

abgenommen. Der Nordpol wird irgendwann in naher Zukunft eisfrei sein. Vor 50 Jahren konnte man sich eine solche Entwicklung noch gar nicht vorstellen.

## Die Ursachen der Klimakrise sind bekannt

Für den Übergang von der letzten Eiszeit zur heutigen Warmzeit machen Klimaskeptiker:innen Änderungen der Parameter der Erdbahn, der Meeresströmungen und der Sonnenaktivität verantwortlich. Nichts davon hat unser Klima in den letzten Jahrhunderten signifikant beeinflusst. Für die jüngste Erderhitzung ist ein einziges Lebewesen verantwortlich: der Mensch. Im alten Griechenland wurde der Mensch als *anthropos* bezeichnet. Darum heißt der vom Menschen verursachte Klimawandel auch anthropogener Treibhauseffekt.

Die Atmosphäre unserer Erde besteht zu über 78 Prozent aus Stickstoff, zu knapp 21 Prozent aus Sauerstoff, zu rund einem Prozent aus Argon und nur zu 0,05 Prozent aus andern Spurengasen. Zu den Spurengasen zählen Kohlendioxid, Methan und Lachgas. Weil die Konzentration der Spurengase so gering ist, wird diese meist nicht in Prozent, sondern in Parts per Million (ppm) angegeben. 1 ppm ist also ein Teil pro eine Million. Seit Beginn der Industrialisierung erhöht der Mensch mit seinen Aktivitäten den Anteil der Spurengase signifikant. Zwischen dem Jahr 1750, in dem die Industrialisierung noch in den Kinderschuhen steckte, und dem Jahr 2020 ist die Konzentration von Kohlendioxid um 50 Prozent von 280 ppm auf 412 ppm angestiegen. Die Methankonzentration ist sogar um rund 150 Prozent auf 1,8 ppm nach oben geschneilt, und die Lachgaskonzentration legte um 17 Prozent zu und liegt heute bei 0,3 ppm.

*»Seit Beginn der Industrialisierung ist die Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid in der Atmosphäre um 50 Prozent angestiegen, die von Methan sogar um 150 Prozent.«*

All diese Spurengase haben eines gemeinsam. Bei einer höheren Konzentration lassen sie die Strahlung der Sonne weitgehend unvermindert durch die Atmosphäre passieren. Diese Strahlung trifft dann auf die Erdoberfläche, die sie zum Großteil absorbiert. Damit sie sich nicht unendlich aufheizt, strahlt sie genauso viel Infrarotstrahlung, also Wärmestrahlung, ins Weltall ab, wie sie zuvor absorbiert hat. Die Spurengase absorbieren nun wiederum einen Teil der Wärmestrahlung und strahlen ihn wie in einem Treibhaus zur Erdoberfläche zurück. Dort wird es wärmer, und deshalb sprechen wir dann auch vom Treibhauseffekt. Dabei haben die verschiedenen Spurengase einen unterschiedlichen Einfluss auf diese Rückstrahlung. Als Vergleich wird immer Kohlendioxid über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet. Ein Kilogramm Methan verursacht eine 28-mal höhere zusätzliche Erwärmung als ein Kilogramm Kohlendioxid. Bei einem Kilogramm Lachgas ist diese sogar 265-mal so groß. Diese zusätzliche Erwärmung heißt auch relatives Treibhauspotenzial, in der englischen Fachsprache spricht man von Global Warming Potential (GWP). Neben den genannten Spurengasen gibt es weitere künstliche Spurengase wie halogenierte Kohlenwasserstoffe, kurz FKW, die ein Global Warming Potential von über 10.000 erreichen können. FKW werden zum Beispiel als Kältemittel in Klimaanlage eingesetzt. Dann trägt ein Kilogramm FKW so stark zum Treibhauseffekt bei wie 10.000 Kilogramm oder 10 Tonnen Kohlendioxid.

Auch unabhängig vom Menschen finden sich Spurengase in der Atmosphäre. Diese Gase erzeugen einen natürlichen Treibhauseffekt. Für uns Menschen ist das erst einmal gut. Ohne unsere Atmosphäre wäre die Temperatur auf der Erde um rund 33 Grad Celsius niedriger — also ziemlich ungemütlich. Erst die natürliche Atmosphäre hat das Leben auf der Erde, wie wir es kennen, ermöglicht. Durch die zusätzlichen, von Menschen verursachten Spurengase kommt nun zum natürlichen Treibhauseffekt ein anthropogener Treibhauseffekt hinzu. Zum Glück sind die Zusammenhänge nicht linear. Eine Verdopplung der Spurengase führt nicht zu einer Verdopplung des Temperaturanstiegs. Die strahlungsphysikalischen Zusammenhänge sind aber gut erforscht. Die Wissenschaft kann damit sehr gut ausrechnen, wie stark die

Temperatur bei einer bestimmten Konzentration der Spurengase ansteigt.

Trotzdem wird immer wieder der Zusammenhang zwischen den vom Menschen ausgestoßenen Spurengasen und der Erderwärmung in Zweifel gezogen. Die extrem geringe Konzentration von 0,04 Prozent Kohlendioxid könne gar keinen Einfluss haben — ein sehr zweifelhaftes Argument. Der Schweizer Arzt Paracelsus stellte bereits 1538 fest: Die Dosis macht das Gift. Wer 0,5 Gramm Kochsalz pro Kilogramm Körpergewicht zu sich nimmt, kann eine lebensbedrohliche Elektrolytstörung verursachen. 0,5 Gramm pro Kilogramm sind auch nur 0,05 Prozent. Wer über längere Zeit gar kein Salz zu sich nimmt, bekommt auch gesundheitliche Probleme. Es gibt also nur einen schmalen Bereich, der für uns gesund ist.

Wer nicht glauben will, dass Kohlendioxid die Oberflächentemperatur eines Planeten beeinflussen kann, muss nur auf unseren Nachbarplaneten Venus schauen. Eigentlich müssten wir dort genauso wie auf unserem Nachbarplaneten Mars für den Menschen akzeptable Temperaturen vorfinden. Doch auf der Venus besteht die sehr dichte Atmosphäre zu etwa 96 Prozent aus Kohlendioxid, das die dortige Atmosphäre auf über 460 Grad Celsius erhitzt. Ein Pizzaofen ist im Vergleich dazu eine gemütliche Umgebung. An dieser Stelle können wir erst einmal etwas beruhigen. Die Menschheit wird es selbst bei größter Anstrengung nicht schaffen, die Kohlendioxidkonzentration auf der Erde auch nur annähernd in diese Größenordnung zu bringen. Die Erdoberfläche wird nicht wie die Oberfläche der Venus verglühen. Aber wir haben bereits festgestellt, dass für uns bereits wenige Grad Celsius eine enorme Bedrohung darstellen. Und damit sind auch Änderungen der Kohlendioxidkonzentration um wenige ppm und nicht erst um einige Prozent ein ernstes Problem.

Kohlendioxid, kurz CO<sub>2</sub>, hat auf der Erde den größten Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt. Das meiste Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Erdöl zum Heizen oder Autofahren, Erdgas für die Stromerzeugung, die Industrie oder Haushalte oder Stein- und Braunkohle für die Stromerzeugung und Industrie tragen mehr als zwei Drittel zum von Menschen verursachten Treibhauseffekt bei. Nach Angaben des

Umweltbundesamts (2021) haben fossile Energieträger sogar einen Anteil von deutlich über 80 Prozent am Ausstoß der deutschen Treibhausgase. Unsere heutige Energieversorgung ist die Achillesferse Deutschlands. Wollen wir die Klimakrise in den Griff bekommen, müssen wir unsere Energieversorgung vollständig dekarbonisieren, also vom Kohlenstoff befreien. Erdöl, Erdgas und Kohle müssen im Boden bleiben und durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Da wir dafür nur noch wenig Zeit haben, kann das nur durch eine Energiewende im Expresstempo gelingen. Wir brauchen also keine laue Energiewende. Wir brauchen eine Energierevolution, und zwar jetzt! Gut, dass wir die Lösungen dafür kennen und viele davon in diesem Buch vorstellen.

Auch bei der Vernichtung oder Bränden von Wäldern entstehen gigantische Mengen an Kohlendioxid. Weltweit tragen sie derzeit zu mehr als zehn Prozent zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Wenn es zu gigantischen Busch- und Waldbränden in Australien, Kalifornien, Südeuropa oder andernorts kommt oder Regenwälder vernichtet werden, ist das nicht nur ein Drama für die Menschen vor Ort, sondern auch für das Weltklima. Auf einige Gründe der Waldvernichtung werden wir später noch einmal näher eingehen, wenn es um die Landwirtschaft geht.

Besonders schlaue Klimawandelskeptiker:innen empfehlen übrigens, wir müssten, um die Klimakrise zu stoppen, auch aufhören zu atmen. Schließlich gelange so ebenfalls zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre. Dieses Argument ist aber völliger Nonsens. Tatsächlich atmet ein Mensch bis zu beachtliche zwei Tonnen Kohlendioxid pro Jahr aus. Wie viel wir ausatmen, hängt sehr stark von der körperlichen Aktivität ab. Die meisten Menschen dürften deutlich unter dem Spitzenwert liegen. Der Mensch ist allerdings in einen biologischen Kreislauf eingebunden. Wir essen Pflanzen, verarbeiten diese zu Kohlendioxid und pusten es in die Atmosphäre. Die Pflanzen entziehen wiederum beim Wachsen genau die gleiche Menge an Kohlendioxid, die wir später wieder ausatmen. Wenn wir leckere Spaghetti essen, hat das Getreide darin beim Wachsen möglicherweise sogar das Kohlendioxid eingebaut, das wir bei unserem Spaziergang entlang des Getreidefeldes im letzten Jahr ausgeatmet haben.

Auf Platz zwei der anthropogenen Treibhausgase steht Methan mit der chemischen Bezeichnung  $\text{CH}_4$ . Methan hat ein sechstel Anteil am vom Menschen gemachten Treibhauseffekt. Methan entsteht bei der Viehzucht, beim Reisanbau, in Kläranlagen und Mülldeponien, im Steinkohlebergbau und bei der Erdgas- und Erdölproduktion. Fossile Energieträger sind auch an den Methanemissionen beteiligt. Besonders schlecht schneidet hier das Erdgas ab, das darum völlig zu Unrecht den Ruf eines klimafreundlichen Energieträgers hat. Auf die problematischen Methanemissionen durch die Viehzucht gehen wir später noch einmal bei der Ernährung intensiver ein.

Gigantische Mengen an Methan sind auch am Meeresboden oder in Permafrostgebieten in der Arktis in Form von Methanhydraten gebunden. Methanhydrate sind eine eisartige Verbindung von Wasser und Methan. Tauen diese auf, wird das gebundene Methan freigesetzt.

Beim Auftauen des Permafrostes wird außerdem dort eingefrorenes organisches Material in Kohlendioxid und Methan umgewandelt und gelangt damit in die Atmosphäre. Überschreitet die globale Erwärmung bestimmte Schwellen, werden selbstverstärkende Effekte ausgelöst: Die globale Erwärmung setzt große Mengen an Methan in der Arktis frei, das, wie bereits erwähnt, ein viel größeres spezifisches Treibhauspotenzial als Kohlendioxid hat. Dadurch wird die Erderhitzung weiter verstärkt, wodurch noch mehr Methan im Permafrost auftaut. Auch deshalb ist es so wichtig, den weiteren Temperaturanstieg so schnell wie möglich zu stoppen.

Distickstoffoxid, auch Lachgas genannt, hat die chemische Bezeichnung  $\text{N}_2\text{O}$  und stammt im Wesentlichen aus Stickstoffdünger in der Landwirtschaft, aber auch Tierhaltung, Prozessen in der chemischen Industrie sowie Verbrennungsprozessen. Auf die Lachgasemissionen in der Landwirtschaft gehen wir später noch einmal genauer ein. Lachgas hat gut sechs Prozent Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt.

Weitere Spurengase, die zum Treibhauseffekt beitragen, sind die oben schon erwähnten Fluorkohlenwasserstoffe (FKW). Daneben gibt es noch Stickstofftrifluorid ( $\text{NF}_3$ ), das bei der Herstellung von Halbleitern verwendet wird, sowie Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ), das in der Industrie und in elektronischen Schaltanlagen zum Einsatz