

Modellering van nitrificatie in snelfilters: fosfaatdosering bij een lage watertemperatuur

L. KORS, GEMEENTEWATERLEIDINGEN AMSTERDAM
A. WIND, GEMEENTEWATERLEIDINGEN AMSTERDAM

Stagnerende nitrificatie bij een lage watertemperatuur (0-3°C) bij de drinkwaterproductie van Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA) heeft geleid tot een tijdelijke overschrijding van de ammoniumnorm. Met het doseren van fosfaat (33-50 µg/l) bleek het nitrificerende vermogen van de snelfilters effectief vergroot te kunnen worden. De bacteriologische afbraak van ammonium in snelfilters is gemodelleerd en een belangrijk instrument geworden om het proces te sturen.

Ammonium komt van nature voor in het ruwe water dat GWA uit de Bethunepolder onttrekt voor de productie van drinkwater. De concentratie ervan kent een seizoensfluctuatie. Tijdens de zuivering tot drinkwater vindt omzetting van ammonium plaats in de Waterleidingplas en de navolgende snelfilters op de vestiging Loenderveen.

De watertemperatuur schommelt op de plas tussen de 0 en 25°C, waardoor de nitrificatie sterk wordt beïnvloed en de bacteriepopulaties zich steeds moeten aanpassen aan wisselende omstandigheden.

Aanpassing aan omstandigheden

Aan het einde van het zomerseizoen is de populatie nitrificerende bacteriën in evenwicht met de substraatconcentratie. Onder normale omstandigheden remt de dalende temperatuur de nitrificatie in de plas, hetgeen leidt tot een geleidelijke toename van ammonium op de snelfilters. De populatie nitrificerende bacteriën in de snelfilters zal, om alle ammonium volledig te blijven verwijderen, moeten groeien, omdat enerzijds het aanbod stijgt en anderzijds bij een dalende watertemperatuur de bacteriële activiteit én groei afneemt.

Nitrosomonas en *Nitrobacter* hebben een zeer lage specifieke groeisnelheid. Onder optimale omstandigheden (30°C) is dit eens per circa 15 uur. Bij een temperatuur van 5°C is dit eens per 150 à 200 uur. Heterotrofe bacteriën daarentegen delen zich onder optimale omstandigheden eens per anderhalf tot drie uur. Als de stijging van de concentratie in het

snelfilterinfluent of de daling van temperatuur niet al te sterk is, zullen de traag groeiende nitrificerende bacteriën voldoende tijd hebben om te groeien zonder dat er van ammoniumdoorslag sprake is. Een te sterke daling van temperatuur of stijging van de ammoniumconcentratie kan echter leiden tot een (tijdelijke) doorslag van ammonium door het snelfilter.

Winter 1995-1996

De winter van 1995-1996 kenmerkte zich door een lange vorstperiode, waarbij de water-

temperatuur over een periode van twee en een halve maand lager was dan 2,5°C en meer dan een maand lager was dan 1°C. Dit resulteerde in een verminderde nitrificatieactiviteit op de Waterleidingplas en de navolgende snelfilters, wat leidde tot ammoniumdoorslag van de snelfilters. Dit kan geheel verklaard worden uit de verminderde microbiële activiteit bij lagere watertemperatuur.

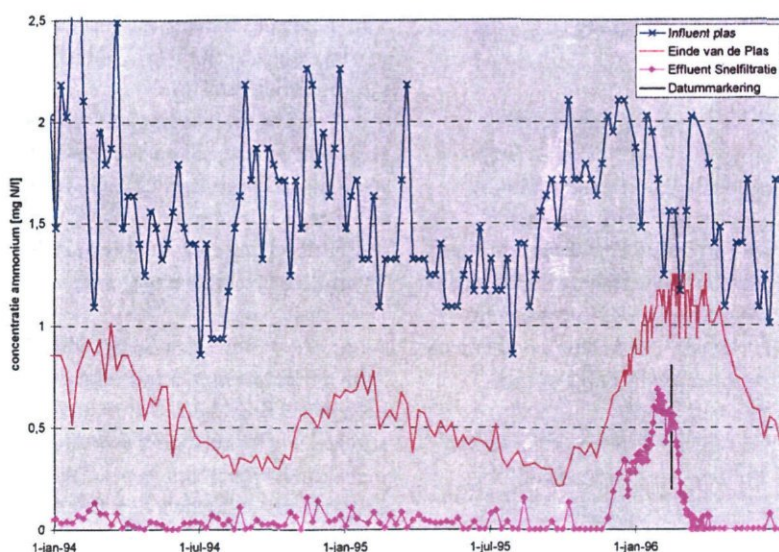
De stagnerende ammoniumafbraak in de snelfilters leidde tot twee opmerkelijke observaties: ten eerste bleef ondanks de extreem lage temperatuur (0-3°C) de afbraak constant op 0,8 mg/l. Dit is opmerkelijk, omdat in de literatuur nitrificatie bij deze temperatuur als 'niet haalbaar' wordt beschouwd; ten tweede trad geen toename op van de afbraak over de snelfilters, ondanks het feit dat voorgaande jaren de verwijderingscapaciteit van ammonium van de filters wel geleidelijk toenam. Geconcludeerd werd dat de activiteit van de populatie niet werd beperkt, maar de groei van de populatie wel.

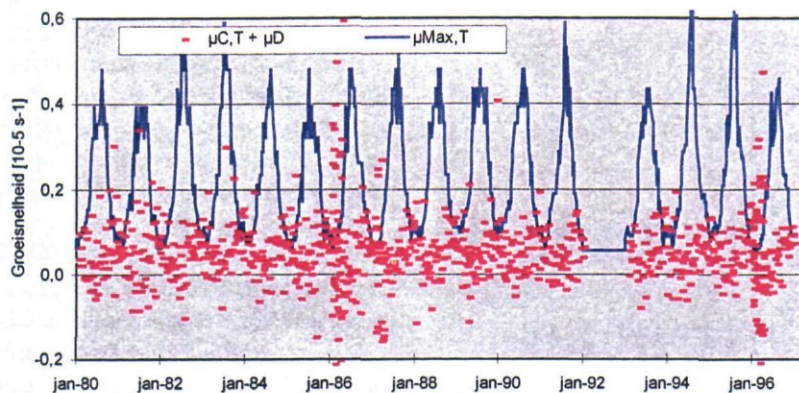
Fosfaatlimitatie

Op grond van observaties in de bedrijfsvoering en vergelijkbare ervaringen bij PWN werd vermoed dat fosfaatlimitatie (mede) oorzaak was voor het niet verder toenemen van de ammoniumafbraak over de snelfilters: zes dagen nadat op 16 februari 1996 een additionele fosfaatdosering van verdund fosforzuur op het influent van de snelfilters (33 µg/l) was gerealiseerd, werd een snelle toename van de nitrificatie waargenomen (afbeelding 1). Deze waarneming ondersteunt de vermoede fosfaatlimitatie.

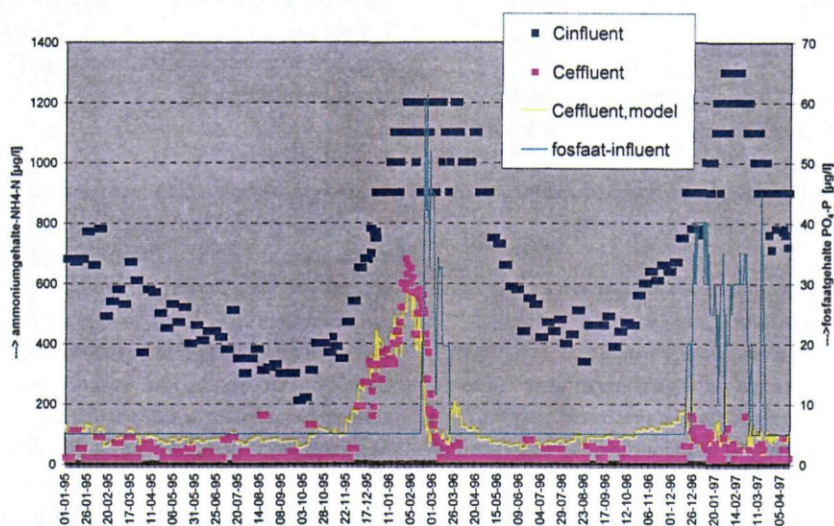
Met de fosfaatdosering bleek GWA een effectief middel in handen te hebben om in

Afb. 1: Seizoensfluctuatie van de ammoniumconcentratie in het influent en effluent van de Waterleidingplas (= influent snelfilters) en de snelfilters.





Afb. 2: Maximale en benodigde groeisnelheid van de populatie *Nitrosomonas* in het snelfilter.



Afb. 3: Modeluitkomst over de calibratieperiode (1-1-1995 t/m 16-4-1997) met de werkelijk gedoseerde hoeveelheden fosfaat.

navolgende winters bij lage watertemperatuur de stagnerende groei van de ammoniumafbraak verder op te heffen en normoverschrijding te voorkomen (afbeelding 3).

Model

Voorspellen van ammoniumdoorslag

Om in het geval van dreigende ammoniumdoorslag tijdig gealarmeerd te worden opdat passende maatregelen genomen kunnen worden (zoals fosfaatdosing), is een ammoniumdoorslagmodel ontwikkeld waarin de populatieomvang van de nitrificerende flora centraal staat en de watertemperatuur en substraatconcentratie als input worden gebruikt (Kors et al, 1998).

Aan de hand van de groeiparameters van *Nitrosomonas* kan worden berekend hoe groot de benodigde groeisnelheid moet zijn om de daling van de temperatuur en/of de stijging van de influentconcentratie te

compenseren. ($\mu_{T,C}$) Uitgaande van de Arrheniusvergelijking (Klapwijk en Snodgrass, 1982) kan met de maximale groeisnelheid en de activeringsenergie voor de actuele temperatuur de maximaal groeisnelheid ($\mu_{max,T}$) bij die temperatuur worden berekend.

Tevens wordt rekening gehouden met benodigde groei ter compensatie van afsterving (μ_D). Indien de laatste factor groter is dan de eerste, is ammoniumdoorslag te verwachten. In afbeelding 2 zijn voor een periode van 15 jaar deze factoren weergegeven.

Evaluatie van dit model leert dat, in het kritische temperatuurstraject van 0-8°C, in 83 procent van de gevallen dat ammoniumdoorslag kon worden voorspeld, doorslag ook inderdaad is opgetreden. Een dreigende herhaling van ammoniumdoorslag in de winter 1996-1997 werd door dit model herkend en door een tijdige inzet van de fosfaatdosing

werd doorslag voorkomen (afbeelding 3).

Verbetering van het model

In het eerste doorslagmodel werd het filter beschouwd als één integraal systeem, hetgeen voor een pragmatische benadering redelijk werkt, maar een te weinig nauwkeurige beschrijving van de biologische processen geeft. Voor een betere beschrijving is een model ontwikkeld gebaseerd op het model van Willemse (1994). Hierbij wordt uitgegaan van een biologische flora die in verschillende cellagen, variërend in bacteriedichtheid, op het dragermateriaal (filterzand) groeit.

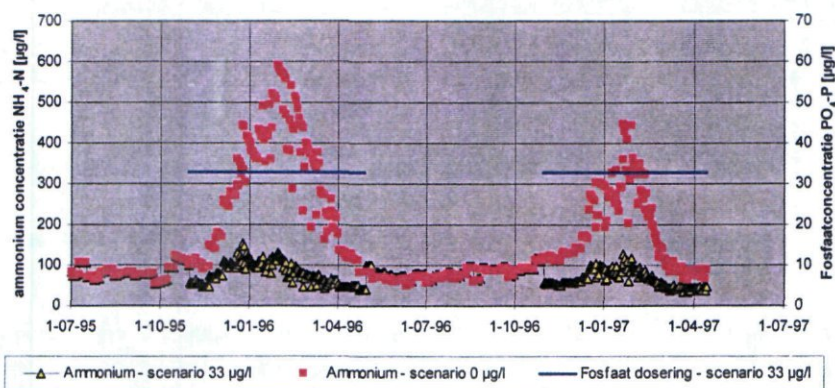
In het nitrificatiemodel is fosfor als limiterende factor meegenomen. Aangezien in het effluent van de snelfilters zuurstof in voldoende mate aanwezig is, wordt dit als niet-limiterend beschouwd. Voor de beschrijving van het gehele nitrificatietraject zou rekening gehouden moeten worden met zowel de activiteit en groei van *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*. Dit komt door het feit dat laatstgenoemde (verantwoordelijk voor de omzetting van nitriet in nitraat) bij een temperatuur boven 13°C als snelheidsbeperkende stap kan worden beschouwd (Stowa, 1997). In het effluent van de snelfilters wordt nitriet echter in concentraties gevonden die rond de detectiegrens (0,05 mg/l) liggen. Daarom is bij de ontwikkeling van het model geen rekening gehouden met de tweede stap van de nitrificatieprocessen. In het model is geen rekening gehouden met de zuurgraad.

In het nitrificatiemodel wordt het filter over de hoogte in zes compartimenten opgedeeld en wordt de nitrificatie beschreven als een dynamisch proces in tijd en plaats. Elk compartiment wordt voor de waterfase beschouwd als een ideaal gemengde tankreactor terwijl het zand (= vaste fase) in het compartiment dienst doet als dragermateriaal voor de bacteriepopulatie. De compartimenten zijn in serie geschakeld zodat het effluent van compartiment 1 het influent van compartiment 2 is, etc. Het snelfilter wordt van boven naar beneden doorstroomd. In het model wordt rekening gehouden met meerdere cellagen en diffusielimitatie voor de vloeistof- en biofilm rond het dragermateriaal. De Acalibratieperiode begon 1 januari 1995 en liep tot 16 april 1997.

Voor een uitgebreidere beschrijving van het ontwikkelde model wordt verwezen naar Van der Aa (1999, 2000) die dit model als grondslag heeft gebruikt voor vervolgonderzoek.

Resultaten

In afbeelding 3 zijn de resultaten weergegeven van de simulatie en van de werkelijke

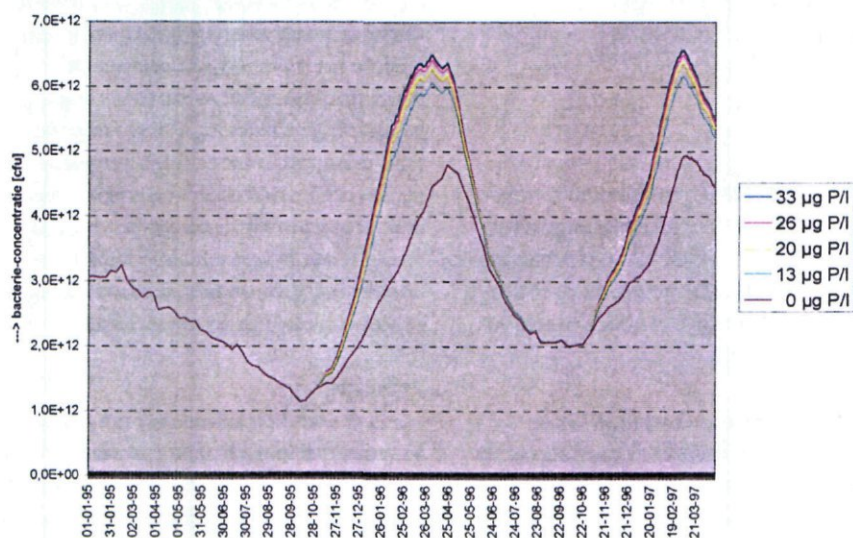


Afb. 4: Simulatieresultaten bij doseerscenario's van 0 en 33 µg/l.

ammonium bij een watertemperatuur van 0-3°C. Op grond van theoretische beschouwingen kan dit effect worden onderbouwd. In de literatuur is dit verschijnsel nauwelijks beschreven.

Modelmatige beschrijving van de ammoniumafbraak geven een goede beschrijving van de waargenomen observaties. Op grond van de simulatieresultaten kan worden aangenomen dat een fosfaatdosis van 13-20 µg/l een nagenoeg vergelijkbare groei van *Nitrosomonas* veroorzaakt. Gebleken is dat deze dosering in de winter van 1996-1997 een bevredigend resultaat opleverde.

Voor de literatuuropgave zie pagina ..



Afb. 5: Bacterieconcentratie in filterlaag 1 bij verschillende fosfaats dosering.

situatie zoals die zich in de winters 1995-1996 en 1996-1997 hebben voorgedaan. Het effect van fosfaats dosering op het nitrificerende vermogen van het filter is duidelijk te zien. De beschrijving van de ammoniumverwijdering met het hier gepresenteerde model levert een betrouwbaarheid op van 0,074 mg/l (dit is de deviatie in de ammoniumconcentratie van het effluent van het snelfilter).

Interessant zijn de modelsimulaties die beschrijven wat het doorslagpatroon zou zijn wanneer absoluut geen fosfaat of wanneer preventief fosfaat zou zijn gedoseerd in de beide genoemde winters. In de praktijk werd respectievelijk 79 en nul dagen ammoniumdoorslag waargenomen (= overschrijding van de wettelijke norm van 160 µg/l).

Als geen fosfaat gedoseerd zou zijn, had een ammoniumdoorslag van respectievelijk 122 en 76 dagen plaatsgevonden. Was echter in de winterperiode (1 november tot en met 30

april) preventief fosfaat gedoseerd, dan zou geen doorslag zijn opgetreden (afbeelding 4).

Effectieve concentratie

In het model wordt per compartiment onder andere de bacterieconcentratie op het filterzand berekend. Modeluitkomsten geven voor het eerste compartiment aan dat de bacteriegroei bij een dosering van 13-20 µg/l (afbeelding 5) nagenoeg gelijk is aan groei bij een dosering van 33 µg/l. Op grond hiervan is de dosering in de winter 1996-1997 aangepast met gunstig resultaat (afbeelding 3). Deze concentratie ligt dicht bij de 10 µg/l die in het vervolgonderzoek van Van der Aa (1999 en 2000) als effectief naar voren zijn gekomen.

Discussie

Empirisch is vast komen te staan dat het doseren van een fosfaatoplossing tot een concentratie van circa 33 µg/l effectief is voor het herstel van het volledig verwijderen van