenen Jahre als Maßstab dienen.

Der Windenergieausbau wird mit der installierten Leistung in Gigawatt (GW) angegeben.⁸³

Für den Ausbau an Land lauten die Werte:

Zielvorgabe 2030	80,0 GW
Ausbau insgesamt bis 2021	56,1 GW
Benötigter jährlicher Ausbau	2,7 GW
Spitzenwert 2017	4,8 GW

Für den Ausbau zur See lauten die Werte:

Zielvorgabe 2030	25,0 GW
Ausbau insgesamt bis 2021	7,8 GW
Benötigter jährlicher Ausbau	1,9 GW
Spitzenwert 2015	2,5 GW

Auch wenn der Windenergieausbau an Land und zur See von 2018 bis 2021 deutlich unter den derzeitig benötigten Ausbauraten liegt, bleibt das Gesamtziel bis 2030 bei den zu erwartenden Rahmenbedingungen erreichbar.

Wie hoch muss der jährliche Ausbau der Photovoltaik sein?

A: Doppelt so hoch wie,

B: höher als oder

C: niedriger als

der bisherige Spitzenwert aus den vergangenen Jahren.

⁸³ Die Zielvorgaben ergeben sich nach **Prognos et al. (2021)** Abb. 13 und der Ausbau der vergangenen Jahre aus **Deutsche WindGuard (2021)**.

B: Höher als der bisherige Spitzenwert

Der Photovoltaikausbau muss beschleunigt werden. Zuletzt betrug er im Jahr 2021 5,3 GWp. Die Zielvorgabe für die nächsten Jahre wäre jedoch fast doppelt so hoch.

Der Photovoltaikausbau wird mit der installierten Leistung in Gigawatt peak (GWp) angegeben. Peak bedeutet, dass sich die Leistung auf einen Spitzenwert unter normierter Einstrahlung bezieht.

Für den Ausbau lauten die Werte:⁸⁴

Zielvorgabe 2030	150 GWp
Ausbau insgesamt bis 2021	59 GWp
Benötigter jährlicher Ausbau	10 GWp
Spitzenwert 2012	8 GWp

Da jedoch in den Zehnerjahren des 20. Jahrhunderts hierzulande viele Arbeitsplätze in der Branche verloren gegangen⁸⁵ sind und zunehmend Material- sowie Fachkräftemangel herrscht, stellt sich ein höherer Zubau momentan als problematisch da.

Wie viele Elektroautos inklusive Plug-In-Hybriden sollen bis 2030 herkömmliche Verbrenner-Modelle ersetzen?

A: 1 Millionen

B: 14 Millionen

C: 45 Millionen

⁸⁴ Die Zielvorgaben ergeben sich nach **Prognos et al. (2021)** Abb. 13 und der Ausbau der vergangenen Jahre aus **Fraunhofer ISE (2022)** Abb. 2.

⁸⁵ **Fraunhofer ISE (2022)**: 8.

B: 14 Millionen

Im Jahr 2021 waren zum ersten Mal mehr als 1 Millionen Elektroautos (BEV) inklusive Plug-In-Hybriden (PHEV) in Deutschland zugelassen. Davon waren 0,6 Millionen rein elektrisch.⁸⁶

14 Millionen Elektroautos inklusive PHEV sollen bis 2030 zugelassen sein⁸⁷, wobei von Seiten der Regierung 15 Millionen rein elektrische angestrebt werden.

45 Millionen Pkw waren Ende 2021 in Deutschland zugelassen.

Die Neuzulassungen betrugen 2021 0,7 Millionen Elektroautos inklusive PHEV.⁸⁸ Dies sind zwar zu wenige, um ohne Steigerung das Ziel von 14 Millionen in neun Jahren zu erreichen. Jedoch gab es in den Vorjahren noch keine nennenswerten Stückzahlen auf deutschen Straßen. Auch die Nachfrage steigt stark an und an Lieferengpässen wird gearbeitet, so dass hier eine spannende Aufholjagd stattfinden könnte.

Um wie viel soll der Güterverkehr auf der Schiene bis 2030 ausgebaut werden?

A: 10 %

B: 20 %

C: 40 %

⁸⁶ **KBA (2022)**: 2.

⁸⁷ **Prognos et al. (2021)**: Abbildung 13

⁸⁸ **KBA (2022a)**: 7. Abs.

C: 40 %

Vom ersten bis zum zweiten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts hat der Güterverkehr auf der Schiene um 17 % zugenommen.⁸⁹ Diese Zunahme reicht für die Zwanzigerjahre dieses Jahrzehnts nicht aus, denn es wird ein Zuwachs von 40 % benötigt.⁹⁰

Für erhöhte Verkehrszahlen müssen nicht nur die bereits überlasteten Strecken und Verkehrsknoten ausgebaut werden, sondern auch die, die bei erhöhten Verkehrszahlen noch überlastet werden.

Die für eine Erhöhung der Verkehrszahlen nötigen Infrastrukturprojekte sind bereits priorisiert. Wie viele bis 2030 umgesetzt werden können, ist auch eine Frage des finanziellen Rahmens beim Bundesverkehrswegeplan.⁹¹

Beim Personenverkehr auf der Schiene geht die Studie von gleichbleibenden Zahlen aus.

Welche Heizungsart soll im Gebäudebereich überwiegen?

A: Biomasse

B: Wärmepumpe

C: Fernwärme

⁸⁹ Destatis (2022): Mittelwert 2000 bis 09 zu Mittelwert 2010 zu 19

⁹⁰ Prognos et al. (2021): Abbildung 13

⁹¹ Agora Verkehrswende (2019): 3.4.1 und Abbildung 15

B: Wärmepumpen

Biomasse und Fernwärme können als klimaneutrale Alternativen im gewissen Rahmen Wärmepumpen ersetzen. Bei Gebäuden im Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungsbereich sind sie fester Bestandteil der klimaneutralen Heiztechnik.

Jedoch sollen Wärmepumpen am meisten eingesetzt werden und vor allem bei den privaten Haushalten überwiegen.⁹²

Ziel ist es, bis 2030 6 Millionen Wärmepumpen im Einsatz zu haben.⁹³ 2021 waren ca. 1,2 Millionen Wärmepumpen im Einsatz. Zwar wurde 2021 mit 154.000 neuen Wärmepumpen ein neuer Ausbaurekord erzielt⁹⁴, doch vom jährlichen Soll-Ausbau von 500.000 Stück ist dieser Wert noch weit entfernt.

Wie viel Strom soll 2030 für die Erzeugung von Wasserstoff verwendet werden?

A: 0 %

B: 5 %

C: 15 %

⁹² Prognos et al. (2021): Datenanhang (Excel-Datei), Reiter Gebäude

⁹³ Prognos et al. (2021): Abbildung 13

⁹⁴ BWP (2022)

B: 5 %

Bereits 2030 sollen 10 % des Strombedarfs mittels Wasserstofftechnologie gedeckt werden. Dieser Wasserstoff soll zu 30 % in Deutschland hergestellt und zu 70 % importiert werden. Die Herstellung soll jeweils klimaneutral durch Elektrolyse unter Verwendung von erneuerbaren Energien erfolgen.⁹⁵

Dieser Wasserstoff kann in großen Mengen lange gespeichert werden und soll deshalb zur Überbrückung von kalten Dunkelflauten benutzt werden. Er kann ebenfalls als Brennstoff zur Erzeugung von Prozesswärme von mehreren hundert Grad genutzt werden.

Verglichen mit den Zielen von 2030 wird diese Technologie 2021 noch in keiner nennenswerten Größenordnung eingesetzt.

Jedoch sollen 5 % des Strombedarfs bereits 2030 durch diese Technologie gedeckt werden. 2045 müssten es dann schon dauerhaft 15 % sein.⁹⁶

In diesem Bereich liegt der Fortschritt klar hinter den Zielvorgaben.

⁹⁵ Prognos et al. (2021): Abbildung 9 und 11

⁹⁶ Prognos et al. (2021): Abbildung 8

Zum Erfüllen der Klimaschutzziele werden die meisten Schlüsseltechnologien ungenügend eingesetzt:

Die Zielumsetzung bei der Nutzung von grünem Wasserstoff und Wärmepumpen bleibt kritisch, der Ausbau von Strecken und Knoten der Bahn muss verbessert werden und Engpässe bei E-Autos und Photovoltaikanlagen müssen überwunden werden.

Der Windenergieausbau kann ohne weitere Hürden realisierbar sein.

Der Ausbau des Stromnetzes wurde in die Betrachtungen noch gar nicht mit einbezogen, welcher sich jedoch auch als ungenügend herausstellen könnte.

Auch wenn das Bundesverfassungsgericht klar gestellt hat, dass der Verweis auf andere Länder kein Grund ist, seine Klimaschutzziele nicht zu erfüllen⁹⁷, muss auch die weltweite Entwicklung beobachtet werden, da ansonsten das CO₂-Budget schneller verbraucht ist, als angenommen. Die weltweite Entwicklung wird im Kapitel „Die weltweite Entwicklung“ überwacht.

⁹⁷ BverfG (2021): Leitsätze 2.c

Engineering braucht Zeit. Aber das Ergebnis wird sich sehen lassen:

Was können wir aus der Coronakrise für die Klimakrise lernen?

Wie werden die Zwanzigerjahre dieses Jahrhunderts?

Während der Coronakrise haben wir erlebt, dass trotz frisch entwickelter Impfstoffe, die Pandemie noch nicht vorbei war. Denn es hat Zeit und Ressourcen benötigt bis alle Menschen mit Zugang zu den Impfstoffen auch geimpft werden konnten. Ähnlich ist es mit der Klimakrise. Da die Verbrennung von fossilen Brennstoffen der Haupttreiber für den Klimawandel ist und die fossilen Brennstoffe meist noch ein fester Bestandteil unseres Alltags sind, kann auf diese nicht so einfach von heute auf morgen verzichtet werden. Die jeweiligen Ausbauziele sind beschrieben worden und deren Umsetzung kann mit den vorhandenen Mitteln erreicht werden. Die Umsetzung braucht jedoch Zeit. Zeit die nicht zum Müßiggang genutzt werden darf, denn die Klimakrise ist bereits deutlich zu spüren.

So wäre es auch bei der Klimakrise viel zu spät, mit den Minderungsmaßnahmen anzufangen, wenn die Auswirkungen nicht mehr zu ertragen sind. Der Klimakrise muss vorausschauend mit viel Zeit und Ressourcen begegnet werden. Pannen wie beim Bau des Flughafens Berlin Brandenburg darf es nicht geben.

Krisen können aber auch Veränderungen beschleunigen. Und in den Zwanzigerjahren dieses Jahrhunderts kann sich viel verändern. Es entsteht eine umweltfreundliche klimaneutrale Förderung von Lithium im oberen Rheingraben. Damit steht der Hauptrohstoff für Batterien auch in Europa zur Verfügung. Batterien werden ein Massengut zu günstigeren Preisen. Elektroautos stellen immer neue Rekorde auf. Immer mehr Länder verteilen untereinander ihre

Windenergie zur See über neue Unterwasserstromtrassen. Generell kommt der Windenergieausbau gut voran und ist als systemrelevant erkannt worden. Gebäude verbrauchen viel weniger Energie und erzeugen mit Photovoltaikanlagen sogar einen Energieüberschuss.

Wir werden also dem Narrativ zur Klimaneutralität (siehe Abschluss-text Kapitel „Das können Sie tun“) einen großen Schritt in diesen Zwanzigerjahren folgen müssen.

Earth Overshoot Day 2022

- Deutschland: 4. Mai
- Welt: 28. Juli

Wie lange
das wohl noch
gut geht?

Mal schauen, bisher
haben wir noch jede
Krise ausgesessen.

Die weltweite Entwicklung

Ist der Verbrauch von fossilen Brennstoffen

A: gestiegen,

B: gleich geblieben oder

C: gesunken?

A: Gestiegen

In den Zehnerjahren dieses Jahrhunderts ist der Verbrauch von fossilen Brennstoffen weltweit im Vergleich zum Vorjahrzehnt um 22 % gestiegen.⁹⁸

Zwar ist der Verbrauch von fossilen Brennstoffen in der EU und in Deutschland insgesamt zurückgegangen, doch muss diese Krise auch durch internationale Zusammenarbeit gelöst werden.

In welchen Regionen ist der Ausstoß von fossilem CO₂ besonders hoch und wie lautet die Reihenfolge im Jahr 2020?

A: Nordamerika (USA und Kanada)

B: China

C: EU27

⁹⁸ **JRC (2021)**: EDGARv6.0_FT2020 (Excel-Datei), Reiter fossil_CO2_totals_by_country, Mittelwert 2000 bis 2009 zu Mittelwert 2010 zu 2019

B, A und C: China, Nordamerika und EU27

Laut dem Joint Research Centre der Europäischen Kommission verteilt sich der fossile CO₂-Ausstoß wie folgt:⁹⁹

2020 führt China die weltweite Rangliste des jährlichen CO₂-Ausstoßes mit 11.680 Millionen Tonnen an.

Gefolgt von Nordamerika (USA und Kanada) mit 5.078 Millionen Tonnen und der Europäischen Union (EU27) mit 2.020 Millionen Tonnen.

Deutschland hatte dabei innerhalb der EU 2020 mit 637 Millionen Tonnen CO₂ den größten Anteil.

Der weltweite CO₂-Ausstoß betrug 2020 35.963 Millionen Tonnen. Für einen Anteil von 80 % waren alleine die G20-Staaten verantwortlich.

Indien und Russland stehen mit einem CO₂-Ausstoß von 2.412 und 1.674 Millionen Tonnen auf Platz 3 und 4 der Weltrangliste für einzelne Staaten.

Die Staaten Japan, Südkorea und Taiwan haben insgesamt mit 1.964 Millionen Tonnen CO₂ ebenfalls einen beträchtlichen Einfluss auf den weltweiten Ausstoß.

Staaten wie Saudi-Arabien und Australien sind nicht nur wegen ihrer Größe für das Beobachten des Treibhausgasausstoßes wichtig, sondern auch durch ihren besonders hohen Ausstoß pro Einwohner von 17,0 und 15,2 Tonnen CO₂ im Jahr 2020.

⁹⁹ **JRC (2021)**: EDGARv6.0_FT2020 (Excel-Datei), Reiter fossil_CO2_totals_by_country

Auf der politischen Karte ist also China für die aktuelle und zukünftige Entwicklung des Treibhausgasausstoßes von größter Bedeutung. Gäbe es eine moralische Karte, dann wäre die Reihenfolge eine andere. Auf einer solchen Karte würde sich Deutschland mit den anderen alten Industrienationen hervortun, da auf einer solchen Karte der historische Ausstoß und der Pro-Kopf-Ausstoß stärker ins Gewicht fallen.

Letzten Endes unterteilten sich beim Klimaschutz die Menschen auch nur in zwei Lager:

Jene, die zu viel CO₂ ausstoßen, und jene, die nachhaltig leben.¹⁰⁰

Wo ist eine Energiewende mit Sektorkopplung überall möglich?

A: In Europa

B: Bei den G20 Staaten

C: Prinzipiell auf der ganzen Welt

¹⁰⁰ Beziehungsweise in solche, die laut Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen und dem Übereinkommen von Paris angemessen über ihr restliches CO₂-Budget verfügen, und solche, die dies nicht tun.

A, B und C: In Europa, bei den G20 Staaten und prinzipiell auf der ganzen Welt

Eine Studie der Stanford University hat die Welt in 24 Regionen unterteilt und jede Region am Beispiel von bestimmten Ländern untersucht.¹⁰¹ Diese 145 repräsentativen Länder wurden auf einen 100-prozentigen Übergang hin zu erneuerbaren Energien ausgewertet. Dabei sollten 2035 80 % der Energieversorgung bereits durch die erneuerbaren Energien erfolgen und 2050 eine 100-prozentige Transformation stattgefunden haben. Ziel ist, eine netzstabile Versorgung durch Erzeugung und Speicherung von erneuerbaren Energien von 2050 bis 2052 zu zeigen.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass dies für alle getesteten Länder möglich ist. Weiter werden Mehrbeschäftigung, sinkende Energiekosten und eine durchschnittliche Amortisationszeit von 5,5 bis 0,8 Jahren prognostiziert.

Wie hoch ist beim weltweiten Ausstoß von Treibhausgasen das Vertrauen in die Datenlage?

A: Hoch

B: Mittel

C: Gering

¹⁰¹ Jacobsen et al. (2022)

A: Hohes Vertrauen

Der IPCC bewertet die Daten des weltweiten CO₂-Ausstoßes mit hohem Vertrauen.¹⁰² Diese Daten sind wichtig, um die Reduktion des CO₂-Ausstoßes nach Zielvorgaben durchzuführen und zu überwachen.

Entscheidend für unser Schicksal ist jedoch letzten Endes die Keeling-Kurve, die den CO₂-Gehalt in unserer Atmosphäre wiedergibt. Diese Werte werden seit 1958 regelmäßig gemessen und wurden vielfach bestätigt. Es kann also keinen Zweifel an unserer misslichen Lage geben:

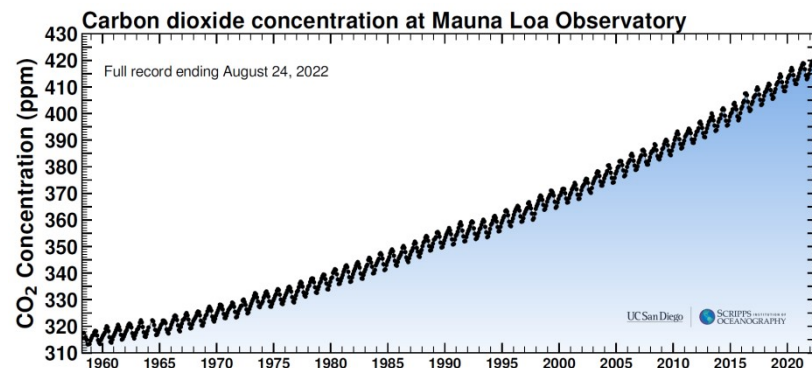


Abb. 4: Keeling-Kurve, Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego

Die Keeling-Kurve zeigt einen Anstieg des CO₂-Gehalts von ungefähr 105 ppm in 65 Jahren. Der beschleunigte Anstieg wird von jährlichen Schwankungen überlagert. Diese Schwankungen werden durch die Vegetation auf der Nordhalbkugel bestimmt, welche die Vegetation auf der Südhalbkugel an Masse überragt und jahreszeitlichen Wachstumsschwankungen ausgesetzt ist.

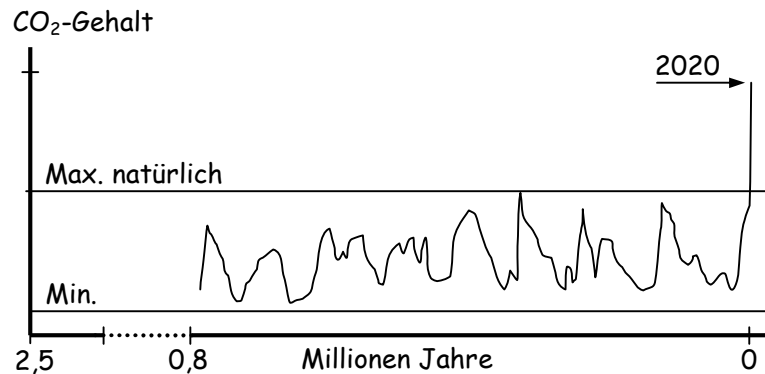
Erdzeitalterlich leben wir in einer Eiszeit, welche von wärmeren Perioden unterbrochen wird. Solche interglazialen Warmzeiten (Zwischenwarmzeit) gehen mit einem Anstieg des CO₂-Gehalts von ungefähr 100 ppm über mehrere tausend Jahre einher. Verglichen damit ist der derzeitige menschengemachte Sprung viel zu hoch und hat viel zu schnell stattgefunden.

Auch hat sich die menschliche Zivilisation in einer Zwischenwarmzeit entwickelt, in der der CO₂-Gehalt schon auf natürliche Weise einen hohen Wert erreicht hat. Der für eine Zwischenwarmzeit typisch hohe Wert von 300 ppm wurde nun durch menschliche Aktivität übertroffen und hat einen Wert von über 400 ppm angenommen. Was in der Menschheitsgeschichte ein absolutes Novum ist, denn noch nie zuvor haben Menschen einen solch hohen CO₂-Gehalt eingeatmet.

Erst wenn die Keeling-Kurve abgesehen von den natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen nicht mehr steigt, haben wir weltweit die Klimaneutralität erreicht.

¹⁰² IPCC(2014): B.5

In der Schule



Ok, nun wissen wir, wie sich ein niedrigerer CO₂-Gehalt auswirkt.

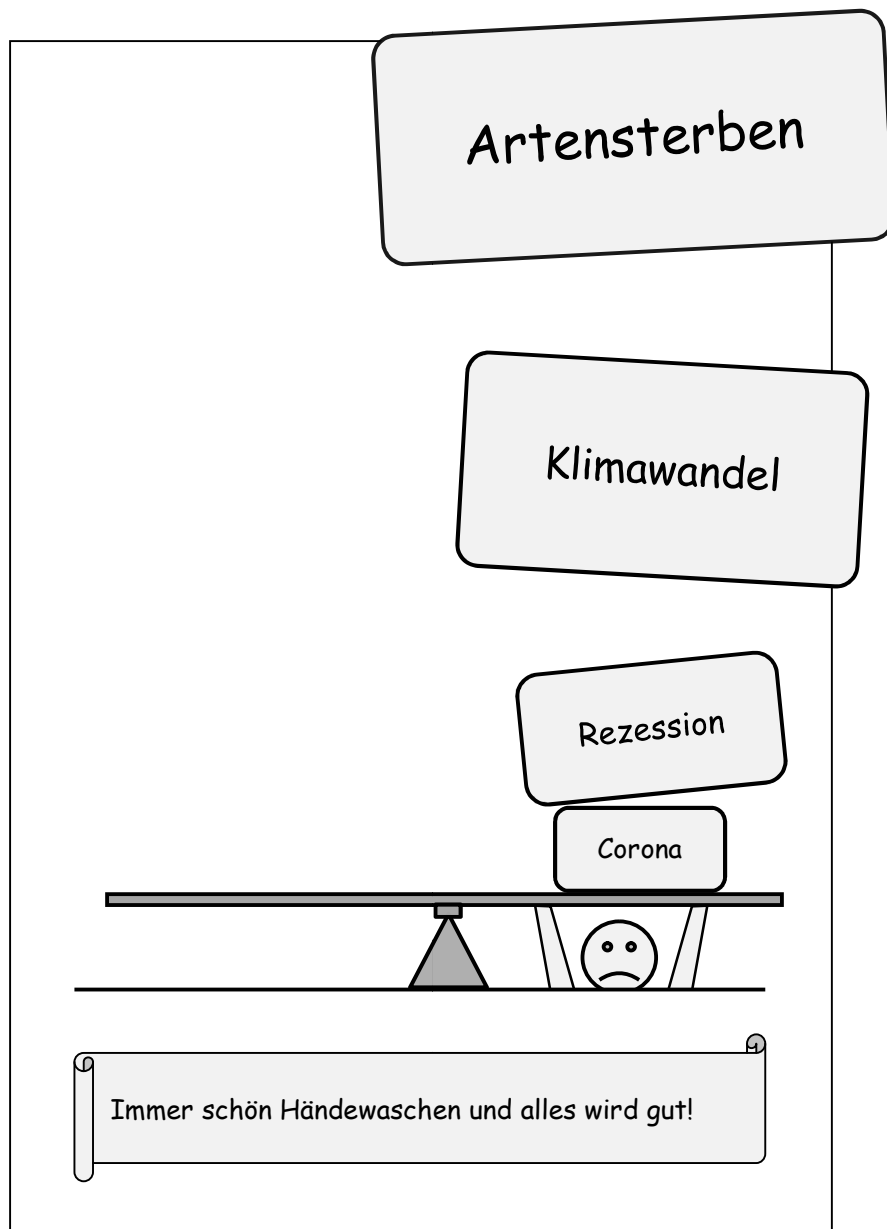
Aber wie wird es mit einem höheren sein?

Das wissen wir nicht genau, da es diesen Fall im Quartär, dem jüngsten Abschnitt unserer Erdgeschichte, nicht gab. Es wurden immer nur Eiszeiten durchlaufen.

An der globalen Entwicklung sehen wir, dass die weltweiten Anstrengungen nicht ausreichen. Zwar beginnen viele entwickelte Länder den Ausstoß von Treibhausgasen stärker zu senken, so dass jedes dieser Länder für sich genommen nach dem Übereinkommen von Paris handelt, jedoch steigt der weltweite Ausstoß weiter. Und hauptsächlich sind die G20-Staaten für diese Entwicklung verantwortlich, denn sie stoßen jährlich 80 % des weltweiten CO₂ aus. Die Entwicklungsländer hingegen werden voraussichtlich auch zukünftig keinen großen Einfluss auf das Klima haben, da diese direkt erneuerbare Energien und klimafreundliche Technologien einsetzen können. Damit basieren also unsere Hoffnungen zum Teil darauf, dass noch nicht so entwickelte Länder beim Ausstoß von Treibhausgasen einem deutlich geringeren Pfad als dem unsrigen folgen.

In den meisten Ländern dieser Welt ist eine Energiewende mit Sektorkopplung ohne Weiteres möglich und muss ebenfalls zielstrebig umgesetzt werden. Nur eine Halbierung des weltweiten Treibhausgasausstoßes bis 2030 wird wahrscheinlich noch den Zielen des Pariser Übereinkommens gerecht.

Mit dieser Erkenntnis schließt der dritte Teil dieses Buches. Das Problem wurde beschrieben, Mittel und Wege erläutert und die Dringlichkeit gezeigt. Jetzt bleibt nur noch eins - Farbe bekennen und abseits von wissenschaftlichen Belegen klar meine Meinung zu äußern.



Anhang – Mein Appell

Der Klimawandel ist real, belegt und menschengemacht. Die aktuellen Hitzewellen, die noch nicht überwundenen Dürresommer, der historisch schlechte Waldzustand, der extreme Monsunregen mit der einhergehenden Überschwemmungskatastrophe in Pakistan 2022 und die Hurrikan-Serien in der Karibik lassen die noch vor uns stehenden katastrophalen Auswirkungen des Klimawandels erahnen.

Viele Einzelschicksale finden kein Gehör. Einzelschicksale von Kindern, Frauen, Männern und Familien – hierzulande und weltweit, die einer Erinnerung würdig sind. Leider wird auch keines dieser Schicksale hier aufgezeigt.

Das 1,5-Grad-Ziel sollte das eigentliche Ziel aller Klimaschutzbemühungen sein. Unser Klimaschutzplan und die weltweiten Entwicklungen reichen nach meiner Meinung dafür allerdings nicht aus. Wir werden das 1,5-Grad-Ziel für längere Zeit überschreiten und wahrscheinlich bis zum Ende des Jahrhunderts ganz verfehlen. Ebenso sind unsere Klimaschutzbemühungen momentan nicht ambitioniert genug, um selbst das 2-Grad-Ziel nicht zu überschreiten. Es ist eine Erwärmung möglich, bei der das Risiko für kaskadierende Klimakippelemente viel zu hoch ist. Im Prinzip ist bereits ein Risiko von einem Prozent zu hoch. Denn in Anbetracht der durch den Klimawandel verursachten Schäden und der Vermeidbarkeit des Klimawandels ist auch ein sehr geringes Risiko ein zu hohes Risiko.

Es gilt, keine Zeit mehr zu verlieren.

Deswegen möchte ich Sie in diesem Kapitel an meinen Erfahrungen als Anwender von klimaneutralen Technologien teilhaben lassen und eine Einschätzung der Lage ohne weitere Belege abgeben.

Meine Tipps für die wichtigsten Schritte

Im Gegensatz zu vielen Medienberichten kann deutlich mehr gegen den Klimawandel getan werden als nur frühzeitiges Licht ausschalten, mehr Fahrradfahren oder weniger Fleischverzehr. Diese Maßnahmen beflügeln nur die Verzichtsdebatte und lenken vom größten Problem, welches die Verbrennung von fossilen Brennstoffen ist, ab. Ebenso lassen Sie die wirkungsvollste Lösung, nämlich das Ersetzen der fossilen Brennstoffe durch klimaneutrale Technologien, in den Hintergrund geraten. Zwar ist aufgrund der derzeitigen Klimakrise jede Verichtsmaßnahme zu empfehlen, solange die Transformation in eine klimaneutrale Gesellschaft nicht abgeschlossen ist, aber für die persönliche CO₂-Bilanz sind die folgenden fett gedruckten Maßnahmen besonders zu empfehlen, da mit diesen nicht nur der Klimawandel verzögert, sondern ein bedeutender Schritt getan wird, ihn auch zu stoppen:

Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung auf Wärmepumpe umstellen. Fernwärme oder Biomasse sind teilweise¹⁰³ ebenso möglich. Gebäude nach aktuellem Stand der Technik dämmen.

Mobilität elektrifizieren. Zum Ersetzen der fossilen Brennstoffe empfehlen sich hier E-Autos oder die öffentlichen Verkehrsmittel.

Den benötigten enormen Photovoltaikausbaubedarf unterstützen und falls vorhanden, dem eigenen Dach eine Photovoltaikanlage hinzufügen.

¹⁰³ Dabei sollte die Fernwärme auf absehbare Zeit klimaneutral erzeugt werden und die Biomasse keine nachteiligen Landnutzungsänderungen bewirken.

Diese ersten Empfehlungen betreffen überwiegend nur die privaten Haushalte. **Ebenso wichtig sind die weitere Transformation des Energiesektors und der energieintensiven Industrie.** Ansonsten bleiben benötigte Waren und Dienstleistungen in der persönlichen CO₂-Bilanz klimaschädlich. Wer hier eine einflussreiche Position innehat, hat einen besonders großen Hebel, Veränderungen herbeizuführen.

Bei der Umsetzung dieser Maßnahmen gibt es ganz unterschiedliche Ausgangslagen. Wenn Sie zur Miete wohnen, im Altbau oder gar neu bauen wollen, haben Sie jeweils ganz andere Möglichkeiten:

Mit einer Photovoltaikanlage auf dem Dach kann man nicht viel verkehrt machen. Ziehen Sie allerdings eine Energieberaterin oder einen Energieberater hinzu, denn es mag weitere Auslegungen oder kombinierte Förderungen geben, die Sie noch nicht kennen. Für den etwas größeren Geldbeutel empfiehlt sich eine Konfiguration als Insellösung. Dann können sie auch noch bei Netzausfall ihre Photovoltaikanlage nutzen.

Wenn Sie noch mehr in Ihre Unabhängigkeit investieren wollen, die Räumlichkeiten es hergeben und Sie Pioniergeist besitzen, ist eine ganzjährig autarke Insellösung mit Wasserstoff-Langzeitspeicher eine interessante Alternative. Bei solch einer Lösung wird mit dem überschüssigen Strom Ihrer Photovoltaikanlage Wasserstoff erzeugt und in einem Hochdrucktank gespeichert. In der dunklen Jahreszeit kann der Wasserstoff dann wieder zu Strom gewandelt werden.

Mit dem Osterpaket der Bundesregierung von 2022 wurde die gemeinschaftliche Nutzung von Photovoltaikanlagen für Eigentümergemeinschaften oder Mieter vereinfacht. Bei Interesse sollten die Wohnverhältnisse also kein Hinderungsgrund mehr sein.

Ergänzen Sie Ihre Photovoltaikanlage um eine Batterie. Diese ist zwar noch verhältnismäßig teuer, wird aber immer wichtiger. Steigende Stückzahlen unterstützen sinkende Preise. Später werden Batterien der Garant für eine zuverlässige Stromversorgung im Tag-Nachtzyklus für Monate mit ausreichend Sonnenstunden sein. Einzelne Systeme unterstützen bereits jetzt die Netzstabilität und können überschüssigen Windstrom puffern.

Fahren Sie mit Ökostrom. Haben Sie eine Photovoltaikanlage und einen Stellplatz zum Laden eines E-Fahrzeugs, fahren Sie in sonnenreichen Monaten mit eigenem Strom besonders günstig. Falls Sie nur eine Lademöglichkeit für Ihr E-Fahrzeug haben und keinen eigenen Photovoltaikstrom, wechseln Sie auf Ökostrom und fahren trotzdem klimaneutral. Auch ohne eigene Ladestation ist das Laden kein Problem. Ein bisschen Bewegung zur nächsten Ladestation kann nicht schaden.

Falls Sie kein E-Fahrzeug haben, können Sie im Fernverkehr der Bahn und auf immer mehr regionalen Strecken mit Ökostrom fahren. Insgesamt ist der Treibhausgasausstoß der Bahn im Verkehrssektor vernachlässigbar

Wenn es ein Auto sein muss und Sie noch Zweifel an einem E-Auto haben, probieren Sie eins aus. Mit einem Auto-Abo kann ein E-Auto auch für kurze Zeit zum Beispiel für einen Urlaub gemietet werden. Achten Sie dabei aber auf Freikilometer und die Selbstbeteiligung bei der Vollkaskoversicherung. Denn eventuell sind die Freikilometer schnell verfahren und jeder Schadensfall wird einzeln mit der vollen Selbstbeteiligung belastet, auch wenn jemand Unbekanntes den Schaden verursacht hat.

Wasserstoffautos oder Autos mit anderen Brennstoffzellen sind noch nicht so alltagstauglich oder verfügbar. Der Fahrkomfort ist

aber letzten Endes der gleiche, da es sich ebenfalls um ein Elektroauto mit kleinerer Batterie und einem Elektromotor handelt, welches durch einen Wasserstofftank und eine Brennstoffzelle ergänzt wird.

Bei einem gut ausgebauten Fahrradweg kann auch das Fahrrad die erste Wahl sein. Ob beim Einkaufen oder für den Kindertransport zum Kindergarten ist ein Lastenrad ideal. Verkürzte Versionen in Backpacker Auslegung sind so wendig wie ein normales Fahrrad und können auch mit der Bahn transportiert werden. Ganz egal, welches Fahrrad das Fahrrad Ihrer Wahl ist, für Ihre Fitness wird sich das Fahrradfahren lohnen: Lieber einen Knackarsch als einen Bleifuß!

Für den Klimawandel ist die Frage nach der richtigen Heizung jedoch wichtiger als gelegentliches Fahrradfahren. Eine gute Gebäudedämmung ist der erste relativ günstige Schritt zu weniger Heizkosten. Haben Sie einen Energieausweis? Dann setzen Sie die Empfehlungen daraus um. Ist ein Neubau geplant, dann macht eine Wärmepumpe Sinn. Denn ein gut gedämmtes Haus mit Fußbodenheizung ist eine ideale Voraussetzung für komfortables Wohnen, niedrige Betriebskosten und den klimaneutralen Einsatz einer Wärmepumpe.

Im Altbau ohne Fußbodenheizung bieten sich auch Wärmepumpen an. Jedoch müssen für den Niedrigtemperaturbetrieb die Flächen der Heizkörper erhöht werden oder besser die alten Heizkörper durch Tieftemperaturheizkörper ausgetauscht werden.

Eine Heizung läuft in den Sommermonaten nicht. Die Warmwasseraufbereitung von Nutzwasser schon. Auch werden bei der Warmwasseraufbereitung viel höhere Temperaturen benötigt und andere Lasten gefahren. Da Wärmepumpen auf ihre jeweilige Aufgabe hin optimiert werden, lohnt es sich hier, zwei getrennte Systeme anzu-

schaffen. Zur Warmwasseraufbereitung reicht in den meisten Fällen ein Stand-alone-Gerät im Haus aus, während in den Heizmonaten dem Gebäude Wärme von außen über eine Split-Wärmepumpe mit Innen- und Außeneinheit hinzugefügt werden muss.

Es müssen nicht immer alle Räume an ein zentrales Heizungssystem angeschlossen werden. Ist eine Fußbodenheizung oder sind Tief-temperaturheizkörper für ein Dachgeschoss oder andere Räume mit Klimaanlage zu aufwendig, kann auch mit der Klimaanlage geheizt werden. Soll ein Klimagerät auch zum Heizen verwendet werden, empfiehlt sich die Auslegung des Innengerätes als Truhengerät.

Bitte verwenden Sie zum Heizen Ihrer Wohnräume keine Steckdosengeräte wie elektrische Heizstrahler oder mobile Heizkörper. Wenn diese mit Ökostrom betrieben werden, sind diese zwar auch klimaneutral, jedoch nutzen diese keine Umgebungswärme zum Heizen, haben hohe Betriebskosten und verbrauchen viel Energie. Wenn in zu vielen Gebäuden mit diesen Geräten geheizt wird, reicht der angestrebte deutschlandweite Ausbau der Stromproduktion nicht aus. Und der Windenergieausbau sollte nicht überstrapaziert werden.

Die Gesellschaft ist sich selten einig. Die Coronakrise hat gezeigt, wie viele unterschiedliche Standpunkte sich in einer Krise herauskristallisieren und verhärten können. Auch die Klimakrise erfordert von allen eine Umstellung - ein Lassen von liebgewonnenen Gewohnheiten. Deshalb kommen Sie mit den Menschen ins Gespräch und zeigen Sie Nutzen und Chancen auf. Wenn Sie andere überzeugen, können diese dann auch wieder andere überzeugen. Mit solchen Multiplikatoren erreichen Sie Menschen, die Sie so nie erreicht hätten und so können Sie ein Vielfaches dessen bewirken, was Sie als einzelne Person nicht zu leisten im Stande gewesen wären.

Klimaschutz durch kleine Veränderungen

Wenn Sie sich jetzt fragen, was kann ich noch alles machen und was könnte ich anders machen? Dann habe ich noch weitere Tipps für Sie. Fragen Sie sich, ist mein Handeln noch zeitgemäß und was wäre die Alternative – kann anders nicht auch besser sein?

Lebe ich anders oder besser, wenn ich weniger und nachhaltiger konsumiere? Produkte von klimaneutralen Firmen müssen nicht teurer sein. Sind kleinere Besorgungen zu Fuß oder mit dem Fahrrad Zeitverschwendung oder ein Stück Lebensqualität und gesund? Tue ich nicht mir und anderen einen Gefallen, wenn ich regionale, saisonale und ökologische Lebensmittel bevorzuge? Keine Lebensmittel wegwerfen ist das neue Energiesparen. Vielleicht muss es ja auch nicht jeden Tag Fleisch sein. Wer gerne kocht, kann dies mit Ökostrom tun.

Wenn Sie nicht den öffentlichen Nahverkehr benutzen, können Sie ihn doch zur Abwechslung mal ausprobieren. Mit einer interessanten Zeitschrift, einem spannendem Buch oder dem gelassenen Blick aus dem Fenster ist so manche längere Fahrt kurzweilig vergangen. Homeoffice schont nicht nur das Klima sondern entlastet auch den Geldbeutel und den Berufsverkehr. Mehr Freizeit und ungestörte Arbeitszeit durch weniger Pendeln. Was könnte für Sie arbeitstechnisch das ideale Verhältnis von Homeoffice und Präsenz sein?

Auch regionale Reiseziele bieten viele Attraktionen und eine Menge zu entdecken. Und wenn es doch mit dem Flieger in die Ferne gehen muss, dann hilft es, seinen CO₂-Ausstoß zu kompensieren.

Das perfekte Medienangebot zu jeder Zeit zu streamen, ist bequem und praktisch. Surfen im Internet gehört zu unserem Alltag. Aller-

dings arbeitet nicht jeder Streaming-Dienst oder jedes Rechenzentrum mit Ökostrom. Und wäre das Internet ein Land, läge sein Energieverbrauch unter den Top 10 der Welt. Fernsehen per Satellit, Kabel oder Antenne ist da klimafreundlicher.

Wer Geld investiert hat, sollte genauer hinschauen, in welche Anlagen es gegangen ist. Zu 100 % nachhaltige Anlagen sind selten. Viele grüne Anlagen enthalten eventuell auch ungewollte Komponenten. Und nicht grüne Anlagen können einem insgesamt volkswirtschaftlichen Nutzen entgegenstehen.

Die wirkliche Arbeit wird auf der Straße gemacht. Gehen Sie auf Klimademonstrationen und engagieren Sie sich für den Klimaschutz. Mit überschreiten einer kritischen Masse beim Demonstrieren, werden auch systemrelevante Veränderungen herbeizuführen sein.

Am Ball bleiben ist also alles. Fangen Sie da an, wo Sie nicht den Mut verlieren. Mit dem CO₂-Rechner¹⁰⁴ können Sie für jede einzelne Maßnahme individuell überprüfen, was sie bringt. Machen Sie dort weiter, wo Sie mit wenig Aufwand viel erreichen und die Motivation nicht verlieren.

Klar, alle hier aufgeführten kleinen Veränderungen durchzusetzen, ist schon extrem. Für viele dieser Maßnahmen muss ja auch nicht der Klimaschutz ausschlaggebend sein. Wenn Sie Lust dazu haben, machen Sie es doch so. Vergessen Sie aber bitte nicht die fett gedruckten Maßnahmen aus dem Abschnitt „Meine Tipps für die wichtigsten Schritte“. Hier hapert es bei der Umsetzung der Zielvorgaben und es kann gar nicht genug vorausschauende Freiwillige geben, die bei der Umsetzung der Zielvorgaben voranschreiten.

¹⁰⁴ Siehe Teil 2 „Das können Sie tun“ Frage zu Flugreisen

Lieber jetzt als später

Einige der Tipps aus dem vorherigen Kapitel „Klimaschutz durch kleine Veränderungen“ können die Verzichtsdebatte befeuern. Wer ein sichtbares Vorbild für andere sein will, wird sich auch angreifbar machen. Dabei geht es hier nur darum, ganz nach der eigenen Lebenseinstellung den Treibhausgasausstoß während der Transformationsphase zur klimaneutralen Gesellschaft zu reduzieren. Nach der Transformation können alle wieder streamen, verreisen, arbeiten, fahren und konsumieren, wie sie wollen, denn all das wird durch die Sektorkopplung mit Energiewende klimaneutral werden.

Falls Ihre Klimaschutzbemühungen als kurzes kaltes Duschen für alle abgetan werden, vergessen Sie nicht, Ihren Kritikern eine mit Ökostrom betriebene Wärmepumpe für kostengünstiges, warmes, reichliches und klimaneutrales Duschen zu empfehlen. Diese wird auch dringend nötig sein, wenn der Geldbeutel geschont werden soll. Denn der Klimaschutzplan steht fest und die Preise für den Ausstoß von CO₂ werden steigen.

Sie werden also eines Morgens aufwachen und feststellen, dass es sich nach der herkömmlichen Art zu heizen oder zu fahren nicht mehr rechnet und dass Ihre Energieversorgung zu teuer geworden ist. Und trotz immer knapper werdender Kasse sehen Sie sich gezwungen, umzusteigen, wie viele andere Leute zur gleichen Zeit auch. Doch Ihr Heizungsbauer, Photovoltaikinstallateur und Ihr Autoverkäufer haben wegen Fachkräftemangel, großer Nachfrage und Lieferengpässen eine lange Warteliste und müssen Sie ablehnen. Auch Ihr Energieversorger nimmt keine neuen Ökostromkunden mehr auf, da die Nachfrage größer ist, als der Ausbau. Verstehen Sie mich nicht falsch: Der deutschlandweite Ausbau geht wie geplant

voran. Es kommt aber der Punkt, da wollen alle umsteigen und das können dann die Wirtschaft und das Handwerk nicht sofort leisten.

Die bisherigen Ausbauraten verdeutlichen das Problem. Sie sind nicht einer explodierenden Nachfrage vom Ladenhüter zum Kassenschlager gewachsen:

Ausbau bezgl. Zielvorgabe 2045	2021 ist	2030 soll	2045 soll	2045 soll abs.
Photovoltaik	15 %	40 %	100 %	385 GWp
Wärmepumpen	10 %	40 %	100 %	14 Mio.
E-Autos	<5 %	40 %	100 %	36 Mio.

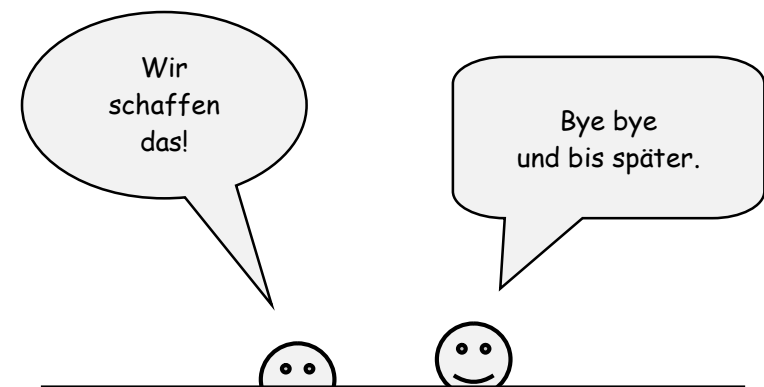
Aus diesem Grund ist es ratsam, sich jetzt um einen Wechsel zu kümmern. Wenn der Rahmen heute nicht passt, dann wird er morgen auch nicht besser passen. Schränken Sie sich lieber jetzt vorübergehend ein als später ständig.

Sicherer Wohlstand auf Dauer

Meiner Meinung nach leben wir in einem goldenen Zeitalter, dessen Zenit bereits überschritten ist. Unser Wohlstand basiert nicht zuletzt auf billiger Energie im Überfluss.

Die ersten Wassermühlen brachten den Menschen Wohlstand, denn sie machten eine Leistung von beispielsweise zehn Pferdestärken für sie wirksam, ohne auch nur ein Pferd versorgen zu müssen. Die ersten Dampfmaschinen hatten einen Wirkungsgrad von nur wenigen Prozent. Jedoch machten Sie ein Vielfaches der Leistung von einer Wassermühle verfügbar, so dass es wirtschaftlicher war Pferde zum Holzholen für eine Dampfmaschine einzusetzen, als sie die Arbeit der Dampfmaschine verrichten zu lassen. Füllten zur industriellen Revolution Dampfmaschinen noch große Räume, so passen Verbrennungsmotoren mit der gleichen Leistung heute unter die Motorhaube eines Autos. Diese Motoren werden mit Treibstoff versorgt, dessen Rohstoff mit wenig Energie fässerweise zu Tage gepumpt werden kann. Dieser Umstand hat günstige Energie in nie dagewesener Menge bereit gestellt und unseren Wohlstand gemehrt. Doch abgesehen von umweltpolitischen Problemen, die die Nutzung fossiler Brennstoffe mit sich bringt, lassen die knapper werdenden Reservoirs und die schließlich ganz versiegenden Quellen diese günstige Energieform teurer werden.

Es ist jedoch ein neues goldenes Zeitalter in Sicht. Ein Zeitalter mit erneut reichlich günstiger Energie. Doch dieses Mal ist die Energieversorgung nachhaltig und nicht versiegend. Es ist das Zeitalter der erneuerbaren Energien. Der Umstieg kommt. Kommt er erst morgen, ist das schlecht für das Klima und uns alle. Kommt er schon heute, ist das gut für das Klima und uns alle.



Wir sind der Homo sapiens

(der Vernunftbegabte)

*: Und so vieles mehr:

neugierig, begeisterungsfähig, leidenschaftlich, hilfsbereit, humorvoll,
intelligent, kreativ, empathisch, innovativ, sozial, hartnäckig, musikalisch, anmutig, emotional, großzügig, liebevoll,

wachsam, verlässlich, sportlich, optimistisch, tolerant, ...

Disclaimer

Diese Version steht kostenlos unter www.klimawandelquiz.de zur Verfügung gestellt.

Der Autor gibt keine Garantien hinsichtlich des Werks und übernimmt keinerlei Haftung für irgendwelche Schäden oder für die Nutzung des Werks.

Literaturverzeichnis

Veröffentlichungen im Internet:

acatech et al. (2017)

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V., 2017: »Sektorkopplung« – Optionen für die nächste Phase der Energiewende, November 2017, Stellungnahme

Agora Verkehrswende (2019)

KCW GmbH (2019): Railmap 2030 – Bahnpolitische Weichenstellungen für die Verkehrswende. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende.

Bond et al. (2017)

David P. G. Bond, Stephen E. Grasby: On the causes of mass extinctions. In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 478, Nr. 15, Juli 2017, S. 3–29.

Burkert (2021)

Andreas Burkert: Endenergiebezogene Analyse Diesel versus Elektromobilität, Springer Professional, 2021

BverfG (2021)

BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021
- 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270,
http://www.bverfg.de/e/rs2010324_1bvr265618.html

BWP (2022)

KCW GmbH (2019): Starkes Wachstum im Wärmepumpenmarkt, 20.1.2022
Pressemitteilungen, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.

dena (2021)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena, 2021). „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“

Destatis (2022)

Statistisches Bundesamt (Destatis): Güterverkehr – Beförderung und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern, 2022

Deutsche WindGuard (2021)

Deutsche WindGuard: Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Jahr 2021

Deutscher Wetterdienst (2022)

Deutscher Wetterdienst / Extremwetterkongress (2022): Was wir 2022 über das Extremwetter in Deutschland wissen. Offenbach am Main, Deutschland

Foster et al. (2013)

Gavin L. Foster and Eelco J. Rohling, Relationship between sea level and climate forcing by CO₂ on geological timescales, PNAS January 22, 2013

Fraunhofer ISE (2022)

Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Harry Wirth, Fraunhofer ISE, Download von www.pv-fakten.de, Fassung vom 1.5.2022

Fraunhofer ISE (2021)

Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. 2021. Christoph Kost, Shivenis Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkan Davoodi Memar, Thomas Schlegel

IPCC (2022)

IPCC, 2021: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Druck. Deutsche Übersetzung auf Basis der Druckvorlage, Oktober 2021. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern, Februar 2022

IPCC (2021)

IPCC, 2021: Annex III: Tables of historical and projected well-mixed greenhouse gas mixing ratios and effective radiative forcing of all climate forcers [Dentener F. J., B. Hall, C. Smith (eds.)]. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2139-2152, doi: 10.1017/9781009157896.017.

IPCC (2018)

IPCC, 2018: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (Hrsg.)]. World Meteorological Organization, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom 14.11.2018. Deutsche IPCC Koordinierungsstelle, ProClim/SCNAT, Österreichisches Umweltbundesamt, Bonn/Bern/Wien, November 2018.

IPCC (2018a)

IPCC, 2018: Häufig gestellte Fragen und Antworten. In: 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (Hrsg.)]. World Meteorological Organization, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, ProClim/SCNAT, Österreichisches Umweltbundesamt, Bonn/Bern/Wien, Mai 2019.

IPCC (2017)

IPCC 2014: Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg, Bonn, 2017.

IPCC (2014)

IPCC, 2013: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2014

IPCC (2014a)

IPCC 2014: Klimaänderung 2014: Minderung des Klimawandels. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel und J.C. Minx (Hrsg.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch die Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und das Deutsche Klimakonsortium, Bonn, 2018.

IPCC (2013)

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao and P. Thornton, 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013b)

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestad, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jacobsen et al. (2022)

Mark Z. Jacobson, Anna-Katharina von Krauland, Stephen J. Coughlin, Emily Dukas, Alexander J. H. Nelson, Frances C. Palmer, Kylie R. Rasmussen: Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 145 countries, *Energy Environ. Sci.* 2022, 15, 3343, Stanford, 2022, doi: 10.1039/d2ee00722c.

JRC (2021)

Crippa, M., Guizzardi, D., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Banja, M., Olivier, J. G. J., Grassi, G., Rossi, S., Vignati, E., GHG emissions of all world countries – 2021 Report, EUR 30831 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-41546-6, doi: 10.2760/173513, JRC126363.

KBA (2022)

Kraftfahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen 1. Januar 2022, FZ 13, Druckzentrum KBA, 2022

KBA (2022a)

Kraftfahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen im Dezember 2021 - Jahresbilanz, Pressemitteilung Nr. 01/2022, 2022

Prognos et al. (2021)

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021):
Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann
Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende

Schellnhuber et al. (2016)

Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S. & Winkelmann, R. Why the right climate target was agreed in Paris, *Nat. Clim. Chang.* 6, 649-653 (2016)

UBA (2022)

Umweltbundesamt: Erneuerbare Energien in Zahlen, 2022

UBA (2021)

Umweltbundesamt: Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen, 2021

UBA (2018)

Umweltbundesamt: Hohe Kosten durch unterlassenen Umweltschutz, 2018

UBA (2016)

Umweltbundesamt (UBA): Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050. (UBA 2016). Peter Kasten, Moritz Mottschall, Wolfgang Köppel, Charlotte Degünther, Martin Schmied, Phillip Wüthrich

Wuppertal Institut (2020)

Wuppertal Institut (2020). CO2-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze. Bericht. Wuppertal.

Gedruckte Werke:

Rahmstorf et al. (2019)

S. Rahmstorf und H. J. Schellnhuber
Der Klimawandel
C. H. Beck, 9. Auflage. 2019

Randers (2016)

Jørgen Randers
2052. Der neue Bericht an den Club of Rome:
Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre
Deutsche Ausgabe
oekom verlag München 2012, 2. Edition 2016

Rapley et al. (2015)

Chris Rapley und Duncan Macmillan
2 °C
Aus dem Englischen von Elisabeth Liebl
Droemer, 2015

Abkürzungsverzeichnis

C	Kohlenstoff
t C	Tonne Kohlenstoff, entspricht 3,667 t CO ₂
Mt C	Megatonne Kohlenstoff = 1.000.000 t C
Gt C	Gigatonne Kohlenstoff = 1.000.000.000 t C
CH₄	Methan
CO₂	Kohlendioxid
ct	Eurocent
EU27	Mitgliedsstaaten der Europäischen Union seit 1. 2. 2020
G20	Gruppe der Zwanzig: Zusammenschluss aus 19 Staaten und der EU
H₂O	Wasser
kWh	Kilowattstunde
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
ppm	Parts per million, ein Millionstel
W	Watt
kW	Kilowatt, 1 kW = 1.000 Watt
MW	Megawatt, 1 MW = 1.000.000 Watt
GW	Gigawatt, 1 GW = 1.000.000.000 Watt
Wp	Watt peak
GWp	Gigawatt peak

Umfrage

Was würden Sie mit 100.000 Euro machen?

- ☐ Eine Weltreise
- ☐ In Immobilien investieren
- ☐ Einen Sportwagen kaufen
- ☐ Ein Wohnmobil anschaffen
- ☐ Im Ausland studieren
- ☐ Früher in Rente gehen
- ☐ Mit Aktien spekulieren
- ☐ Die Klimabilanz verbessern und mit der Rendite besser leben:
Gebäude dämmen, Photovoltaik installieren, auf Wärmepumpe umstellen, zur E-Mobilität wechseln und in Windkraft investieren

Eine richtige oder falsche Auswahl gibt es hier nicht. Jede Option hat ihre individuellen Vor- und Nachteile. Ein Stimmungsbild könnte jedoch verdeutlichen, inwiefern Nachhaltigkeit auf unserer Wunschliste steht.