

Gerhard Ertl, Jens Soentgen (Hrsg.)

N

Stickstoff – ein Element
schreibt Weltgeschichte

Dicke Luft

Blitze und Vulkane produzieren enorme Mengen an chemisch gebundenem Stickstoff, weil die hohen Temperaturen dazu führen, dass sich Stickstoff und Sauerstoff verbinden. Die Mengen an gebundenem Stickstoff, die auf diese Weise entstehen, belaufen sich auf etwa 20 000 Tonnen pro Jahr weltweit. Es gibt nicht so sehr viele Vulkane, und die sind auch nicht dauernd aktiv. Ein berühmter steht in Italien, der Ätna, in dem man in früheren Zeiten den Gott Vulcanus vermutete, der dort an einer Esse arbeitet und schmiedet.

In Deutschland etwa gibt es derzeit keinen aktiven Vulkanismus. Dafür sind hier und überall in Europa künstliche Vulkane entstanden, die ebenfalls permanent Gase, Rauch und Dampf in die Luft senden, und zwar in solchen Mengen, dass es sich leicht beobachten lässt – diese »künstlichen Vulkane« sind unsere Städte. Die von Städten und Metropolen produzierten Mengen an Gasen und Rauch zeigen sich immer dann, wenn Hochdruckwetterlagen dafür sorgen, dass sich Dunsthauben über ihnen entwickeln. Vor allem Städte in Kessellage sind davon betroffen. Wer genauer hinschaut, erkennt oft auch eine bräunliche Verfärbung der Luft über der Stadt – dies sind die Stickoxide, die bei den vielen Verbrennungsprozessen erzeugt werden. Es sind die Motoren, die Heizungen, aber auch die Energieerzeuger und Industrien, deren Feuer die Dunsthauben über den Städten und die Stickoxide darin erzeugen.

Während der Vulcanus im Ätna nur im Mythos existiert, gibt es die Vulcanuli wirklich. Wir alle, die wir in den Städten leben und permanent Brände unterhalten, um es uns warm zu machen, um von A nach B zu gelangen oder auch um bequemer unsere Arbeiten verrichten zu können, sind Vulcanuli, Feuermacher. Sobald wir den Autoschlüssel einstecken und den Motor starten, setzen wir einen hochgradig technisierten Verbrennungsprozess in Gang – der zwar gut verkapselt ist, aber dennoch Rauch und Gas erzeugt. Auch wenn wir die Heizung aufdrehen, starten oder vergrößern wir ein echtes Feuer. Selbst die Nutzung von Strom ist meist mit entfernten Feuern verkoppelt, weil rund die Hälfte



1 Wir alle sind Vulcanuli – Feuermacher. Wenn wir mit dem Autoschlüssel den Motor starten, setzen wir einen hochgradig technisierten Verbrennungsprozess in Gang, bei dem neben zahlreichen anderen Gasen insbesondere Stickoxide entstehen.

des in Deutschland hergestellten Stroms durch Verbrennen insbesondere von Kohle, aber auch von Erdöl und Erdgas gewonnen wird. Unsere Feuer sind zwar energetisch optimiert, oft entsteht nicht einmal sichtbare Asche; und doch haben sie ihre Effekte.

Wie viel wir täglich (ver)brennen lassen, kann man sich verdeutlichen, wenn man die vielfältigen »fossilen Energieträger« in normales Brennholz umrechnet oder, noch konkreter, in Weihnachtsbäume. Man kommt auf etwa drei bis vier große Weihnachtsbäume (Nordmann-Tannen von 1,80 Meter Höhe), die jeder Deutsche täglich, sommers wie winters, verbrennt, um den modernen Lebensstil zu ermöglichen. Das würde man zunächst nicht erwarten, denn wenn man in modernen Städten unterwegs ist, sieht man kaum irgendwo eine Flamme, vielmehr ist gerade die Abwesenheit von Flammen schon beinahe ein Kennzeichen moderner Städte.

Weil sie relativ wenig Asche und Qualm erzeugen, sind die modernen Feuer wenig sichtbar. Und doch erzeugen auch sie Abgase, insbesondere CO_2 . Doch neben diesem auch noch zahlreiche andere Gase, darunter auch die Stickoxide. Die kann man nicht nur sehen, man kann sie auch riechen, insbesondere, wenn man als Radfahrer hinter Dieselfahrzeugen herfährt – sie haben einen leicht an Chlor erinnernden Geruch und sind ausgesprochen gesundheitsschädlich.

Lungengift und Artenkiller

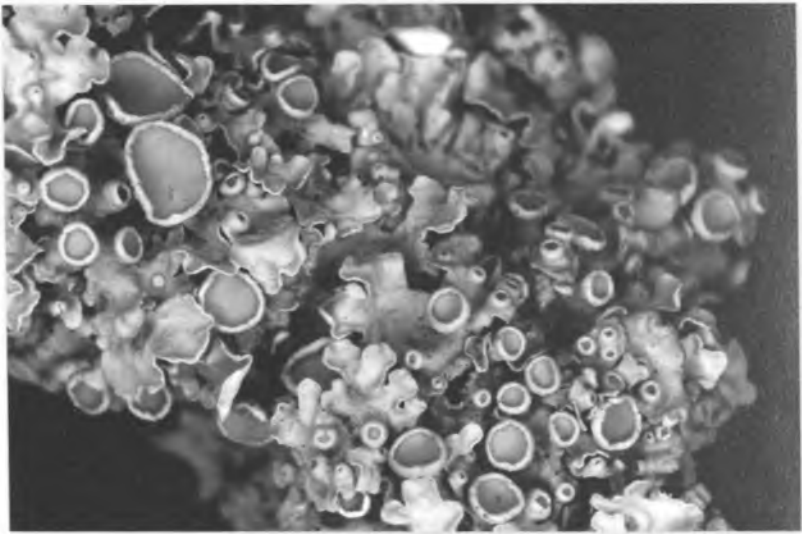
»Stickoxid« ist eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs. Sie werden oft als NO_x abgekürzt, da es mehrere Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt. Wenn sie mit Wasser zusammenkommen, bildet sich Salpetersäure oder salpetrige Säure. Diese Säuren wirken auf der Haut, besonders auf den empfindlichen Schleimhäuten ätzend und sind giftig. Das führt zu gesundheitlichen Problemen, an denen vor allem Kinder, ältere Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen leiden, zumal Stickoxide auch Vorläufersubstanzen von bodennahem Ozon sind. Auch für Asthmatiker und Allergiker stellen Stickoxide ein Gesundheitsrisiko dar, da diese Substanzen die Bronchien zusätzlich reizen. Deshalb wurde zum Schutz der menschlichen Gesundheit ein Jahresgrenzwert für Stickstoffdioxid von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EU-Richtlinie 2008/50/EG) eingeführt, der seit 2010 einzuhalten ist.

Leider wird dieser Langzeitgrenzwert in Deutschland seit Jahren überschritten. In den Jahren 2010 bis 2013 war dies an 65 bis 70 Prozent aller verkehrsnahen Messstationen der Fall. Durch die Einführung der Autoabgaskatalysatoren erfolgte von 1990 bis 2012 zwar ein Rückgang der verkehrsbedingten NO_x -Emissionen in Deutschland um immerhin 65 Prozent, jedoch ist der Kfz-Verkehr trotz dieser Minderung weiterhin mit Abstand der größte Verursacher. So betrug 2012 die gesamte NO_x -Emission in Deutschland 1,3 Millionen Tonnen, 0,5 Millionen Tonnen kamen aus dem Kraftfahrzeugverkehr (NO_x , gerechnet als NO_2).

Besorgniserregend ist die Zunahme des Anteils des giftigen Stickstoffdioxids (NO_2) an den gesamten Stickstoffoxid-Emissionen. Als Grund hierfür wird neben der natürlichen Umwandlung von NO zu NO_2 der höhere Anteil von NO_2 im Abgas von mit Oxidationskatalysatoren ausgestatteten Dieselfahrzeugen diskutiert. Das in diesen Katalysatoren gebildete NO_2 wird direkt emittiert und führt zum Beispiel in verdichteten Innenstädten zu erhöhten Konzentrationen.

Die mit Stickoxiden geschwängerte Stadtluft ist nicht nur nachteilig für die Gesundheit, sie hat auch ökologische Konsequenzen. Denn die Stickoxide verbinden sich meist rasch mit ebenfalls vorhandenem Ammoniak zu Ammoniumnitrat, einem ausgezeichneten Dünger, der Städte und stadtnahe Ökosysteme verändert.

Man kann diese Stoffe nicht deutlich sehen, man kann aber ihre Wirkungen mit bloßem Auge erkennen, etwa daran, dass es an Bäumen, die an stark befahrenen Straßen stehen, neuerdings reichlich Flechten gibt. Meist sind diese leicht gelblich. Die Zunahme von Flechten und Moosen an Bäumen ist zunächst ein positiver Aspekt, zeigt sie doch, dass



2 An Bäumen an stark befahrenen Straßen bilden sich neuerdings reichlich Flechten. Sie sind jedoch keine Indikatoren für saubere Luft, sondern zeigen im Gegenteil, wie die Gelbflechte *Xanthoria parietina*, deren Stickstoffbelastung an.

bestimmte Maßnahmen, die vor einigen Jahrzehnten zur Eindämmung des »Sauren Regens« ergriffen wurden, Wirkung zeigen. Auch wissenschaftliche Studien bestätigen, dass in Städten heute mehr Flechten und Moose an Bäumen wachsen als in den 1970er- und 80er-Jahren. Flechten und Moose sind gute Anzeiger für Luftveränderungen, weil sie alle oder fast alle Nährstoffe aus Luft und Regen aufnehmen. Sie haben eine große biologisch aktive Oberfläche und reagieren daher auf die Luft und auf die mit ihr herbeigewehten Stoffe viel empfindlicher als andere Lebewesen. Zeigt also die Zunahme der Flechten bessere Luft an? Leider nein, denn es sind heute nicht mehr dieselben Moose und Flechten, sondern nur ganz bestimmte, die sich ausbreiten.

Was sich in unseren Städten und entlang viel befahrener Straßen zunehmend zeigt, sind die sogenannten Gülleflechten, insbesondere die Gelbflechte. Diese fand man früher nur in der Nähe von Kuhställen, weil sie sehr gern in nährstoffgeschwängelter Luft, die reich an reaktivem Stickstoff ist, lebt. Auch die Moose, die man heute an Stadtbäumen findet, lebten früher besonders an den Betoneinfassungen von Misthaufen. Diese Moose und Flechten mögen die Düngerpartikel der Luft, das, was in modernen Städten entsteht, wenn Ammoniak (der zum Beispiel in Benzinmotoren, die mit Dreiwegekatalysator ausgestattet sind, gebildet wird) und Stickstoffdioxid zusammenfinden. Das resultierende Ammo-

niumnitrat ist übrigens einer der beliebtesten und besonders wirksamen Mineraldünger, den man auch im Gartencenter kaufen kann. Ammoniumnitrat macht einen erheblichen Anteil im städtischen Feinstaub aus, auch wenn er schwer zu quantifizieren ist, weil Ammoniumnitrat sich relativ leicht bei höheren Temperaturen verflüchtigt. Städte sind also effektive Düngemittelproduzenten, und dieser Dünger gelangt auch in die umgebenden Wälder, in denen es ebenfalls zu erheblichen Veränderungen kommt, die vielen Wanderern und Pilzesuchern schon seit Jahren auffallen. Besonders an den Rändern breiten sich Brennesseln und Brombeeren, teilweise auch Holunder aus und damit Pflanzen, die ehemals besonders gern in der Nähe von Misthaufen wuchsen, weil sie ausgesprochen stickstoffliebend sind.

Pilzsucher erfreuen diese Veränderungen keineswegs, da unter Brombeerbüschen keine Pilze mehr zu finden sind, und auch Naturschützer sind alarmiert. Denn mit der düngerreichen Luft aus den Ballungsräumen werden auch empfindliche Ökosysteme erreicht, etwa Moore oder Heiden, in denen sich gerade solche Arten niedergelassen haben, die mit ganz wenig Nährstoffen zurechtkommen. Denn Hochmoore werden nur vom Niederschlag gespeist und sind daher ausgesprochen nährstoffarme Zonen. Manche Pflanzen, die dort leben, verfallen, um ihren Stickstoffbedarf zu decken, sogar auf den ganz und gar pflanzenuntypischen Ausweg, Tiere zu fangen und zu verdauen! So etwa das Fettkraut oder der Sonnentau. Gelangen nun viele Nährstoffe in diese Gebiete, geht es diesen Arten nicht etwa, wie man denken könnte, viel besser; vielmehr werden sie durch Stickstoffspezialisten wie Brombeere oder Brennessel verdrängt.

Auch weltweit, so hat man berechnet, tragen die reaktiven Stickstoffverbindungen, die bei den Verbrennungen fossiler Energieträger mit-erzeugt werden, in hohem Maße nicht nur zur Luftverschmutzung, sondern auch zur Überdüngung empfindlicher Ökosysteme bei. Durch menschengemachte Verbrennungsprozesse entstehen etwa tausendmal mehr Stickoxide, als alle Vulkane dieser Welt zusammen produzieren – also rund 20 Millionen Tonnen(!). Hinzu kommen noch diejenigen Stickoxide, die auf überwiegend menschengemachte Wald- und Steppebrände zurückzuführen sind, deren Menge in etwa in derselben Größenordnung liegt. Global betrachtet, sind die von Menschen in Gang gesetzten Feuer für etwa 20 Prozent des Anstiegs der Menge an reaktivem Stickstoff gegenüber vorindustriellen Zeiten verantwortlich. Der Anbau von stickstofffixierenden Pflanzen (z. B. Lupinen) trägt 27 Prozent bei; die restlichen 53 Prozent entfallen auf die Haber-Bosch-Anlagen.

Diese Zahlen zeigen, dass es zwar naheliegend, aber insgesamt zu kurz gegriffen ist, sich bei der Diskussion der negativen gesundheitlichen und ökologischen Wirkungen von reaktivem Stickstoff nur auf die Düngemittel zu konzentrieren, die direkt oder indirekt aus Haber-Bosch-Anlagen stammen. Zu Recht befasst sich deshalb der Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem 2015 veröffentlichten Sondergutachten zu Stickstoff nicht nur mit der Landwirtschaftspolitik. Zwar liegt hier, etwa bei der Umsetzung und Novellierung der Düngeverordnung, der dringendste Handlungsbedarf; der Sachverständigenrat mahnt aber auch die Weiterentwicklung der europäischen Luftreinhaltepolitik an. Wenn uns Gesundheit und Artenvielfalt am Herzen liegen, müssen auch die Emissionen jener eher brummenden als donnernden Vulkane, die wir Städte nennen, gemindert werden.

Um hier voranzukommen, müssen wir freilich nicht auf den Gesetzgeber und auch nicht auf kluge Ingenieure warten, die neue Katalysatoren und andere Technologien erfinden. Wir alle wissen, dass wir häufiger zu Fuß gehen oder Rad fahren könnten. Beides erzeugt weder Lärm noch Emissionen und fördert nebenbei sogar die Fitness.

Literatur

- Frahm, J.-P. (2008): Nitrophile Moose und Flechten nehmen zu. Überdüngung und Versalzung durch Katalysatoren? In: *Biologie in unserer Zeit*, 2/2008 (38), S. 94–101.
- Giles, L. V.; Koehle, M. S. (2014): The Health Effects of Exercising in Air Pollution. In: *Sports Medicine* 44 (2), S. 223–249.
- Kratzer, A. (1937): *Das Stadtklima*. Braunschweig.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2015): Stickstoff. Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem. Berlin [Kurzfassung: http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_KF.pdf?__blob=publicationFile; 07.07.2015].
- Umweltbundesamt (UBA) (2015): Luftqualität 2014, Vorläufige Auswertung. Dessau [<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2014; 29.05.2015>].