

Fachbereich Mathematik/Informatik



Seminar

Hauptseminar der
Angewandten Systemwissenschaft

SS 1998

Leitung: Prof. Dr. Michael Matthies

Thema:

Der Stickstoffkreislauf
Weltbevölkerung und Stickstoffdünger

Referent:

Benjamin Stark

Referat gehalten am 20. Mai 1998

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Kreislauf	3
3. Stickstoff.....	4
4. Dünger	8
5. Probleme	10
6. Aussichten.....	12

Abbildungen

Abb.1 Räderwerk der Kreisläufe	4
Abb.2 Stickstoff und einige seiner Verbindungen in der Biosphäre	5
Abb.3 Wurzelknöllchen an einer Sojabohne.....	6
Abb.4 Biosphärischer Teil des Stickstoffkreislaufs	7
Abb.5 Stickstoffkreislauf (vereinfacht)	8
Abb.6 Entwicklung Weltbevölkerung - Verbrauch synth. Stickstoffdünger im 20. Jh.....	9
Abb.7 Geogener und anthropogener Stickstofffluß - Ausschnitt.....	11

Literatur

Gisi, Ulrich Bodenökologie	Georg Thieme Verlag, 1990
Hutzinger, Otto The Handbook of Environmental Chemistry, Vol.1 Part B	Springer-Verlag, 1982
Klötzli, Frank A. Ökosysteme	Gustav Fischer Verlag, 1993
Likens, Gene E. Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles	John Wiley & Sons, 1981
Smil, Vaclav Global Population and the Nitrogen Cycle	Scientific American, 7/1997

Der Stickstoffkreislauf

Weltbevölkerung und Stickstoffdünger

Zur Ernährung der mittlerweile rund sechs Milliarden Menschen wird in der modernen Landwirtschaft so viel Stickstoff als Düngemittel verwendet, daß sich seine Verteilung auf der Erde dramatisch und in mancher Hinsicht sogar gefährlich verändert hat.

1. Einleitung

Innerhalb dieses Jahrhunderts hat sich die Weltbevölkerung nahezu vervierfacht. Viele Faktoren haben zwar dazu beigetragen, doch das beispiellose Wachstum während der letzten Generationsspanne wäre nicht möglich gewesen ohne eine weitverbreitete, aber allgemein unterschätzte industrielle Aktivität: Die großtechnische Herstellung von Ammoniak und davon abgeleiteten stickstoffhaltigen Düngemitteln. Mangelnde Stickstoffversorgung der Böden - einst ein fundamentaler ertragsbegrenzender Faktor im Pflanzenbau - war mit dem leicht verfügbaren Kunstdünger erfolgreich zu beheben. Dieser Tatsache, aber auch vielen weiteren Fortschritten in der modernen landwirtschaftlichen Praxis ist es zu verdanken, daß heute theoretisch für alle Menschen genug Nahrung zur Verfügung steht, trotz ihrer enormen und noch weiter steigenden Zahl.

Doch warum ist Stickstoff von so zentraler Bedeutung für unsere Ernährung und welche konkreten Auswirkungen hat die immense Produktion von industriellem Stickstoffdünger? Dazu ist es zuerst notwendig, den natürlichen Kreislauf des Stickstoffs auf unserer Erde genauer zu untersuchen. Aber was ist überhaupt ein Kreislauf?

2. Kreislauf

Beim Stichwort Kreislauf fällt einem Nicht-Biologen vielleicht als erstes der eigene Blutkreislauf oder der Heizungskreislauf eines Wohnhauses ein. Diese beiden Kreisläufe sind zweckbestimmte Vorgänge, in denen ein Stoff immer wieder an seinen Ausgangspunkt zurückkehrt und dabei bestimmte Veränderungen erfährt oder an Prozessen teilnimmt.

Der Blutkreislauf zum Beispiel versorgt alle Organe mit Sauerstoff und Nährstoffen und führt Kohlenstoffdioxid und Giftstoffe den Ausscheidungsorganen zu. Dabei bleibt das zirkulierende Blut selbst im Kreislauf und bewegt sich auf festgelegten Bahnen, den Adern. Ebenso wird beim Heizungskreislauf ständig heißes Wasser durch ein Röhrensystem gepumpt, welches seine Wärme beim Durchlaufen der Heizkörper an den Wohnraum abgibt und selbst zurück zur Heizungsanlage läuft, um dort erneut erhitzt zu werden.

Diese Beispiele sind noch recht überschaubar, denn sie verlaufen in einem nahezu geschlossenen System. Die Kreisläufe in der Umwelt sind dagegen zum größten Teil unsichtbar und sehr kompliziert. Sie lassen sich nicht unabhängig voneinander betrachten, sondern sind eng miteinander verbunden und kurbeln sich gegenseitig an.

Die wichtigsten Kreisläufe der Natur sind der Wasserstoffkreislauf, der Kohlenstoffkreislauf, der Sauerstoffkreislauf, der Phosphorkreislauf und natürlich der Stickstoffkreislauf. Auch aus diesen Kreisläufen gehen keine Elemente verloren, sondern sie werden in verschiedenen

Prozessen gebunden und wieder freigesetzt. Sie laufen auf bestimmten Bahnen, von toter Substanz zu Lebewesen, von einem Lebewesen zum anderen und wieder zu toter Substanz - angetrieben durch den Energiefluß der Sonne.

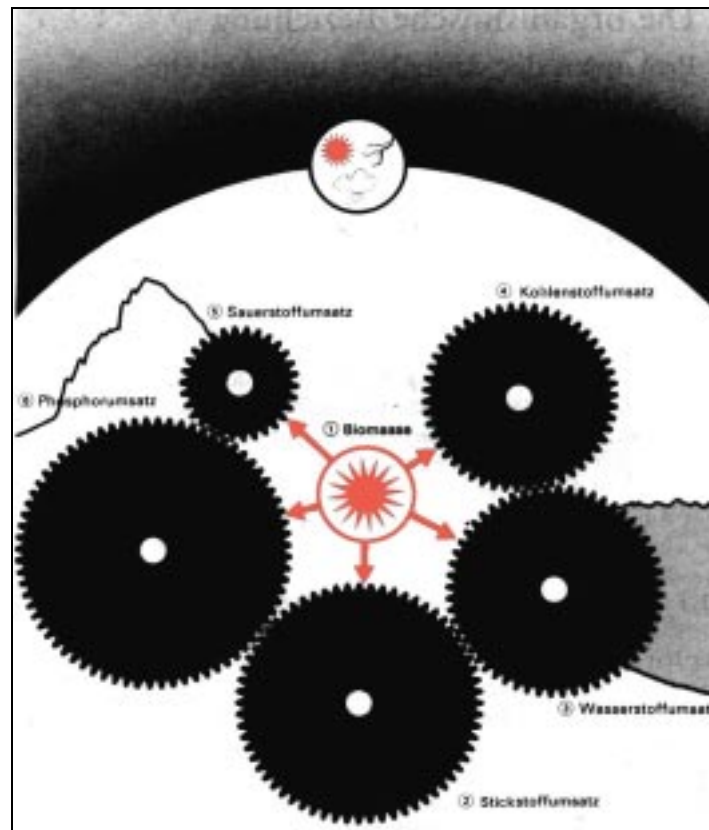


Abb.1: Räderwerk der Kreisläufe:

Die Energie, die in der Biosphäre steckt, treibt die Kreisläufe an. Die Geschwindigkeit im Umsatz eines Elementes bedingt die Geschwindigkeit im Umsatz der anderen. Je kleiner das Rad, desto schneller dreht es sich bzw. wird der betreffende Stoff umgesetzt.

Man bezeichnet solche Kreisläufe der Natur auch als „biogeochemische“ Kreisläufe, da ihre chemischen Grundstoffe zwischen belebten (Biosphäre) und unbelebten (Geosphäre) Teilsystemen der Erdoberfläche zirkulieren. Unterschieden wird zwischen Kreisläufen gasförmiger Stoffe und Kreisläufen der Feststoffe. In allen sind aber meist nur sehr geringe Mengen des Stoffes im Umlauf, verglichen mit den riesigen stillen Lagern des gleichen Stoffes.

Dies ist auch beim Stickstoff der Fall, der im folgenden genauer betrachtet werden soll.

Zusammenfassung:

Kreislauf = Prozeß, bei dem die daran beteiligten Stoffe (auch die Energie) innerhalb eines bestimmten Systems nach Durchlaufen verschiedener Umwandlungsprozesse stets wieder in der ursprünglichen Form und Menge vorliegen.

3. Stickstoff

Stickstoff ist ein gasförmiges Element mit dem chemischen Symbol N (von lat. Nitrogenium), das sowohl farblos als auch geruch- und geschmacklos ist. Es ist ein reaktionsträges und ungiftiges Gas, das in Form zweiatomiger Moleküle, N_2 , vorliegt.

Mit über 78 Volumenprozenten ist Stickstoff das häufigste Element der Erdatmosphäre. Es gehört aber außerdem zu den Schlüsselementen der Biosphäre, da die wichtigsten Moleküle des Lebens - Aminosäuren (Bausteine der Proteine bzw. Eiweiße) und Nukleinsäuren (Bausteine der DNS) - Stickstoff als wesentliches Element enthalten.

Alle Organismen, d.h. Pflanzen, Tiere und Menschen, enthalten also Stickstoff in Form von Eiweißverbindungen und Nukleinsäuren. Menschen und Tiere können diese Moleküle aber nicht unter Verwendung des Luftstickstoffs herstellen und müssen deshalb Stickstoffverbindungen mit der Nahrung, insbesondere in Form von pflanzlichem und tierischem Protein, aufnehmen. Eine Mindestversorgung ist zum Ausgleich der kontinuierlichen Verluste unabdingbar.

Pflanzen dagegen stellen die von ihnen benötigten Aminosäuren alle selbst her. Dazu nimmt die Pflanze Stickstoff in Form von Nitrat- oder Ammonium-Ionen über die Wurzeln aus dem Boden auf. Doch ist Stickstoff - obwohl im Übermaß in der Atmosphäre vorhanden - nur zu einem sehr geringen Anteil im Boden gebunden. Molekularer Stickstoff (N_2) ist zu stabil, als daß er sich ohne weiteres in eine reaktive, im Stoffwechsel nutzbare Form überführen ließe.




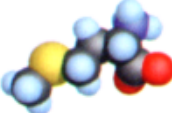
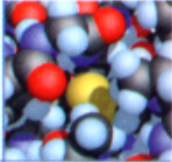





	N_2 molekularer Stickstoff	NH_3 Ammoniak	$CO(NH_2)_2$ Harnstoff	Amino- säuren	Proteine
Kalotten- modell					
Stickstoff- gehalt in Prozent	100	82	47	8 bis 27	rund 16
Menge in Milliarden Tonnen Stickstoff	10000	10	0,01	10	1
					
	Stickstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Kohlenstoff	Schwefel

Abb.2: Stickstoff und einige seiner Verbindungen in der Biosphäre

Jedoch existieren im Boden freilebende oder in Symbiose mit Pflanzenwurzeln lebende Bakterien, die den atmosphärischen Luftstickstoff direkt in Nährstoffe umwandeln können. Dieser Vorgang wird *Stickstofffixierung* genannt.

Durch das symbiotische Zusammenleben von Bakterien der Gattungen Rhizobium und Bradyrhizobium mit den Wurzeln von Hülsenfrüchtlern (Leguminosen = Schmetterlingsblütler, Mimosengewächse und Caesalpiniegewächse) wie Erbsen, Bohnen oder Klee entstehen sogenannte Wurzelknöllchen, in denen die Umwandlung von atmosphärischem Stickstoff N_2 zu Ammonium NH_4^+ stattfindet. Dazu liefern die Bakterien einen sauerstofflabilen, stickstoffreduzierenden Enzymkomplex, während die Pflanze die nötige Energie, Elektronentransportsysteme für die Reduktion, sauerstoffbindende Enzyme und Kohlenhydrate zur Bildung von Aminosäuren zur Verfügung stellt.

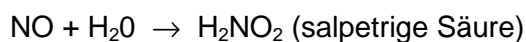


Abb.3: Wurzelknöllchen an einer Sojabohne

Nachdem nun der Stickstoff gebunden als Ammoniak im Knöllchen vorliegt, wird dieser abtransportiert, und das Knöllchen stirbt ab. Die Pflanze setzt den aufgenommenen Ammoniak dabei sofort mit organischen Säuren zu Aminosäuren um, da freies Ammoniak für sie selbst giftig ist. Durch diese Art der Stickstofffixierung werden pro Jahr und Hektar zwischen 300 und 600 Kilogramm Stickstoff gebunden bzw. fixiert.

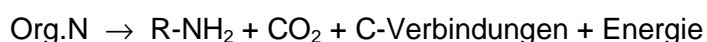
Bei Nicht-Hülsenfrüchtlern befinden sich in der Boden-Wurzel-Grenzschicht (Rhizosphäre) die freilebenden, nichtsymbiotisch stickstofffixierenden Bakterien. Sie sind aber nur in kleiner Anzahl und vorwiegend in subtropischem Klima vorhanden. Bevorzugte Wirtspflanzen sind vor allem Reis, aber auch Zuckerrohr und andere tropische Kulturpflanzen.

Neben der Stickstofffixierung vermag die Energie von Gewitterblitzen in geringem Maße die stabilen Stickstoffmoleküle der Luft zu spalten, so daß mit dem Sauerstoff aus der Luft Stickstoffoxide, NO_x , gebildet werden. Mit dem Regen werden diese Oxide als salpetrige Säure in den Boden geschwemmt und können dort pflanzenverfügbare Nährstoffe bilden.



Abgestorbene Pflanzen und Exkremente von Tieren und Menschen werden bei der Mineralisierung durch eine Reihe von Mikroorganismen umgewandelt. Die sogenannte *Ammonifikation* erfolgt nach folgendem Schema:

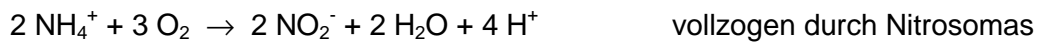
1. Spaltung der Makromoleküle (Proteine, Nukleinsäuren):



2. Desaminierung:

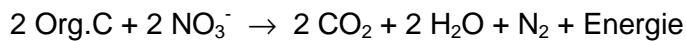


Das entstandene Ammonium-Ion wird unter aeroben (sauerstoffreichen) Verhältnissen von Bakterien der Gattung Nitrosomas und Nitrobacter über Nitrit zu Nitrat oxidiert. Dieser Vorgang heißt *Nitrifikation*:



Da die zweite Reaktion schneller abläuft als die erste, findet man Nitrit im Boden meist nur in Spuren. Die Pflanzen nehmen den Stickstoff meist als Nitrat auf und verwerten ihn unter Reduktion zu NH_4^+ zur Synthese von stickstoffhaltigen Zellbestandteilen. Diese Reduktion kann unter aeroben wie unter anaeroben Bedingungen ablaufen.

Allerdings steht besonders unter anaeroben (sauerstoffarmen) Bedingungen nicht die gesamte so erzeugte Nitratmenge den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung. Eine bestimmte Bakterienart, sogenannte denitrifizierende Bakterien, bedienen sich des Nitrats als Sauerstoffquelle (*Nitratatmung* oder *Denitrifikation*). Dabei wird Nitrat zu Stickstoff (N_2) reduziert und entweicht in die Atmosphäre.



Da nicht alle Mikroorganismen Nitrat vollständig reduzieren, tritt auch N_2O als Endprodukt der Denitrifikation auf. Da N_2O ein leichtflüchtiges Gas ist, entweicht es aus dem Boden, bevor es weiter reduziert werden kann.

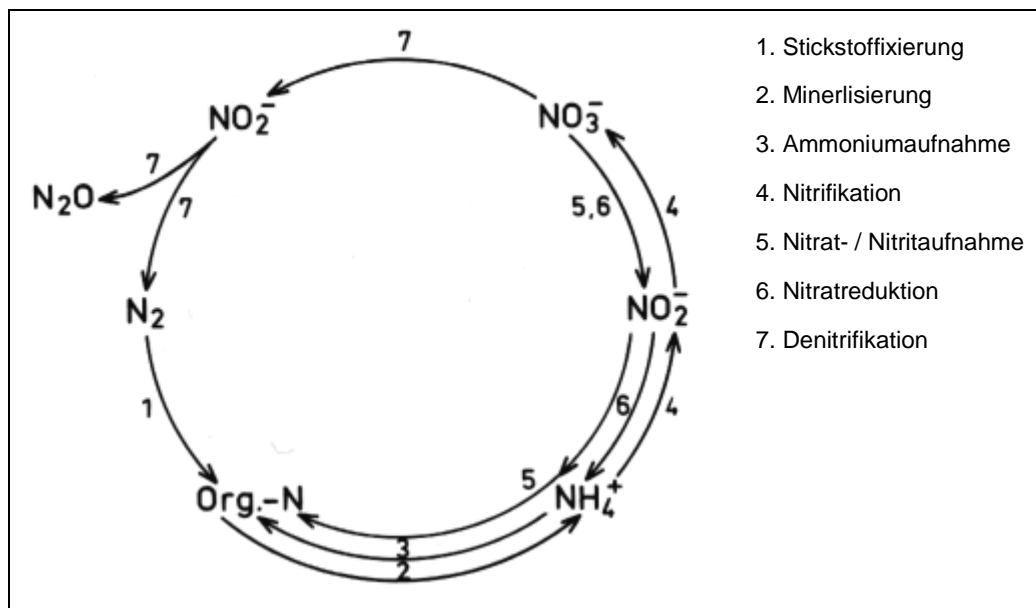


Abb.4: Biosphärischer Teil des Stickstoffkreislaufs

Zusammenfassung:

Stickstoff ist für Pflanzen, Tiere und Menschen lebensnotwendig, da er elementarer Bestandteil von Proteinen und Nukleinsäuren ist; Pflanzen können Stickstoff nur in Form von Nitrat- oder Ammonium-Ionen aufnehmen; atmosphärischer Stickstoff gelangt über stickstofffixierende Bakterien in den Boden; Tote organische Stickstoffverbindungen werden von Bakterien zu Ammoniak bzw. Ammonium abgebaut

An diese seit Jahrmillionen gegebenen natürlichen Bedingungen hat sich das Leben auf unserem Planeten angepaßt. Aufbau und Abbau der Stickstoffverbindungen sind in einen Kreislauf eingebunden, der im wesentlichen geschlossen ist.

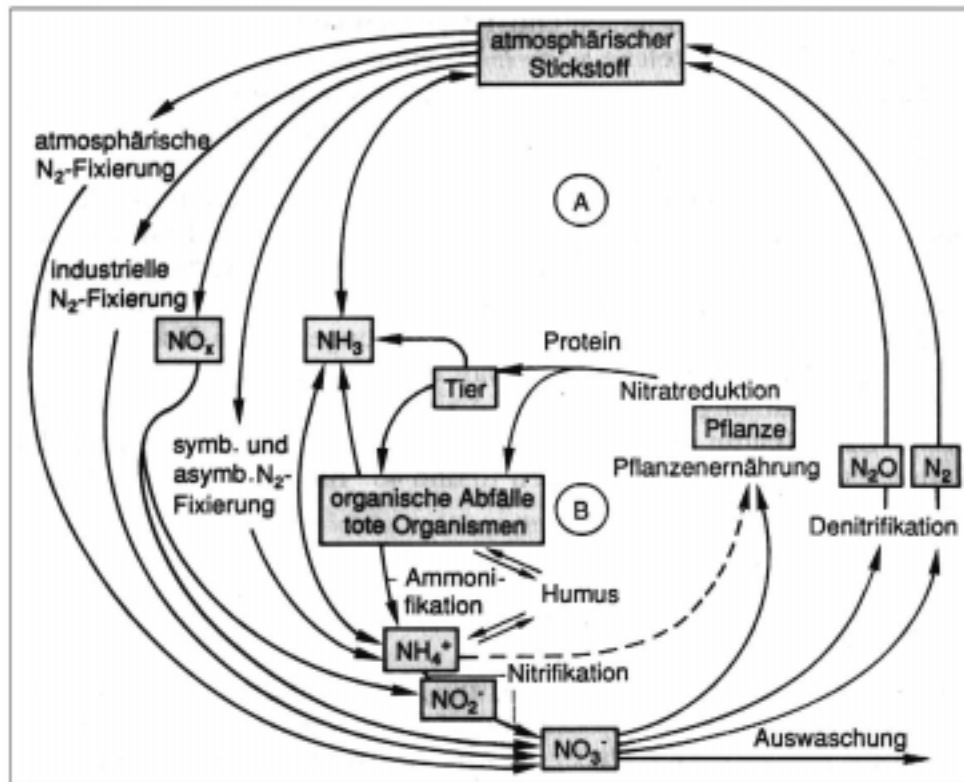


Abb.5: Stickstoffkreislauf (vereinfacht)

4. Dünger

Ackerböden werden außer durch verschiedene natürliche Prozesse auch durch Anbau und Ernte der Kulturpflanzen kontinuierlich Stickstoff entzogen. In vor-industriellen Gesellschaften hat man ihn über Mist, Gülle und andere organische Dünger rückzuführen versucht. Allerdings mußten riesige Mengen dieser sogenannten Wirtschaftsdünger ausgebracht werden, um eine ausreichende Stickstoffversorgung sicherzustellen.

Eine weitere traditionelle Methode ist der Anbau von Hülsenfrüchten wie Erbsen, Bohnen und Linsen, die die Entstehung von Wurzelknöllchen zulassen, im Wechsel mit Getreide und einigen anderen Nutzpflanzen. Teilweise wurden Hülsenfrüchtler wie Klee ausschließlich zu dem Zweck ausgesät, sie später als Gründünger unterzupflügen.

Die Kombination von Gründüngung und dem Ausbringen menschlicher und tierischer Exkremente kann theoretisch im Jahr bis zu 200 Kilogramm Stickstoff pro Hektar ackerbaulich nutzbarer Fläche bereitstellen. Die damit erzeugten 200 bis 250 Kilogramm Pflanzenprotein bedeuten, daß bei gutem Boden, ausreichender Feuchtigkeit und mildem Klima, das ganzjährige Bewirtschaftung erlaubt, ein Hektar Ackerland immerhin 15 Menschen ernähren kann.

Doch ist in der Praxis von einer Obergrenze von nur ungefähr fünf Menschen auszugehen, da zum Beispiel ungünstige Witterung und Schädlingsbefall immer wieder Ernteeinbußen brach-

ten und Flächen für Arznei-, Faser- und andere Pflanzen abzuzweigen waren, die nicht dem Verzehr dienten. Doch das eigentlich Dilemma lag in dem geschlossenen Stickstoffkreislauf. Besonders scharf äußerte es sich in Gegenden mit Landknappheit, wo keine freien Flächen als Weide zu nutzen oder urbar zu machen waren. Die einzige Möglichkeit, die durch den lokalen Stickstoffkreislauf gesetzten Ertragsgrenzen zu überschreiten, bot dann der vermehrte Anbau von Gründünger. Doch dadurch fiel eine sonst Nahrung liefernde Fruchtfolge aus, weshalb ein Fruchtwechsel von eßbaren Hülsenfrüchtlern mit dem Hauptgetreide demnach die bessere Wahl war. Aber auch diese in der traditionellen Landwirtschaft verbreitete Methode hat wiederum ihre Grenzen. Hülsenfrüchtler liefern geringere Erträge, und außer daß die Produkte schwer verdaulich sind, lassen sich daraus auch nicht ohne weiteres Brot oder andere Teigwaren herstellen. Die wenigsten der nach altüberkommenen Verfahrensweisen angebauten Nahrungspflanzen hatten demnach eine angemessene Stickstoffversorgung.

Mit wachsendem chemischem Wissen erkannten Wissenschaftler im 19. Jahrhundert, wie kritisch Stickstoff für die Nahrungsproduktion und wie knapp er in pflanzenverwertbarer Form ist. An den anderen Hauptnährstoffen für Pflanzen, Kalium und Phosphor, herrschte in Böden sehr viel weniger Mangel und der ließ sich im Gegensatz zu Stickstoff sehr einfach auf mineralischem Wege ausgleichen. Erste Versuche dem dringlichen Problem der Stickstoffknappheit zu begegnen, waren der Einsatz von Chilesalpeter (Nitrat aus mineralische Ablagerungen in Wüstenregionen) und Guano (Exkremete von Seevögeln auf regenlosen peruanischen Inseln), deren Beschaffung aber sehr aufwendig war. Ebenso erwiesen sich die technische Herstellung von Kalkstickstoff und die Elektro-Oxidation von Luftstickstoff aufgrund der eingesetzten Energiemengen als nicht rentabel.

Der eigentlich Durchbruch kam erst 1909 mit der Erfindung der *Ammoniaksynthese*, die auch nach ihren Erfindern *Haber-Bosch-Verfahren* genannt wird. Schwierigkeiten machte anfangs die Umsetzung in ein großtechnisches Verfahren, so daß erst 1913 die erste kommerzielle Ammoniakfabrik mit einer Jahresproduktion von zehntausend Tonnen Stickstoff errichtet werden konnte. Die wirtschaftlichen Schwierigkeiten während und zwischen den beiden Weltkriegen verzögerten eine zunehmende Nutzung des Haber-Bosch-Verfahrens und erst mit den fünfziger Jahren stieg der Verbrauch an synthetischem Stickstoff auf 10 Millionen Tonnen pro Jahr. Technische Verbesserungen während der sechziger Jahre verringerten den Strombedarf des Verfahrens um mehr als 90 Prozent und ermöglichten größere, wirtschaftlichere Produktionsanlagen. Der nachfolgende exponentielle Anstieg der Nachfrage ließ die Weltjahresproduktion bis 1990 auf 100 Millionen Tonnen Stickstoff hochschnellen.

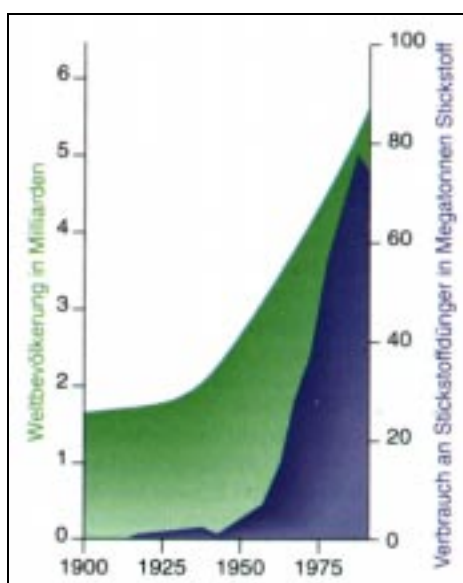


Abb.6: Entwicklung der Weltbevölkerung und der Zunahme des globalen Verbrauchs an synthetischen Stickstoffdüngern im 20. Jahrhundert

Dieser immense Düngerproduktion bedeutet für den Menschen, daß heute rund ein Drittel des Proteinstickstoffs in seiner Nahrung aus synthetischem Stickstoffdünger stammt. Diese Zahl verführt allerdings dazu, die Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens zu überschätzen, denn in Europa und Nordamerika wäre Stickstoffdünger nicht nötig, um das Überleben oder sogar nur eine angemessene Ernährung zu sichern. Die intensive Verwendung synthetischer Düngemittel in den Industriestaaten resultiert aus der weitverbreiteten Vorliebe für proteinreiche Fleischnahrung. Es wird Futter für Schlachtvieh angebaut, wobei nur ein Bruchteil des gefressenen Pflanzenproteins schließlich verzehrbare tierisches Protein ergibt. Selbst wenn Europäer und Nordamerikaner ihre durchschnittliche Eiweißaufnahme fast halbierten, wären sie noch immer angemessen ernährt. Die Bedeutung von Kunstdünger ist anderswo allerdings nicht zu unterschätzen, denn in einer ganzen Reihe dicht bevölkerter Staaten mit knapper Agrarfläche verdanken ihm die Menschen ihre Existenz.

Zusammenfassung:

Der ständige Stickstoffentzug aus Ackerböden wurde früher durch den Einsatz organischer Dünger ausgeglichen. Durch die Erkenntnis der Stickstoffknappheit im Boden und der Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens Anfang dieses Jahrhunderts, entstand die Stickstoffdünger-Industrie und heute stammt etwa ein Drittel des vom Menschen aufgenommenen Proteins aus Stickstoffdüngern.

5. Probleme

Der massive Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in Böden und Gewässer hat umweltschädliche Folgen, die von lokaler Gesundheitsgefährdung bis zu globalen Veränderungen, von tiefen Erdschichten bis hoch in die Stratosphäre reichen.

Ein seit rund 30 Jahren beunruhigendes Problem ist die Auswaschung hochgradig löslicher Nitrate, die in Gegenden, in denen Weinanbau und intensive Landwirtschaft betrieben und somit stark gedüngt wird, Grundwasser wie auch Oberflächengewässer unter Umständen schwer verunreinigen. Hohe Nitratspiegel, beispielsweise in dem zur Zubereitung von Flaschennahrung verwendeten Wasser, können bei Säuglingen eine lebensbedrohliche Blausucht verursachen. Ferner sind Nitrate, aus denen über Nitrit krebserregende Nitrosamine entstehen können, mit einigen Krebsarten in Verbindung gebracht worden.

Stickstoffdünger, der in Teiche, Seen oder Meeresbuchten gelangt, verursacht oft zusammen mit Phosphaten eine Eutrophierung: Das reiche Angebot an einem vorher knappen Nährstoff fördert sogenannte Algenblüten aus Algen und Cyanobakterien, deren organische Substanz bei anschließender Zersetzung andere Lebewesen des Sauerstoffs beraubt und so die Bestände verschiedener Fisch- und Krebsarten dezimiert oder vernichtet.

Ebenso problematisch wie das weiträumige Verfrachten ist aber auch das Verbleiben stickstoffhaltiger Verbindungen am Austragsort, da diese zur Versauerung vieler bewirtschaftbarer Böden beitragen. Wo man dieser Tendenz nicht durch Ausbringen von Kalk entgegenwirkt, können dem Boden infolge Übersäuerung Spurenelemente verstärkt verloren gehen. Auch Schwermetalle werden herausgelöst, gelangen in das Grundwasser und damit letztendlich in die Trinkwasservorräte.

Infolge des zunehmenden Verbrauchs an Stickstoffdünger entweicht auch mehr Distickstoffoxid (N_2O) in die Atmosphäre. Die Konzentrationen dieses Gases, das durch bakterielle Umsetzung der im Boden enthaltenen Nitrate entsteht, sind bisher relativ gering, doch ist es in zwei besorgniserregende Prozesse verwickelt. Zum einen ist Distickstoffoxid so beständig, daß es bis in die Stratosphäre vordringt, wo es mit angeregtem Sauerstoff reagiert und so zur Zerstörung von stratosphärischem Ozon beiträgt, das gefährliche UV-Strahlung abschirmt. Zum anderen fördert es in tieferen Schichten, in der Troposphäre, den Treibhauseffekt.

Innerhalb der Atmosphäre überdauert das Molekül im Mittel länger als ein Jahrhundert und absorbiert rund 200mal soviel Wärmeabstrahlung wie ein Kohlenstoffdioxid-Molekül.

Mikroben setzen aus Stickstoffdünger zudem Stickstoffdioxid (NO_2) frei. Das Gas (das in noch größeren Mengen bei Verbrennungsprozessen entsteht) reagiert in Gegenwart von Sonnenlicht mit anderen Schadstoffen in der Atmosphäre und verursacht auf diese Weise den sogenannten photochemischen Smog.

Aus der Atmosphäre kehren Stickstoffverbindungen in Form von Depositionen auf die Erdoberfläche zurück. Zwar kann das für manche Flächen einen nützlichen Düngungseffekt haben, doch empfindliche Ökosysteme werden unter Umständen überfrachtet. So haben wir seit etwa 20 Jahren zwar ein durch sauren Regen verursachtes Waldsterben zu beklagen, aber ebenso werden unsere Wälder durch stickstoffhaltige Niederschläge in zunehmendem Maße gedüngt. In Gegenden wie der Lüneburger Heide mit einer Vegetation, die mit geringen Stickstoffmengen auskommt, verschiebt sich das Pflanzenspektrum durch die Zufuhr von Stickstoffverbindungen und ganze Landstriche werden von stickstoffliebenden Pflanzen überwuchert.

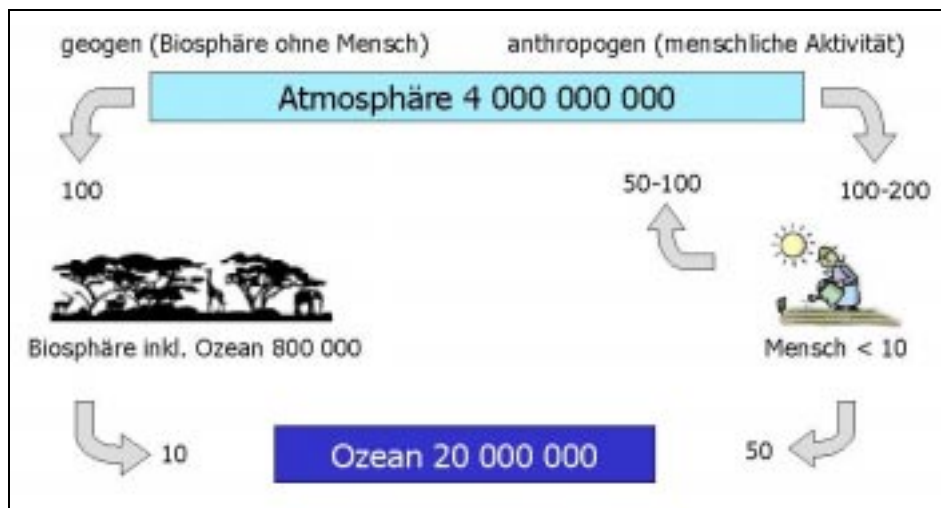


Abb.7: Geogener und anthropogener Stickstofffluß - Ausschnitt
(Angaben in 10^{12} g, bei Flüssen pro Jahr)

Ein entscheidendes Problem der Stickstoffdüngung ist zudem die Verweildauer der Stickstoffverbindungen in der Biosphäre. Im Gegensatz zu natürlich erzeugtem Bodenstickstoff, der mit hoher Ausbeute im Nährstoffkreislauf gehalten wird, entweicht beim anthropogenen Stickstofffluß etwa die Hälfte der eingesetzten Menge wieder in Luft und Wasser und belastet die Umwelt.

Als man die Vorteile synthetischer Stickstoffdünger zu nutzen begann, ließ sich keine dieser Umweltbelastungen vorhersehen. Selbst heute schenkt man dem Problem erstaunlich wenig Aufmerksamkeit, verglichen etwa mit dem Anstieg der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre. Dabei stellt die massive Einbringung von reaktivem Stickstoff, genau wie die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid aus fossilen Brennstoffen, ein gefährliches geochemisches Experiment von globalen Dimensionen dar.

Zusammenfassung:

Der massive Eintrag von Stickstoff hat umweltschädliche Folgen: Auswaschung von krebserregenden Nitraten und Eutrophierung von Gewässern, Versauerung von Böden, Antrieb des Treibhauseffekts und verstärkte Smogbildung durch Stickoxide. Außerdem entweichen synthetische Stickstoffverbindungen in erheblich größerem Maße aus dem Nährstoffkreislauf der Biosphäre als natürlich gebundener Stickstoff.

6. Aussichten

Die Emissionen von Kohlenstoffdioxid und die davon ausgehende Gefahr der weltweiten Erwärmung lassen sich durch eine Verknüpfung wirtschaftlicher und technischer Lösungen verringern. Ohnehin werden fossile Brennstoffe unausweichlich knapper und damit teurer, so daß man von ihnen schließlich abkommen muß, selbst wenn es keine globale Klimaveränderung zu vermeiden gälte. Ohne Stickstoff für Nutzpflanzen jedoch kann die Menschheit nicht auskommen, und Ersatzmethoden für die Haber-Bosch-Synthese sind kurzfristig nicht zu erwarten. Gentechniker werden vielleicht eines Tages symbiotische Knöllchenbakterien zur Besiedlung von Getreidepflanzen schaffen oder diese sogar selbst mit der Fähigkeit zur Stickstofffixierung ausstatten, keine der an sich idealen Lösungen scheint aber unmittelbar bevorzuzustehen. Ohne sie muß die Abhängigkeit von Stickstoffdüngern weiter zunehmen, damit die Milliarden von Menschen, um die die Weltbevölkerung noch wächst, ebenfalls ernährt werden können.

Ein frühzeitiges Erreichen stabiler Bevölkerungszahlen und eine universelle Übernahme vorwiegend vegetarischer Ernährungsweisen könnten zwar den Stickstoffbedarf einschränken, doch keines von beidem ist besonders wahrscheinlich. Die beste Aussicht, den steigenden Stickstoffverbrauch einzudämmen, bieten effizientere Düngemethoden. Eindrucksvolle Ergebnisse sind möglich, wenn Bauern den Vorrat an pflanzenverwertbarem Stickstoff im Boden fortlaufend überwachen, um bedarfsgerecht zu düngen. Einige weltweite Trends werden freilich wohl jeden Effizienzgewinn zunichte machen. Insbesondere wird der schnelle Anstieg der Fleischproduktion in Lateinamerika und in Asien noch mehr Stickstoffdünger erfordern, da man zur Erzeugung einer Einheit Fleisch-Protein drei bis vier Einheiten Futter-Protein benötigt.

Wer diese Tatsachen begreift, vermag die Zukunftsaussichten für eine organische Landwirtschaft klarer einzuschätzen. Fruchtwechsel, Anbau von stickstoffsammelnden Hülsenfrüchtlern, Bodenschutz (der Stickstoffverluste mindert) und das Recycling organischer Abfälle – all dies sind wünschenswerte Maßnahmen. Doch mit ihnen läßt sich nicht der Mehrbedarf an Stickstoffdünger in landarmen, bevölkerungsreichen Nationen decken. Wenn alle Bauern versuchten, zu rein organischem Landbau zurückzukehren, würden sie bald feststellen, daß traditionelle Methoden die heutige Weltbevölkerung nicht ernähren können. Es ist einfach nicht genügend wiederverwertbarer Stickstoff vorhanden, um Nahrung für derzeit schon fast sechs Milliarden Menschen zu erzeugen.

Als die Schwedische Akademie der Wissenschaften Fritz Haber 1918 den Nobelpreis für Chemie zuerkannte, konstatierte sie, daß er „ein außerordentlich bedeutendes Mittel zur Verbesserung des landwirtschaftlichen Standards und des Wohlergehens der Menschheit“ geschaffen habe. Selbst diese überschwengliche Beschreibung er scheint heute eher als Untertreibung. Derzeit verdanken mindestens zwei Milliarden Menschen ihr Leben dem Umstand, daß die Proteine ihres Körpers mit Stickstoff aus einer das Haber-Bosch-Verfahren nutzenden Industrieproduktion aufgebaut wurden.

Vorbehaltlich irgendwelcher überraschender Fortschritte in der Gentechnik dürfte auch nahezu alles Protein für die zusätzlichen zwei Milliarden Menschen, um die die Weltbevölkerung in den nächsten beiden Generationen wachsen wird, aus derselben Quelle kommen. In nur einer Lebensspanne ist die Menschheit grundlegend von der Chemie abhängig geworden.

Zusammenfassung:

Die Möglichkeiten, den aus der massiven Stickstoffdüngung resultierenden Problemen entgegenzuwirken, sind eher gering, denn Ersatzstoffe sind nicht vorhanden und ein Rückschritt zu organischer Landwirtschaft könnte die heutige Weltbevölkerung nicht mehr ernähren. Daher ist es in Zukunft unbedingt nötig, den Stickstoffvorrat des Bodens lokal zu kontrollieren und Dünger gezielter einzusetzen. Insgesamt muß festgestellt werden, daß der Mensch innerhalb kurzer Zeit von der Chemie abhängig geworden ist.