



Überdüngte Landschaften

Tulpenfelder, so weit das Auge reicht. Traktoren, die Kunstdünger spritzen, sind in den Niederlanden ein gewohntes Bild.

Pflanzen brauchen Stickstoff. Doch mit der Erfindung des Kunstdüngers – ein Segen für die Ernährungssicherheit der Menschheit – gelangte und gelangt immer noch zu viel davon in den Boden, was der Artenvielfalt schadet. Die Wissenschaft ist sich daher einig: Die Stickstoffbelastung muss reduziert werden.

Text: Hartmut Netz

Die Niederlande platzen aus allen Nähten: 18 Millionen Menschen, zwölf Millionen Schweine, 100 Millionen Hühner und mehr als 100 Millionen Rinder leben dort. Damit hat das kleine Land an der Nordseeküste eine der weltweit höchsten Nutztierdichten und nach Malta die zweithöchste Bevölkerungsdichte der EU. Die Landwirtschaft ist hoch technisiert und außerordentlich produktiv. Die Niederlande sind einer der größten Exporteure von Schweinefleisch und nach den USA der weltweit zweitgrößte Exporteur von landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Die Kehrseite des Erfolges sind Monokulturen und intensive Viehzucht. Die Böden sind heillos überdüngt – auch dort, wo keine Landwirtschaft betrieben wird.

Die Folgen lassen sich exemplarisch im Nationalpark De Groote Peel besichtigen, einem 1.400 Hektar großen Hochmoorgebiet mit ausgedehnten Wasserflächen und weiträumigen Feuchtzonen, wo im Herbst Zugvögel wie Kranich, Saatgans oder Großer Brachvogel rasten. Hochmoor-typische Lebensgemeinschaften existieren hier allerdings nur noch in Fragmenten. An karge Moorlandschaften angepasste Pflanzen wie Torfmoos, Heidekraut, Wollgras, Moosbeere oder Sonnentau werden mehr und mehr von Farnen, Hochgräsern und Birken verdrängt – von Pflanzen also, die nährstoffreichere Böden benötigen und in einer intakten Moorlandschaft kaum wachsen würden. Die Natur versinkt in grüner Monotonie.

De Groote Peel liegt im Grenzgebiet der Provinzen Nordbrabant und Limburg, einem Schwerpunkt der niederländischen Viehwirtschaft. Hier reiht sich Zuchtbetrieb an Zuchtbetrieb; die Schweinedichte ist mit über 2.000 Tieren pro Quadratkilometer die höchste in ganz Europa. Aus der Gülle, die es in Hülle und Fülle gibt, gast Stickstoff in Form von Ammoniak aus, gelangt über Luft und Regen in Böden und Gewässer des Nationalparks und reichert sich dort an.

Lebenselixier Stickstoff

Zwar ist Stickstoff auf der Erde ein häufiges Element, nahezu vier Fünftel der Lufthülle bestehen daraus; allerdings aus der molekularen Form als Di-Stickstoff (N_2), die überaus stabil und für die meisten Lebewesen nicht nutzbar ist. Dabei ist Leben ohne Stickstoff unmöglich. Würde das Element fehlen, könnten weder Mensch noch Tier noch Pflanze wachsen und gedeihen. Stickstoff ist ein zentraler Baustein von Aminosäuren und damit von Eiweiß und maßgeblich an der Produktion von Chlorophyll beteiligt, dem Molekül, aus dem Pflanzen mithilfe von Sonnenlicht Energie gewinnen.

Doch damit Menschen, Tiere und Pflanzen dieses Lebenselixier aufnehmen können, muss es in eine bioverfügbare Form überführt werden. In der Natur erledigen neben Waldbränden und Vulkanausbrüchen Gewitter diesen Job. Immer wenn es blitzt, wird Di-Stickstoff in seine Atome aufgesprengt. In Verbindung mit Luftsauerstoff bilden sich Stickoxide, die abregnen und – unten angekommen – in Nitrat umgewandelt werden. Oder anders ausgedrückt: Der Boden wird gedüngt. Denn in Form von Nitrat können Pflanzen Stickstoff verwerten.

Ursprünglich zirkulierte für Lebewesen verfügbarer Stickstoff, man spricht auch von reaktivem Stickstoff, im Ökosystem Erde in nahezu gleichbleibender Menge. Er gelangte aus der Luft in Böden und Gewässer und von dort in Form von Nährstoffen und Nahrung in Pflanzen,



Auch bei der Schweinezucht fällt Gülle an – und damit Stickstoff.

Tiere und Menschen, die ihn durch ihre Ausscheidungen oder nach ihrem Ableben aus der toten Biomasse wieder freisetzen. Ein nahezu geschlossener Kreislauf, der in der gesamten vorindustriellen Zeit störungsfrei lief.

Menschliche Eingriffe in den Stickstoffkreislauf

Doch zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten die Chemiker Fritz Haber und Carl Bosch ein Verfahren, bei dem Stickstoff mit Wasserstoff zu Ammoniak, dem Grundstoff aller Stickstoffdünger, reagiert. Der Kunstdünger war geboren und revolutionierte in kürzester Zeit die Landwirtschaft. Fortan waren auch auf kargen Böden satte Ernten möglich, was die Ernährung einer rasch wachsenden Weltbevölkerung sicherstellte. Allerdings ist das sogenannte Haber-Bosch-Verfahren äußerst energie-

intensiv. Denn um die stabile Dreifachbindung von N_2 aufzuspalten und die Synthese mit Wasserstoff zu ermöglichen, sind Drücke von 250 bis 350 bar und Temperaturen zwischen 400 und 500 Grad nötig. Da fossile Brennstoffe lange Zeit billig waren, ließ sich Ammoniak und damit Stickstoffdünger preisgünstig herstellen. Die Mengen stiegen Jahr für Jahr. Heute werden weltweit jährlich 120 Millionen Tonnen Kunstdünger produziert.

Doch was für die Ernährungssicherheit des Menschen ein Segen ist, hat den Stickstoffkreislauf aus dem Gleichgewicht gebracht – zum Schaden der Natur. Denn Pflanzen verwerten nur einen Teil des ausgebrachten Düngers. Laut einer aktuellen Studie, an der die Universität Lanzhou in China federführend beteiligt war und die jetzt im Journal Proceedings der US-amerikanischen National Academy of Sciences veröffentlicht wurde, sind es lediglich 40 Prozent. Der Rest bleibt als Nitrat und Ammonium im Boden.

Regnet es, sickert das Nitrat teils ins Grundwasser, wo es in gesundheitsschädliches Nitrit umgewandelt werden kann; teils wird es aus dem Boden ins nächstgelegene Gewässer geschwemmt und bis ins Meer gespült. Die Folge: Die aquatischen Lebensgemeinschaften ändern sich. Arten, die mit dem Nährstoff-Überschuss nicht klarkommen, verschwinden. Dadurch begünstigte Arten nehmen überhand. In Meeren und Seen häufen sich sogenannte Algenblüten, ein plötzliches Massenwachstum von Algen, die bald darauf ab-

sterben und in die Tiefe sinken. Zum Abbau dieses organischen Materials werden große Mengen Sauerstoff benötigt. Es entstehen sauerstofffreie Todeszonen, in denen kein höheres Leben mehr möglich ist. Solche Todeszonen haben sich in der Ostsee im Lauf der letzten 100 Jahre verzehnfacht. Zusammengekommen erstrecken sie sich über eine Fläche, die fast viermal so groß ist wie Schleswig-Holstein.

In Deutschland stammen laut Umweltbundesamt über die Hälfte der reaktiven Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft. Nicht nur Kunstdünger,

auch organische Düngemittel aus der Viehzucht wie Mist oder Gülle tragen zur Überdüngung der Äcker bei. Dazu kommen Emissionen aus Verkehr, Industrie und privaten Haushalten. Das Verbrennen fossiler Energieträger in Motoren, Industrieanlagen sowie Öl- und Gaskesseln setzt Stickoxide frei, die sich über die Luft weiträumig

»Der Mensch hat den Input mehr als verdoppelt«

Sönke Zaehle, Max-Planck-Institut für Biogeochemie

In Todeszonen ist kein Leben mehr möglich (r.). Algenblüte vor Estland im Satellitenbild (u.).



verteilen. Im dicht besiedelten, durchindustrialisierten und von Viehzucht geprägten Deutschland ist nach Einschätzung von Sönke Zaehle, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, jeder Quadratmeter Landesfläche überdüngt.

Um herauszufinden, wo und in welchen Mengen sich Stickstoff anreichert, hat Zaehles Team ein komplexes Computermodell entwickelt, das über die Erdoberfläche ein Gitter mit Feldern von 50 mal 50 Kilometer Kantenlänge legt. Für jedes dieser Felder errechnet das Modell, wie viel Stickstoff die dortigen Ökosysteme, ob Wald, Wiese, Gewässer oder Ackerland, freisetzen und wie viel eingetragen wird. In die Berechnungen fließen neben Stickstoffemissionen aus Verkehr, Industrie, Landwirtschaft und privaten Haushalten noch weitere Faktoren ein, etwa die Düngung mit Phosphor oder der Einfluss des Klimawandels. Das Modell liefert einen Überblick, wie viel reaktiver Stickstoff vorhanden ist, wie viel davon in die Atmosphäre entweicht und wie sich dieser Teil über den Erdball verbreitet.

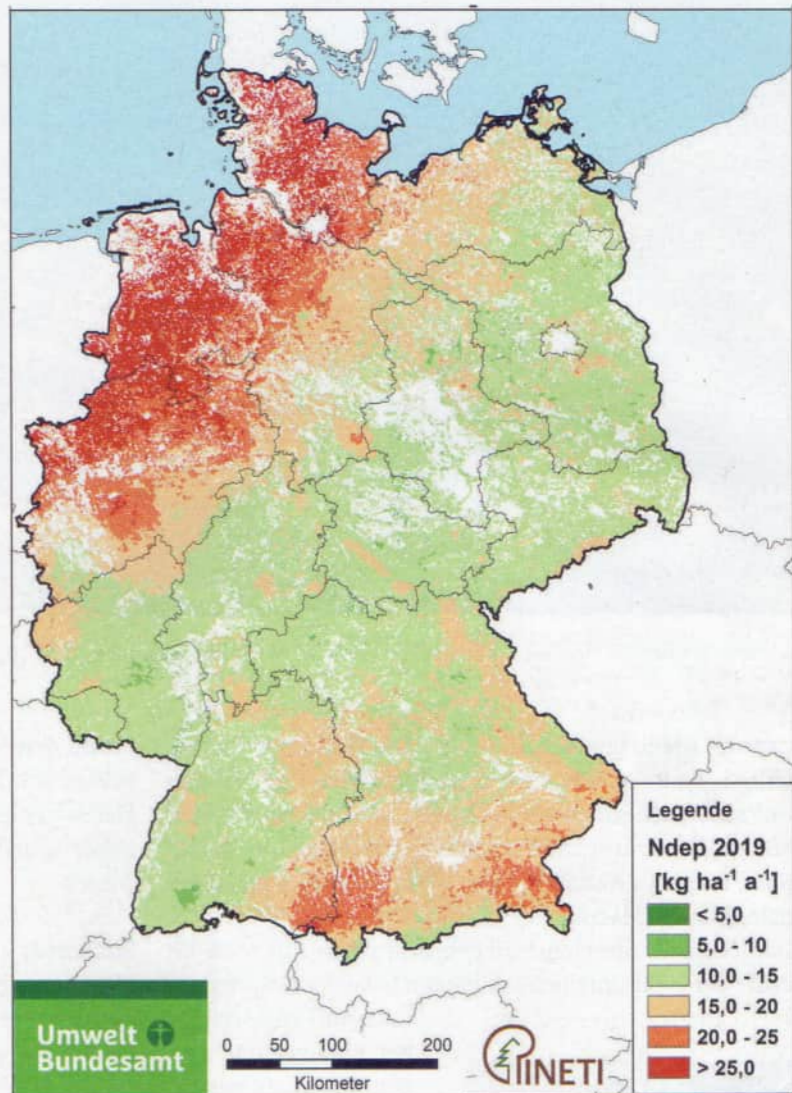
Ergebnis: „Der Mensch hat den Input des Stickstoffkreislaufes seit Beginn der Industriellen Revolution mehr als verdoppelt“, rechnet Zaehle vor. Ein gewaltiger Überschuss, der allerdings regional ungleich verteilt ist. „In den hohen Breiten finden sich nur geringe Stickstoffeinträge, zu den Tropen hin wird es mehr“, erläutert der Geoökologe. Am höchsten belastet seien Europa, die USA, China und Indien. „Doch es existieren überall regionale Hotspots, beispielsweise dort, wo sich die Viehwirtschaft konzentriert.“ Andererseits gebe es auch Regionen, wo es an reaktivem Stickstoff mangle, führt Zaehle aus: „Etwa in Zentralafrika.“

Wie Pflanzen Stickstoff gewinnen und nutzen

Stickstoffmangel, heute die Ausnahme, war in vorindustriellen Zeiten vielerorts die Regel. Und ein Segen für die Natur. Denn Not macht erfinderisch und so haben Lebewesen im Laufe der Evolution unterschiedlichste Strategien entwickelt, um an den lebenswichtigen Stoff zu gelangen. Etwa der auch hierzulande heimische Sonnentau: Die auf kargen Moorböden gedeihende fleischfressende Pflanze lockt Insekten an, die auf den beweglichen, mit klebrigen Tentakeln besetzten Blättern hängen bleiben

und dort zersetzt werden. Die herausgelösten Nährstoffe, darunter Stickstoff, absorbiert die Pflanze über ihre Blätter und wächst auf diese Weise auch unter extremen Bedingungen.

Bäume wie Buchen, Eichen, Fichten oder Kiefern verfolgen eine andere Strategie. Sie leben in Symbiose mit sogenannten Mykorrhiza-Pilzen, die als dichter Mantel auf ihrem Feinwurzelsystem wachsen. Durch den Pilz vervielfacht sich die Kontaktfläche der Wurzeln mit dem Erdreich – entsprechend erhöht sich das Vermögen des Baumes, Wasser und Nährstoffe aufzunehmen. Das Pilzgeflecht sorgt für den Nachschub von Phosphor, Kalium und vor allem Stickstoff. Als Gegenleistung bekommt es Zuckerstoffe für das eigene Wachstum. Auf ähnliche Weise deckt die Pflanzenfamilie der Leguminosen, zu der bestimmte Feldfrüchte, aber auch Ginster und Akazien zählen, ihren Stickstoffbedarf. Auf ihren Wurzeln leben so ge-



Die Stickstoffbelastung der Böden in Deutschland ist im Nordwesten am höchsten.



Sicheres Zeichen für eine überdüngte Wiese: Hier wächst nur noch Löwenzahn, der mit dem Überangebot an Stickstoff klarkommt.

nannte Knöllchenbakterien, die die Fähigkeit haben, Luftstickstoff in reaktiven Stickstoff umzuwandeln. Damit sind Leguminosen unabhängig vom Stickstoffgehalt des Bodens und wachsen auch in extremen Lebensräumen, wie etwa Akazien in der Wüste oder Ginster in der mediterranen Macchia.

Alle diese unterschiedlichen Strategien, die sich im Laufe der Evolution herausbildeten, haben den Mangel an Stickstoff zum Treiber der Biodiversität werden lassen. Zu besichtigen auf Magerwiesen, deren karge Böden eine bunte Blütenpracht hervorbringen – ein Fest des Artenreichtums und ein gedeckter Tisch für Wildbienen, Schmetterlinge und Käfer.

Umgekehrt erzeugt Stickstoffüberschuss Artenarmut. Wo gedüngt wird, schwindet die Vielfalt. Einige wenige, stickstofflie-

bende Arten wie Löwenzahn, Brennnesseln oder Brombeeren dominieren. Geringere Blütenvielfalt bedeutet zugleich weniger Nahrung für Insekten und damit auch sinkende Vogelbestände, denn Vögel sind auf Insekten angewiesen.

Stickstoff verändert das Klima

Eine weitere Gefahr für die Artenvielfalt ist der Klimawandel, der ebenfalls durch den Stickstoffüberschuss beeinflusst wird. Denn die Mikroorganismen, die Bodennitrat in Nitrat verwandeln, setzen bei diesem Prozess Lachgas frei – ein Treibhausgas, das für das Klima rund 300-mal schädlicher ist als CO_2 . „Die Lachgas-Konzentration in der Atmosphäre ist in den letzten zehn Jahren stark gestiegen“, berichtet Max-Planck-Forscher Sönke Zaehle. Der größte Teil des Lachgases stammt aus der Landwirtschaft; in Deutschland sind es 80 Prozent.

Stickstoff heizt das Klima also auf – hat andererseits aber auch kühlende Effekte. Denn aus Ställen, offenen Jauchegruben oder beim Ausbringen von Gülle auf dem Acker gas Stickstoff in Form von Ammoniak aus, wird vom Wind übers Land verweht und lagert sich in Mooren, Wäldern und Gebirgen ab. Auf den herabrieselnden Dünger reagieren die Ökosysteme mit schnellerem Pflanzenwachstum, was der Atmosphäre vermehrt CO_2 für die dadurch angeheizte Fotosynthese entzieht und damit die Atmosphäre abkühlt. Zudem fördert Stickstoff die Bildung von Aerosolen, die zum Feinstaub zählen. Aerosole jedoch, die für das bloße Auge unsichtbar in der Atmosphäre schweben, wirken kühlend, indem sie das Sonnenlicht diffus streuen.



Knöllchenbakterien (o.).
Der Sonnentau frisst
Fliegen (l.).

In einer von der EU finanzierten Studie aus dem Jahre 2011 heißt es daher: Die kühlenden Effekte durch Aerosolbildung und schnelleres Pflanzenwachstum und die wärmenden Effekte durch das Ausgasen von Lachgas hielten sich annähernd die Waage. Die Stickstoffüberschüsse heizen das Klima insgesamt betrachtet also nicht auf. Allerdings schädigt Lachgas nicht nur das Klima, sondern greift darüber hinaus auch die Ozonschicht an, die in der Stratosphäre als Schutzschild gegen die gefährliche UV-Strahlung wirkt. Die Wissenschaft ist sich daher einig: Die Stickstoffbelastung muss schnell und drastisch reduziert werden.

Einsatz von Stickstoffdünger ist gesunken

Die Vereinten Nationen haben 2019 die Colombo-Deklaration verabschiedet, nach der bis 2030 im Vergleich zu 2020 nur noch halb so viel überschüssiger Stickstoff in die Umwelt gelangen soll. In Deutschland ist der Einsatz von Stickstoffdünger in den Jahren 2000 bis 2020 immerhin von 1,85 auf 1,27 Millionen Tonnen reduziert worden. Doch noch immer liegen die Nitratkonzentrationen in mehr als einem Viertel der Grundwasservorkommen über dem Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter, den die EU in ihrer Nitratrichtlinie festgelegt hat. Weshalb die Bundesregierung 2018 vom Europäischen Gerichtshof dazu verdonnert wurde, ihre Düngeverordnung zu überarbeiten.

»Mit Grenzwerten allein lässt sich das Problem nicht lösen«

Thomas Scholten, Universität Tübingen

Mit Grenzwerten allein lässt sich das Stickstoffproblem allerdings nicht lösen, ist Thomas Scholten, Direktor des Geographischen Instituts an der Eberhard Karls Universität Tübingen, überzeugt: „Man muss das ganze System in den Blick nehmen“, sagt der Bodenkundler und plädiert für mehr Ökolandbau. Denn ökologisch wirtschaftende Höfe verzichten auf Kunstdünger und bauen stattdessen Leguminosen wie Rotklee, Lupinen oder Luzerne als Zwischenfrucht an; Pflanzen also, die mithilfe von Knöllchenbakterien Stickstoff erzeugen. Werde mit Gülle gedüngt, sollte diese nicht gespritzt, sondern bodennah mit Schleppschläuchen ausgebracht werden. Dann gase erheblich weniger Ammoniak aus.

Scholten ist zudem ein Verfechter der sogenannten Präzisionslandwirtschaft, die mithilfe von KI, Datenmanagement und Sensortechnologien den Stickstoffbedarf des Bodens Quadratmeter für Quadratmeter ermittelt und die Düngung anpasst. Das könnte den Stickstoffüberschuss auf 30 Kilo pro Hektar und Jahr begrenzen. „Damit kann die Landwirtschaft gut leben.“ Im Vergleich zu heute wäre das eine Reduktion um zwei Drittel. Scholten fordert zudem finanzielle Anreize. „So wie der CO₂-Preis zum Klimaschutz animiert, könnte auch ein Stickstoffpreis die Überschüsse senken.“ Die niederländische Regierung geht einen anderen Weg: Sie hat 1,5 Milliarden Euro bereitgestellt, um bis zu 3.000 Viehzuchtbetriebe aufzukaufen und stillzulegen und so den Stickstoffausstoß deutlich zu reduzieren. //

Wer sein Feld mit Gülle düngt, sollte diese mit Schleppschläuchen bodennah ausbringen.

