



---

# Der Stickstoffkreislauf der Erde

## (gekürztes Schülermaterial)

---

Vortrag von Simone Flechsig, W/SS 2001/2002

### Gliederung:

#### [2 Luftstickstoff-Fixierung](#)

- 2.1 Biologisch
- 2.2 Technisch
- 2.3 Atmosphärisch

#### [3 Nitrifikation](#)

#### [4 Ammonifikation](#)

#### [5 Denitrifikation](#)

#### [6 Freisetzung](#)

#### [7 Bilanz](#)

#### [8 Umweltproblematik](#)

#### [10 Literatur](#)

---

Der Gesamtstickstoffgehalt der Erde beläuft sich auf  $10^{15}$  Tonnen und findet sich zu 99% in der Atmosphäre (78% der Luft). Weniger als 1% kommt, vor allem als Salpeter bzw. Chilesalpeter, gebunden in der Lithosphäre vor, der Rest verteilt sich auf Hydrosphäre und Biosphäre. Stickstoff ist Bestandteil der Aminosäuren, der DNS sowie Vitaminen und daher unverzichtbar für alle Lebewesen!

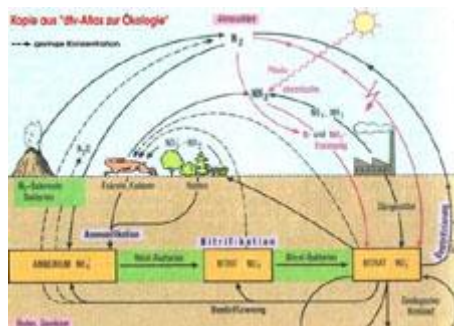


Abb. 1: Übersicht [1]

---

## 2 Luftstickstoff-Fixierung

### 2.1 Biologisch

Von allen Lebewesen der Erde sind ausschließlich Prokaryonten zur Stickstofffixierung befähigt. Diese Bakterien und Blaualgen kommen freilebend oder symbiontisch (z.B. Rhizobium) mit Pflanzen vor. Alle anderen Lebewesen müssen Stickstoff über die Nahrung aufnehmen. Die Fixierung von Luftstickstoff ist aufgrund der stabilen Dreifachbindung von  $N_2$  ein extrem energieaufwendiger Prozess (946kJ/mol), den die Mikroorganismen mit einem speziellen Enzym katalysieren:

Es handelt sich um eine Reduktion von  $N_2$  zu Ammoniak:

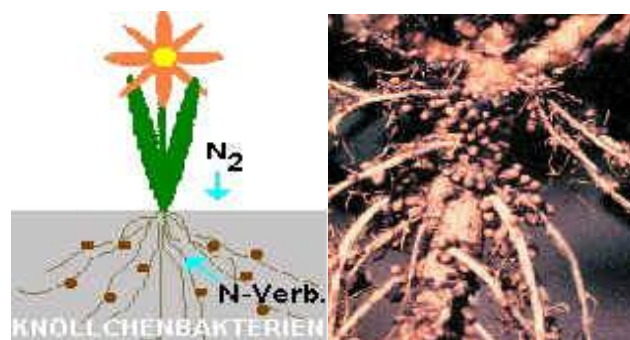


Der Ammoniak wird entweder in eigene Aminosäuren eingebaut oder an die Pflanzenzellen abgegeben.



**Abb. 2:** Stickstofffixierende Blaualgen [9]

*EXKURS:* Die Blaualge *Anabaena* (rechts) ist symbiontisch mit dem Wasserfarn *Azolla*, welcher auf indischen Reisfeldern mitkultiviert wird. Auf diese Art und Weise können ohne zusätzliche Düngung mehrere Ernten pro Jahr eingeholt werden.



**Abb. 3:** Knöllchenbakterien bei Leguminosen (Schmetterlingsblütler/Hülsenfrüchte) [8]

*EXKURS:* Die Infektion der Wurzeln erfolgt durch im Boden freibewegliche Knöllchenbakterien. Bei Kontakt krümmen sich die Wurzelhaare ein, die Rindenzellen vergrößern und vervielfachen sich, so dass Knöllchenbildung erfolgt in denen sich die Bakterien festsetzen. Das durch die Knöllchenbakterien erzeugte Ammoniak wird an die Pflanzenzellen abgegeben und hier in Aminosäuren eingebaut.

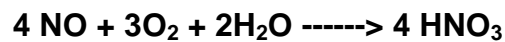
## 2.2 Technisch

In der Technik wird Luftstickstoff nach dem **Haber-Bosch-Verfahren** fixiert. Der hohe Energieaufwand ist hier aus der Synthesetemperatur von 500°C, dem Druck von 450 bar und dem Katalysatoreinsatz ersichtlich. Der Reduktionsvorgang ist im Prinzip derselbe:



## 2.3 Atmosphärisch

Bei Blitzschlag oder Verbrennungen entstehen aus Luftstickstoff und Luftsauerstoff Stickoxide, welche mit Wasser und Sauerstoff zu Salpetersäure weiterreagieren, die als "saurer Regen" (Salpetersäure) in den Boden kommt.



---

## 3. Nitrifikation

Pflanzen sind zwar in der Lage Ammonium-Ionen aufzunehmen, bevorzugen jedoch Nitrat-Ionen, da beim Ionenaustausch der Boden sonst zu sauer würde.

Nitrosomonas und Nitrobacter, wiederum Bakterienarten, oxidieren die Ammonium-Ionen zu Nitrit-Ionen und Nitrat-Ionen.

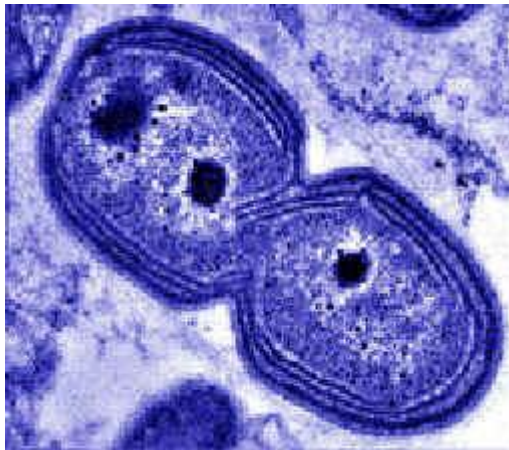


Abb. 4: Nitrosomonas [7]



Abb. 5: Nitrobacter [7]

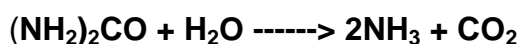
---

## 4. Ammonifikation

Die nun von den Pflanzen aufgenommenen Nitrat-Ionen werden in organische Verbindungen, wie Proteine (Eiweiße) umgesetzt, in den Zellen gespeichert und damit vorübergehend dem biologischen Pool entzogen. In Eiweißmolekülen liegt Stickstoff in Form von **Aminogruppen (-NH<sub>2</sub>)** gebunden vor.

Nitrat  $\text{NO}_3^-$  -----> Aminogruppe  $-\text{NH}_2$

Durch Verdauungsprozesse und bakterielle Zersetzung werden die Proteine in den abgestorbenen Pflanzenteilen abgebaut. Die Aminogruppen werden dabei wieder in Ammoniak oder Harnstoff umgewandelt. Dieser Harnstoff reagiert unter Hydrolyse (Wasseranlagerung) ebenfalls zu Ammoniak:



Damit ist der biologische Stickstoffkreislauf geschlossen.

---

## 5. Denitrifikation

Allerdings gibt es einen der Nitrifikation entgegengesetzten Prozess, bei dem Bakterien (z.B. Flavobacterium) unter Sauerstoffausschluss Nitrate „veratmen“, um Sauerstoff zu gewinnen. Dabei wird wieder elementarer Stickstoff freigesetzt und gelangt zurück in die Atmosphäre.



## 6. Weitere Stickstoff-Freisetzungsprozesse

Auch bei der Nitrifikation und Ammonifikation gehen 10% durch unvollständige Reaktionen als  $\text{N}_2$  oder  $\text{N}_2\text{O}$  in die Atmosphäre verloren. Industrielle Verbrennungen und Abgase führen weitere beträchtliche Mengen an (oft schädlichen, da reaktiven) Stickstoffverbindungen in die Atmosphäre ein. Hinzu kommen noch natürliche Ausstöße durch Vulkane.

---

## 7. Jährliche Bilanz

Eintrag		Verlust	
Gewitter	30 Mio t	Abgase/Verbrennungen	20 Mio t
Düngemiteleintrag	80 Mio t	Nitrifikation/Ammonifikation	20 Mio t
Biologische Fixierung (Mikroorganismen)	175 Mio t	Denitrifikation	210 Mio t
<b>Gesamt</b>	<b>285 Mio t</b>	<b>Gesamt</b>	<b>250 Mio t</b>

Damit ändert sich der jährliche Stickstoffgehalt der Atmosphäre kaum, da der Umsatz zwischen  $10^8$ - $10^9$  Tonnen liegt, was gerade mal ein Millionstel des Gesamtstickstoffsgehalt der Atmosphäre ausmacht.

---

## 8. Anthropogene Umweltschädigung

Trotz dieser vermeintlich geringen Mengen führt insbesondere die industrielle Stickstoffumsetzung zu massiven Umweltproblemen. Die Tabelle soll hierüber einen Überblick geben:

reaktive Stickstoffverbindung		Entstehung/Herkunft	Auswirkung
Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid (nitrose Gase)	<b>NO</b> <b>NO<sub>2</sub></b>	Abgase/Verbrennungen	saurer Regen, Waldsterben, Ozonbildung, Ozonloch
Nitrate	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Überdüngung Auswaschung	Eutrophierung, Lebensmittel- und Grundwasserbelastung
Ammoniak/Ammoniumsalze	<b>NH<sub>3</sub></b> <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ausgasung/Auswaschung von Gülle/ Mist	Eutrophierung, saurer Regen
Distickstoffmonoxid (Lachgas)	<b>N<sub>2</sub>O</b>	Überdüngung, Ausgasung	Treibhauseffekt, Ozonabbau

*EXKURS: Bisher wurde Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub> hauptsächlich für den Treibhauseffekt verantwortlich gemacht. Lachgas N<sub>2</sub>O ist aber inzwischen immerhin zu 5% mitbeteiligt. Aufgrund der im Moment jährliche Lachgaszunahme von 3,8 Mio. t wird dieser Anteil noch steigen. Zudem absorbiert ein N<sub>2</sub>O-Molekül 200x soviel Infrarotstrahlung wie ein CO<sub>2</sub>-Molekül und hat eine Verweildauer von 100 Jahren in der Atmosphäre.*

---

## 10. Literatur:

1. Czygan, Franz-Christian: Der Stickstoffkreislauf in der Natur, in: Biologie in unserer Zeit, Heft 1, 1971, S. 101-110.
2. Holleman, Wiberg: Lehrbuch der anorganischen Chemie, 101. Aufl., 1995, 640ff.
3. Jander, Blasius: Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum, 13. Aufl., Stuttgart, 1990.
4. Hamburger Bildungsserver  
<http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimawandel/blkst-2.htm>, 12.02.2002
5. Botanik online, [www.biologie.uni-hamburg.de/b-online](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online), 12.02.2002
6. Heinrich, Dieter: dtv Atlas der Ökologie, München 1990.
7. [http://www.bsi.vt.edu/chagedor/biol\\_4684/Microbes/Nitrobacter.html](http://www.bsi.vt.edu/chagedor/biol_4684/Microbes/Nitrobacter.html), 12.02.2002
8. [http://www.bsi.vt.edu/chagedor/biol\\_4684/Microbes/rhizobium.html](http://www.bsi.vt.edu/chagedor/biol_4684/Microbes/rhizobium.html), 12.02.2002
9. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d42/nostoc.htm>, 12.02.2002