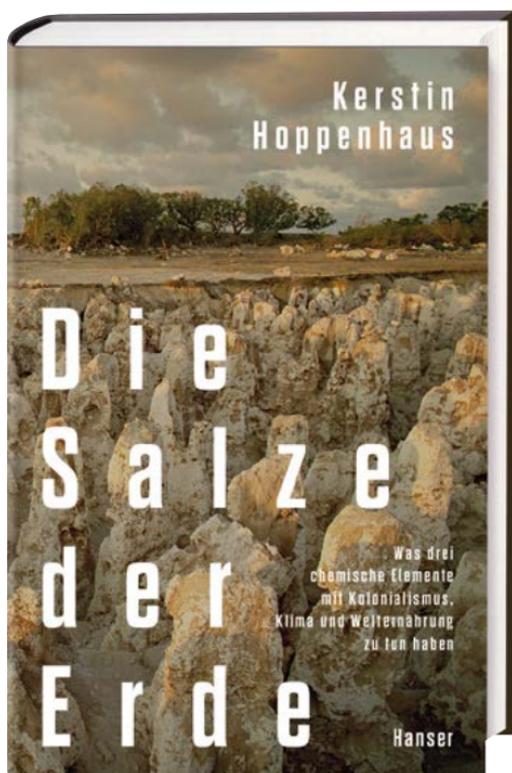


Leseprobe aus:

Kerstin Hoppenhaus  
Die Salze der Erde



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf  
[www.hanser-literaturverlage.de](http://www.hanser-literaturverlage.de)

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

HANSER





Kerstin Hoppenhaus

# Die Salze der Erde

Was drei chemische Elemente  
mit Kolonialismus, Klima und  
Welternährung zu tun haben

Hanser

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-446-27970-4

Copyright © 2024 Kerstin Hoppenhaus

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke  
des Text und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

Umschlag: © Anzinger & Rasp, München

Motiv: © John Gollings AM

Deutschlandkarte und Weltkarte S. 8 und 9:

© Huber Kartographie, Unterschleißheim

Satz: Greiner & Reichel, Köln

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany



**MIX**  
Papier | Fördert  
gute Waldnutzung  
**FSC® C014496**

# Inhalt

Einleitung .....	11
------------------	----

## Teil 1: Nährstoff

Rohe Kräfte .....	23
Dung und Dünger .....	29
Das Gesetz des Minimums .....	35

## Teil 2: Rohstoff

Nährstoffe aus Übersee .....	43
Brot aus Luft .....	54
Monte Kali .....	67
Wo liegt Banaba? .....	87
Der Schatz am Storeknuten .....	119

## Teil 3: Schadstoff

Japsende Dorsche .....	137
Das Große Sterben .....	155
Ozeanische Ströme .....	164
Die atmende Marmor .....	176
Die große Mobilisierung .....	194

## Teil 4: Wertstoff

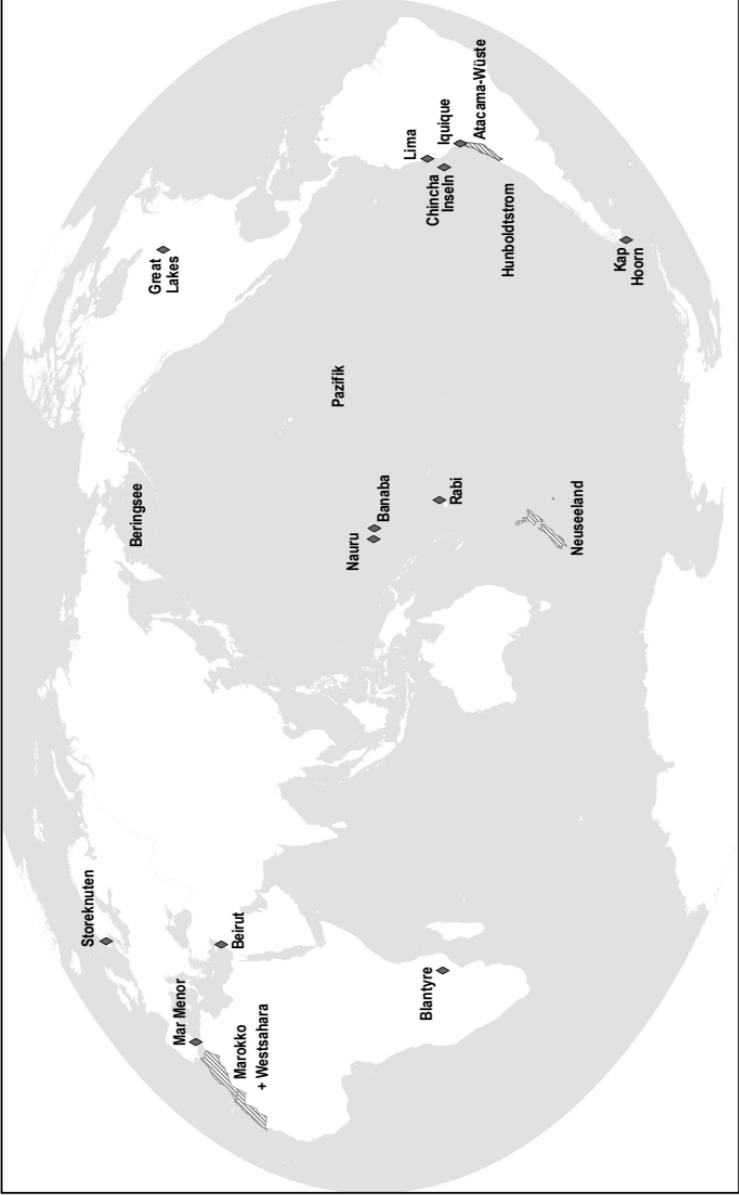
Bodenbildung in Malawi .....	215
Weniger fürs Meer .....	235
Eine Frage der Governance .....	249
Neue Verhältnisse .....	263

Epilog .....	278
Dank .....	280
Glossar .....	282
Anmerkungen .....	289
Bibliografie .....	310
Textnachweise für Mottos .....	327
Register .....	328

# Zeittafel

ÄON	ÄRA	PERIODE	EPOCHE	ALTER	
PHANEROZOIKUM	KANOZOIKUM	Quartär	Pleistozän	2,58 Mio. J. – 12.000 J.	
		Neogen	Pliozän	5,333 – 2,58 Mio. J.	
			Mioczän	23,03 – 5,333 Mio. J.	
		Paläogen	Oligozän	33,9 – 23,03 Mio. J.	
			Eozän	56 – 33,9 Mio. J.	
	Paleozän		66 – 56 Mio. J.		
	MESOZOIKUM	Kreide			145 – 66 Mio. J.
		Jura			201,3 – 145 Mio. J.
		Trias			251,9 – 201,3 Mio. J.
		Perm			298,9 – 251,9 Mio. J.
Karbon				358,9 – 298,9 Mio. J.	
PALÄOZOIKUM	Devon			419,2 – 358,9 Mio. J.	
	Silur			443,8 – 419,2 Mio. J.	
	Ordovizium			485,4 – 443,8 Mio. J.	
	Kambrium			541 – 485,4 Mio. J.	
	Ediacarium			635 – 541 Mio. J.	
PROTEROZOIKUM	NEOPROTEROZOIKUM	Cryogenium		720 – 635 Mio. J.	
		Tonium		1000 – 720 Mio. J.	







# Einleitung

## Im Herzen

Wann haben Sie zum letzten Mal Ihren Puls gefühlt? Ist schon ein bisschen her? Dann legen Sie mal Zeige- und Mittelfinger an Hals oder Handgelenk und fühlen Sie. Nur zu, ganz in Ruhe. Ich warte hier.

Gefunden? Sehr gut. Sie sind also am Leben. Das war zu erwarten. Und doch sollte es Sie erstaunen. Denn Ihr Herzschlag und was Sie sonst am Leben hält, entsteht aus dem feinen Zusammenspiel von lebloser Materie. Oder anders gesagt: Wenn Sie Ihren Puls fühlen, sehen Sie den Elementen bei der Arbeit zu. Für jeden Pulsschlag strömen zum Beispiel Kalium und andere Mineralien durch winzige Kanäle in der Hülle Ihrer Herzmuskelzellen. Nicht viel, nur gerade genug, um zu helfen, das System über die Schwelle zu heben und den nächsten Herzschlag auszulösen. Ganz ohne Ihr Zutun, autonom und verlässlich. Die Kalium-Kanälchen bestehen aus Proteinen, Eiweißen also, und die enthalten Stickstoff. Ohne diesen Stickstoff gäbe es keine Kanälchen, ohne Kanälchen keinen Kaliumstrom. Ohne Kalium keinen Puls. Und im Innern der Herzzellen geben bestimmte Moleküle Phosphor ab und damit Energie frei oder lagern Phosphor an, um Energie zu speichern. Auch ohne diese winzigen chemischen Batterien bliebe Ihnen das Herz stehen. Und das sind nur ein paar wenige Takte aus dem Tanz der Elemente, von dem Ihr Leben abhängt.

Die Anzahl der Tänzer ist überschaubar. Von den knapp

hundert natürlich auf der Erde vorkommenden chemischen Elementen bilden nur elf die wesentlichen Grundbausteine für alles Leben auf der Erde. Stickstoff, Phosphor und Kalium sind drei der wichtigsten, neben Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und einigen anderen. Dazu ein gutes Dutzend Spurenelemente wie Eisen, Jod oder Mangan. Diese wenigen Grundstoffe ermöglichen alles, was wir tun. Atmen. Denken. Fortpflanzen.

Sie gelangen über die Nahrung oder im Fall von Sauerstoff auch direkt aus der Luft in unsere Körper und gehen dort ihren chemischen und physikalischen Geschäften nach. Genau genommen bilden sie überhaupt erst unsere Körper, denn ohne das Zusammenspiel der Elemente gäbe es uns gar nicht. Das heißt, wir sind zwar Menschen mit eigenen Gedanken und einem eigenen Sinn. Aber wir sind eben auch »wandelnde, sprechende Mineralien«, wie die Biologen Lynn Margulis und Dorion Sagan schreiben.<sup>1</sup>

Und auch das nur auf Zeit. Denn für diese Elemente sind wir nichts weiter als ein Zwischenstopp auf ihrer Reise durch das Erdsystem. Wir nehmen sie auf, gliedern sie ein und scheiden sie wieder aus, mal schneller, mal langsamer, aber beständig. Stoffwechsel nennen wir das, sehr zu Recht. Fast alle menschlichen Gewebe werden so im Laufe unseres Lebens mehrmals komplett ausgewechselt. Und wenn wir schließlich sterben, löst sich das Gefüge, unsere Materie zieht weiter und bildet neue Allianzen. Wieder und wieder und wieder.

Wir haben uns daran gewöhnt, dies einen Kreislauf zu nennen. Doch ein Kreis ist ein mathematisches Konstrukt. Eine schöne und verführerisch einfache Form – die im richtigen Leben praktisch nicht vorkommt. Genau wie unser Blut nicht in Kreisen läuft und die Erde nicht um die Sonne kreist, reisen

auch die Elemente nicht in Kreisen um die Erde. Vielmehr um- und manchmal durchströmen sie den Planeten in einem unermesslich feinen und verschlungenen Netz. Sie folgen dabei eher den Gesetzen der Strömungsmechanik als strengen Bahnen, oft chaotisch, aber nicht regellos, voller Wirbel, Strudel, Turbulenzen, immer in Bewegung, immer im Wandel. Mal gelöst, mal gebunden, Berghänge, Flüsse, Ladungs- und Energiegradienten hinunter und manchmal hinauf, einzeln oder in Kaskaden, oft äonisch langsam und dann plötzlich rasend schnell. Lauter laufende Prozesse, ineinander vernestelt und verschlungen, ein scheinbar wirres Knäuel. Und doch seit Jahrmillionen in steter Wiederkehr. Der Pulsschlag der Erde.

Globale »biogeochemische« Zyklen sagen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu diesen Strömen der Elemente im Erdsystem. Auf den ersten Blick ein mächtig sperriges Wortungetüm, doch wenn man es genauer betrachtet, beschreibt es sehr gut, worum es hier geht: um »bio« und »geo«, verbunden mit »chemisch«. Also das Lebende und das Irdene, in ständiger Wandlung vom einen ins andere. Metamorphosen zwischen Leben und Tod. Stoffwechsel.

Dass dies überhaupt nicht selbstverständlich ist, zeigt ein kurzer Blick in unsere unmittelbare planetare Nachbarschaft. Dort sehen die Stoffströme ganz anders aus. Auf der Venus und auf dem Mars machen »geo« und »chemisch« die Dinge unter sich aus. Von »bio« keine Spur. Auf der Erde dagegen, wo Leben ist, kommt es, während der Planet mit seinem Kern aus brodelndem Eisen durchs All jagt, fortlaufend zu Übergängen zwischen »bio« und »geo«, zwischen lebend und nicht, die unter anderem dazu führen, dass Sie gerade diese Zeilen lesen. Denn die Elemente strömen nicht nur um Sie herum, sondern auch durch Sie hindurch.

Wenn wir Menschen sagen, wir sind ein Teil der Natur, dann meinen wir meist das Zusammenleben mit Blumen und Bienen oder Delfinen, als Teil eines Ökosystems. Aber tatsächlich ist unsere Verbindung mit der Erde sehr viel enger, inniger und wesentlicher, als wir uns das normalerweise bewusst machen. Deswegen tragen wir sie auch in unserem Namen: *Homo sapiens*. *Homo*, das lateinische Wort für Mensch und Mann, ist verwandt mit *humus*, lateinisch für Erde und Erdboden. *Humus*, die Erde, steckt auch in *human* und im englischen *humble* für demütig und bescheiden. Eine ähnliche Verwandtschaft gibt es auch im Hebräischen: *ādām* ist der Mensch, *adāmā* die Ackererde.<sup>2</sup> Alles, was wir essen, trinken, atmen, ist von dieser Erde. Wir sind von dieser Erde. Und diese Erde steht niemals still.

## Im Schlamm

Meine erste bewusste Begegnung mit dieser niemals stillen Erde war in der Mulde bei Dessau, wo ich Jahre meiner Ausbildung als Biologin verbracht habe. Dort, im heutigen Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe, gibt es einen der wenigen noch nahezu intakten Auwälder in Deutschland.

Das an sich ist schon etwas Besonderes, denn die Mulde war in ihrem Unterlauf jahrzehntelang biologisch praktisch tot, schwer belastet unter anderem durch die Abwässer aus dem Chemiekombinat Bitterfeld und das Sumpfungswasser, das aus den nahen Tagebauen des Mitteldeutschen Braunkohlereviere abgepumpt wurde. Die Aue dagegen, das Überflutungsgebiet rund um den Fluss, hat diese Zeit strukturell erstaunlich intakt überstanden, paradoxerweise gerade wegen der Schadstoffe im Wasser und in den Sedimenten, denn durch sie war eine Bewirt-

schaftung der Auenböden kaum möglich, und die Aue konnte sich beinahe naturbelassen entwickeln. Ein kostbares Habitat für alle, die nicht auf Böden oder Sedimente angewiesen sind. Und so stand ich zwei Sommer lang in Watstiefeln im Schlamm.

Die Arbeit war weder die schlickigste noch die mückigste noch die stinkigste, die ich je verrichtet habe. Sie sticht jedoch hervor durch die glorreiche Kombination aller drei Merkmale, nicht zuletzt, weil sich für einige meiner Insektenfallen mehrere Tage alte Schweineleber als der beste Köder erwies.

Mein Ziel war es, zu verstehen, wie die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften von Wasserkäfern in einer Flussaue zustande kommt. Doch gelernt habe ich etwas ganz anderes. Zwei Jahre lang habe ich ein komplexes und dynamisches System intensiv und aus nächster Nähe begleitet, über verschiedene Jahreszeiten, Witterungen, Wasserpegel hinweg. Ich stand in halb verlandeten Altarmen, offenen Wiesenteichen und waldigen Tümpeln. Ich fing Wassertreter und Taumelkäfer, zangenbewehrte Gelbrandkäferlarven und fingerlange, schwarze Kolbenwasserkäfer. Ich sah, wie anpassungsfähig diese Arten waren, und auch, warum sie das sein mussten. Denn die verdammte Aue war niemals gleich.

Wo in einer Woche ein Tümpel fast trockenlag, stand in der nächsten Woche das Wasser knietief. Wo im einen Jahr das Ufer dicht bewachsen war und fest, war es im Jahr darauf weggespült und kahl. Die ganze Aue, scheinbar friedlich und still, war in ständiger Bewegung, eine mäandernde Welt aus unaufhörlich strömenden Elementen. Es ist eine Sache, von den Weisen zu hören, man steige niemals in denselben Fluss. Es ist eine ganz andere Sache, in diesem Fluss zu stehen und zu erleben, dass nichts bleibt, wie es war. Die Zeit in der Muldeaue hat meinen Blick auf die Welt bis heute geprägt. Nichts auf der Erde bleibt

da, wo man es hintut. Und nichts ist jemals weg. Sondern nur woanders.

Nach dem Biologiestudium ging ich zum Film, wurde Journalistin. Andere hielten länger durch. Hartnäckig, geduldig und klug verfolgten sie weiter ihre Fragen. Es war eine interessante Zeit für Ökologinnen und Ökologen. Sie stellten sich der Komplexität und auch den Unschärfen der Natur und machten sich daran, unsere Vorstellung von der Welt und von dem, was wir »Umwelt« nennen, zu verändern. Sie verabschiedeten sich von der Idee eines statischen »Gleichgewichts der Natur« und begannen stattdessen, sogenannte »Störungen«, also Hochwasser, Feuer oder auch nur einen Fußabdruck im Moos, als normale Bestandteile von Ökosystemen zu verstehen und »Stabilität« als eine Illusion, ein Artefakt aufgrund eines Mangels an Daten, verursacht durch die relativ kurze Lebensspanne der Betrachter und mangelnde Computerleistung für ausreichend komplexe Modelle und Simulationen (und vielleicht ein Stück Wunschdenken der kurzlebigen Menschheit, die nichts so sehr zu misstrauen scheint wie dem Wandel).

Mehr und mehr gingen sie dazu über, komplexe Ökosysteme als Ganzes zu betrachten, mit all ihren dynamischen Beziehungen zwischen den verschiedenen Bestandteilen. Damit war die Ökologie Teil eines Trends hin zu den sogenannten Systemwissenschaften, der sich Anfang des 21. Jahrhunderts in vielen Disziplinen entwickelte, zum Beispiel auch in den Geowissenschaften oder in der Medizin. Ihr Ziel war es nicht nur, komplexe Systeme zu verstehen, sondern möglichst auch Vorhersagen über deren Verhalten zu treffen.<sup>3</sup> Durch ihre Arbeit haben wir ein sehr viel tieferes Wissen über die großen Stoffströme der Erde gewonnen (aber wie der Wasserkäfer seinen Tümpel wählt, wissen wir noch immer nicht ...).

## Im Strom

Einige dieser Stoffströme sind uns geläufiger als andere. Der Wasserkreislauf zum Beispiel, in dem Moleküle aus Wasserstoff und Sauerstoff beständig zwischen Erdkruste, Lebewesen und Atmosphäre hin und her fließen. Auf ihrem Weg um den Planeten dienen sie als unersetzliche Nahrung, als Lebensraum, als Transportweg oder auch dem Badespaß. Verschiebungen in ihren Pfaden spüren wir unmittelbar und oft sehr drastisch, mal als Dürre, mal als Flut. Und an vielen Verschiebungen sind wir Menschen inzwischen maßgeblich beteiligt, etwa wenn durch unsere Aktivitäten die Eiskappen an den Polen abschmelzen oder die Erdachse zu kippen beginnt, weil wir so viel Grundwasser abpumpen.<sup>4</sup>

Auch über den Kohlenstoffkreislauf wissen die meisten Menschen inzwischen mehr, als ihnen lieb ist. Kohlenstoff ist der Grundbaustein allen Lebens auf der Erde. Doch er kann auch über lange Zeiten als Kohlendioxid in der Atmosphäre verbleiben und trägt dort dazu bei, dass ein Teil der Strahlungswärme, die die Sonne zur Erde schickt, hier gehalten wird und der Planet nicht vereist. Gelangt jedoch zu viel Kohlendioxid in die Atmosphäre, etwa durch das Verbrennen von fossilen Rohstoffen, dann überhitzt der Planet. So wie jetzt.

Auch Stickstoff, Phosphor und Kalium, die drei anderen großen Bausteine des Lebens, sind beständig im Erdsystem unterwegs, mit ähnlich weitreichenden Folgen. Doch ihren Strömen schenken die meisten Menschen bisher kaum Beachtung. Dabei sind sie nicht nur für unser biologisches Überleben essenziell und für das ganzer Ökosysteme. Sie haben auf ihre stille, stetige Weise auch einen mächtigen Einfluss auf unser gesellschaftliches Zusammenleben, auf unsere Geschichte und

unsere Kultur. Kriege gehen auf sie zurück, ganze Nationen verdanken ihnen ihre Existenz, sie prägen unseren Alltag, unsere Sprache, unsere Lebenswelt, bringen Wohlstand für einige und anderen Vernichtung.

Und noch etwas macht sie interessant. Ständig werden sie vom Leben verbraucht. Doch obwohl sie knapp sind, gehen sie niemals aus. Das ist kein billiger Taschenspielertrick der Erde, das hat System. Ein System, von dem wir uns eine Menge abgucken können. Ein Kreis mag nichts weiter sein als eine Abstraktion. Doch eine nützliche. Und die Kreislaufwirtschaft der Erde ist ein mehr als nützliches Vorbild dafür, wie wir unsere eigene Zukunft erhalten können.

Die drei Elemente, einmal in Bewegung gesetzt, entfalten gewaltige Kräfte, die Erde zu gestalten. Als diejenigen, die sie zunehmend in Bewegung setzen, übernehmen wir damit eine große Verantwortung. Allein deswegen lohnt es sich, sich näher mit ihnen zu befassen.

Den verschlungenen Strömen von Stickstoff, Phosphor und Kalium um die Erde zu folgen ist nicht immer ganz einfach. Aber das macht nichts.

Wir machen es wie beim Riesenrad auf dem Rummelplatz: Wir steigen an der Basis ein, beim Ursprung ihrer Kräfte. Wir sehen, wie die drei nicht nur unser Herz betreiben, sondern alles Leben auf der Erde. Und auch, dass sie nicht nur nähren, sondern auch zerstören können. Und wir lernen, dass sie Gesetzen folgen, denen auch wir unterliegen, sosehr wir uns auch mühen, sie zu beugen. Dabei tritt am Anfang der Stickstoff in den Vordergrund, weil er chemisch und historisch oft der erste ist. Doch keiner der drei wirkt jemals allein. Sie alle sind unersetzlich.

Dann beginnt die Rundfahrt. Wir steigen auf mit unserem

Riesenrad, der Blick weitet sich, und wir schauen in die Geschichte. Wir sehen, was die Menschen alles darangesetzt haben, um die essenziellen Substanzen zu erlangen. Wir sehen, welche Folgen unsere Abhängigkeit von den drei Elementen hatte und noch immer hat. Und wie wir sie noch verstärkt haben, indem wir aus den lebensnotwendigen Nährstoffen weltweit gehandelte Rohstoffe gemacht haben, die bis heute nicht nur unsere Wirt- und Landschaft mitbestimmen, sondern auch unser gesellschaftliches Zusammenleben und unsere Kultur. Wir sehen, welchen Gewinn diese Rohstoffe uns gebracht haben, aber auch, welchen Schaden ihre Gewinnung mit sich bringt.

Im dritten Teil wird das ganze Ausmaß der Folgen unseres Nährstoffkonsums sichtbar. Es trifft den ganzen Planeten. Die gigantischen Ströme vor allem an Stickstoff und Phosphor, die wir in Bewegung gesetzt haben, um immer mehr Menschen zu ernähren, drohen, das System Erde an seine Grenzen zu bringen. Vor allem im Wasser, aber auch zu Lande und in der Luft. Wir haben aus den Nährstoffen Schadstoffe gemacht.

In Teil vier wenden wir uns wieder dem Boden zu, denn dort erwartet uns eine Vielzahl möglicher Lösungen. Hier unten werden Stickstoff, Phosphor und Kalium zu Wertstoffen, die wir zwar nutzen, aber nicht verbrauchen wollen. Eine solche regenerative Kreislaufwirtschaft ist möglich. Das macht uns die Erde seit vielen Millionen Jahren vor. Es wird allerdings nicht reichen, sich nur ein paar Kniffe abzugucken. Um dauerhaft im Erdsystem bestehen zu können, müssen wir uns ändern – und zwar sowohl unser Verhalten als auch den Blick auf unseren Platz in der Welt.

Die drei Elemente haben also viele Gesichter. Und mehr Macht über unser Leben, als die meisten von uns ihnen wohl

zugestehen würden. Darin steckt eine Menge Zündstoff. Buchstäblich.

Interessiert? Na dann: Einsteigen bitte! Kommen Sie, sehen Sie, staunen Sie! Willkommen in der Welt von Stickstoff, Phosphor und Kalium.

**Teil I**

# **Nährstoff**

In der großen Verkettung von Ursachen und Wirkungen  
darf kein Stoff, keine Thätigkeit isoliert betrachtet werden.

*Alexander von Humboldt*



## Rohe Kräfte

Reiner Stickstoff ist ein farbloses, geruchloses, ungiftiges und reaktionsträges Gas. Beinahe langweilig. Und doch kann Stickstoff gewaltige Kräfte freisetzen. Am frühen Abend des 4. August 2020 tat er genau das. Auf katastrophale Weise, im Hafen der libanesischen Hauptstadt Beirut.

Dort war in einer Lagerhalle ein Feuer ausgebrochen, ausgelöst wahrscheinlich durch ein paar fliegende Funken bei Schweißarbeiten. Eingelagerte Feuerwerkskörper gerieten in Brand, das Feuer weitete sich aus, es gab eine erste Explosion, gefolgt von einer weit heftigeren zweiten. Videos zeigen, wie der Druck dieser Explosion eine gewaltige Kuppel aus Wasserdampf aufwölbt, dann rast die Stoßwelle wie eine Wand aus komprimierter Luft über die Stadt hinweg. Ganze Quartiere wurden verwüstet, mehrere Krankenhäuser mussten schließen, ein Kreuzfahrtschiff kenterte. Über 200 Menschen starben, Tausende wurden verletzt, Hunderttausende obdachlos. Anstelle des Lagerhauses ist nur noch ein gefluteter Krater zu sehen.

An dem rotschwarzen Rauch über dem Hafen sahen Experten sofort: Das war Stickstoff. Genauer: Ammoniumnitrat, eine Stickstoffverbindung, die als Ausgangsmaterial für verschiedene Sprengstoffe dient, die vor allem im Bergbau gebraucht werden. Ammoniumnitrat ist an sich relativ harmlos, doch in Kombination mit einem Brennstoff und wenn es großer Hitze oder Druck ausgesetzt ist, kann es explodieren. Schwere Industrieunfälle in den USA und auch in China gehen auf Ammonium-

nitrat zurück. Deswegen müssen bei der Lagerung normalerweise strenge Sicherheitsvorschriften beachtet werden. Doch das Ammoniumnitrat in Beirut war dort nie für eine Einlagerung vorgesehen.

Die Chemikalie kam ursprünglich aus Georgien und sollte an eine Sprengstofffabrik in Mozambik geliefert werden.<sup>1</sup> Aus finanziellen Gründen entschied der russische Eigner jedoch, dass das Frachtschiff einen Zwischenstopp in Beirut einlegen sollte, um zusätzliche Ladung aufzunehmen. Dort setzten die libanesischen Behörden das Schiff wegen technischer Mängel fest. Das war 2013. Wenig später wurde das Schiff von seinem Eigentümer aufgegeben, mitsamt seiner heiklen Fracht. Als die Crew von Bord ging, wurden die Säcke mit Ammoniumnitrat an Land gehievt und blieben dort jahrelang schlecht gesichert in einer Halle liegen. Das marode Schiff sank später an anderer Stelle im Hafen. Viele Libanesinnen und Libanesen sahen in der Explosion das tragische Resultat von jahrzehntelanger Korruption und Misswirtschaft in ihrem Land und gingen voller Wut auf die Straße. Wenige Tage später trat die Regierung zurück. Stickstoff kann also als träges Gas in der Luft herumhängen. Oder er kann in wenigen Sekunden die Geschichte eines Landes verändern.

Und in einigen Jahrzehnten die Geschichte der ganzen Menschheit. Ausgerechnet am markantesten Wahrzeichen der Katastrophe in Beirut, an den hoch aufragenden Türmen des zentralen Getreidespeichers gleich neben dem Krater im Hafen, zeigt sich die eigentliche Gestaltungsmacht von Stickstoff. Denn dort, am Fuß der aufgerissenen Zylinder aus Stahlbeton schwelen und rotten wie ausgespien Berge aus Weizen und Mais. Diese Massen an Getreide würde es ohne Stickstoff nicht geben. Bei aller Sprengkraft, die im Stickstoff schlummert –

seine wahre Superkraft liegt nicht darin, Leben zu vernichten. Sondern darin, es wachsen zu lassen.

Phosphor und Kalium führen ein ähnliches Doppelleben. Auch sie können mächtige zerstörerische Kräfte freisetzen, im Schießpulver etwa, oder in den verheerenden Phosphorbomben, die im Zweiten Weltkrieg ganze Städte verwüstet haben und die trotz internationaler Abkommen noch immer eingesetzt werden. Doch auch sie sind gleichzeitig unersetzlich für alles Leben auf der Erde. Und obwohl die drei Elemente so ein formidables *Trio infernale* abgeben, ist es diese, ihre nährenden Kraft, die die Geschicke der Menschheit weit mehr bestimmt, als die meisten Menschen das wohl erwarten würden.

Der Getreidespeicher im Hafen von Beirut fasste in intaktem Zustand rund 100 000 Tonnen. Diese Größe war notwendig, um die regelmäßigen Getreideimporte aufzunehmen, ohne die das Land seine Menschen nicht ernähren kann. Die Mengen an Weizen, Gerste und Mais, die notwendig sind, um diesen und zahllose vergleichbare Speicher in den Häfen der Welt zu füllen, sind ohne Dünger nicht denkbar. Und in diesem Dünger sind Stickstoff, Phosphor und Kalium die wichtigsten Elemente. Die drei werden oft in einem Atemzug genannt, oft in der Kurzformel NPK, zusammengesetzt aus den chemischen Zeichen für Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K). Gemeinsam bildet dieses elementare Dreigespann eine der entscheidenden Grundlagen für die Ernährung der Welt.

Das ist an sich keine neue Entwicklung. Die drei Elemente sind wesentlicher Bestandteil allen Lebens auf der Erde, und wir haben sie schon immer über die Nahrung aufgenommen. Doch dass Menschen die globalen Ströme von Stickstoff, Phosphor und Kalium gezielt manipulieren, um Nahrung zu erzeugen, das ist eine Neuerung aus den letzten 12 000 Jahren, als die

Menschen anfangen, sesshaft zu werden und Landwirtschaft zu betreiben. Um zu verstehen, warum das ohne Dünger nicht geht, müssen wir uns vorübergehend von den Menschen ab- und den Pflanzen zuwenden.

## Nahrung für alle

Pflanzen sind etwas Besonderes. Anders als die meisten anderen Lebewesen können sie die Energie des Sonnenlichts einfangen und mit Wasser aus der Erde und Kohlendioxid aus der Luft in feste Masse umwandeln. Essbare Masse. Damit sind sie die Grundlage fast aller Nahrungsnetze auf dem Planeten. Auch unserer. Doch sie könnten das nicht ohne Stickstoff, Phosphor und Kalium. Natürlich haben sie keinen Pulsschlag und auch keine Nerven oder Knochen, in denen die drei Elemente zum Einsatz kommen könnten. Dafür sind sie grün. Die meisten jedenfalls. Und damit fängt es an.

Pflanzen (wie auch einige Bakterien und Algen) sind grün, weil sie den Farbstoff Chlorophyll enthalten. Das Chlorophyll dient dazu, die Sonnenenergie einzufangen, und ein zentraler Baustein von Chlorophyll ist Stickstoff. Genügend Stickstoff heißt mehr Chlorophyll, heißt mehr Energie, heißt mehr Grün. Oft sieht man den Pflanzen direkt an, wie gut ihre Stickstoffversorgung gerade ist.

Und noch an anderer Stelle im komplexen Spiel der Photosynthese ist Stickstoff essenziell: in einem Enzym mit dem großen Namen Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase/-oxygenase, besser bekannt als RuBisCo oder einfach Rubisco. Enzyme sind wichtige chemische Werkzeuge im Stoffwechsel. Sie bestehen aus Proteinen, und Proteine enthalten Stickstoff. Es gibt Tau-

sende Enzyme in jeder Pflanze, die Tausende von Reaktionen in der Sekunde in Gang setzen. Unter ihnen hat Rubisco eine Schlüsselrolle. Es steht sozusagen an der Schwelle von der anorganischen zur organischen Welt, indem es hilft, das Kohlendioxid aus der Luft aufzubrechen, sodass der darin enthaltene Kohlenstoff weiter zu Zucker verarbeitet und in der Pflanze verbaut werden kann. An Rubisco kommt keiner vorbei. Seine Reaktionen sind das Nadelöhr der Photosynthese. Doch Rubisco ist weder schnell noch präzise. Im Gegenteil. Es ist langsam und tüdelig.<sup>2</sup> Entsprechend schlecht ist sein Ruf. Selbst unter seriösen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern fallen Ausdrücke wie »Faulpelz« und »Trantüte«, wenn von Rubisco die Rede ist. Um dieses Maß an Inkompetenz einigermaßen auszugleichen, produzieren Pflanzen Rubisco en masse. Es ist wahrscheinlich das mengenmäßig häufigste Enzym der Erde. In vielen Pflanzenblättern macht es nahezu die Hälfte des gesamten Proteingehalts aus. Entsprechend viel Stickstoff brauchen die Pflanzen für seine Produktion.<sup>3</sup>

Stickstoff steckt noch in vielen anderen wichtigen Verbindungen im Pflanzenleben, nicht zuletzt im Erbmateriale der DNA. Dort hat auch Phosphor eine wichtige Funktion, denn durch seine chemischen Eigenschaften ist er in der Lage, besonders stabile Verbindungen zwischen den DNA-Bausteinen zu knüpfen und so das biologische »Gedächtnis« eines Organismus vor dem Verlust zu bewahren. Ohne eine stabile DNA würden die Zellen in eine »biochemische Amnesie« verfallen und »wüssten« nicht mehr, wie sie Enzyme und alles andere herstellen sollen oder was sie sonst noch zu tun haben.<sup>4</sup> Phosphor ist außerdem ein wichtiger Bestandteil der Zellmembranen, die das Innere der Zelle vom Äußeren trennen. Und wie Ihre Herzzellen können auch Pflanzenzellen ohne das Energiespeicher-

Molekül Adenosintriphosphat (ATP) nicht arbeiten. Auch Phosphor ist daher für das Pflanzenwachstum unerlässlich.

Kalium dagegen wird nicht direkt beim Aufbau neuer Pflanzenteile verwendet. Stattdessen reguliert es unter anderem den Wasserhaushalt der Pflanze. Eine hohe Kaliumkonzentration in den Zellen führt dazu, dass eine Pflanze viel Wasser aufnimmt. Im Leitungssystem der Pflanzen hat das zum Beispiel Einfluss auf den Wurzeldruck, der dafür sorgt, dass der Pflanzensaft mit den Nährstoffen aus dem Boden nach oben strömen und die Pflanze versorgen kann. Auch in den Blättern steigt mit dem Kaliumgehalt der Druck, der sogenannte Turgor, über den die Pflanze unter anderem das Öffnen und Schließen der Blattporen steuert, durch die das Kohlendioxid überhaupt erst in die Pflanze hineinkommt (um dann von Rubisco zerlegt zu werden).

Die Elemente sind also schwer beschäftigt in der Pflanze und werden dringend gebraucht. Die Versorgung mit diesen Nährstoffen regeln Pflanzen normalerweise selbst, indem sie da sterben und verrotten, wo sie gewachsen sind, und ihre Nährstoffe so an den Boden zurückgeben zum weiteren Gebrauch für die Nachbarn und indem sie das nutzen, was auf anderen Wegen, etwa durch Verwitterung oder durch andere Lebewesen, in den Boden an ihrem Standort eingetragen wird. Und wenn das nicht reicht, dann wachsen sie eben nicht.

Landwirtschaft läuft anders. Wenn man Pflanzen anbaut, um sie anderswo zu verzehren, dann führt das dazu, dass dem Boden Nährstoffe entzogen werden. Wenn man außerdem den Boden umgräbt, etwa um neue Pflanzen zu pflanzen, wird der Humus, der organische Anteil des Bodens, in dem die meisten Nährstoffe sitzen, schneller abgebaut, und die Nährstoffe schwinden. Jede Form von Landwirtschaft muss also Wege finden, die Nährstoffbestände im Boden wieder aufzufüllen.

## Dung und Dünger

Diese Erfahrung machten schon die ersten Landwirtinnen und Landwirte, die es je gab. Sie lösten das Problem, indem sie nach ein paar Ernten einfach weiterzogen und an anderer Stelle neues Land umbrachen und sich so ein neues Nährstoffreservoir erschlossen. Oft brannten sie Flächen nieder, und mit der Asche kamen eine Zeit lang zusätzliche Nährstoffe ins System.

Andere frühe Bauern ließen sich die Nährstoffe bringen, etwa indem sie sich in den Überschwemmungsgebieten von Flüssen niederließen, wo Hochwasser immer wieder nährstoffreichen neuen Schlamm heranspülten.<sup>5</sup> Doch Verbrennen und Weiterziehen ist beschwerlich und verbraucht große Flächen, und Schwemmlandschaften sind begrenzt. Die meisten traditionellen Landwirtschaften setzten daher auf irgendeine Form des Recyclings von organischem Material.

Das Naheliegendste war es natürlich, Ernteabfälle wie Halme und Spelzen gleich wieder aufs Feld zu schaffen und in den Boden einzuarbeiten. Doch das ist mühsame Arbeit (besonders zu einer Zeit, als der Pflug noch nicht erfunden war). Vor allem aber war das Stroh ein wichtiger Rohstoff für eine ganze Reihe konkurrierender Zwecke, etwa als Baumaterial, Brennstoff oder Tierfutter, und damit eigentlich zu wertvoll, um es einfach wieder aufs Feld zu geben. Das gilt für viele kleinbäuerliche Betriebe bis heute.

Eine weitere wichtige Nährstoffquelle war Dung, und zwar sowohl der von Tieren als auch der von Menschen. Im Tierdung wird ein Teil der Nährstoffe aus dem Stroh und aus allem

anderen, was die Tiere gefressen haben, aufkonzentriert und kann in vergleichsweise kompakter Form wieder aufs Feld gebracht werden. Vor allem die »Waldweide«, bei der Kühe oder Schweine tagsüber mehr oder weniger frei im Wald unterwegs waren und nur nachts eingehegt wurden, war eine gute Methode, Nährstoffe aus der Umgebung »einzusammeln«. Mist als Düngemittel ist schon bei den alten Griechen beschrieben, und im alten Rom schätzte man schon vor rund 2000 Jahren Hühnerkot als den überlegenen Dünger gegenüber allem anderen Mist.<sup>6</sup> Jeder Güllesprenger, hinter dem Sie auf der Landstraße herschleichen, ist also die Fortsetzung einer jahrtausendealten Recyclingkultur.

Ideal ist diese Form der Düngung allerdings auch nicht. Der Transport vom Ort der Tierhaltung aufs Feld ist aufwendig und ineffizient, denn ein Großteil der Masse, die transportiert werden muss, ist nicht Dünger, sondern Wasser. Das gilt vor allem, wenn wie im Fall der Gülle der Urin mit gesammelt und ausgebracht wird. Auch geht ein beträchtlicher Teil der Düngewirkung unterwegs verloren, weil sich die Nährstoffe zum Teil in die Luft verflüchtigen oder aus dem Boden ausgewaschen werden, bevor sie von den Pflanzen auf dem Acker aufgenommen werden.

Menschlicher Dung und Urin sind ebenfalls sehr reich an Nährstoffen, denn wie alle Tiere scheiden auch wir einen Großteil der mit der Nahrung aufgenommenen Nährstoffe gleich wieder aus. So finden sich zum Beispiel bei Erwachsenen 75 bis 90 Prozent der täglich aufgenommenen Stickstoffmenge direkt im Urin wieder.<sup>7</sup>

In China und auch in Japan gab es daher noch bis weit ins 20. Jahrhundert hinein die Tradition, die menschlichen Exkremente in den Städten einzusammeln und auf den umliegenden

Feldern auszubringen, die sogenannte »Nachterde«, ein schöner Name für ein vielleicht nicht ganz so schönes, aber doch sehr wertgeschätztes Produkt. Doch obwohl in China in einigen Regionen bis zu 80 Prozent aller menschlichen Exkremamente recycelt wurden, war die Ausbeute an Nährstoffen begrenzt. Der kanadische Umweltwissenschaftler Vaclav Smil, der viele Nährstoffströme untersucht hat, schätzt die Menge an Stickstoff, die auf diesem Weg auf die Felder kam, auf etwa 20 Kilogramm pro Hektar. Zu wenig, um eine ständig wachsende Bevölkerung zu ernähren.<sup>8</sup>

Neben Ernteabfällen, Mist und Urin wurden überall auf der Welt noch viele andere organische Materialien recycelt: Rückstände aus Ölpresen, Kompost aus Markt- und Küchenabfällen, Schlamm aus Gräben, Teichen und Kanälen, alte Knochen und Abfälle aus dem Schlachthaus und alle möglichen anderen Stoffe, in denen sich Stickstoff, Phosphor und Kalium sammelten. Oft war der Nährstoffgehalt gar nicht besonders hoch – doch jeder Krümel, der half, die Fruchtbarkeit der Böden zu erhalten, war kostbar und eine Menge extra Arbeit wert. Dünger hatte man nie genug.

Wenn Recycling nicht mehr ausreicht, muss man neue Nährstoffquellen finden. Eine der wirkungsvollsten in der Geschichte war der Anbau von Hülsenfrüchtlern, den sogenannten Leguminosen. Zu dieser artenreichen Pflanzenfamilie gehören nicht nur Erbsen, Linsen und Bohnen, sondern auch Kichererbsen, Soja, Lupinen, Luzerne, Wicken und Klee. Die Wissenschaftsjournalistin Anne Preger berichtet, dass Bäuerinnen und Bauern in China schon vor mindestens 2500 Jahren Leguminosen pflanzten, um ihre Böden fruchtbarer zu machen.<sup>9</sup> Die Methode war so wirkungsvoll, dass sie von vielen ansonsten durchaus unterschiedlichen Kulturen auf vier Kontinen-

ten unabhängig voneinander in verschiedenen Varianten entwickelt wurde.<sup>10</sup> Mal wurden die eiweißreichen Hülsenfrüchte als Tierfutter genutzt, mal für den menschlichen Verzehr, mal als Untersaat gepflanzt, gemischt mit anderen Kulturen, mal als Teil einer Fruchtfolge im Wechsel mit Getreide.

In Deutschland machten im 17. und 18. Jahrhundert vor allem Klee und Luzerne einen Unterschied, auch dank des rastlosen Einsatzes zweier »Klee-Influencer«, wie Preger schreibt: Dem Pastor Philipp Ernst Lüders in Schleswig-Holstein und dem Schreiber Johann Christian Schubart in Sachsen-Anhalt, der später für seine Aufklärungsarbeit sogar geadelt wurde und fortan den Namenszusatz »Edler von dem Kleefeld« tragen durfte. Beide suchten nach Wegen, die Situation der Bauernfamilien zu verbessern, von denen viele damals in großer Armut lebten. Durch den Anbau von Klee als Zwischenfrucht konnten die Bauern ihre Erträge in kurzer Zeit deutlich steigern. »Wer früher sieben elende Kühe hielt, hatte nun zwölf bis vierzehn Kühe und jede von ihnen gab mehr Milch als man ehemals von zweien erhielt«, zitiert Preger aus einem dankbaren Nachruf für den Pastor.<sup>11</sup>

Auch in England trugen die Leguminosen wesentlich dazu bei, die landwirtschaftliche Produktion zu steigern. Dort nahmen zwischen den Jahren 1300 und 1800 die Ernteerträge von Weizen um gut zwei Drittel zu, die von Gerste und Hafer sogar noch etwas mehr. Ein Wissenschaftler aus Oxford schätzte 2008 in einer Studie ab, dass etwa die Hälfte dieser Zuwächse auf den Anbau von Hülsenfrüchtlern zurückzuführen ist.<sup>12</sup> Damit verbesserten die Leguminosen nicht nur die Versorgung der Landbevölkerung. Sie bereiteten auch den Boden für die industrielle Revolution, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in den Städten Englands ihren Anfang nahm. Denn die zusätz-

lichen Erträge setzten nicht nur die notwendigen Arbeitskräfte auf den Höfen frei, die dann in die Städte ziehen konnten. Sie sorgten auch dafür, dass diese vielen neuen Arbeiterinnen und Arbeiter in den Städten ernährt werden konnten. Der Historiker G. P. H. Chorley schlussfolgert deswegen sogar, dass die innovative Wirkung der Gründüngung durch Hülsenfrüchte durchaus mit der der Dampfmaschine zu vergleichen sei.<sup>13</sup>

Doch obwohl man die Leguminosen seit Jahrtausenden erfolgreich zu nutzen wusste – der Grund für ihre gute Düngewirkung blieb lange Zeit ein Rätsel. Erst Ende des 19. Jahrhunderts fand die Wissenschaft die Antwort. Und sie ist winzig.