

Een zee van stikstof

Rond 1900 ontdekte de microbioloog Beijerinck dat allerlei vrij levende bacteriën stikstofgas kunnen binden. Tot dan was de stikstoffixatie alleen bekend van bacteriën die dat in symbiose doen met wortels van vlinderbloemige planten. De hoofdlijnen van de stikstofkringloop waren toen in kaart gebracht: er is stikstoffixatie, er is omzetting van stikstofverbindingen uit planten- en dierenresten tot ammonium (ammonificatie), er is de vorming van nitriet en nitraat uit dat ammonium (nitrificatie) en een soort omgekeerd proces: vorming van vrije stikstof (N_2) uit nitraat en nitriet: denitrificatie.

- De bacteriën die in symbiose leven met vlinderbloemige planten leveren de plant stikstofverbindingen. Die bacteriën gebruiken glucose van de plant.
- 2p 12 Van welke relatie is sprake tussen die bacteriën en de vlinderbloemige planten?
- A commensalisme
 - B competitie
 - C mutualisme
 - D parasitisme

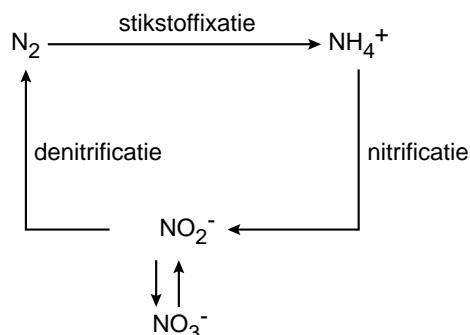
- De hierboven genoemde stikstoffixatie wordt in de landbouw toegepast. Als proef zaait men de ene helft van een akker in met vlinderbloemige planten zoals Klaver (veld P) en de andere helft van de akker met lipbloemige planten zoals Witte dovenetel (veld Q). Na het groeiseizoen worden alle planten ondergeploegd. Hierna wordt de samenstelling van het bodemmateriaal geanalyseerd.
- 1p 13 Noem een verschil in de N (stikstof)-samenstelling tussen de bodem van veld P en de bodem van veld Q.

- In de Zwarte Zee verloopt de bacteriële stikstofkringloop anders dan altijd was aangenomen. Onderzoekers ontdekten dat ammonium met nitriet kan reageren tot vrije stikstof, de anammox-reactie. De bacterie die hiervoor verantwoordelijk bleek, noemde men *Brocadia anammoxidans*, die op negentig meter diepte leeft. Volgens de onderzoekers speelt deze vorm van denitrificatie een belangrijke rol in de stikstofbalans van de oceanen. De bacteriën zetten ammonium (NH_4^+) samen met nitriet (NO_2^-) om. Hierbij komt stikstofgas (N_2) vrij. We spreken van 'anammox' omdat twee verschillende stikstofverbindingen onder zuurstofloze omstandigheden met elkaar reageren waarbij vrije stikstof (N_2) en water (H_2O) ontstaan: een **anaërobe ammonium oxidatie**. Normaal gesproken wordt in de stikstofkringloop nitriet (NO_2^-) omgezet in nitraat (NO_3^-).
- 2p 14 Welke factor bepaalt dat de omzetting van nitriet in nitraat in de Zwarte Zee op negentig meter diepte (vrijwel) niet zal voorkomen?
- A lichthoeveelheid
 - B stikstofgehalte
 - C temperatuur
 - D zuurstofgehalte

De omzetting tot stikstofgas vindt in de bacterie *Brocadia anammoxidans* via een aantal tussenstappen plaats in een organel dat anammoxosoom wordt genoemd. Een van de tussenproducten die hierbij ontstaat is het ook voor *Brocadia* giftige hydrazine (N_2H_4). Anammoxosomen zijn bijzondere organellen. Het membraan van deze anammoxosomen bevat vetmoleculen die nooit eerder bij bacteriën of andere levende organismen zijn gevonden. Membranen waar deze vetachtige stoffen in voorkomen zijn bijzonder slecht doorlaatbaar. Diffusie via deze membranen is vrijwel onmogelijk.

- 1p **15** Geef aan waarom het voor de bacterie zo belangrijk is dat de membraan vrijwel ondoorlaatbaar is.

In onderstaande afbeelding wordt de bacteriële stikstofkringloop weergegeven zoals die tot nu toe bekend was.



- 2p **16** Geef met pijlen in deze kringloop op de uitwerkbijlage aan hoe dit schema op basis van de boven beschreven nieuwe vorm van denitrificatie zou moeten worden ingevuld.

Bacteriën gebruiken stikstof voor de opbouw van organische stoffen. Hieronder staan verschillende organische stoffen die in bacteriën voor kunnen komen.

- 1 aminozuren;
- 2 DNA;
- 3 eiwitten;
- 4 koolhydraten;
- 5 vetzuren.

- 2p **17** In welke van de bovengenoemde organische stoffen is altijd stikstof aanwezig?
- A alleen in 3
 - B alleen in 1 en 3
 - C alleen in 1 en 5
 - D alleen in 4 en 5
 - E alleen in 1, 2 en 3
 - F in 1, 2, 3, 4 en 5

De bacteriën die de annamox-reactie uitvoeren, zijn interessant voor de afvalwaterzuivering. In Rotterdam draait de eerste installatie die van deze bacteriën gebruik maakt. Hierdoor komen door het lozen van het gezuiverde afvalwater minder mineralen in het oppervlaktewater, dan zonder het gebruik van deze bacteriën.

- 1p **18** Welk milieuprobleem wordt hierdoor verminderd?

uitwerkbijlage

16

