

# Zu viel Plastik auf der Erde, zu viel Kohlendioxid in der Atmosphäre: Goodbye schöne und lebenswerte Welt

Gerhard Gottschalk

Was tun wir Menschen mit unserem Planeten? Mit großem Engagement, aber ohne das nötige Verantwortungsgefühl für die Zukunft, sind wir dabei, Grundlagen unseres Lebens auf der Erde zu zerstören. Dabei lief es für uns Menschen bisher sehr gut.

## Sauerstoff zum Atmen

Etwa vor 2,5 Milliarden Jahren entwickelten sich in den Ozeanen die Cyanobakterien. Sie betrieben als erste Lebewesen auf unserem Planeten eine Fotosynthese, die mit der Entwicklung von Sauerstoff verbunden war. Davor war auf der Erde nicht viel los. In den Sedimenten der Ozeane lebten Mikroorganismen, die ihr Dasein durch Gärungsprozesse fristeten. Erst mit der Fotosynthese der Cyanobakterien begann eine neue Ära. Denn jetzt stand den Organismen reichlich Stoffwechselenergie zur Verfügung, und die Biomasse nahm gewaltig zu. Noch heute zeugen die Stromatolithe davon. Das sind die zum Teil meterdicken versteinerten Überbleibsel der Cyanobakterien. Entscheidend für das Fortschreiten der Evolution war aber, dass die Fotosynthese der Cyanobakterien mit der Bildung von Sauerstoff verbunden war. Dieser räumte nun erst einmal auf unserem Planeten auf. Sauerstoff ist ja sehr reaktiv, und alles was da in reduzierter Form herumlag oder herumschwamm, wurde oxidiert, besonders die bedeutenden Vorkommen von Eisensalzen und von Schwefelverbindungen wie Schwefelwasserstoff, aus dem Sulfat entstand. Diese Oxidationsprozesse dauerten etwa 1,5 Milliarden Jahre. Erst danach begann sich der Sauerstoff in der Atmosphäre anzuhäufen, und er erreichte vor etwa 600 Millionen Jahren den heutigen Wert von 21%. Die Ozonschicht entstand. Ozon hat die chemische Formel  $O_3$ , es entsteht aus Sauerstoff ( $O_2$ ) durch Strahlungseinwirkung in den höheren Luftschichten. Durch Ozon wurde die zur Erdoberfläche vordringende UV-Strahlung so stark abgeschwächt, dass die Kontinente bewohnbar wurden. Die Pflanzen besiedelten die Kontinente, und sie übernahmen dort von den Cyanobakterien die Funktion der Sauerstoffproduktion. Und so steht der Sauerstoff seit Millionen von Jahren für die Atmung der höheren Organismen auf unserem Planeten zur Verfügung.

Sauerstoff ist unser Lebenselixier. Er ist aber nicht unproblematisch. Kommt er in unseren Zellkraftwerken, den Mitochondrien, an, wird er in einem Prozess, der uns die nötige Stoffwechselenergie für unser Leben und Denken liefert, zu Wasser reduziert. Dabei entstehen toxische Nebenprodukte, die sogenannten reactive oxygen species (ROS). Diese müssen in unserem Körper wirksam bekämpft werden, sonst drohen ernste Schäden mit den möglichen Folgen von Krebs und Tod. Wie zuvor erwähnt schenkt uns der Sauerstoff aber auch die schützende Ozonschicht. Ihre Bedeutung wurde schlagartig klar, als über der Antarktis ein riesiges Ozonloch entstanden war.

## Das Ozonloch

Hinweise auf dieses Loch gab es bereits 1957. Ab 1974 wurde seine Entstehung mit dem Abbau der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) in hohen Luftschichten in Zusammenhang

gebracht. Dieses Loch - zweimal so groß wie die gesamte Antarktis - führte zu einer dramatischen Erhöhung der UV-Belastung am Südpol mit Auswirkungen auf Australien. Entstanden war es durch die massenhafte Verwendung von FCKWs in Kühlanlagen und als Treibmittel in Spraydosen. Diese FCKWs stiegen auf, sie sammelten sich in hohen Luftschichten, besonders in der extrem kalten Antarktis. Im antarktischen Sommer kam es dann zu wahren Oxidationsorgien, verbunden mit der Bildung von Chlor, das mit Ozon reagiert und es verbraucht. Eine große Gefahr für alle Lebewesen. Fehlendes Ozon in der Atmosphäre hätte uns der UV-Strahlung erbarmungslos ausgesetzt. Etwas Erstaunliches passierte. Die Welt verständigte sich auf ein Verbot der Verwendung der FCKWs. In Montreal und Wien wurden entsprechende Abkommen unterzeichnet. Die Vereinten Nationen bekannten sich 2009 einmütig zum Verbot der FCKWs. Seitdem verkleinert sich das Ozonloch, eine große Gefahr für die Menschheit und alle anderen Lebewesen wurde gebannt.

Was für ein Erfolg, und völlig zu Recht wurden die Erforscher Mario Molina, Sherwood Rowland und Paul Crutzen (Mainz) 1995 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Da ist es schon beschämend, dass es zur Abwendung anderer Umweltkatastrophen bisher nicht zu vergleichbaren Entwicklungen kam. Nehmen wir die biologisch nicht abbaubaren Plastikstoffe. Überall wird beklagt, dass sich riesige Mengen von Plastik in Meeresbuchten und anderswo ansammeln. In Zeitungen finden sich Bilder von Kindern, die in Plastikbergen nach etwas Verwertbarem suchen. Geklagt wird genug, aber es wird nicht energisch gehandelt.

### Plastik

Die Herstellung und Verwendung von Plastik haben eine eindrucksvolle Geschichte. Begonnen hat diese mit dem Bakelit. Gehäuse für Telefone, Rundfunkgeräte und Lichtschalter sowie diverse Geräteteile wurden aus Bakelit hergestellt. Der Erfinder war Leo Hendrik Baekeland, ein belgischer Chemiker, der mit seinem Bakelit weltbekannt wurde. Es entsteht aus Phenol und Formaldehyd in einer Art Backverfahren. Abgelöst wurde das Bakelit dann aber von Polymeren wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Diese entstehen aus kleinen Kohlenwasserstoffen, wie Ethylen oder Propylen durch einen katalytischen Polymerisationsprozess, den Karl Ziegler und Giulio Natta erfanden, die im Max-Planck-Institut für Kohleforschung in Mülheim/Ruhr bzw. im Polytechnikum in Turin arbeiteten. Es war eine epochale Erfindung, für die sie 1963 den Nobelpreis erhielten. Was wird heute nicht alles aus PE und PP hergestellt? Diese Polymere sind aus unserem Leben überhaupt nicht mehr wegzudenken. Besonders die Verpackungsindustrie wird von diesen beherrscht. Ihre Produktion hat eine kaum vorstellbare Dimension erreicht. Nehmen wir nur die beiden erwähnten Polymere PE und PP. Im Jahr 2016 erreichte ihre Produktion weltweit circa 184 Millionen Tonnen. Diese Menge wird vielleicht erfassbar, wenn man sie mit der Menge des geförderten Erdöls vergleicht. In dem erwähnten Jahr 2016 waren es weltweit 4,3 Milliarden Tonnen. Die Menge der produzierten Polymere entsprach also rund 4% des gewonnenen Erdöls. Nun werden PE und PP nicht direkt aus Rohöl, vielmehr aus Benzin synthetisiert, das aus Öl gewonnen wird. So waren und sind von Hundert Öltankern auf den Weltmeeren etwa zehn unterwegs mit dem Nachschub für die Produktion von Plastik. Oder nehmen wir die globale Fleischproduktion zum Vergleich. Sie lag 2016 bei 330 Millionen Tonnen. Wir produzieren also etwa halb so viel Plastik, wie wir Fleischprodukte konsumieren.

Es sind gigantische Anlagen wie der Steam Cracker II der BASF, in denen Ethylen und Propylen produziert werden. Er steht auf einer Fläche so groß wie eine Kleinstadt. Des Nachts sind seine Konturen durch unzählige Lichter auf den Türmen und Rohrleitungen erkennbar. Das ist das *Lower Manhattan* der chemischen Industrie. Trotzdem, wir werden uns von ihm und seinen Cracker-Kollegen in absehbarer Zeit verabschieden müssen. Es reicht nicht, Strohhalme und Geschirr aus Plastik zu verbieten, das Ausgangsmaterial muss versiegen. Nur wenn es keinen Nachschub mehr gibt, werden Forschung und Entwicklung nach anderen Materialien Ausschau halten. Wo sind wir hingekommen? Ein großer Teil der erwähnten 184 Millionen Tonnen pro Jahr wird als Verpackungsmaterial nach einmaligem Gebrauch einfach weggeworfen. Das muss noch einmal wiederholt werden. Letztlich wird aus Erdöl massenhaft Verpackungsplastik produziert. Dieses wird einmal benutzt und landet anschließend im Müll, wo es einfach liegen bleibt. Das können wir uns nicht länger leisten. Auch Mikroplastik, jenes aus zerbröselnden Kunststoffen entstehende Material, das sich in den Nahrungsketten ausbreitet, muss verschwinden. Wir sind so weit, dass Kosmetikhersteller bereits damit Reklame machen, dass ihre Produkte mikroplastikfrei seien. Durch die gesamte Verpackungsindustrie muss ein Ruck gehen, wie auch durch die Automobilindustrie, die ihre geliebten und beliebten Verbrennungsmotoren an den Nagel hängen und die Elektromobilität und Wasserstoffwirtschaft entwickeln muss. Es muss zur Kenntnis genommen werden, dass die Erde kein Grundstück ist, das man herunterwirtschaften und dann verlassen kann. Und es gibt eine Alternative: biologisch herstellbare und biologisch abbaubare Polymere. Bevor auf diese eingegangen wird, müssen noch die Polyester zur Sprache kommen, Polymere wie PET (Polyethylen-Terephthalat). Immerhin werden pro Jahr etwa 40 Millionen Tonnen PET produziert. Es wird massenhaft in der Getränkeindustrie und zur Herstellung von Fasern verwendet. PET ist ein Polyester, und es wurden Mikroorganismen beschrieben, u. a. von dem Hamburger Mikrobiologen Wolfgang Streit, die diese abbauen. In Bezug auf die biologische Abbaubarkeit gibt es hier also einen Hoffnungsschimmer.

### Cellulose und Bioplastik

Die Welt wird eine andere werden. Alle online Bestellungen werden mit Verpackungen aus Papier, Pappe oder Holzwolle ankommen. In den Baumärkten, Supermärkten, Geschäften und Apotheken wird man nur noch auf Plastikverpackungen stoßen, die kompostierbar sind. Besonders groß sind die Herausforderungen für die Elektroindustrie. Hier Plastik in den Schaltern, Steckdosen und Gehäusen zu ersetzen wird gewaltige Innovationen notwendig machen. Aber es wird gelingen. Wir werden einen Siegeszug von Bioplastik erleben.

Einiges gibt es bereits. Materialien, die unter bestimmten Bedingungen in Kompostierungsanlagen abgebaut werden, bestehen aus sogenannten Polylactiden. Davon werden zurzeit etwa 200.000 Tonnen pro Jahr hergestellt, also ein Bruchteil von dem, was an PE jährlich auf den Markt kommt. Polylactide haben den Nachteil, dass sie bei Temperaturen oberhalb von 40° weich werden und dass sie aus Milchsäure in einem chemischen Prozess hergestellt werden. Es gibt aber eine weitere Klasse von biologisch abbaubarem Plastik, die vielversprechend ist. Ihre Muttersubstanz ist das so genannte PHB oder mit vollständigem Namen die Poly- $\beta$ -Hydroxybuttersäure. Für Bakterien ist PHB ein Speicherstoff, so wie die Stärke oder wie Fette für höhere Organismen. Selbstverständlich ist es biologisch abbaubar. Für eine breite Verwendung hat es den Vorteil, dass es aufgelöst und dann zu Folien oder

Fäden oder Flaschen verarbeitet werden kann. Seine Eigenschaften können bestimmten Bedürfnissen durch Zusätze angepasst werden.

1961 erschien in der Zeitschrift „Nature“ ein Artikel über die Anhäufung von PHB durch Knallgasbakterien. Verfasser waren die Göttinger Mikrobiologen Hans Günter Schlegel, Richard Bartha und der Autor. Knallgasbakterien, das klingt amüsant. Knallgas ist ja eine Mischung der Gase Wasserstoff und Sauerstoff, das durch Zündung zur Explosion gebracht werden kann. Nun, Knallgasbakterien lassen es nicht knallen. Sie leben im Boden und setzen Wasserstoff und Sauerstoff in aller Ruhe um. Die „Knallgasenergie“ nutzen sie, um zu leben und wie die grünen Pflanzen mit Kohlendioxid als Kohlenstoffquelle zu wachsen. Das Phantastische ist nun, dass die erwähnten Bakterien mit der Knallgasenergie auch PHB aus CO<sub>2</sub> produzieren. Ein biologisch abbaubarer Kunststoff entsteht also aus der besten Ressource, die man sich vorstellen kann, kein Erdöl, keine Glucose, nur CO<sub>2</sub>. Aber so PHB in großem Maßstab zu produzieren wäre wegen des Knallgases ziemlich gefährlich und auch nicht wirtschaftlich. Die genetische Information für die PHB-Bildung wurde aber bereits vor Jahrzehnten auf Pflanzen übertragen, und dadurch haben sich völlig neue Möglichkeiten für die CO<sub>2</sub>-basierte Produktion von PHB und weiteren Bioplastikstoffen ergeben. Hier muss weiterentwickelt werden, damit hohe PHB-Erträge erzielt werden können, und das geht nicht ohne die grüne Gentechnik. Es ist unumgänglich, dass bestehende Behinderungen und Vorurteile abgebaut werden. Ohne grüne Gentechnik kommen wir nicht weiter. Entweder wir ersticken im Plastikmüll oder wir kommen zu biologisch abbaubaren Materialien. Plastiktüten brauchen in Zukunft nicht verboten zu werden, man muss die jetzigen schlicht durch etwas Abbaubares ersetzen. Übrigens vollzieht sich der Abbau gemächlich. PHB-Flaschen benötigten in Meeressedimenten mehr als fünf Jahre, um zu verschwinden. Aber sie verschwinden, und das ist das Entscheidende. Aber niemand braucht sich Sorgen zu machen, dass es aus einer Bioplastik-Shampooflasche mit der Zeit zu tropfen beginnt.

Bioplastik, gebildet wie Stärke aus CO<sub>2</sub> durch Fotosynthese, das durchzusetzen ist eine Herausforderung von globaler Bedeutung. Das Plastikproblem ist lösbar, aber wir bleiben einfach auf PE, PP und wie sie alle heißen sitzen. PHB-Kartoffeln müssen das Ausgangsmaterial von Bioplastik werden.

Empfehlung: Der Rückbau von Produktionsanlagen für herkömmliches Plastik muss eingeleitet und der Aufbau von Einrichtungen für die Produktion von biologisch abbaubarem Plastik vorangetrieben werden.

Noch gravierender als Plastik ist für unser Überleben auf diesem Planeten der Zustand der Erdatmosphäre, insbesondere ihr CO<sub>2</sub>-Gehalt.

### Kohlendioxid zum Leben und zum Sterben

Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre entwickelte sich umgekehrt wie der des Sauerstoffs. Vor 4,5 Milliarden Jahren lag er bei 10%, und ohne die Ozeane und die Bildung der Kontinente mit ihren riesigen Carbonatablagerungen hätte er nie die niedrigen Werte erreicht, die Voraussetzung für ein Leben auf den Kontinenten waren; es wäre viel zu heiß gewesen.

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist die Mutter aller Bestandteile der belebten Natur, es wird durch die Fotosynthese und durch mikrobielle Prozesse in die Welt der Biomoleküle eingeführt und durch Zersetzung aller Lebewesen wieder rückgebildet. In diesen Kreislauf greift nun der Mensch durch Verbrennen fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas bedenkenlos ein.

Auch werden Wälder abgeholzt oder niedergebrannt, wodurch der Bestand an langlebiger Biomasse (Holz) auf unserem Planeten dramatisch reduziert wird. Das Ergebnis ist alarmierend. Bis in die Neuzeit schwankte die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zwischen 180 und 260 ppm (*parts per million*), also bis 260 Teile pro einer Million Luftteile (d.h. 0,026%). Dann setzte ein bis heute ungebremster Anstieg ein. 1978 lag die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei 335 ppm, und 2014 erreichte sie die 400 ppm-Marke. Gegenwärtig steuern wir auf 415 ppm zu. Wenn das so weiter geht, muss 2050 mit 600 ppm gerechnet werden. Vielen Lesern sagt dieser Anstieg vielleicht wenig hinsichtlich seiner Folgen. Man kann sich vorstellen, dass das CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre eine Art Schleier bildet. Durch diesen Schleier gelangt die Wärmestrahlung in den Weltraum, beim Zusammenstoß mit den CO<sub>2</sub>-Molekülen wird sie aber zur Erde zurück geschickt. Bei 415 ppm sind wesentlich mehr CO<sub>2</sub>-Moleküle vorhanden als bei 260 ppm, der Schleier ist dichter, weniger Strahlung dringt nach draußen und mehr wird zurück zur Erdoberfläche geleitet. Das ist der sogenannte Treibhauseffekt, zu dem auch andere Gase wie Methan und Lachgas (Distickstoffmonoxid) beitragen. Dieser Treibhauseffekt bewirkt den Klimawandel.

Was bedeuten diese ppms nun in Mengen CO<sub>2</sub>? In der Atmosphäre befinden sich etwa 3000 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>. Davon gehen 900 Milliarden Tonnen auf das Konto des modernen Menschen. Durch Verbrennungsprozesse sind sie über den Kohlenstoffkreislauf hinaus in die Atmosphäre gelangt, und es kommen jährlich etwa 37 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> hinzu. Daran sind wir in Deutschland mit etwa 2,2% beteiligt. Diese Menge zu reduzieren ist eine Aufgabe von allerhöchstem Stellenwert. Sie wird in Deutschland mit dem Klimaschutzgesetz in Angriff genommen. Es wird aber nicht reichen, selbst, wenn sich die Welt der deutschen Initiative anschließen würde, was natürlich illusorisch ist. Allein durch Einsparungen ist das Klima nicht zu retten. Es gibt nur ein Maßnahmenpaket, das Abhilfe schaffen könnte. CO<sub>2</sub> muss aus der Atmosphäre zurück auf die Erde geholt werden, und zwar in gigantischem Ausmaß und mit entsprechendem Aufwand. Es müssen riesige CO<sub>2</sub> -Speicher angelegt werden. Drei Maßnahmen müssen ergriffen bzw. verstärkt werden.

Bei der ersten Maßnahme, dem CCS-Verfahren (*carbon capture and storage*) wird CO<sub>2</sub> in Wasser gelöst und in poröses Basaltgestein gedrückt. Dort „versteinert“ es zu Carbonaten. Auch ehemalige Lagerstätten von Erdöl, Kohle oder Salz ließen sich zu CO<sub>2</sub> Lagerstätten umrüsten. Es ist dringend geboten, diese CO<sub>2</sub> -Speicher so auszubauen, dass Milliarden Tonnen von CO<sub>2</sub> gespeichert werden können. Es wird geschrieben, dass das alles unwirtschaftlich sei. Schon in wenigen Jahren wird es ums Überleben gehen, und da sind solche Berechnungen nicht relevant.

Die zweite Maßnahme ist eine Waldwirtschaft in einer bisher noch nicht betriebenen Größenordnung. Der kanadische Präsident hat kürzlich verkündet, dass er zwei Milliarden Bäume anpflanzen lassen wolle. Das ist ein Wort. Entsprechende Erklärungen könnten die Präsidenten der USA, Brasiliens, Russlands, Chinas und der EU abgeben. Das macht zwölf Milliarden Bäume, etwa 0,4% des weltweiten Baumbestandes. Über den Daumen gepeilt, wachsen diese in zehn Jahren zu einer langlebigen Biomasse (Holz) von zwölf Milliarden Tonnen heran. Auf keinen Fall soll diese als Brennmaterial verwendet werden.

Es folgt nun eine Überlegung, die die meisten Leser für abwegig, möglicherweise sogar für verrückt halten werden. Aber wir können es drehen und wenden wie wir wollen, es geht nicht anders. Riesige Holzdeponien müssen angelegt werden und zwar so, dass die Verrottung minimal ist und wenig CO<sub>2</sub> gebildet wird. Durch das Wachstum der Bäume wird der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen, Holz wirkt praktisch als ein CO<sub>2</sub> Speicher. Im gewählten Beispiel würden etwa zwölf Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> am Boden bleiben. Das ist die Größenordnung der

Anstrengungen, die unternommen werden müssen, um den Klimakollaps zu verhindern. An vielen Orten auf der Erde müssen Klimaparks entstehen. Klimaparks, in denen Millionen von Bäumen wachsen und geerntet werden, in denen CO<sub>2</sub>-Speicher das Bild beherrschen. Mehr naturbelassene Wälder und Brachflächen können sich erst wieder spätere Generationen leisten.

Und schließlich die dritte Maßnahme: Weniger kurzlebige Biomasse, also das, was jährlich wächst und wieder vergeht, sollte den Bakterien, Pilzen und dem Feuer überlassen werden. Es gibt ja bereits Technologien zur Gewinnung von Biogas, Biodiesel, Biobenzin und von Kraftstoffen nach dem BTL-Verfahren. BTL steht für „*Biomass To Liquid*“. Das sind also Verfahren zur Gewinnung von Treibstoffen aus Biomasse. Nur damit haben Verbrennungsmotoren noch eine Zukunft. Deshalb müssen hier die Entwicklungen forciert werden, denn das alles sind CO<sub>2</sub> neutrale Prozesse. Darüber hinaus muss kurzlebige Biomasse auch als CO<sub>2</sub>-Speicher genutzt werden. Zu fragen ist, ob Maisstroh, es sind immerhin zwanzig Tonnen pro Hektar, nicht dauerhaft eingelagert werden kann. Bei einer Anbaufläche in Deutschland von 2,5 Millionen Hektar sind es 50 Millionen Tonnen Stroh pro Jahr. Wir schauen tatenlos zu, wie aus 50 Millionen Tonnen Stroh jährlich mehr als 50 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> entstehen und in den Himmel aufsteigen. In den USA landen jährlich ungefähr 750 Millionen Tonnen Biomasse im Maisstroh. Was wäre das für ein CO<sub>2</sub>-Speicher, wenn diese Biomasse so eingelagert werden könnte, dass sie nicht verrottet.

Man kann aber auch warten bis als Folge der Erderwärmung der letzte Alpengletscher als Bächlein zu Tale rinnt, Inseln versinken, Fluten in Küstenregionen gegen Kirchenmauern und Rathäuser prallen und halbe Kontinente wegen der Hitze unbewohnbar werden. So weit sollte es nicht kommen, und es ist besser, jetzt entsprechende Anstrengungen zu unternehmen, wobei die Forstwirtschaft und die Landwirtschaft zusammen mit der Grünen Gentechnik ins Zentrum des Handelns gehören.

Empfehlung: Klimaparks als CO<sub>2</sub>-Speicher müssen in großer Zahl angelegt werden. Nur so wird es gelingen, lebenswerte Bedingungen auf der Erde dauerhaft zu erhalten.

*Diesen Artikel schrieb der Autor aus Sorge um die Zukunft dieser Erde und aus Sympathie für „Fridays for Future“.*

*Gerhard Gottschalk ist emeritierter Professor für Mikrobiologie und Genomforschung an der Georg-August-Universität Göttingen. Er war Rektor der Göttinger Universität und wurde mehrfach ausgezeichnet.*