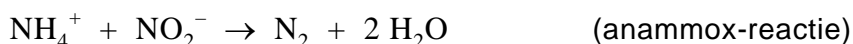


Anammox

In deze opgave staat een bacteriële omzetting van ammoniumionen met nitrietionen centraal, de zogenoemde anammox-reactie.

Bij deze opgave horen twee tekstfragmenten die zijn afgedrukt in de bijlage die bij dit examen hoort. Lees het eerste tekstfragment.

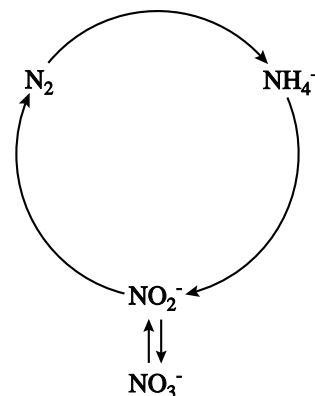
De vergelijking van de anammox-reactie is:



In de regels 9 t/m 14 worden de hoofdlijnen van de stikstofkringloop, zoals die rond 1900 bekend was, beschreven. De beschrijving is een vereenvoudiging van de werkelijke stikstofkringloop. In veel artikelen over de anammox-reactie wordt de stikstofkringloop weergegeven met behulp van het schema dat hiernaast staat.

Ook deze weergave is een vereenvoudiging. Bovendien is dit schema een onvolledige weergave van de beschrijving die in de regels 9 t/m 14 van tekstfragment 1 wordt gegeven.

Op de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort, is dit schema nogmaals weergegeven, zonder de gebogen pijlen erin.



- 4p **11** Maak op de uitwerkbijlage de schematische stikstofkringloop zo af, dat die in overeenstemming is met de beschrijving in de regels 9 t/m 14 van tekstfragment 1. Zet in het schema de namen van de omzettingen die in het tekstfragment worden genoemd op de juiste plaats.
- 2p **12** Geef op de uitwerkbijlage ook aan waar de anammox-reactie, waarover dit artikel gaat, moet worden ingetekend. Gebruik daarvoor (een) onderbroken pijl(en): -->

In de regels 20 t/m 24 wordt een methode beschreven om het optreden van de anammox-reactie aan te tonen; het nitriet dat daarbij wordt gebruikt, bevat stikstofatomen zoals die in de natuur voorkomen. De daar beschreven conclusie is gebaseerd op het feit dat het ontstane stikstofgas voornamelijk bestaat uit moleculen met massa 29 u. In het ontstane stikstofgas komen geen moleculen voor met massa 28 u; moleculen met massa 30 u komen er wel in voor, maar slechts heel weinig.

- 2p **13** Leg uit waarom stikstofmoleculen met massa 28 u niet in het ontstane stikstofgas zullen voorkomen en stikstofmoleculen met massa 30 u wel. Noteer je antwoord als volgt:
 Er komen geen moleculen met massa 28 u voor, omdat ...
 Er komen wel moleculen met massa 30 u voor, omdat ...

Bij methodes om met behulp van bacteriën ammonium uit afvalwater te verwijderen, spelen reacties uit de stikstofkringloop een belangrijke rol. In de zogenoemde klassieke methode wordt ammonium eerst met behulp van zuurstof omgezet tot nitraat. Dit nitraat wordt vervolgens omgezet tot stikstof. In een ander proces, het SHARON-proces, wordt het ammonium eerst omgezet tot nitriet, dat vervolgens wordt omgezet tot stikstof.

Bij de omzettingen van nitraat tot stikstof en van nitriet tot stikstof treden het nitraat en het nitriet als oxidator op. Voor deze reacties is een reductor (koolstofbron) nodig; vaak wordt daar methanol voor gebruikt.

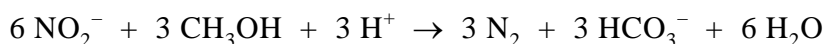
Op de website van het Energie en Milieu Informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest wordt de klassieke methode voor de verwijdering van ammonium uit afvalwater vergeleken met het SHARON-proces. Een gedeelte van de tekst van deze website is als tekstfragment 2 in de bijlage bij dit examen opgenomen.

Lees dit tekstfragment.

De gegeven reactievergelijkingen voor de denitrificaties bevatten meerdere fouten. Zo staat er bijvoorbeeld ten onrechte dat er waterstof ontstaat. Dit moet water zijn. De andere formules in de reactievergelijkingen staan er wel terecht.

De genoemde besparing van 40% op de koolstofbron die met het SHARON-proces kan worden verkregen, is wel juist.

In tekstfragment 2 had voor de denitrificatie in het SHARON-proces het volgende moeten staan:



- 3p **14** Geef de reactievergelijking van de denitrificatie die in het klassieke proces plaatsvindt. In deze reactievergelijking komt ook H^+ voor.
- 3p **15** Ga na of in het SHARON-proces het verzurende effect van de nitrificatie volledig is gecorrigeerd na afloop van de denitrificatie. Gebruik daarbij onder andere de reactievergelijking voor de nitrificatie van het SHARON-proces en bovenstaande reactievergelijking voor de denitrificatie. Betrek in je uitleg ook de HCO_3^- die in de vergelijking van de denitrificatie staat.

Door combinatie van de nitrificatie-reactie uit het SHARON-proces met de anammox-reactie kan een proces worden ontwikkeld waarin helemaal geen methanol meer nodig is. In principe kan bij zo'n proces alle ammonium die in het afvalwater voorkomt, uiteindelijk worden omgezet tot stikstof. Op de uitwerkbijlage bij dit examen is van zo'n proces het blokschema al gedeeltelijk weergegeven.

- 3p **16** Maak op de uitwerkbijlage het blokschema van het bedoelde proces af door:
- het vermelden van de na(a)m(en) van de stof(fen) bij de pijl (stofstroom) tussen reactor 1 en reactor 2;
 - het plaatsen van extra pijlen (stofstromen);
 - het vermelden van de na(a)m(en) van de stof(fen) bij de zelfgetekende pijlen (stofstromen).
- 2p **17** Leg uit welk deel van alle ammonium die in het afvalwater voorkomt, in reactor 1 moet worden omgezet tot nitriet om te bewerkstelligen dat alle ammonium uit het afvalwater uiteindelijk wordt omgezet tot stikstof.

Anammox

tekstfragment 1

In Delft loopt sinds 1985 een onderzoek om een meer economische en milieuvriendelijke verwerkingsmethode te vinden voor het industrieel afvalwater van Gist-Brocades.

5 Brocades-onderzoeker Arnold Mulder onderzocht de stikstofhuishouding van de bacteriën die – in een bioreactor binnen het laboratorium – in het Brocades afvalwater tot groei kwamen en ontdekte een eigenaardige reactie: de vorming van vrije stikstof (N_2) uit een oxidatie van ammonium zonder dat er zuurstof voorhanden was. Een anaërobe ammoniumoxidatie dus: ‘anammox’.

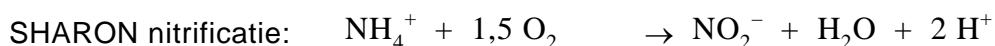
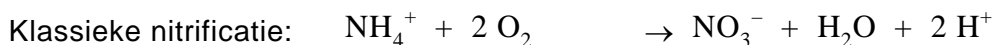
10 Rond 1900 waren de hoofdlijnen van de stikstofkringloop in kaart gebracht: er is de N_2 fixatie door planten waarbij stikstofverbindingen ontstaan. Er is de omzetting van stikstofverbindingen uit plantenresten tot ammonium (ammonificatie), er is de vorming van nitriet en nitraat uit dat ammonium (nitrificatie) en een soort omgekeerd proces: de vorming van vrij stikstof (N_2) uit nitraat en nitriet: denitrificatie. Maar op theoretische grond is met enige
15 regelmaat aangevoerd dat er nog schakels ontbraken.

Het Kluyver Laboratorium kwam op zo'n schakel terecht. In de anammox-reactie van Brocades bleek het ammonium te worden geoxideerd in een reactie met nitriet (dat de rol van zuurstof in de gewone ademhaling overneemt). Met andere
20 woorden: twee verschillende stikstofverbindingen reageren onder zuurstofloze omstandigheden met elkaar tot vrij stikstof (N_2). In de onderzoekspraktijk wordt het optreden van de anammox-reactie aangetoond door ammonium aan te bieden waarin de stikstofisotoop ^{14}N is vervangen door de zwaardere isotoop ^{15}N . Als in de proef vrij stikstof wordt opgevangen waarvan de moleculen ^{14}N en ^{15}N ruwweg in 50/50 verhouding bevatten dan is het bewijs rond.

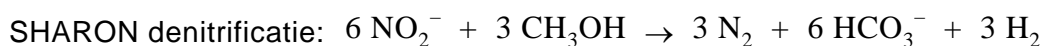
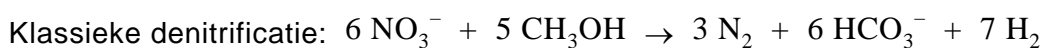
naar: NRC Handelsblad

tekstfragment 2

Het SHARON-proces is bedoeld voor de behandeling van stikstofrijke afvalwaters. Het is bedoeld om stikstof te verminderen van bijvoorbeeld 1000 naar 100 mg L⁻¹, niet om volledige stikstofverwijdering te bekomen. Het SHARON-proces stimuleert nitrificatie tot nitriet in plaats van tot nitraat. Dit betekent een besparing op de zuurstofbehoefte van 25%. Daarnaast vereist de denitrificatie van nitriet 40% minder koolstofbron dan de denitrificatie van nitraat. De reacties die optreden zijn:



(25% O₂ bespaard)



(40% koolstofbron bespaard)

Het SHARON-systeem bestaat uit één reactor, waarin een beluchte en een anoxische¹⁾ fase (met toevoeging van BZV²⁾) voorzien worden. In de aërobe³⁾ fase is een hoge zuurstofconcentratie vereist voor nitrificatieactiviteit. Nitrificatie is een verzurend proces en zodra een kritische pH-waarde wordt bereikt, dient de denitrificatie gestart te worden om de pH te corrigeren. Dit gebeurt door in de anoxische fase methanol toe te voegen. De pH kan eventueel ook nog gecorrigeerd worden door toevoeging van loog.

naar: http://www.emis.vito.be/wass/techniekladen/techniekblad_W6.asp

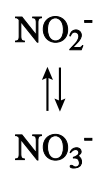
noot 1 Met anoxisch wordt bedoeld: zonder zuurstof (O₂).

noot 2 BZV is de afkorting van Biologisch Zuurstof Verbruik; in dit geval wordt de toevoeging van methanol bedoeld.

noot 3 De aërobe fase is de beluchte fase.

uitwerkbijlage

11 en 12



uitwerkbijlage

16

