

ANNE PREGGER

GLOBALE

ÜBER-

DOSIS

STICKSTOFF

DIE UNTERSCHÄTZTE
GEFAHR FÜR UMWELT
UND GESUNDHEIT

QUADRIGA

Inhalt

Cover

Über dieses Buch

Über die Autorin

Titel

Impressum

Einführung: Unterschätzt – Warum die globale Stickstoff-Überdosis zu den großen Problemen unserer Zeit gehört

Teil I: Als Stickstoff noch Mangelware war

Kapitel 1: Evolution – Not macht erfinderisch

Kapitel 2: Statussymbol Misthaufen

Kapitel 3: Heißer Scheiß – Wie Seevögel Weltgeschichte schreiben

Kapitel 4: Der Gamechanger – Brot aus Luft

Kapitel 5: Tod aus Luft

Kapitel 6: Willkommen im N-Zeitalter

Teil II: Die Folgen der Überdosis

Kapitel 7: Woraus die Überdosis besteht

Kapitel 8: Leise rieselt der Stickstoff

Kapitel 9: Auf Tauchstation

Kapitel 10: Heiße Luft und große Löcher

Kapitel 11: Wie die Stickstoff-Überdosis der Gesundheit schadet

Kapitel 12: Außerhalb der planetaren Leitplanken unterwegs

Teil III: Wie wir zum Teil der Lösung werden

Kapitel 13: Besser Ursachen bekämpfen als Folgen

Kapitel 14: Planetenfreundlich leben

Kapitel 15: Das kann die Landwirtschaft tun

Kapitel 16: Baustellen für die Politik

Fazit
Danksagung
Quellenverzeichnis
Abbildungen

Über dieses Buch

Wir überdüngen den Planeten mit Stickstoff. Eigentlich waren alle biologisch nutzbaren Formen des Elements über Milliarden von Jahren eine heiß umkämpfte Mangelware. Um an sie heranzukommen, haben sich Pflanzen und andere Organismen einige Tricks einfallen lassen. Doch vor allem eine Erfindung aus Deutschland hat die Lage seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts drastisch verändert, und inzwischen herrscht statt Mangel ein fataler Überfluss! Zum Glück gibt es nachhaltige Lösungsansätze - und das Beste daran: Wer dieses Problem angeht, schützt nicht nur die Biodiversität und das Klima, sondern gleichzeitig auch die menschliche Gesundheit und hat die Chance, sogar den Welthunger zu besiegen.

Über die Autorin

Anne Preger macht aus einem Waldspaziergang eine Wissenschaft und aus Wissenschaft einen Spaziergang. Natürliche Zusammenhänge haben sie immer schon fasziniert. Sie hat Geoökologie in Braunschweig, Uppsala und Bayreuth studiert und erzählt am liebsten Geschichten über die Erforschung der Erde. Als mehrfach ausgezeichnete Umwelt- und Wissenschaftsjournalistin schreibt sie für das Onlinemagazin Riffreporter. Über die Überdosis Stickstoff berichtet sie regelmäßig, unter anderem bei WDR 5, Deutschlandfunk Nova und im Podcast Quarks Storys.

ANNE PREGER

**GLOBALE
ÜBER-
DOSIS**

STICKSTOFF
DIE UNTERSCHÄTZTE
GEFAHR FÜR UMWELT
UND GESUNDHEIT

QUADRIGA

Vollständige E-Book-Ausgabe
des in der Bastei Lübbe AG erschienenen Werkes

Der Inhalt dieses Buchs wurde sorgfältig recherchiert und geprüft. Historische Zitate wurden behutsam modernisiert. Für Links zu Webseiten Dritter wird keine Haftung übernommen, hier gilt lediglich deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung. Eine Haftung der Autorin oder des Verlags ist ausgeschlossen.

Originalausgabe

Copyright © 2022 by Anne Preger und Bastei Lübbe AG, Köln

Textredaktion: Dr. Matthias Auer, Bodman-Ludwigshafen

Umschlaggestaltung: Kristin Pang

Einband-/Umschlagmotiv: © shutterstock.com: Foxys Graphic | ArtKio

eBook-Produktion: hanseatenSatz-bremen, Bremen

ISBN 978-3-7517-2879-9

luebbe.de
lesejury.de

Einführung:

Unterschätzt - Warum die globale Stickstoff-Überdosis zu den großen Problemen unserer Zeit gehört

Zu viel

2013: Ella ist neun Jahre alt und lebt im Südosten Londons. Sie ist in der Schule supergut in Lesen und Schreiben, in »Vier gewinnt« schwer zu schlagen, und sie will Pilotin werden, wenn sie mal groß ist. Ihr Zuhause liegt keine fünfzig Meter entfernt von einer Straße mit einem notorisch schlechten Ruf weit über London hinaus: Die *South Circular Road* ist eine Hauptverkehrsader, die ständig verstopft ist und mitten durch Wohngebiete führt.

Mit sieben Jahren hatte Ella ihren ersten Asthma-Anfall.¹ In den folgenden zweieinhalb Jahren ist die Grundschülerin 27 Mal wegen schwerer Anfälle im Krankenhaus gelandet, tagelang in künstliches Koma versetzt worden und hat immer wieder Atem- oder Herzstillstände erlitten. Ella ist schließlich so in ihrem Leben beeinträchtigt, dass sie den Status »schwerbehindert« bekommt.

Am Valentinstag 2013 hat Ella ihren letzten Asthmaanfall. Sie wird ins Krankenhaus von Lewisham eingeliefert. Dort versagen am frühen Morgen des 15. Februar ihre Lungen, und sie kann nicht mehr wiederbelebt werden.

Ella Kissi-Debrah ist wohl der erste Mensch der Welt, bei dem Luftverschmutzung als Todesursache offiziell mit auf dem Totenschein steht: »Akutes Lungenversagen, schweres Asthma, Belastung mit Luftschadstoffen.«²

Zu diesem offiziellen Eintrag kam es nach einer zweiwöchigen Anhörung mit Fachleuten und der Familie im Dezember 2020 am zuständigen Londoner *Coroner's Court*, einem Gericht zur Untersuchung von Todesursachen. Dort gelangte ein Untersuchungsrichter zu dem Schluss, dass Luftverschmutzung einen Anteil an Ellas Tod getragen hat.

In den drei Jahren vor ihrem Tod war Ella ständig Konzentrationen von Stickstoffdioxid und Feinstaub in der Luft ausgesetzt, die über den damaligen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation und über den Grenzwerten der Europäischen Union lagen. Das ergab die Auswertung von Luftdaten der nächstgelegenen Messstelle. Der Verkehr war die Hauptursache der Verschmutzung. Den Behörden waren die Grenzwert-Überschreitungen damals bekannt, trotzdem hatte der damalige Londoner Bürgermeister Boris Johnson entschieden, die Einführung weiterer Umweltzonen für den Verkehr zu verschieben, was die Verschmutzung hätte verringern können.

Nach Ansicht der befragten Fachleute, die auch Gewebeproben aus Ellas Körper untersucht haben, wurde ihre Art von Asthma durch hohe Gehalte an Stickoxiden und Feinstaub in der Luft extrem verschlimmert. Im Winter, wenn in Ellas Nachbarschaft die Belastung hoch war, waren ihre Anfälle besonders heftig. Auch in den beiden Tagen vor Ellas Tod war die Luft in ihrem Viertel besonders schlecht gewesen.

Weltweit erkranken aktuellen Studien zufolge pro Jahr zwischen 1,8 und vier Millionen Kinder neu an Asthma, weil sie in Gegenden mit einem hohen Anteil an Stickoxiden in der Luft leben.³ Die meisten betroffenen Kinder wohnen in Städten.

Luftverschmutzung verkürzt Leben. Und das Element Stickstoff spielt dabei eine tragende Rolle, nicht nur in Form von reizenden Stickoxiden. Stickoxide sind schon in kleinen Dosen ungesund, vor allem, wenn jemand ihnen dauerhaft ausgesetzt ist. Ellas Fall zeigt, welche Folgen zu viel Stickstoff haben kann.

Zu wenig

Doch auch zu wenig Stickstoff bedroht Menschenleben. Denn Stickstoff ist eigentlich ein Element des Lebens. Alle Organismen brauchen es in ihren sämtlichen Zellen.

Diese Abhängigkeit von Stickstoff ist 2022 wieder ins öffentliche Bewusstsein gerückt: als Erkenntnis aus dem russischen Einmarsch in die Ukraine und den daraus resultierenden Auswirkungen auf den Welthandel und die Welternährung. Fachleute warnen deswegen vor Lebensmittelknappheit und Hungersnöten.

Das Element Stickstoff spielt in diesem Zusammenhang gleich dreifach eine Rolle. Erstens sind Russland und die Ukraine wichtige Lieferanten von Getreide als stickstoffhaltigem Grundnahrungsmittel. Zweitens ist Russland einer der weltgrößten Exporteure von Ammoniak und anderen Formen von Stickstoffdünger. Drittens ist Russland ein wichtiger Lieferant von Erdgas, und sämtliche Anlagen in Europa, die Ammoniak als Ausgangsstoff für Dünger herstellen, brauchen diesen Energieträger für die Produktion.

Hunger in der Welt entsteht heute in erster Linie als Folge eines Verteilungsproblems.⁴ Ausreichend Nahrungsmittel sind zwar vorhanden, erreichen aber nicht diejenigen, die sie dringend brauchen. Doch wenn Stickstoff knapp ist, kann das die Lage verschärfen – weil

es schwieriger wird, genügend Lebensmittel herzustellen. Die Folge können Mangelernährung und eben Hunger sein.

Nicht egal

Stickstoff hat seine guten und seine schlechten Seiten. Ob er nützt oder schadet, das hängt – wie bei so vielen Dingen im Leben – nicht nur von der chemischen Form ab, sondern auch von der Dosis. So oder so kann uns Stickstoff nicht egal sein. Die Menschheit hat während ihrer gesamten Geschichte ein besonderes Verhältnis zu diesem Element gehabt. Stickstoff hat immer wieder Einfluss auf den Lauf der Weltgeschichte genommen, nicht nur, wenn es ums Essen ging, sondern sogar beim Schießen. Die Vergangenheit war bis vor Kurzem geprägt durch Mangel. Wer Zugang zu Stickstoff in nutzbarer Form hatte, besaß Macht!

Das ist zwar immer noch so, doch inzwischen ist Stickstoff trotzdem allgegenwärtig. Und damit meine ich nicht den Luftstickstoff mit der Formel N_2 , aus dem unsere Atmosphäre zu 78 Prozent besteht. Der begegnet seiner Umgebung mit so viel Desinteresse, dass zwischen ihm und dem Rest der Welt wenig läuft. Ich spreche von »reaktivem« Stickstoff – Stickstoff, der in einer Form vorliegt, die sich biologisch oder chemisch vergleichsweise einfach nutzen lässt (d. h. quasi jede andere Stickstoffverbindung *außer* Luftstickstoff).

Inzwischen sind wir (und die Welt, in der wir leben) mit den negativen Folgen einer globalen Überdosis an Stickstoff konfrontiert. Diese Überdosis geht auf das Konto der Menschheit. Wir haben gerade mal hundert Jahre gebraucht, um den Stoffwechsel unseres Heimatplaneten mit zu viel Stickstoff völlig zu überlasten: Grundwasser

enthält zu viel Nitrat. Gewässer sind überdüngt. Infolge bilden sich im Wasser Todeszonen ohne Sauerstoff. Korallenriffe leiden unter Überdüngung ebenso wie Lebewesen in Mooren, Heiden, Wäldern oder auf Bergwiesen.

Wie sehr sich die heutige Welt des Überflusses vom irdischen Normalzustand des Stickstoffmangels unterscheidet, mit welchem Ideenreichtum die Natur früher dem Stickstoffmangel begegnet ist und wie es zu der Erfindung kam, die am 2. Juli 1909 unser Verhältnis zu Stickstoff ein für alle Mal auf den Kopf gestellt hat – das alles sind nicht nur spannende Geschichten.

Dieses Wissen hilft auch dabei zu verstehen, welche Probleme der fatale Stickstoff-Überfluss genau mit sich bringt. Die Herausforderungen der globalen Überdosis zu begreifen, ist ziemlich essenziell, um eine ganze Reihe von Krisen zu bewältigen, vor denen wir als Bewohnerinnen und Bewohner der Erde aktuell stehen:

- Die globale Überdosis treibt das globale Artensterben voran und schwächt so das weltumspannende biologische Sicherungsnetz der Natur, auf das wir als Menschheit für unser Überleben angewiesen sind.
- Unser Eingriff in den Stickstoff-Stoffwechsel des Planeten schädigt die schützende Ozonschicht und erwärmt auf mittlere Sicht die Erde.
- Stickstoffverbindungen tragen direkt und indirekt dazu bei, aus Luft einen ungesunden Cocktail zu machen. Weil sie diese Luft permanent einatmen, sterben jedes Jahr Millionen von Menschen weltweit früher.

Die große Herausforderung für die Zukunft lautet: Wie ernähren wir eine weiterhin wachsende Zahl an Menschen auf dem Planeten gesund und nachhaltig, ohne die Erde weiter mit zu viel Stickstoff zu überlasten?

Im Krisenmodus

Die Menschheit steckt mitten in einer Stickstoff-Krise. Im Gegensatz zu den Niederlanden, die sich seit 2019 offiziell in einer »stikstofcrisis« befinden, reden andere betroffene Länder wie Deutschland oder die Schweiz bislang noch nicht so offen darüber. Dabei kann Selbsterkenntnis der erste Schritt zu Besserung sein.

Das Ausmaß des Stickstoff-Problems ist vielen Fachleuten schon lange klar. Was zu viel Stickstoff in der Umwelt anrichtet und wie wir gegensteuern können, dazu wird seit Jahrzehnten geforscht und publiziert. Doch in der Öffentlichkeit scheint das Wissen um die Zusammenhänge bislang kaum anzukommen. Das ist seltsam, denn eigentlich wissen die meisten Menschen schon ganz viel über Stickstoff. Sie »wissen« es nur noch nicht. Ich lehne mich jetzt vielleicht etwas aus dem Fenster: Auch in Ihrem Kopf warten in Sachen Stickstoff ganz viele Puzzleteile darauf, zusammengelegt zu werden.

Das Puzzeln lohnt sich. Es ist eine etwas abgedroschene Formulierung, die ich aber immer schon mal verwenden wollte: Sie werden die Welt beim und nach dem Lesen möglicherweise mit anderen Augen sehen! Und zwar zum Beispiel, wenn Sie im Supermarkt unterwegs sind oder Nachrichten lesen, hören oder schauen. Ich wette: Hinweise auf die Stickstoff-Überdosis finden Sie auch direkt vor Ihrer Haustür, bei fast jedem Spaziergang durch den Wald, sobald Sie einmal wissen, woran Sie sie erkennen.

In diesem Buch nehme ich Sie mit auf eine Reise durch die Erd- und Menschheitsgeschichte. Und ich zeige Ihnen, wo wir konkret ansetzen können, um unsere Stickstoff-Verschwendung besser in den Griff zu bekommen.

An dieser Stelle habe ich schon einmal mehrere gute Nachrichten:

- 1) Wir haben es selbst in der Hand. Jede und jeder Einzelne kann dafür aktiv werden.
- 2) Es liegen ziemlich viele, vergleichsweise einfach umsetzbare Vorschläge auf dem Tisch, wie wir sorgsamer mit Stickstoff umgehen können.
- 3) Wir befinden uns in einer *Win-win-win-win*-Situation. Indem wir die globale Überdosis deutlich reduzieren, schützen wir nicht nur die Biodiversität, das Klima und unsere Gesundheit, sondern haben im besten Fall auch die Chance, den Welthunger zu verringern.
- 4) Weniger Stickstoff zu verschwenden und zu verplempern, spart außerdem eine Menge Geld. Nicht nur für Erdgas und Dünger.

Ein weiteres wichtiges Argument zum Weiterlesen: Stickstoff wird in unserem Leben in den kommenden Jahrzehnten eher noch eine größere Rolle spielen als bislang. Nicht nur in Sachen Welternährung. Stickstoffhaltiges Ammoniak entwickelt sich zusehends zum »heißen Scheiß« in Energiefragen: Ammoniak lässt sich nämlich auch mithilfe erneuerbarer Energien herstellen. Das Gas kann als Zwischenspeicher helfen, Zeiten zu überbrücken, in denen der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint. Außerdem lassen sich mit dem Gas auch Containerschiffe und Co. antreiben, wenn Schweröl oder Diesel dafür aus Klimaschutz-Gründen nicht mehr infrage kommen. Darin steckt eine Chance für eine klimaschonendere Wirtschaft. Gerade deswegen ist es hilfreich, die Zusammenhänge und die möglichen Risiken zu kennen.

»Gebrauchsanweisung«

Dieses Buch dreht sich um Leben und Tod, um unterirdische Allianzen, Krieg und Frieden, um Edle und Schurken. Es knallt, und es geht ums Essen. Diese Zutaten sollten Sie ermutigen, sich diesem chemischen Element und den Folgen der planetaren Stickstoff-Überdosis zu widmen, selbst dann, wenn das Wort Stickstoff vielleicht ungute Erinnerungen an frühere Chemiestunden bei Ihnen weckt.

Vielleicht gehören Sie ja zu den Menschen, die in der Schule mit Chemie nicht viel am Hut hatten. Oder Sie erinnern sich dunkel an verwirrende Abbildungen mit wilden Pfeilen zwischen Luft, Meer und Land, gespickt mit chemischen Formeln unter der Überschrift »Stickstoffkreislauf«. Machen Sie sich bitte frei davon. Sie können dieses Buch auch ohne Vorkenntnisse lesen.

Wer sich mit der Geschichte von Stickstoff als Baustein des Lebens und als Ursache von Problemen beschäftigt, kommt zwar um einige chemische und biologische Fachbegriffe und einige wenige Formeln nicht ganz herum. Ich verspreche aber, dass ich nur die benutze, die wirklich nötig sind, und dass ich sie so erkläre, wie ich mir das von meinen Lehrerinnen und Lehrern früher an der einen oder anderen Stelle gewünscht hätte.

Sprache prägt unser Denken. Das gilt auch in Hinblick auf Geschlechter. Ich könnte es mir jetzt leicht machen und sagen: »Ich habe dieses Buch zwar im generischen Maskulinum formuliert, aber ich meine immer alle Geschlechter.« Ich verstehe, wie es zu solchen Genderhinweisen kommt, aber sie sind für mich keine wirkliche gute, zeitgemäße Lösung. Es ist nicht immer einfach, verständlich, unterhaltsam und gendersensibel zugleich zu schreiben. Ich habe mich darum bemüht, an möglichst vielen Stellen entweder neutral zu formulieren oder das jeweilige Geschlecht der handelnden bzw. betroffenen Personen sichtbar zu machen.

Dieses Buch ist eine Einladung, die Erde und unsere Geschichte aus einer elementaren Perspektive zu betrachten. Wenn Sie zu denen gehören, die von den wissenschaftlichen Zusammenhängen gar nicht genug bekommen können und es noch genauer wissen wollen: Meine wissenschaftlichen Quellen habe ich im Quellenverzeichnis kapitelweise zusammengefasst. Das können Sie über den dort abgedruckten QR-Code auch digital aufrufen und den Links zu den Quellen folgen.

Stickstoff ins Rampenlicht

In allen Kapiteln finden Sie Boxen. Die enthalten Tipps oder andere Inhalte, die Sie möglicherweise später noch mal nachschlagen wollen.

Die Überdosis Stickstoff spielt in vielen Dramen in unserer Umwelt schon länger eine der Hauptrollen. Deswegen wird es höchste Zeit, das Scheinwerferlicht auf die Hauptcharaktere zu lenken. Wie bei einem Theaterbesuch können Sie entscheiden, ob Sie vor Beginn der Vorstellung schon einmal einen Blick auf das Verzeichnis der handelnden Personen im Programmheft werfen wollen oder ob Sie es erst in der Pause zwischendurch mal tun.

Kleines *Who's who* des Stickstoffs

N Chemisches Symbol für das Element Stickstoff.

N₂ Distickstoff oder auch molekularer Stickstoff. Ein ziemlich gehilltes, unreaktives Gas. Die Luft unserer Atmosphäre besteht zu 78 Prozent aus

N_2 , weshalb viele Menschen, mich eingeschlossen, von Luftstickstoff sprechen.

Reaktiver Stickstoff: Quasi sämtliche Verbindungen, die Stickstoff enthalten, außer Luftstickstoff. Unter anderem:

- NH₃** Ammoniak. Ein stechend riechendes, giftiges Gas. Kann Feinstaub bilden.
- NH₄⁺** Ammonium. Ein geladenes Teilchen. Kann Bestandteil von Riechsalz und von Feinstaub sein. Wird in Wasser gelöst von Pflanzen oder Mikroben aufgenommen.
- NO₃⁻** Nitrat. Ein geladenes Teilchen, meist in Wasser gelöst. Wird ebenfalls von Pflanzen oder Mikroben aufgenommen. Ist auch Bestandteil von Feinstaub und Salzen. Die wurden früher auch Salpetersalze genannt.
- NO₂⁻** Nitrit. Ein geladenes Teilchen, kann in Form eines Salzes oder in Wasser gelöst vorliegen. Wirkt im Körper und auf Wassertiere toxisch. Darf aber trotzdem in geringen Mengen z. B. als Pökelsalz genutzt werden.
- NO** Stickstoffmonoxid. Extrem kurzlebige Gas, reagiert in Abgasen direkt zum Reizgas NO₂. Wird aber in geringen Mengen vom menschlichen Körper hergestellt und wirkt als Botenstoff.
- NO₂** Stickstoffdioxid. Gesundheitsschädliches Reizgas, entsteht vor allem bei Verbrennungsprozessen.
- NO_x** Stickoxide. Sammelbegriff für Stickstoffmonoxid und -dioxid.
- N₂O** Lachgas. Trotz des Namens nicht witzig, wird auch als Partydroge missbraucht, heizt in jedem

Fall heftigst die Erde an und zerstört die schützende Ozonschicht.

Alle hier genannten Stickstoffverbindungen sind **anorganisch**. Das heißt, sie enthalten keinen Kohlenstoff. Stickstoff in kohlenstoffhaltigen Verbindungen wird **organisch** genannt, organischer Stickstoff kann zum Beispiel in Form von Proteinen vorliegen.

Teil I:

**Als Stickstoff
noch
Mangelware war**

Kapitel 1:

Evolution - Not macht erfinderisch

Wer auf der Erde leben und sich vermehren will, braucht Stickstoff. Das gilt für die kleinste Mikrobe bis hin zum Blauwal. Ohne Stickstoff wären Pflanzen beispielsweise nicht in der Lage, Photosynthese zu betreiben und zu wachsen, denn unter anderem ein zentrales Molekül dafür, der grüne Farbstoff Chlorophyll, enthält Stickstoff. Es ist sogar so, dass man einer Pflanze an ihrer Farbe ansehen kann, wie gut sie mit diesem Nährelement versorgt ist. Je grüner, desto mehr Stickstoff steht zur Verfügung.

Ohne Stickstoff läuft übrigens auch im menschlichen Körper gar nichts. Denn das Element ist vor allem dort verbaut, wo Informationen gespeichert sind und wo die Action tobt - im Erbgut sowie in den Proteinen und Enzymen. Die sind nicht nur für Muskeln und Bewegung wichtig, sondern für quasi alle Vorgänge in Ihrem Körper.

Aber es war schon immer ziemlich aufwendig, den eigenen Bedarf zu decken. Biologisch nutzbare Formen von Stickstoff waren auf der Erde über Milliarden von Jahren Mangelware und entsprechend heiß umkämpft. Um an sie heranzukommen, haben sich Pflanzen und andere Organismen im Laufe der Evolution einige Tricks einfallen lassen. Um etwa ein halbes Dutzend dieser Strategien geht es in diesem Kapitel.

Tödliches Glitzern

Blattläuse saugen gern an Kapuzinerkresse, Distelfalterraupen knabbern an Disteln, Borkenkäferlarven fressen sich durch die Bast­schicht unter der Rinde von Fichten, und Wanderheuschrecken können Felder kahl fressen. Normalerweise fressen eher Insekten Pflanzen. Doch es gibt auch Pflanzenarten, die den Spieß umgedreht haben.

Eine dieser aufsässigen Arten ist vor allem in Hochmooren zu Hause. Sie ist ziemlich klein und deswegen leicht zu übersehen. Aber ich habe es mir in diesem Fall leicht gemacht. Ich bin mit einer Expertin unterwegs. Und die Fläche, die wir absuchen müssen, ist vergleichsweise klein. Es ist ein Hochmoor im Miniformat, ein Schaubiotop an der Naturschutzstation Münsterland des Naturschutzbundes, kurz NABU. Zum Suchen muss ich mich noch nicht mal bücken, denn besagtes Stück Hochmoor ist einen Meter höhergelegt und mutet wie ein gigantischer Blumenkasten in den Ausmaßen von zwei bis drei Autostellplätzen an.

Normalerweise ist ein Hochmoor nicht höhergelegt und auch nicht unbedingt hoch gelegen, ein anderer, vielleicht sogar passenderer Name ist Regenmoor. Denn Regen hält das Torfmoos feucht, das in einem Hochmoor überall wächst und quasi für alle anderen Moorbewohner den Untergrund bildet. Auch im Münsteraner Schaubiotop ist der Boden dicht bewachsen mit Torfmoos. Das speichert Feuchtigkeit wie ein Schwamm. Zwischen einzelnen kleinen Heidesträuchern blüht weiß und puschel­ig Wollgras. Bei diesem Anblick denke ich immer an Kindheitsurlaube in Schweden. Der knallblaue Himmel über uns verstärkt diesen Effekt noch.

Es ist Anfang Mai, aus einem nahegelegenen Teich dringt das Quaken von Teichfröschen. Und in der Wiese nebenan landet zu meiner Freude ein Weißstorch. Irgendjemand muss ihm einen Tipp gegeben haben, dass ich heute hier bin. Auch im Mini-Hochmoor scheint etwas

unterwegs zu sein, in einer kleinen Wasserpfütze im Torfmoos sehe ich aus dem Augenwinkel heraus eine schnelle Bewegung.

Es könnte ein Frosch sein, doch laut Dr. Britta Linnemann gibt es auch noch eine andere Möglichkeit. »Im letzten Jahr stand ich hier mit einer Gruppe«, erzählt die Biologin und Leiterin der Naturschutzstation. »Und dann hat tatsächlich eine Ringelnatter vor unseren Augen einen Frosch gefressen.« Britta Linnemann steht im schwarzen Poloshirt vor mir, passend zum warmen Maiwetter, die braunen Haare zu einem Zopf zurückgebunden, und ich höre ihr an, dass so ein Ereignis auch für sie als Stationsleiterin nicht alltäglich ist. »Das war das absolute Spektakel, die Schlange hat sich auch überhaupt nicht stören lassen. Der Frosch hing aus ihrem Maul heraus und hat gequakt. Die Kinder waren alle völlig fertig, weil dieser arme Frosch von der Schlange gefressen wurde!«

Solche dramatischen Szenen zwischen Jäger und Beute spielen sich auch anderswo in dem Mini-Hochmoor ab. Doch trotz der überschaubaren Fläche und trotz Brille stelle ich mich zunächst nicht wirklich geschickt an, den Jäger zu entdecken. Britta Linnemann gibt mir einen Tipp: »Man sieht hier so kleine Minirosetten. Die haben vielleicht einen Durchmesser von zwei bis drei Zentimetern und sind hier vorn rötlich überlaufen.«

Endlich werde ich fündig, die Pflanze ist kleiner, als ich erwartet hatte - aber alles andere als harmlos. Sie besitzt nämlich Fangarme. »Und am Ende dieser Fangarme ist dann wie bei einem Tennisschläger so eine runde Klappe, und an dieser Klappe befinden sich ganz viele Tentakel«, erklärt die Biologin. »Und die sind klebrig.« Diese Art von Fangarm-Blättern hilft der Pflanze, im kargen Hochmoor zu jagen. Es ist ein Rundblättriger Sonnentau, der da vor mir wächst. Der holt sich sein Kraftfutter aus der Luft. Seine Fangarm-Blätter sind am Ende über und über mit Leimtentakeln besetzt, kleinen glänzenden Tröpfchen.

»Insekten finden wohl zum einen das Glänzen der Tröpfchen sehr spannend. Und zum anderen werden einige Insekten auch von den Inhaltsstoffen angelockt.«

Die Folge: Kleine Fliegen lassen sich an den glitzernden Tröpfchen nieder – ein tödlicher Fehler, wie sie schon sehr bald merken werden. Denn die Tröpfchen sind klebrig. Sehr klebrig. Wenn das Insekt versucht, wegzukommen, verhakt es sich meist immer mehr. Der Sonnentau ist nicht in Eile, er muss nicht schnell zuklappen wie zum Beispiel Venusfliegenfallen. »So ganz allmählich, innerhalb von ein oder zwei Stunden, fängt er an, seine Tentakel und sein Fangarm-Blatt nach innen einzurollen«, erzählt Britta Linnemann. Dann scheidet die Pflanze eine Art von Flüssigkeit aus, die hilft, die Beute zu verdauen. »Da ist schon tatsächlich ein Tier drin – da, ein kleiner schwarzer Punkt. Das wird irgendein Insekt sein«, sagt die Biologin und zeigt auf eins der winzigen Blättchen. Besser gesagt: Das war ein Insekt, das hier sind seine Überreste. »Ja, so eine ganz schöne Vorstellung, am lebendigen Leibe verdaut zu werden, ist das nicht«, lacht sie.

Über die Jagd auf Insekten versucht der Sonnentau, sich lebensnotwendige Stickstoffverbindungen zu erschließen. Dass die Pflanze zu dieser Methode greift, liegt an ihrem Lebensraum. »In Hochmooren ist Stickstoff von Natur aus eine totale Mangelware, und deswegen gibt es auch nur sehr wenige Arten, die dort wirklich wachsen können«, erklärt sie mir.

Hochmoore sind besondere Lebensräume. Sie bestehen zu weiten Teilen aus den Torfmoosen, die mit der Zeit meterdicke Schichten bilden. Die Torfschichten sind sehr nährstoffarm. Als Quellen für Stickstoff kommen nur Regenwasser und Staub infrage, der ins Moor geweht wird. Natürlicherweise bringen aber weder Regen noch Staub viel Stickstoff mit. Also bessert der Sonnentau seine Ernährung mit Insektensnacks auf – eine ziemlich clevere Art, seine Stickstoffversorgung sicherzustellen.

Strategie: Fallen stellen

Einer der Ersten, die sich wissenschaftlich mit dem Sonnentau und seiner Ernährungsweise beschäftigt haben, war der britische Naturkundler Charles Darwin. Der Begründer der Evolutionstheorie war so nachhaltig begeistert, dass er insektenfressenden Pflanzen schließlich ein ganzes Buch widmen sollte. Das erste Kapitel begann er klassisch mit seiner ersten Begegnung: »Ich war während des Sommers 1860 erstaunt zu finden, was für eine große Anzahl Insekten von den Blättern des gewöhnlichen Sonnentaus (*Drosera rotundifolia*) auf einer Heide in Sussex gefangen wurden. Ich hatte wohl gehört, dass Insekten so gefangen würden, wusste aber nichts Weiteres über diesen Gegenstand.«⁵

Diese Begegnung verdrehte Darwin offenbar ziemlich den Kopf. Im selben Jahr schrieb er in einem Brief an einen befreundeten Wissenschaftler:⁶ »Sonnentau interessiert mich gerade mehr als die Entstehung aller Arten der Welt.« Sorry, ihr kleinen Darwin-Finken, hüpf mal rüber auf eurem Podest in der *Hall of Fame* der Biologie und macht ein bisschen Platz für eine klebrige Pflanze ...

Charles Darwin war fasziniert von den fleischfressenden Pflanzen und führte systematisch Experimente durch, unter anderem mit Hunderten von Sonnentau-Pflanzen: Er tropfte Wasser auf die Sonnentaublätter und pustete sie an (nichts passierte), er fütterte den Sonnentau mit Fleisch und kitzelte die Tentakel mit einem Haar (die Tentakel begannen, sich einzurollen, wenn sie mehr als zwei Mal berührt wurden).⁷ Daraus schloss Darwin, dass insektenfressende Pflanzen auf die Bewegungen von möglichen Beutetieren reagieren. Das passiert vor allem, wenn das Testobjekt biologischen Ursprungs ist und Stickstoff enthält. Das hilft den insektenfressenden Pflanzen offenbar, Beute von Wind oder anderen Störungen

zu unterscheiden und ihre Falle nur für echte Beute in Aktion zu bringen.

Darwins Experimenten zufolge reagierte der Sonnentau sensibler auf Berührungen »als sämtliche Nerven im menschlichen Körper«. Der Gedanke an eine solche pflanzliche Überlegenheit war im 19. Jahrhundert offenbar ziemlich unerhört. Wohl auch deswegen ließ sich Darwin recht viel Zeit, seine Erkenntnisse über Sonnentau zu veröffentlichen. Am Ende erschien sein Buch 15 Jahre später, im Jahr 1875.

Um das Scheinwerferlicht des wissenschaftlichen Ruhms auch noch anderswo hinzulenken: Ganz allein war Darwin mit seiner Forschung nicht. Er stand unter anderem in Kontakt mit einer Kollegin in den USA. Dort untersuchte die Botanikerin Mary Treat das Phänomen in New Jersey ebenfalls und publizierte im selben Jahr wie Darwin einen Fachartikel mit dem Titel »Pflanzen, die Tiere fressen« - für mich das Äquivalent des 19. Jahrhunderts zu »Mann beißt Hund«. Das ist im Journalismus ein üblicher Ausdruck für die Art von Überschriften, die völlig unerhört sind und die Leserschaft hoffentlich (!) aufmerken lassen.

Fallen-Vielfalt

Die Strategie, die eigene Stickstoffzufuhr durch tierische Beute zu decken bzw. aufzubessern, hat sich in der Evolution als ziemlich erfolgreich erwiesen. Sie war schon vor mehr als 35 Millionen Jahren verbreitet. Das zeigt der Fund einer Klebefalle in Bernstein, den ein deutsches Forschungsteam an der Ostsee gefunden hat.⁸ Nach dem, was wir wissen, entwickelte sich diese Fähigkeit im Pflanzenreich mindestens zehn Mal unabhängig

voneinander.⁹ Weltweit gibt es mehr als 800 fleischfressende Pflanzenarten.

Die Art der Insektenfalle unterscheidet sich dabei. Der Sonnentau gehört zu den Arten, die auf eine Klebefalle setzen. Dabei gibt es in Australien allerdings eine Sonnentau-Art,¹⁰ die ihre Klebefalle zusätzlich noch mit einem Katapult kombiniert. Wie genau das funktioniert, haben Fachleute aus Baden-Württemberg 2012 dokumentiert: Die runden Fangarmblätter sind nicht nur mit glitzernden Leimtentakeln besetzt, sondern haben rund herum am Rand zusätzlich noch lange, schleimfreie Fortsätze. Kommt ein Insekt einem Fortsatz nah genug, federt der blitzschnell Richtung Klebefalle. Diese Schnapptentakel verbessern die Fangquote der Leimtentakel also noch.

Andere Arten wie die Venusfliegenfalle klappen ihre beiden Blatthälften blitzschnell zu, um Beute zu machen. Sogar manche Wasserpflanzen bessern ihre Stickstoffversorgung durch tierische Nahrung auf. Wasserschlauch-Pflanzen zum Beispiel nutzen Unterwasser-Saugfallen, die mithilfe von Unterdruck Wasserflöhe und andere Kleinstlebewesen in ihre Fangblase saugen. Also nicht mal unter Wasser sind Tiere vor Pflanzen sicher!

Auch mit Verdauungsflüssigkeit gefüllte glitschige Kannen eignen sich zum Beute machen. Rekordverdächtig große Kannen hat eine indonesische Pflanze namens *Nepenthes rajah* zu bieten. Ihre Fallgruben werden bis zu 20 Zentimeter breit und 40 Zentimeter tief. Die Pflanze wächst nur im Hochland von Borneo, an den Hängen zweier Berge, auf kargen Böden. Viel Konkurrenz durch andere hat die »königliche« Kannenpflanze in diesem Lebensraum nicht. Dass sie dort überlebt, verdankt sie unter anderem ihrer tierischen Stickstoffversorgung. In ihren Kannen wurden sogar schon tote Nagetiere gefunden. Doch Studien weisen inzwischen darauf hin, dass

Nager *Nepenthes* lebendig deutlich mehr bringen als tot.¹¹ Im Laufe der Evolution hat sich diese Kannenpflanzen-Art nämlich zu einem Nager-Klo entwickelt. Die Pflanze lockt unter anderem kleine Hochland-Spitzhörnchen mit fruchtigen Düften an. Die Hörnchen lecken süßen Nektar von der Innenseite des Deckels, der sich über die Kannenöffnung wölbt. Zum Abschied hinterlassen sie ihren stickstoffhaltigen Kot in der Kanne. Und das, wo es doch immer heißt, man soll auf dem Klo nichts essen.

Fleischfressende Pflanzen bieten spektakuläre Beispiele für evolutionäre Strategien der Stickstoff-Beschaffung. Im Grunde fällt ihre Jagd in die Kategorie: Stickstoff aus der weiteren Umgebung importieren (mithilfe der anfliegenden Insekten) und ihn dann horten. Doch die Natur hat notgedrungen noch etliche andere Anpassungen an Stickstoffmangel hervorgebracht, die nicht weniger spannend sind.

Luftnummer

Zunächst wende ich mich aber einer Frage zu, die hier schon geraume Zeit mitschwingt und endlich gestellt werden will: Wie kann Stickstoff auf der Erde denn bitte schön eine Mangelware sein? Die Erdatmosphäre besteht doch schließlich zu 78 Prozent aus Stickstoff! Bei so viel Stickstoff müsste doch mehr als genug für alle da sein, und zwar überall und jederzeit.

Theoretisch ja, praktisch nein: In der Luft kommt ein Stickstoff-Teilchen aka Atom selten allein vor, oder sagen wir: quasi nie. Meist hängt ein Stickstoffatom mit einem zweiten Stickstoffatom ab. Zusammen formen die beiden ein ziemlich gehilltes, das heißt chemisch reaktionsträges Gas mit der Formel N_2 .

Die 2 ist logisch, aber warum N? Aufgrund des deutschen Namens Stickstoff ist die chemische Abkürzung des Elements leider nicht ganz intuitiv. S ist für Schwefel reserviert. N kommt von Nitrogenium, was aus dem Lateinischen stammt, aber wie so oft aus dem Altgriechischen entlehnt ist, wo *nítron* so etwas wie »Laugensalz« bedeutet. (Das müssen Sie sich nicht merken, aber vielleicht haben Sie es sich ja gefragt.) Korrekt heißt dieses Gas mit der Formel N_2 molekularer Stickstoff oder auch Distickstoff, doch ziemlich viele Menschen, mich eingeschlossen, sprechen der Einfachheit halber von Luftstickstoff, wenn sie N_2 meinen.

Dummerweise können Pflanzen, Tiere und die meisten anderen Lebewesen mit dieser Art von Stickstoff nichts anfangen. Wir atmen es ein - und einfach unverändert wieder aus. Was zumindest aus der Sicht von Menschen, die in eher wohlhabenden Ländern leben und nicht unter Hunger leiden, den charmanten Vorteil hat, dass man vom Atmen nicht dick wird.

Der Grund dafür ist fast ein bisschen romantisch: Die beiden N-Atome im N_2 sind sich selbst genug. Sie sind chemisch betrachtet nicht nur einfach oder doppelt miteinander verbunden, sondern gleich dreifach. Fester geht es nicht. Entsprechend haben die beiden N nur Augen füreinander (stellen wir uns eine Szene im Partykeller vor, mit Retro-Discokugel, und aus den Boxen der Musik-Kompaktanlage kommt »I will always love you« von der zerkratzten *Bodyguard*-Filmmusik-CD). Chemisch ausgedrückt reagieren die beiden N-Atome mit nichts. Sie sind eine harte Nuss und haben keine Lust, sich zu trennen, um Pflanzen beim Wachsen zu helfen, im Erbgut einer Fliege Informationen zu speichern oder in unserem Körper als Enzym aufzuräumen.

Aber zum Glück gibt es Gewitter. Dort, wo sich Blitze durch die Luft ziehen, wird es ziemlich heiß - und zwar so

sehr, dass dadurch ein anderes Doppelteilchen auseinandergerissen wird, nämlich Luftsauerstoff, Formel: O_2 . Dabei entstehen zwei einzelne Sauerstoffatome. Und die sind so radikal drauf, dass sie es schaffen, die Dreifachbindung zwischen zwei Stickstoffatomen aufzutrennen und die beiden N auseinanderzureißen.¹² Für eine Liebesgeschichte wäre das eine tragische Wendung, für das Leben auf der Erde erweist sich dieses Drama als Gewinn.

Jedes der beiden Ns landet in einer windigen Beziehung mit einem Sauerstoffatom. Es bilden sich Stickoxide (ja, das sind die aus den Dieselabgasen, aber das kommt später), die im Regenwasser zu Salpetersäure werden, und dieser leicht saure Regen geht dann auf die Erde nieder. Und damit ist das große Fressen eröffnet. Denn für diese Art von Stickstoffverbindungen - also ein N-Atom in Verbindung mit einem anderen Element - findet sich überall ein Lebewesen, das damit etwas anfangen kann. In Abgrenzung zum unreaktiven N_2 werden diese anderen Verbindungen reaktiv genannt, denn sobald die beiden N-Atome einmal getrennt sind, wechseln sie ihren Verbindungspartner auch eher, sie reagieren also. Ich erwähne das, weil »reaktiver Stickstoff« im Buch als Sammelbegriff noch öfter vorkommen wird. Aber zurück zu unserem Gewitter-Regenguss.

Der Regentropfen mit der Salpetersäure landet also auf dem Boden, und spätestens da zerfällt die Säure in verschiedene Bestandteile, unter anderem in Nitrat (ja, das aus der Gülle, aber genau ... später!). Dieses Nitrat können zum Beispiel Pflanzen aufnehmen. Und ab diesem Moment ist es als reaktiver Stickstoff in einem Lebensraum im Umlauf.

Der Stickstoffkreislauf

Abbildungen zum Stickstoffkreislauf können beliebig detailreich und verwirrend sein, aber das Grundprinzip ist einfach:

So wie Euro-Münzen, Schweizer Franken und Dollarscheine im Alltag ständig den Besitzer wechseln, werden in der Umwelt permanent verschiedene Formen von reaktivem Stickstoff weitergereicht – teils freiwillig, teils unfreiwillig. In der einfachsten Form läuft der Kreislauf nach folgendem Schema ab:

Eine Pflanze nimmt Stickstoff aus dem Boden auf.

→ Pflanze wird von Tier angefressen und gibt so (unfreiwillig) Stickstoff ab,

→ das Tier pinkelt bzw. kackt oder stirbt,

→ diese stickstoffhaltigen Reste landen auf dem Boden,

→ werden von Mikroben und Pilzen zersetzt,

→ und der Stickstoff daraus steht wieder Pflanzen zur Verfügung.

Also: **Stickstoffkreislauf für Anfänger = aufnehmen, fressen, pinkeln/sterben, zersetzen. Repeat!**

Bio kann so einfach sein. So ähnlich funktioniert der Kreislauf in der einfachsten Variante auch im Meer.

Hinzukommen noch Prozesse wie Gewitter und die Verwitterung von manchen Gesteinen, die zusätzliches »Kleingeld« in Umlauf bringen, und Prozesse, die es wieder aus dem Spiel des Lebens herausnehmen.

Es gibt nur einen Haken mit den Gewittern: Auf der Erde blitzt es viel zu selten, als dass dadurch genug von diesem reaktiven Stickstoff in Umlauf käme und alle Pflanzen und Tiere satt würden. Sämtliche Tier- und Pflanzenarten haben sich auf einem Planeten entwickelt, auf dem reaktiver Stickstoff fast immer und fast überall Mangelware war.¹³ Wer sich erfolgreich vermehren wollte, brauchte also eine