

# Stikstof: essentieel maar lastig

## DEEL 1 De natuurlijke stikstofkringloop

Knolletjes aan de wortels van de wilde ogenboon (*Vigna unguiculata*).  
Foto: Harry Rose, Creative Commons  
Attribution 2.0 Generic.

Stikstof is een voor al het leven op Aarde essentiële voedingsstof, waarvan niet alle vormen voor planten en dieren opneembaar zijn. De natuur zorgt er in al haar complexiteit voor dat de hoeveelheden van de opneembare vormen altijd ongeveer gelijk blijven. In deel 1 van dit artikel leg ik versimpeld uit hoe deze kringloop werkt. In deel 2 vertel ik, wederom versimpeld, hoe de mens de boel verstoort en over de rampzalige gevolgen die dat heeft.

AUTEUR Marc Siepman, [marcsiepman.nl](http://marcsiepman.nl) en [humisme.nl](http://humisme.nl)

### Verschillende vormen

Het lastige van praten over stikstof is dat er heel veel verschillende vormen zijn. In de twee delen van dit artikel heb ik het over luchtstikstof, ammonium, nitraat, ammoniak en verschillende stikstofoxiden – allemaal vormen van stikstof. En dan is er nog organisch gebonden stikstof: stikstof is namelijk de bouwsteen van aminozuren en die zijn weer de bouwstenen van eiwitten. Bovendien zit stikstof in DNA en chlorofyl. Stikstof is essentieel voor al het leven op Aarde.

### Luchtstikstof

Stikstof is dus in allerlei vormen overal in de biosfeer te vinden, voornamelijk als een gas dat we luchtstikstof of distikstof noemen. Ongeveer 78% van het volume van de atmosfeer is luchtstikstof. Er zijn mensen die denken dat stikstof daarom nooit een milieuprobleem kan zijn; het is tenslotte overal en je ademt het constant

in. Maar luchtstikstof is niet-reactief, wat wil zeggen dat deze vorm geen chemische reacties aangaat. De andere vormen doen dat wel, en daar ligt natuurlijk het probleem.

De chemische formule van luchtstikstof is  $N_2$ : een molecuul dat bestaat uit twee stikstofatomen (N) met een drievoudige binding. Door die sterke binding kost het heel veel energie om het molecuul te 'breken' (de atomen van elkaar te halen). Vrije stikstofatomen komen eigenlijk nooit voor, ze binden zich altijd meteen aan een ander vrij stikstofatoom om zo luchtstikstof te vormen.

### Planten en stikstof

Planten hebben stikstof nodig om eiwitten mee op te bouwen. Als een plant niet genoeg stikstof binnenkrijgt, zal zij stikstof aan de onderste blaadjes onttrekken waardoor deze geel verkleuren. Dat is mogelijk doordat stikstof mobiel is in de plant.

Bomen en struiken krijgen het liefst stikstof in ammoniumvorm ( $NH_4^+$ ), terwijl nitraat ( $NO_3^-$ ) de voorkeursvorm is van alle andere planten. Daarnaast kunnen planten en bomen ook stikstof uit complexe moleculen opnemen, zoals aminozuren en zelfs eiwitten. Planten produceren daartoe proteasen: enzymen die in staat zijn om eiwitten af te breken. Daardoor kunnen planten deze organische bronnen van stikstof opnemen zonder de tussenkomst van micro-organismen. De pH waarbij deze proteasen optimaal werken is per plant verschillend. Planten hebben wel bijna altijd de hulp van bacteriën nodig om luchtstikstof opneembaar te maken. Bacteriën vormen daarom een cruciaal onderdeel van de stikstofkringloop.

### Stikstofbindende bacteriën

Stikstofatomen zitten telkens weer in nieuwe moleculen en keren na verloop



De grote brandnetel (*Urtica dioica*) is een indicator voor een stikstofrijke bodem.

Foto: Quartl, Attribution-ShareAlike 3.0 Unported (cc BY-SA 3.0)

van tijd terug naar luchtstikstof. Om door levensvormen gebruikt te kunnen worden, moet de luchtstikstof eerst omgezet worden naar een andere vorm. Dit heet stikstofbinding of stikstoffixatie. Voordat het eerste leven ontstond, werd alle stikstof door bliksem gebonden. Nu is dat niet meer dan 10% en wordt de rest door bepaalde bacteriën gebonden. Die bacteriën, de diazotrofen, zijn in staat om van luchtstikstof ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) te maken, dat door planten opgenomen kan worden. De bacteriën gebruiken een deel zelf en de planten (en andere organismen) nemen de rest op.

Stikstofbindende bacteriën bezitten het enzym nitrogenase. Dat enzym doet het echte werk, maar verbruikt wel heel veel energie om stikstof te binden. Die energie krijgen ze van planten in de vorm van koolstofverbindingen.

Vlinderbloemigen zijn mycorrhizaal, wat wil zeggen dat ze samenwerken met mycorrhizale schimmels (zie PM1, *Ondergronds gezwam*). Die leveren weer de fosfaten die nodig zijn om energie op te slaan. Een symbiose is altijd een complex samenwerkingsverband.

### Symbionten

De bekendste stikstofbindende bacteriën zijn de Rhizobia-soorten, die in symbiose leven met bepaalde planten – meestal vlinderbloemigen (*Leguminosae* of *Fabaceae*). De bacteriën zijn al een tijdje bekend: *Rhizobium leguminosarum* is al in 1889 ontdekt. Rhizobia leven met miljoenen

tegelijk in de wortelknolletjes die de planten voor ze produceren. Vlinderbloemigen zijn bijvoorbeeld klaver (*Trifolium sp.*), de invasieve valse acacia (*Robinia pseudoacacia*), pinda's, soja, erwten en bonen – simpelweg alles met peulen. Of ze daadwerkelijk stikstof binden kun je zien als je een wortelknolletje doormidden snijdt: het zou vanbinnen roze of rood moeten zijn. Dat komt door het eiwit leghemoglobine dat dankzij de symbiose wordt gevormd; dat heeft, zoals de naam al impliceert, nauwe verwantschappen met hemoglobine die de kleur aan rode bloedcellen geeft. Het kan ook zijn dat er helemaal geen knolletjes zijn. Waarschijnlijk heeft de plant dan geen symbiont aangetroffen in de bodem. De bacteriën verdwijnen namelijk als er een jaar of vier geen planten van de juiste soort hebben gestaan. Als de plant niet zijn favoriete streng *Rhizobium* aantreft, zal er minder stikstof gebonden worden. Het kan dus nodig zijn de bodem te enten met de juiste bacteriën.

Over het algemeen lekt een vlinderbloemige heel weinig stikstof naar de bodem en bevat de plant zelf ook nog maar heel weinig stikstof als de plant eenmaal zaad heeft gezet. De zaden bevatten namelijk veel eiwitten en dus ook veel stikstof; om echt stikstof toe te voegen is het dus nodig dat de plant voor of tijdens de bloei het loodje legt.

### Vrijlevende bacteriën

Er zijn ook bacteriën (en archaea) die niet in symbiose leven met planten, maar vrij leven in de wortelzone van willekeurige welke plant. Deze hebben namen als *Azotobacter* en *Azospirillum* (azote is het Franse woord voor stikstof), *Beijerinckia* en *Clostridium*. In mijn optiek zijn deze veel belangrijker dan Rhizobia-bacteriën.

### Actinorhizale bomen

Actinobacteriën, *Frankia* genaamd, kunnen een symbiose aangaan met houtige gewassen zoals de els (*Alnus*). Deze zijn niet echt gespecialiseerd en kunnen ook vrij leven in de bodem.

Het mooie van zowel de symbionten als de vrijlevende bacteriën is dat ze stoppen met het binden van stikstof als het gehalte aan plantopneembare stikstof te hoog dreigt te worden. Zo kan er nooit een overschot ontstaan.

## In een gezond bos is er geen uitspoeling van nitraat.

### Nitrificatie

Ammonium is de voorkeursvorm van bomen en struiken. In een gezond bos is bijna alle stikstof dan ook in ammoniumvorm ( $\text{NH}_4^+$ ). Naarmate de pH echter verder boven de 5 uitkomt, zal een steeds groter deel van de ammonium door bepaalde bacteriën, zoals *Nitrosomonas*, omgezet worden naar nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ) en door weer andere bacteriën, zoals *Nitrobacter*, naar nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ). Dit proces heet nitrificatie en de betreffende bacteriën heten uiteraard nitrificerende bacteriën.

Hoewel het een natuurlijk proces is, kleven er toch wat nadelen aan te veel nitrificatie. Zo spoelt nitraat, het eindresultaat van nitrificatie, veel makkelijker uit dan ammonium.

Nitrificatie valt steeds verder stil naarmate een bodem verder in de successie komt, omdat nitrificatie zelf voor verzuring zorgt (er komen waterstofionen vrij) – en hoe lager de pH, hoe minder nitrificatie. In een gezond bos is er daardoor geen uitspoeling van nitraat. Daarom is het veel logischer en

natuurlijker om meer van vaste gewassen te gaan eten.

### Denitrificatie

Om de kringloop te voltooien, moet er ook weer luchtstikstof gemaakt worden. Dat proces heet denitrificatie. Er zijn bacteriën die nitraat om kunnen zetten naar luchtstikstof – die heten heel toepasselijk denitrificerende bacteriën. Ze zijn facultatief anaeroob, wat wil zeggen dat ze wel kunnen overleven in de aanwezigheid van zuurstof maar pas floreren als er weinig of geen zuurstof beschikbaar is. Deze bacteriën dragen op hun eigen manier bij: ze verwijderen overtollige nitraten uit bijvoorbeeld oppervlaktewateren. Zo blijken de meertjes die bevers maken door dammen aan te leggen veel denitrificerende bacteriën te bevatten, waardoor het water stroomafwaarts maar liefst 45% minder stikstof bevat. Waterzuiveringsinstallaties maken ook van deze bacteriën gebruik om nitraten uit het water te halen.

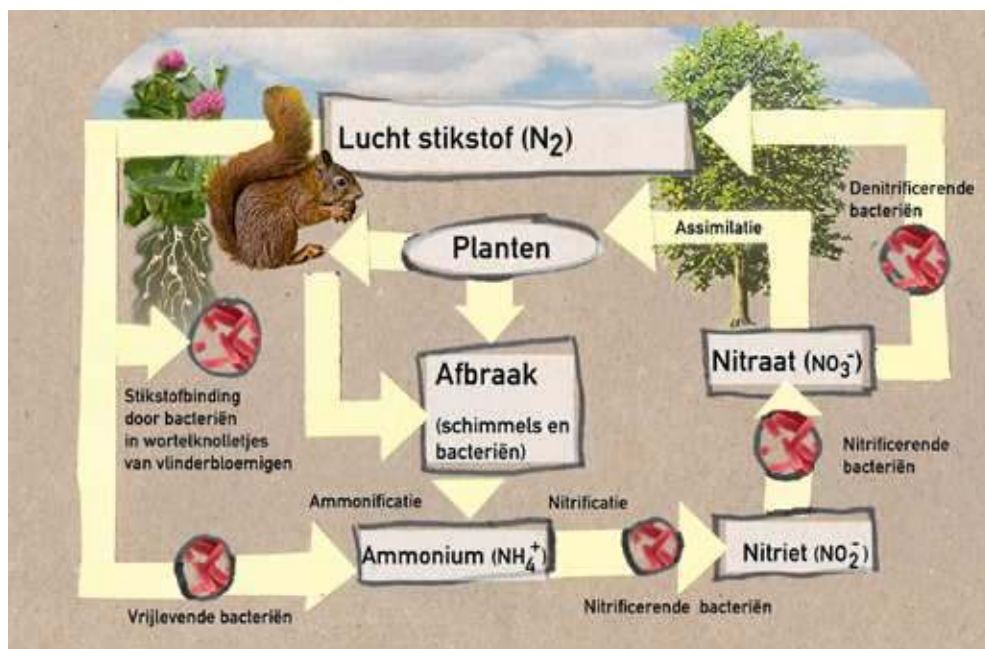
### De stikstofkringloop

Nu heb je een aardig idee gekregen van de werking van de stikstofkringloop. Het begint met luchtstikstof, die wordt gebonden door speciale bacteriën. De hierdoor ontstane ammonium wordt opgenomen door een plant of omgezet naar nitraat en alsnog opgenomen. Als een plant wordt opgegeten door een organisme, gebruikt dat organisme de

stikstof zelf weer voor het opbouwen van eiwitten. Via de uitwerpselen (of stoffelijke resten) komt dit weer in de bodem terecht, waar het mogelijk weer opgenomen of genitrificeerd wordt. En als laatste stap verdwijnt de stikstof weer in de atmosfeer als luchtstikstof.

In werkelijkheid is de stikstofkringloop natuurlijk veel complexer. Maar je kunt wel zien dat er verschillende mechanismen zijn waarmee de beschikbare hoeveelheid stikstof in balans gehouden wordt. In het volgende nummer ga ik vertellen over hoe mensen het systeem dermate ernstig hebben verstoord dat onmiddellijke en drastische actie moet worden ondernomen.

## Bacteriën vormen een cruciaal onderdeel van de stikstofkringloop.



De natuurlijke stikstofkringloop

Illustratie: Chantal van Genderen

## Cartoon

