

# Inhalt

Vorwort .....	7
1 Klima .....	11
1.1 Klimasystem .....	12
1.2 CO <sub>2</sub> und Kohlenstoffkreislauf .....	18
1.3 Weitere Treibhausgase .....	25
1.4 Globale Erwärmung .....	29
1.5 Folgen der globalen Erwärmung .....	35
1.6 Tatsächliche Wirksamkeit der Treibhausgase .....	42
1.7 Klimamodelle .....	47
1.8 Unsicherheitsfaktor Eisschmelze .....	52
1.9 Klarheit trotz Unwägbarkeiten .....	61
1.10 Fazit .....	67
2 Schadensbegrenzung .....	71
2.1 Bevorstehende Konsequenzen .....	72
2.2 Das 1,5-Grad-Ziel .....	83
2.3 Geoengineering .....	91
2.4 Fazit .....	105
3 Emissionsreduktion durch Technik .....	107
3.1 Kernenergie .....	108
3.2 Wasserkraft, Geothermie und Biomasse .....	117
3.3 Solar- und Windenergie .....	124
3.4 Der erreichte Stand .....	138
3.5 Können wir es schaffen? .....	144
3.6 Fazit .....	153

4 Emissionsreduktion durch gesellschaftlichen Wandel . . . . .	157
4.1 Energieverbrauch nach Sektoren und pro Kopf . . . . .	158
4.2 Weniger verbrauchen . . . . .	167
4.3 Wachstumzwang und Fehlverteilung . . . . .	184
4.4 Umrisse des Künftigen . . . . .	203
4.5 Konkrete gesellschaftliche Schritte . . . . .	219
4.6 Schlussbetrachtung . . . . .	232
Quellen . . . . .	239
Dank . . . . .	259
Verzeichnisse/Anhang . . . . .	261
Abbildungsverzeichnis . . . . .	261
Satellitenfotos vor den Abschnitten . . . . .	269
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	271
Glossar . . . . .	273
Auswahl zitierter und weiterführender Texte . . . . .	276

# Vorwort

Eigentlich wollen wir einfach nur gut leben. Wonach wir streben, es dient einzig diesem Ziel. Wir kommen ihm nahe, wenn unsere Beziehungen gelingen, wenn wir mit uns selbst, mit anderen Menschen und unserer Umwelt im Einklang sind. Auf dem Wege dorthin stehen mittlerweile Geister zu Diensten, vor denen die Phantasie alter Märchen verblasst. Ein leichter Druck mit der Fußsohle verleiht uns sogleich die Kraft von hundert Pferden und eine sanfte Fingerbewegung lässt das gesammelte Wissen der ganzen Welt über unserem Handteller aufleuchten. Was für unglaubliche Möglichkeiten! Doch seltsam – sie bringen uns dem guten Leben nicht näher. Vor allem die Beziehungen zur Natur gelingen immer weniger. Auf einmal tauchen Probleme auf, für die es zu meiner Schulzeit noch nicht einmal Namen gab. Eines davon ist der Klimawandel – und damit befasst sich das vorliegende Buch.

Wenn Sie nun einen Blick in dieses Buch werfen – was erwartet Sie beim Lesen? Allem voran eine Einordnung der aktuellen Klimaveränderungen. Nur 49 Prozent der Befragten in Deutschland halten den Klimawandel für real und hauptsächlich menschengemacht – so eine YouGov-Studie vom September 2019. Da kann man nicht meinen, es sei alles klar. Demgemäß beginnt das Buch mit einem Überblick zum Klimasystem und den beobachteten Klimaerscheinungen. Das aus der öffentlichen Debatte bekannte Für und Wider wird näher beleuchtet; dabei kommen erklärbare Phänomene ebenso zur Sprache wie noch bestehende Unwägbarkeiten. Trotz offener Theoriefragen und der mangelnden Möglichkeit punktgenauer Prognosen werden robuste Ergebnisse sichtbar, welche Gegenargumenten standhalten und Orientierung ermöglichen. So wird am Ende des ersten Kapitels klar, was es mit den Klimaveränderungen wirklich auf sich hat.

Das zweite Kapitel befasst sich mit den Folgen, die wir riskieren. Es wäre offensichtlich ratsam, den Klimawandel so weit als möglich abzubremsen. Doch wie soll sich die immer raschere Zunahme atmosphärischer Treibhausgase bremsen lassen? Der Sonderbericht des Weltklimarats IPCC » $1,5^{\circ}\text{C}$  globale Erwärmung« nennt vier beispielhafte Modellpfade, welche unterschiedliche Wege schildern, die Erwärmung zu begrenzen. Die Machbarkeit dieser Pfade wird über die folgenden Kapitel hinweg untersucht. Zunächst kommen Technologien in den Blick (neuartige wie altbekannte), welche die Folgen bestehender Emission mindern und

bereits in der Atmosphäre befindliche Treibhausgase wieder entfernen können. Aus heutiger Sicht wird das allerdings nur begrenzt möglich sein. Die nötige Kehrtwende muss vor allem bei der Ursache ansetzen und Emissionen vermeiden, anstatt sie nachträglich auszubügeln.

Folglich nimmt das dritte Kapitel die technischen Möglichkeiten grüner Energieerzeugung ins Visier. Nicht jede taugt als Massenbasis zukunftsfähiger Energieversorgung. Immerhin: Es gibt einen Mix heute schon praktikabler Techniken, der das Problem zu lösen vermag. Betrachtet man jedoch den aktuellen Stand, so wird der weltweite Primärenergiebedarf noch immer zu 81 Prozent durch fossile Brennstoffe gedeckt. Wind- und Solarenergie tragen weniger als 2 Prozent bei – trotz der enormen Investitionen von 3.500 Milliarden Dollar seit 2004. Die Ursache liegt im ständig wachsenden Energiebedarf. Das Bedarfswachstum übertrifft den jetzigen wie den künftig erhofften Zugewinn grüner Energie; auch dazu legt das Buch präzise Daten vor. Somit wird klar: die erforderliche Emissionsreduktion ist technisch möglich, doch dazu braucht es nicht nur grüne Technik, sondern zugleich eine Absenkung des Energiebedarfs.

Diese Einsicht entspricht dem Szenario des IPCC-Modellpfades P1 und verweist auf eine gesellschaftliche Aufgabe, die mit nachhaltigem Wirtschaften ebenso zu tun hat wie mit Menschen, die weniger Energie verbrauchen wollen. Im vierten Kapitel wird deshalb der Energiebedarf nach Sektoren und pro Kopf untersucht. Es kommen (bisweilen überraschende) Einsparpotenziale zum Vorschein, über die eigentlich jede und jeder von uns verfügen kann (falls wir möchten). Doch unser Gesellschaftssystem steht generellen Verbrauchsabsenkungen eher im Wege. Die Hintergründe dessen werden in gut nachvollziehbarer Weise analysiert. Die bisherigen Handlungsprinzipien tragen nicht mehr länger und Albert Einstein hat es uns mit auf den Weg gegeben: Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind. So werden am Schluss die Umrisse einer veränderten Denkweise sowie eines Gesellschaftssystems skizziert, welches dem Klimawandel wirklich etwas entgegensetzen kann. Dieser Ausblick ist zweifellos utopisch, aber mehr als bloße Hoffnung. Und jede neue Entwicklung war bis zum Vorabend ihres Aufkommens nichts als eben Utopie. Ohne Utopie haben wir keine Orientierung, die über das Bestehende hinauszuführen vermag.

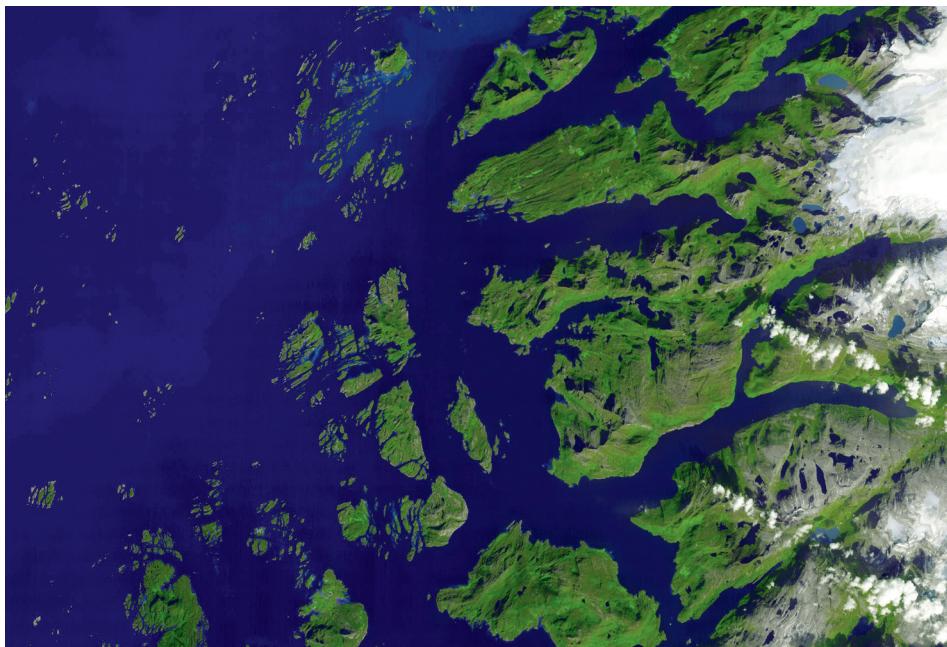
Soweit ein kurzer Abriss. Noch ein Wort zur gewählten Form: Jedes Kapitel beginnt mit einem Vorspann, der den Faden des vorangegangenen Kapitels aufnimmt. Und es endet mit einem Fazit, das die gewonnenen Resultate zusammenfasst. Auch die einzelnen Kapitel-Abschnitte enden jeweils mit einer Zwischenbilanz. So kann man sich rasch einen Überblick zu den behandelten Inhalten verschaffen. Mehr als hundert Abbildungen illustrieren die umfangreichen Informationen und Daten. Auf die Verwendung von Fachbegriffen und Abkürzungen ließ sich im Sinne der Anschlussfähigkeit an Fachpublikationen nicht ganz verzichten. Sie werden jeweils erklärt und ein Glossar sowie ein Abkürzungsverzeichnis ermöglichen bequemes Nachschlagen, falls man mal was

vergessen hat. Und noch eine Anmerkung: Die im Buch verwendete Sprachform verzichtet auf genderspezifische Begriffe. Es sei darauf hingewiesen, dass generell alle Menschen angesprochen sind – unabhängig von ihrer individuellen Identifikation oder sozialen Zuschreibung.

Ich wünsche mir sehr, dass dieses Buch einen nützlichen Beitrag zur öffentlichen Klimadebatte leisten kann und dass vor allem der oft übersehene Zusammenhang in den Fokus gerät, der zwischen Klimawandel, Mensch und Gesellschaft besteht. Unsere Hauptsorge gilt derzeit der Corona-Pandemie; nicht wenige Menschen sind von Existenzangst verschiedener Formen betroffen. Doch die Uhr tickt weiter und alle anderen Probleme sind nicht einfach weg, nur weil sie vorübegehend aus dem Blick geraten. Seien Sie also herzlich eingeladen zu einem Klimawandel-Überblick, der Verständnis für die verschiedenen Argumente entwickelt und dabei zugleich Klarheit ermöglicht.

Im November 2020

Klaus Simon

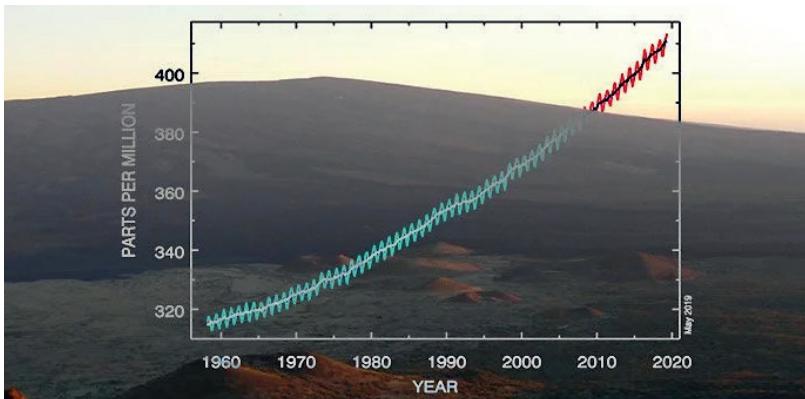


Norwegen, Svartisen National Park.

## 1.2 CO<sub>2</sub> und Kohlenstoffkreislauf

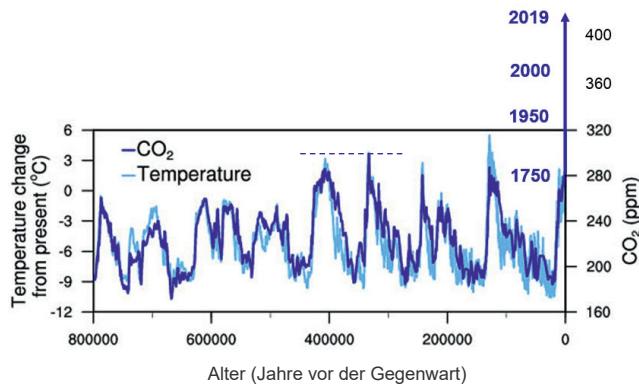
Ein oft zu hörender Einwand lautet, dass die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration derart minimal sei (nur 0,041 % der Atmosphäre bestehen aus CO<sub>2</sub>), dass sie keine nennenswerte Auswirkung habe und ohnehin im Messfehlerbereich liege. Am Beispiel des »Ozonlochs« sollte jedoch klar sein, dass aus minimaler Konzentration (Ozonanteil: bis 10 ppm) keineswegs auf »keine Auswirkung« geschlossen werden darf. Und die CO<sub>2</sub>-Konzentration lässt sich sehr genau messen, sie wird seit 1958 weltweit in Messstationen ermittelt, z. B. auf der Zugspitze oder dem Vulkan Mauna Loa (Hawaii). Wir sehen in Abb. 3 sowohl den Mauna Loa als auch die dort gemessenen Daten, ein nichtlinearer Anstieg bei jahreszeitlichen Schwankungen auf 415 ppm per 2019.

1860 lag der CO<sub>2</sub>-Anteil noch bei 280, 1965 dann bei 320 ppm – das sind 40 ppm Anstieg in 105 Jahren. Mittlerweile geht es weitaus schneller, die letzten 40 ppm dauerten nur 16 Jahre: von 2003 bis 2019!

**Abb. 3: Mauna Loa, atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration 1958–2019**

Quelle: Kevstan, 2019.

Mit den Daten von Abb. 3 werden wir jetzt unsere Abb. 2 aktualisieren. Dabei erscheint der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration als senkrechter Pfeil und nicht mehr als Kurve, das liegt an der extrem gestauchten Zeitachse zur Darstellung von 800.000 Jahren auf einem Blatt Papier. Hier also die Ergänzung mit aktuellen CO<sub>2</sub>-Daten als Abb. 4.

**Abb. 4: Aktueller CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre**

Quelle: NOAA, 2008 (ergänzt).

Im dargestellten Zeitraum lag die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration immer zwischen 170 ppm (Kaltzeiten) und 300 ppm (Warmzeiten, gestrichelte Linie). Erst im Industriezeitalter stieg dann der CO<sub>2</sub>-Anteil rasch auf Werte an, die es in den Perioden davor nicht ansatzweise gegeben hat.

Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration ist innerhalb der letzten Jahrzehnte plötzlich auf Werte hinaufgeschnellt, die es während der vorangegangenen 800.000 Jahre niemals gab.  
Es ist offenbar eine ganz andere Situation eingetreten.

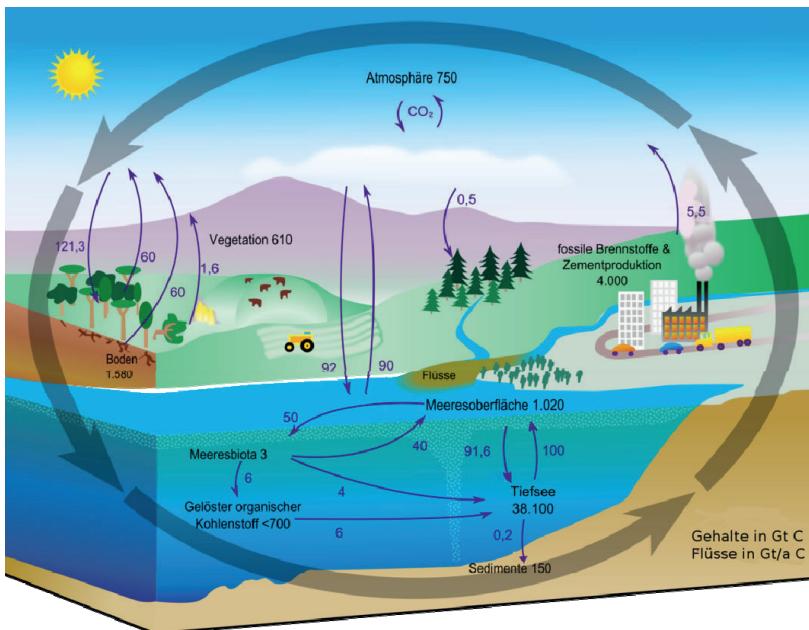
Die heutige CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Größenordnung von 400 ppm findet sich erst während des Pliozäns in der Zeit vor etwa 3,2 Millionen Jahren. Untersuchungen lassen für damals auf maximal 427 ppm schließen und die Erdbahnparameter waren den heutigen ähnlich. Die globalen Durchschnittstemperaturen lagen 2 bis 3 Grad höher und der Meeresspiegel wahrscheinlich rund 20 Meter oberhalb des derzeitigen.<sup>10</sup> Falls tatsächlich ein Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und der Erderwärmung besteht, so zeigt uns die Zeit vor 3,2 Millionen Jahren die Verhältnisse, auf die wir bei 415 ppm zusteuern. Doch genau diesen Zusammenhang wollen wir ja nicht vorab behaupten, sondern untersuchen.

Bisher haben wir festgestellt, dass im Industriezeitalter ein starker Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration messbar ist. Da stellt sich natürlich die Frage, ob das an der Industrialisierung liegt. Oft wird argumentiert, dass die von Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen weit geringer seien als jene der natürlichen Ökosysteme; die Ursache müsse demnach bei Letzteren gesucht werden. Zur Klärung werden wir den Kohlenstoffkreislauf betrachten: den Austausch von Kohlenstoffverbindungen zwischen den einzelnen Sphären der Erde. Die Angaben erfolgen in Gigatonnen Kohlenstoff (GtC) pro Jahr.

*In der Tat gibt die Biosphäre (z. B. Boden, Pflanzen) jährlich eine enorme Menge Kohlenstoff ab, es werden Werte um 120 GtC genannt. Weitere rund 90 GtC entfallen auf die Hydrosphäre (Gewässer, Ozeane, ...). Demgegenüber liegt die von Menschen verursachte Kohlenstoffabgabe tatsächlich bei nur 5 %. Doch hier lauert ein Trugschluss, denn der enormen Kohlenstoffabgabe in Form von CO<sub>2</sub> durch Pflanzen und Gewässer steht deren ebenso enorme CO<sub>2</sub>-Aufnahme gegenüber. Dagegen wird die von Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Emission zu einem Teil von Pflanzen und Ozeanen mit aufgenommen, zum anderen Teil aber verbleibt sie in der Atmosphäre. Landbiosphäre und Hydrosphäre nehmen also mehr CO<sub>2</sub> auf als sie abgeben (sie sind netto gar keine CO<sub>2</sub>-Quellen), während ein Teil der menschengemachten Emission sich fortwährend in der Atmosphäre ansammelt.*

Man darf demnach nicht allein die CO<sub>2</sub>-Abgabe der einzelnen Sphären betrachten, sondern es ist entscheidend, worauf der *tatsächliche Nettozuwachs* zurückgeht. Abb. 5 zeigt das in einer schematischen Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs.

In vorindustrieller Zeit nahmen Pflanzen und Ozeane etwa so viel Kohlenstoff aus der Luft auf, wie sie wieder abgaben. Aktuell aber wird durch fossile Brennstoffe Kohlenstoff in den heutigen Kreislauf eingebracht, der seit Jahrmillionen außerhalb »geparkt« war. Damit wird das Gleichgewicht verändert.

**Abb. 5: Kohlenstoffkreislauf (Schema)**

Quelle: Wikipedia. Der jährliche Kohlenstoffumsatz der Landbiosphäre liegt in dieser Darstellung bei 121,6 GtC Abgabe und 121,8 Aufnahme, der der Hydrosphäre bei 90 GtC Abgabe und 92 GtC Aufnahme pro Jahr. Netto nehmen beide Sphären jährlich 2,2 GtC mehr auf, als sie abgeben. Die Grafik zeigt rechts einen zusätzlichen Eintrag von 5,5 GtC durch Menschen, dadurch wächst der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre.

Durch die Nutzung fossiler Brennstoffe gelangt zusätzlicher Kohlenstoff in den globalen Kreislauf.

Seit Beginn der Industrialisierung sind große Mengen zusätzlichen Kohlenstoffs in den Kreislauf gelangt, dazu eine Abschätzung in Tab. 2.<sup>11</sup>

**Tab. 2: Geförderter Kohlenstoff von 1850 bis 2010**

Kohle	Erdöl	Erdgas	Brandrodung	<b>Summe</b>
180 GtC	130 GtC	18 GtC	ca. 200 GtC	<b>528 GtC</b>

Den abgeschätzten 528 GtC in diesem Zeitraum steht eine tatsächliche Zunahme der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration um 107 ppm gegenüber, das entspricht

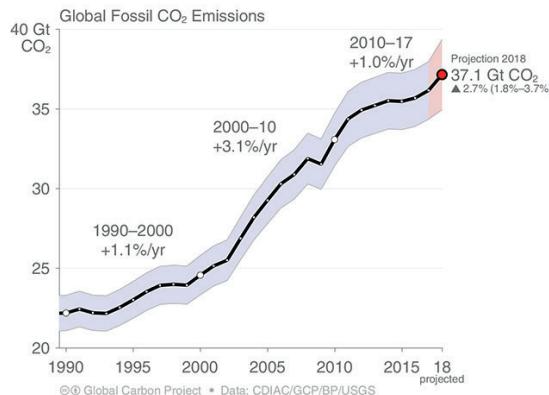
234 GtC. Die restlichen 294 GtC sind demnach in die Landbiosphäre und Hydrosphäre übergegangen.

*Zu Recht wird darauf verwiesen, dass das Gesamtsystem des Kohlenstoffkreislaufs bisher nicht vollständig erforscht ist, dementsprechend variieren z. T. auch die angegebenen Zahlen. Manche Autoren sehen die vulkanische CO<sub>2</sub>-Freisetzung in Höhe der fossilen oder »möglicherweise sogar um 100 % darüber« und bringen noch weitere natürliche CO<sub>2</sub>-Quellen ins Spiel: »Insekten atmen jährlich zwischen 60 und 90 Mrd. t C aus, was einem Anstieg von 30 bzw. 45 ppm entsprechen würde, und Mikroben sind mit 85 und 100 Mrd. t C bzw. 43–50 ppm sogar noch ein wenig fleißiger«.<sup>12</sup> Die hohen Annahmen zur vulkanischen Emission sind jedoch nicht belegbar und alle Atmung gehört zum Kreislauf der Biosphäre, diese verursacht gar keinen Netto-Zuwachs (s. o.).*

Natürliche CO<sub>2</sub>-Quellen können den derzeit sprunghaften Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht erklären. Denn wie ließe sich sonst verstehen, dass es in den zurückliegenden 800.000 Jahren nie zu solchen Anstiegen kam? Vulkane rumorten in allen Epochen, Insekten atmeten und Pflanzen verfaulten immer schon. Doch all das hat nicht zu so hohen CO<sub>2</sub>-Werten geführt.

Während die Stoff-Flüsse im Kohlenstoffkreislauf wie erwähnt in Kohlenstoff-Einheiten dargestellt werden (GtC), wird die menschengemachte Emission in Gt CO<sub>2</sub> gemessen (1 GtC sind umgerechnet 3,67 Gt CO<sub>2</sub>). Die fossilen Emissionsmengen sehen wir in Abb. 6. Wenn man den Ausstoß Jahr für Jahr zusammenzählt (1990: 22, ..., 2010: 33, ..., 2018: 37 Gt CO<sub>2</sub>), dann versteht man den in Abb. 3 dargestellten unablässigen Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Die Emissionsdaten lassen sich nicht einfach messen wie die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration. Sie werden von 44 Industrieländern ermittelt und an das Sekretariat der UN-Klimarahmenkonvention berichtet. In Deutschland geschieht das durch das Fachgebiet Emissionssituation beim Umweltbundesamt. Alle Aktivitäten, welche Emissionen verursachen – vom Kraftwerksbetrieb über den Verkehr bis zur Land- und Abfallwirtschaft –, werden dabei statistisch erfasst.<sup>13</sup> Wer der Ermittlung der Emissions-Daten misstraut, muss seinerseits erklären, woher sonst die stetig wachsende atmosphärische CO<sub>2</sub>-Menge stammt. Unser heutiges Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs lässt keinen anderen Schluss zu, als dass ein unmittelbarer Zusammenhang besteht zwischen dem seit 60 Jahren gemessenen Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration und der fortwährend steigenden anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emission.

**Abb. 6: Globale fossile CO<sub>2</sub>-Emission**

Quelle: Global Carbon Project, 2019. Deutlich ist der Einbruch nach der Finanzkrise zu sehen. Die Stabilisierung der jährlichen Emissionsmenge nach 2014 wurde bereits als Trendwende gefeiert, doch dann stiegen die Werte erneut. Und nicht nur die Steigerung der Emission ist ein Problem. Auch kleinere Werte wie z. B. die von 1990 bis 93 haben damals bereits zum Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration geführt (vgl. Abb. 3).

Im globalen Kohlenstoffkreislauf ist keine andere Quelle für den sprunghaften Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration erkennbar als die menschengemachte Emission.  
Und die steigt und steigt ...

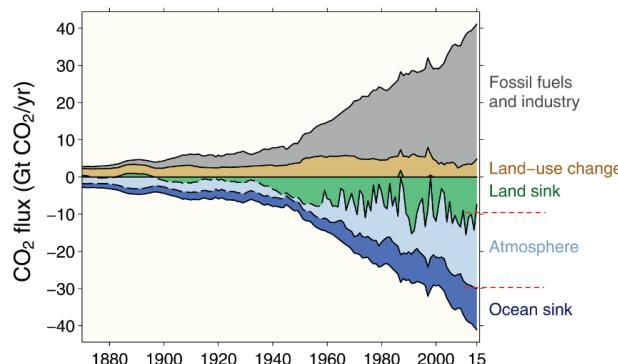
Wenn wir somit den Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration als überwiegend durch Menschen verursacht erkennen, lautet der nächste Einwand: Das sei ja aber gar nicht schlimm, die Pflanzen werden das überschüssige CO<sub>2</sub> über kurz oder lang aufnehmen, unser Planet wird davon grüner. Tatsächlich ist die Erde jetzt schon grüner geworden (allerdings spielt dabei neben CO<sub>2</sub> auch die Verlagerung der Klimazonen eine Rolle).<sup>14</sup> Doch Pflanzenwachstum unterliegt Wetter- und Nährstoffbedingungen, ein stetes Ergrünen ist weder zu erwarten noch festzustellen. Abb. 7 zeigt die tatsächliche Netto-Aufnahme von CO<sub>2</sub> durch Landpflanzen, sie umfasst nicht einmal ein Drittel der Emissionen.

Emittiertes CO<sub>2</sub> wird zur knappen Hälfte in der Atmosphäre kumuliert. Den Rest nehmen zu etwa gleichen Teilen die Biosphäre und die Hydrosphäre auf.

Wie der obere Bereich von Abb. 7 zeigt, kommt zur fossilen und Industrie-Emission noch die durch Landnutzungsveränderungen hinzu (z. B. Entwaldung), sie liegt 2015–17 bei jährlich 4,9 Gt CO<sub>2</sub>.<sup>15</sup> Dabei gelangt gerodetes Holz in

verhältnismäßig kurzer Zeit wieder in den Kohlenstoffkreislauf zurück, im Falle von Brandrodung sofort.

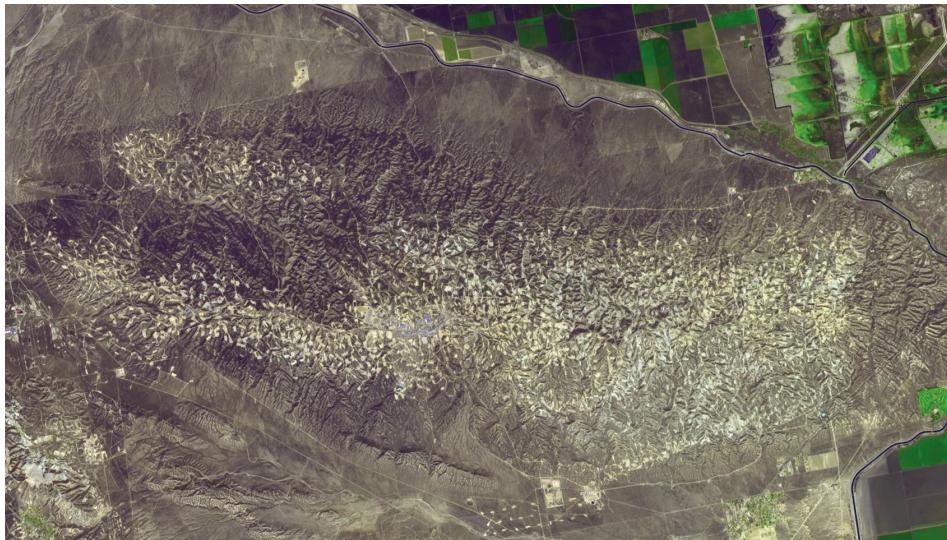
**Abb. 7: Kohlenstoffkreislauf: Quellen und Senken**



Quelle: Joos u. a., Khatiwala u. a., 2013 (ergänzt). Im oberen Bereich der Grafik sehen wir das Verhältnis der CO<sub>2</sub>-Emission durch Landnutzungsveränderungen (braun) zur fossilen und industriellen Emission (grau) in Jahreswerten. Im unteren Bereich ist dargestellt, wohin das emittierte CO<sub>2</sub> wandert. Während von 1940 bis 1955 eine Zunahme des durch Pflanzen gebundenen CO<sub>2</sub> erkennbar ist, setzt sich dieser Trend später nur schwach fort. Vielmehr schwankt seitdem der CO<sub>2</sub>-Anteil, der von den Landökosystemen aufgenommen wird – je nachdem, ob es Dürren oder gute Wachstumsjahre gab.

Die gesamte anthropogene CO<sub>2</sub>-Emission (fossil, industriell und Landnutzungsveränderungen) wird für 2018 mit 41,6 Gt CO<sub>2</sub> angegeben.<sup>16</sup> Die jeweiligen Jahresmengen werden derzeit zu rund 28 % von der Biosphäre, zu 27 % von den Ozeanen und zu 45 % von der Atmosphäre aufgenommen.<sup>17</sup> Neuere Messungen deuten sogar auf einen ozeanischen Anteil von 31 % hin.<sup>18</sup> Wie auch immer: knapp die Hälfte des emittierten CO<sub>2</sub> sammelt sich Jahr für Jahr in der Atmosphäre – und genau das belegen ja auch die Messdaten von Abb. 3.

- Der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre wächst nichtlinear und in einem seit 800.000 Jahren nie da gewesenem Ausmaß.
- Auch die von Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Emission wächst fortwährend und im Kohlenstoffkreislauf ist keine andere Quelle für den sprunghaft steigenden atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anteil erkennbar als diese.
- Das zusätzliche CO<sub>2</sub> wird teils von Pflanzen aufgenommen und teils von den Ozeanen, knapp die Hälfte aber wird in der Atmosphäre angesammelt.

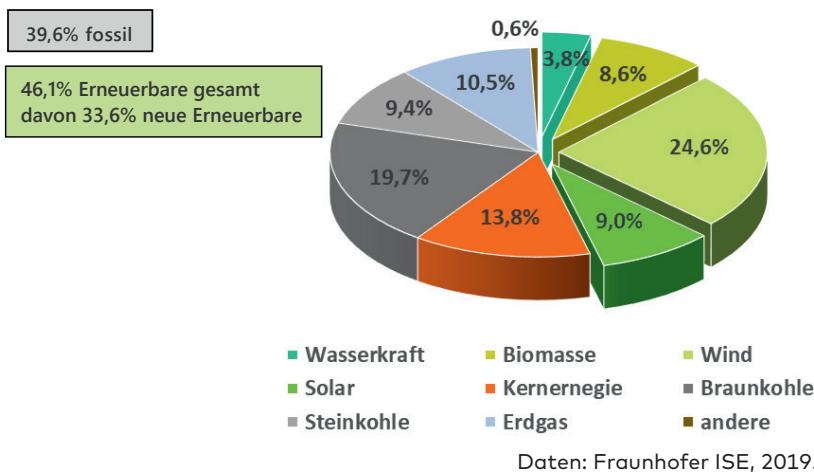


Kalifornien, Elk Hills Ölfeld.

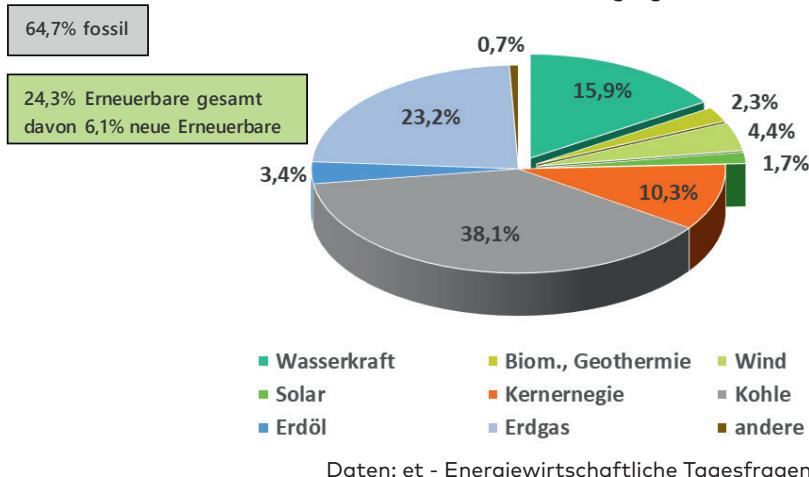
### 3.4 Der erreichte Stand

In den letzten Abschnitten haben wir uns eine ungefähre Vorstellung von den technischen Möglichkeiten verschafft. Viele von ihnen existieren ja nicht nur auf dem Papier, sondern haben die Bühne der Energieerzeugung längst betreten. Nun wollen wir sehen, wie sich das auswirkt. Insbesondere ruhen ja alle Hoffnungen auf den sog. *neuen erneuerbaren Energien*, die nachfolgend als Summe von Solar- und Windenenergie *ohne Biomasse* ausgewiesen werden. Kommen wir damit voran? Die Betrachtung beginnt hoffnungsvoll.

Die *Nettostromerzeugung* ist der Strom aus Kraftwerken für die öffentliche Versorgung nach Abzug des Eigenbedarfs. Wenn wir die deutsche Nettostromerzeugung betrachten – sie lag 2019 bei 516 Mrd. kWh<sup>258</sup> – so sehen wir schon recht viel im grünen Bereich. Abb. 71 zeigt den Strommix, der 2019 tatsächlich aus der Steckdose kam – mit einem erfreulichen Anteil der Erneuerbaren Energien von 46,1 %. Nur 39,6 % waren 2019 noch fossil. Und im 1. Quartal 2020 erreichte der Anteil der Erneuerbaren sogar 52 % infolge von Wettereffekten (Sturmtief Sabine und danach ungewöhnlich viel Sonne), die neuen Erneuerbaren lagen bei unglaublichen 41 %!<sup>259</sup> Es geht also vorwärts, und das hat zu einer Senkung der deutschen CO<sub>2</sub>-Emission geführt. Lag diese 2000 noch bei 900 Mio. t, so war sie 2018 mit 755 Mio. t rund 16 % niedriger.<sup>260</sup>

**Abb. 71: Nettostromerzeugung Deutschland 2019**

Doch wieso eigentlich steigt die weltweite CO<sub>2</sub>-Emission immerzu, wenn die grüne Energieerzeugung derart auf dem Vormarsch ist? Die fossilen Grundlastkraftwerke in Deutschland laufen trotz Wind und Sonne weiter; zu einer CO<sub>2</sub>-Einsparung kommt es nur teilweise. Und obendrein müssen wir über Deutschland hinaus blicken und die *weltweite Stromerzeugung* betrachten. Die lag 2017 bei 25.551 Mrd. kWh (brutto, d.h. einschließlich des Eigenbedarfs der Kraftwerke).<sup>261</sup> Abb. 72 stellt den Strommix weltweit dar:

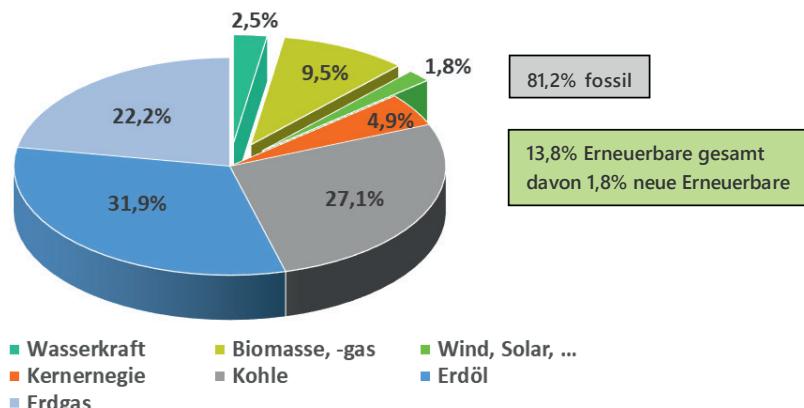
**Abb. 72: Bruttostromerzeugung weltweit 2017**

Der Anteil erneuerbarer Energien entspricht mit 24,3 % nun nicht mehr knapp der Hälfte sondern knapp einem Viertel und verdankt sich überwiegend der Wasserkraft. Die neuen Erneuerbaren machen weltweit nur 6,1 % aus. Abb. 72 sieht also nicht mehr ganz so gut aus.

Weltweit wird Strom noch immer zu knapp zwei Dritteln aus fossilen Energieträgern erzeugt. Erneuerbare Energie stellt knapp ein Viertel, davon 6,1% die neuen Erneuerbaren.

Doch auch das ist noch nicht die ganze Wahrheit. Wollen wir uns ein Bild machen, dürfen wir nicht allein den Strom betrachten. Elektroenergie hat einen Anteil von rund einem Fünftel am Weltenergiebedarf, 2010 z. B. waren es 17%.<sup>262</sup> Anders formuliert: Strommix-Diagramme sagen nicht viel über das Gesamtproblem aus. Woran liegt das? Wir müssen bei der Energieerzeugung leider mehr hineinsticken (*Primärenergie*) als am Ende herauskommt (*Endenergie*). Vor allem bei fossilen Energieträgern bestehen enorme Umwandlungsverluste. So liegt der Wirkungsgrad eines Kohlekraftwerks üblicherweise im Bereich von 30 bis 40 %, der Rest geht weitgehend verloren, z. B. in Form von Abwärme. Noch schlimmer ist es beim Ottomotor, er nutzt nur 26 % seiner Kraftstoffenergie zur Kolbenarbeit<sup>263</sup> und der Nutzwirkungsgrad der eigentlichen Transportaufgabe wird durch weitere Verluste gemindert (Bremsen, Beschleunigen, Luftwiderstand usw.). Mehr als vier Fünftel der Kraftstoffenergie verpuffen wortwörtlich im Auspuff! Also kurz: Wir müssen den gesamten *Primärenergiebedarf* betrachten, der zur Energieerzeugung aufgewendet werden muss – nicht nur die genutzte Endenergie und erst recht nicht nur den Teilespekt der Elektroenergie. Das Ergebnis zeigt Abb. 73:

**Abb. 73: Primärenergiebedarf weltweit 2017**



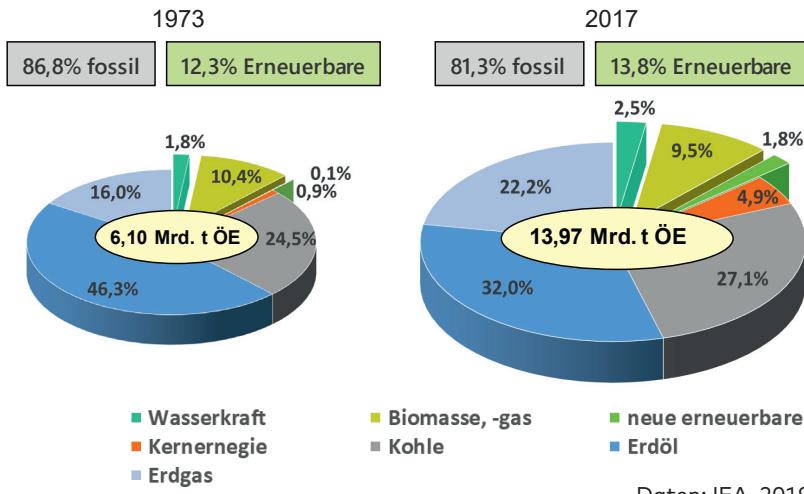
Daten: IEA, 2019.

Noch immer werden mehr als vier Fünftel des weltweiten Primärenergiebedarfs fossil gedeckt! Erneuerbare Energie stellt einen Anteil von 13,8%, davon entfallen lediglich 1,8% auf die neuen Erneuerbaren.

Abb. 73 ist nun wirklich nicht begeistern und das überrascht, denn immerhin wurden seit 2004 rund 3.500 Milliarden Dollar in die erneuerbare Energieerzeugung investiert,<sup>264</sup> eine Riesensumme – und das alles nur, um derart magere Ergebnisse zu erzielen? Was narrt uns hier?

Um dem Rätsel auf die Spur zu kommen, vergleichen wir in Abb. 74 den Primärenergiebedarf von 1973 mit dem von 2017. Zusätzlich zur Prozentangabe der jeweiligen Anteile sehen wir den Gesamtbedarf; dessen Angabe erfolgt üblicherweise in Öleinheiten (ÖE), also einem Öl-Äquivalent für die Energiemenge.

**Abb. 74: Primärenergiebedarf weltweit 1973 und 2017**



Wir sehen mit nicht geringer Verblüffung, dass sich die Prozentanteile fossiler und erneuerbarer Energie zwischen 1973 und 2017 nur unwesentlich verändert haben. Doch 2017 sind das Prozentanteile von mehr als der doppelten Bedarfsmenge! Die folgende Rechnung macht klar, was das real bedeutet:

*Erneuerbare: 12,3 % vom 1973er Bedarf entsprechen 0,75 Mrd. t Öleinheiten, 13,8 % vom 2017er Bedarf dagegen 1,93 Mrd. – d. h. in Absolutwerten hat sich der Beitrag der Erneuerbaren seit 1973 um 1,18 Mrd. t Öleinheiten erhöht.*

*Fossile Energieträger: 86,8 % vom 1973er Bedarf entsprechen 5,30 Mrd. t Öl einheiten, 81,3 % vom 2017er Bedarf aber 11,36 Mrd. – d. h. in Absolutwerten hat sich der Beitrag der fossilen Energieträger um 6,06 Mrd. t Öl einheiten erhöht!*

Der Anteil erneuerbarer Energie am Primärenergiebedarf ist von 1973 bis 2017 um 1,18 Mrd.t.ÖE gestiegen. Im gleichen Zeitraum wuchs der Anteil fossiler Energieträger aber fünffach stärker: um 6,06 Mrd.t.ÖE. Das ist eine Folge davon, dass der Gesamtenergiebedarf deutlich mehr zunahm als der Anteil erneuerbarer Energie wachsen konnte.

Folglich nahmen die bereitgestellten Mengen fossiler Brennstoffe zwischen 1973 und 2017 enorm zu: Öl um 58%, Kohle um 153% und Gas um 218%!<sup>265</sup> Erklärt sich dieses traurige Ergebnis vielleicht durch die ersten Jahrzehnte des Betrachtungszeitraums, als erneuerbare Energien noch keine große Rolle spielten? Und jetzt, nachdem die Energiewende Fahrt aufgenommen hat, wird alles viel besser? Um das herauszufinden, vergleichen wir diesmal Daten von 2010 mit 2017 und wiederholen die obige Rechnung:

*Der Primärenergiebedarf von 2010 betrug 12,72 Mrd. t Öl einheiten, davon 13,2 % erneuerbar (=1,68 Mrd. t.ÖE) und 81,1 % fossil (=10,32 Mrd. t.ÖE).<sup>266</sup> Gemessen an den genannten Werten von 2017 ist der Beitrag der Erneuerbaren seit 2010 um 0,25 Mrd. t Öl einheiten gewachsen, der Beitrag fossiler Energieträger dagegen um 1,04 Mrd. t Öl einheiten.*

Zwischen 2010 und 2017 stieg der Anteil erneuerbarer Energie um 0,25 Mrd.t Öl einheiten. Zugleich nahm der Gesamtbedarf aber um 1,25 Mrd.t.ÖE zu. Deshalb stieg der Anteil fossiler Energieträger in diesem Zeitraum wiederum. Allein um den Mehrbedarf abzufangen, hätte die erneuerbare Energieerzeugung in diesen sieben Jahren fünffach stärker wachsen müssen, als sie in der Realität wachsen konnte.

Auch in jüngster Zeit also konnte der Zuwachs fossiler Energieträger nicht gebremst geschweige denn deren Anteil reduziert werden – obwohl zwischen 2010 und 2017 in Summe 2,500 Milliarden US-Dollar in erneuerbare Energie investiert wurden!<sup>267</sup> Es ist das Bedarfswachstum, welches die Maßnahmen zur Emissionsreduktion immer wieder übersteuert und notgedrungen zum Verbrauch von noch mehr fossilen Brennstoffen führt. Dabei müsste es doch darum gehen, fossile Energieträger abzulösen – allem voran Kohle! Tab. 16 zeigt die Unterschiede der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission.<sup>268</sup> Doch nachdem der Kohleanteil 2015/16 weltweit leicht rückläufig war, steigt er längst wieder an.<sup>269</sup>

Anhand dieser Einsichten wird einiges klarer und wir verstehen plötzlich das ungebremste Anwachsen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration trotz aller Wachstumsdynamik beim Ausbau erneuerbarer Energien. *Der Klimaschutz verpufft – völlig unbeeindruckt von den Erfolgen grüner Technologie!* Und das liegt

weder an Vulkanen noch dem Atmen von Insekten (vgl. 1.2), sondern daran: Der Einsatz fossiler Energieträger steigt unablässig. Derzeit gelingt es nicht, ihren Anteil abzusenken – ja noch nicht einmal konstant zu halten. Der steigende Bedarf macht die technologische Innovation zunichte. Dieser Umstand wird Rebound-Effekt genannt (engl. *rebound*: »Abprall, zurückspringen«).

**Tab. 16: Spezifische Emission fossiler Brennstoffe**

	Emission in kg CO <sub>2</sub> /kWh
Braunkohle (Lausitz, Rheinland)	0,41
Steinkohle	0,34
Heizöl	0,28
Naturgas	0,20

Man kann natürlich sagen: Ohne die Erneuerbaren wäre der Zuwachs fossiler Energieträger noch stärker ausgefallen. Das stimmt zweifellos. Doch es scheint die Frage angebracht, was das Wort Energiewende eigentlich bedeuten soll. Falls wir – vernünftigerweise – mit diesem Wort meinen, dass der Einsatz fossiler Energieträger weltweit zurückgeht (und damit zugleich die CO<sub>2</sub>-Emission), dann bleibt nur festzustellen: *Die Energiewende zeigt unter dem Strich noch keinen Erfolg*. Vielmehr findet bisher das Gegenteil des Gewünschten statt: Energiewende invers.

- Der deutsche Strommix weist 2019 bereits einen Anteil von 46% erneuerbarer Energie aus und wird oft benutzt, das zügige Fortschreiten der Energiewende zu illustrieren. Emissionswirksam ist aber nicht allein deutsche Elektroenergie, sondern der weltweit bestehende Primärenergiebedarf.
- Im weltweiten Primärenergiemix liegt der Anteil erneuerbarer Energie nur bei 13,8% und die neuen Erneuerbaren tragen lediglich 1,8% bei. Fossile Brennstoffe decken noch immer 81% des Gesamtbedarfs.
- Und dieser Gesamtbedarf ist unablässig gewachsen: in den letzten sieben Jahren um den Faktor 5 stärker, als der Anteil der Erneuerbaren wachsen konnte. Damit kam es trotz enormer Investitionen in erneuerbare Energien zu einem fortdauernden Zuwachs fossiler Energieträger. Unter diesen Bedingungen ist es kein Wunder, dass die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration immer weiter wächst.