

De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten



# **De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten**

**J.A. de Vos** <sup>1)</sup>

**O.A. Clevering** <sup>2)</sup>

**F.P. Sival** <sup>1)</sup>

**J. Alblas** <sup>2)</sup>

**N. Reijers** <sup>3)</sup>

**H. van Reuler** <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> **Alterra, Wageningen**

<sup>2)</sup> **PPO- Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente, Lelystad**

<sup>3)</sup> **PPO-Bloembollen, Lisse**

<sup>4)</sup> **PPO-Bomen, Boskoop**

**Alterra-rapport 596**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003**

## REFERAAT

Vos, J.A. de, O.A. Clevering, F.P. Sival, J. Alblas, N. Reijers, H. van Reuler, 2003. *De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 596. 67 blz.; 7 fig.; 12 tab.; 82 ref.

De waterhuishouding in het landelijk gebied zal door bewuste peilverhogingen en door klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling gaan veranderen. We zullen vaker met nattere situaties te maken krijgen. In landbouwgebieden met open teelten kan dit gevolgen hebben voor de uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. Vooral het (toekomstig) Europese beleid (m.n. Kaderrichtlijn Water) zal bepalen welke nutriëntenconcentraties in de verschillende wateren toelaatbaar zijn. Uit een beschrijving van de bodemprocessen volgt welke veranderingen in de bodem zullen optreden bij vernatting en wat de risico's op nutriëntenverliezen zijn. Voor de verschillende open teelten is geïnventariseerd welk onderzoek al is verricht m.b.t. waterbeheer, nutriënten en landbouw. Uit deze voorstudie volgt een voorstel voor nieuw (veld)onderzoek naar de effecten van vernatting.

Trefwoorden: waterbeheer, vernatting, nutriënten, beleid, stikstof, fosfaat, uitspoeling.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 596. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info@alterra.nl](mailto:info@alterra.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Woord vooraf                                                                                         | 7  |
| Samenvatting                                                                                         | 9  |
| 1 Inleiding                                                                                          | 11 |
| 2 Internationale, nationale en regionale beleid op het gebied van water en nutriënten in de landbouw | 13 |
| 2.1 Inleiding                                                                                        | 13 |
| 2.2 Internationale beleid                                                                            | 14 |
| 2.3 Nationale beleid                                                                                 | 16 |
| 2.4 Regionale beleid                                                                                 | 19 |
| 2.5 Sectorale aspecten                                                                               | 20 |
| 2.5.1 Akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt                                                           | 20 |
| 2.5.2 Bloembollenteelt                                                                               | 21 |
| 2.5.3 Boomteelt                                                                                      | 23 |
| 3 Waterhuishouding, verdroging en vernatting                                                         | 25 |
| 3.1 Inleiding                                                                                        | 25 |
| 3.2 Regionale waterhuishouding                                                                       | 25 |
| 3.2.1 Verdroging en vernatting                                                                       | 25 |
| 3.2.2 Maatregelen om verdroging te bestrijden                                                        | 25 |
| 3.2.3 Neveneffecten bij vernatting                                                                   | 26 |
| 3.3 Waterstroming en transportprocessen op perceelsschaal                                            | 27 |
| 3.3.1 Waterstroming en stoffentransport                                                              | 27 |
| 3.3.2 Zuurstoftransport                                                                              | 27 |
| 3.4 Plantreacties                                                                                    | 29 |
| 3.4.1 Droogte                                                                                        | 29 |
| 3.4.2 Inundatie                                                                                      | 29 |
| 3.5 Landbouwkundige opbrengstdervingen (HELP-tabellen)                                               | 30 |
| 4 Effecten van vernatten op nutriënten                                                               | 33 |
| 4.1 Redoxpotentiaal en pH                                                                            | 33 |
| 4.2 Stikstof                                                                                         | 35 |
| 4.3 Fosfor                                                                                           | 36 |
| 5 Effecten van waterhuishouding per sector                                                           | 39 |
| 5.1 Akkerbouw en vollegrondsgroenten                                                                 | 39 |
| 5.1.1 Grondwaterpeil                                                                                 | 39 |
| 5.1.1.1 Verhoogd zomerpeil                                                                           | 39 |
| 5.1.1.2 Verhoogd winterpeil                                                                          | 42 |
| 5.1.1.3 Modelberekeningen                                                                            | 43 |
| 5.1.2 Droogte en beregenen                                                                           | 43 |
| 5.1.2.1 Aardappelen                                                                                  | 43 |
| 5.1.2.2 Maïs                                                                                         | 44 |
| 5.1.3 Druppelirrigatie en fertigatie                                                                 | 44 |

|         |                                                    |    |
|---------|----------------------------------------------------|----|
| 5.1.4   | Proeven onder semi-geconditioneerde omstandigheden | 45 |
| 5.2     | Bloembollenteelt                                   | 46 |
| 5.2.1   | Waterpeil                                          | 46 |
| 5.2.1.1 | Droogteschade                                      | 46 |
| 5.2.1.2 | Natschade                                          | 46 |
| 5.2.2   | Beregenen                                          | 47 |
| 5.2.3   | Fertigatie                                         | 47 |
| 5.2.4   | Emissies                                           | 48 |
| 5.2.4.1 | Veldonderzoek                                      | 48 |
| 5.2.4.2 | Scenarioberekeningen                               | 48 |
| 5.3     | Boomteelt                                          | 49 |
| 5.3.1   | Nutriënten                                         | 49 |
| 5.3.2   | Waterpeil                                          | 49 |
| 5.3.3   | Beregeningsonderzoek                               | 49 |
| 6       | Discussie                                          | 51 |
| 6.1     | Beleid                                             | 51 |
| 6.2     | Processen                                          | 52 |
| 6.3     | Open teelten                                       | 53 |
| 6.3.1   | Effect van vochttekorten                           | 53 |
| 6.3.2   | Effecten van grondwaterwaterpeil                   | 54 |
| 7       | Conclusies                                         | 57 |
| 8       | Plan voor het vervolg van het onderzoek            | 59 |
|         | Literatuur                                         | 61 |

## Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de resultaten van een voorstudie van het project “Kwantificering van de invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen” in het DWK-Mest en Mineralen-programma van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. De bedoeling is experimentele gegevens te verzamelen om de ideeën die er leven rond de effecten van vernatting op nutriëntenverliezen te onderbouwen. Er is besloten om eerst de bestaande kennis en het relevante beleid op dit gebied te inventariseren, voordat we met experimenten gaan beginnen. Het project is medio 2002 als samenwerkingsproject tussen Alterra, PPO-AGV, PPO-B&B gestart. De activiteiten in 2002 hebben zich geconcentreerd op het realiseren van deze voorstudie en het voorbereiden van veldexperimenten in 2003. Deze voorstudie heeft mede geleid tot een beter inzicht in de problematiek en een beter onderbouwde keuze voor de veldexperimenten. De veldexperimenten zullen in 2003 worden uitgevoerd op akkerbouwpercelen van het PPO-proefbedrijf Vredepeel (Limburg). We zijn van plan effecten van verschillende grondwaterpeilen op nutriëntenverliezen in het veld meten. Uiteindelijk moet dit project leiden tot een eenvoudig instrument waarmee de effecten van veranderend waterbeheer, met name vernatting, op nutriëntenverliezen (stikstof en fosfaat) kunnen worden ingeschat.



## Samenvatting

De waterhuishouding in het landelijke gebied van Nederland is vooral gericht op het optimaliseren van vochtvoorziening voor de landbouw. Dit betekent dat in grote delen van Nederland ontwatering heeft plaatsgevonden. Eventuele watertekorten in de landbouw, vooral in het zomerseizoen, worden aangevuld door te beregenen met grond- of oppervlaktewater. De laatste decennia beseft men dat het huidige waterbeheer nadelige gevolgen heeft voor de 'natte' natuur. In het Nationaal MilieubeleidsPlan 4 (NMP4, 2001) wordt aangegeven dat 200.000 tot 300.000 ha landbouwgrond in de buurt van Ecologische hoofdstructuur zal moeten vernatten. Veranderingen in het klimaat, de bodemdaling en de zeespiegelstijging zullen ook leiden tot nattere bodemcondities in grote gebieden van Nederland. Beide vormen van vernatting zullen directe gevolgen hebben voor de landbouw en daarmee samenhangend voor de nutriëntenverliezen, met name de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater.

Een inventarisatie van het internationale, nationale en regionale beleid op het gebied van water, nutriënten en natuur laat zien dat het beleid van de Europese Unie (EU) steeds belangrijker wordt voor Nederland. De Kaderrichtlijn Water (KRW), waarin ook de Nitraatrichtlijn voor grondwater is opgenomen, de EU-National Emission Ceilings (NEC)-richtlijn en het Göthenborg-protocol waarin de ammoniakemissiedoelstelling staat beschreven, en het Kyoto-protocol voor de reductie van broeikasgasemissies, zullen in de komende jaren bepalend zijn voor de milieu-eisen die aan de landbouw worden gesteld. Op korte termijn (1-3 jaar) zal de EU-Nitraatrichtlijn belangrijk blijven en daaraan gekoppeld de Nederlandse MINAS-systematiek. Op wat langere termijn (>2 jaar) zal daarnaast het belang van de oppervlaktewaterkwaliteitseisen geformuleerd in de KRW toenemen. In de KRW krijgt fosfaat relatief meer aandacht, aangezien fosfaat momenteel het meest bepalende nutriënt is met betrekking tot de kwaliteit van het zoete oppervlaktewater.

Voor het beleid is het van belang dat de regelgeving op het gebied van water, nutriënten en natuur op elkaar wordt afgestemd, zodat afwenteling van problemen wordt voorkomen. Het risico bestaat dat door een veranderend waterbeheer het nutriëntenbeheer wordt aangepast, met risico's voor verhoogde mestgiften en extra risico's op nutriëntenverliezen. Het is erg belangrijk dat bij de invulling van de KRW rekening wordt gehouden met de verschillende functies van het oppervlaktewater, zodat alleen vergaande ecologische normen worden geformuleerd daar waar het wenselijk is. Het lijkt niet verstandig om net als bij de Nitraatrichtlijn voor heel Nederland een generiek beleid te formuleren, maar lokaal- en gebiedsgericht beleid te formuleren.

De Nederlandse bodems zijn deels fosfaatverzadigd. Onder nattere condities zal het bodemwatergehalte toenemen en het zuurstofgehalte in de bodem afnemen. Vernatting leidt tot een verhoogde mobiliteit van fosfaat, met risico's op een verhoogde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Bij vernatting vermindert de

mineralisatie van stikstof en de omzetting van ammonium in nitraat (nitrificatie); maar verhoogt de denitrificatie, hetgeen leidt tot een afname van nitraatuitspoeling naar het grondwater. Wel neemt de kans op extra broeikasgasemissie (m.n. lachgas,  $N_2O$ ) toe. Bij het transport van nitraat naar het oppervlaktewater speelt ook de verandering van de transportroute van de bodem naar het oppervlaktewater een belangrijke rol. Het is nog niet aan te geven wat gemiddeld genomen het effect van vernatting op de nitraatbelasting van het oppervlaktewater zal zijn. Voor het zoete oppervlaktewater in Nederland zijn momenteel de nitraat- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater veelal te hoog. Onder vernatte omstandigheden zullen we vaker te maken hebben met sub-optimale omstandigheden voor gewasgroei, waardoor er een lagere opbrengst wordt verkregen of door extra stikstofbemesting voor stikstofverliezen gecompenseerd zal worden. Bij alle bovengenoemde processen zijn grondsoort, teelt, waterbeheer en nutriëntenbeheer sterk aan elkaar gekoppeld. De nutriëntenverliezen onder nattere bodemcondities zijn dus nog erg onzeker en zullen verder moeten worden onderzocht.

Het vervolg van ons project in 2003-2005 zal experimentele gegevens opleveren over het gedrag van N en P in landbouwgronden onder vernatte omstandigheden in enkele proefsituaties. Hierbij zal een vergelijk worden gemaakt tussen een optimaal en suboptimaal waterbeheer (vernatting) voor de landbouw. Voor beide varianten zullen de nutriëntenverliezen naar grond- en oppervlaktewater worden gekwantificeerd. Daartoe zullen de transportroutes in het veld worden vastgesteld. Om de resultaten in een kader te plaatsen en te interpreteren zullen simulatiemodellen worden gebruikt. De relatie met modellen is ook belangrijk voor toekomstige ontwerp van monitoringsprogramma's in het kader van de KRW. De complexiteit van de interactie tussen water-nutriëntenbeheer, leidt er toe dat er wordt gekozen voor een beperkt aantal proeven met voldoende aandacht voor compleetheid. De meerwaarde van deze proeven is dan dat er zoveel informatie wordt verkregen dat bestaande simulatiemodellen gebruikt kunnen worden en dat evaluatie van de modelresultaten mogelijk is. Onze keuze is om in 2003 met experimenten in de akkerbouw te beginnen, waarbij wordt aangesloten bij een deels ingericht proefveld (zandgrond) in Vredepeel (Limburg), waar slootpeilen opgezet kunnen worden. De bedoeling is om 2004 de experimenten uit te breiden naar grasland (melkveehouderij).

# 1      **Inleiding**

In het landelijk gebied is de waterhuishouding ingericht op het optimaliseren van de vochtvoorziening voor de landbouw. Dit betekent dat in grote delen van Nederland ontwatering heeft plaatsgevonden. Eventuele watertekorten in het zomerseizoen worden aangevuld door te beregenen met grond- of oppervlaktewater. De laatste decennia beseftte men dat de huidige waterhuishoudkundige inrichting nadelige gevolgen heeft voor de 'natte' natuur. In het Nationaal MilieubeleidsPlan 4 (NMP4, 2001) wordt aangegeven dat 200.000 tot 300.000 ha landbouwgrond in de buurt van Ecologische hoofdstructuur (EHS) zal moeten vernatten. Deze vernatting betekent een structurele peilverhoging gedurende het hele jaar. Momenteel wordt op provinciaal niveau (gebiedsgericht) het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) bepaald, veelal met behulp van de Waternood-systematiek (Waternood, 1998). Met deze systematiek worden eerst functies toegekend aan bepaalde regio's (hoofdfunctie natuur, agrarisch, recreatie of combinaties daarvan); vervolgens wordt het optimale grond- en oppervlaktewaterregime (OGOR) voor de verschillende functies bepaald; en tenslotte wordt, veelal als compromis de GGOR vastgelegd. In de GGOR wordt ook al rekening gehouden met de gevolgen van klimaatsverandering. Klimaatsverandering heeft als verwachte effecten dat:

- (i)      gemiddeld genomen het watertekort gedurende de zomerperiode zal toenemen
- (ii)     intensiteit van neerslag zal toenemen (meer "stortbuien")
- (iii)    wateroverlast gedurende het winterseizoen zal toenemen
- (iv)    de verzilting in de kunstprovincies zal toenemen.

Het waterbeheer ziet zich dan ook voor de opgave gesteld deze effecten zo goed mogelijk het hoofd te bieden. De Commissie 21<sup>e</sup> eeuw stelt dan ook ingrijpende maatregelen in de waterhuishouding voor die gericht zijn op het vasthouden, bergen en daarna pas afvoeren van water (Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, 2000).

In de afgelopen jaren zijn verschillende projecten gestart die tot doel hebben de gevolgen van veranderingen in de waterhuishouding voor de landbouw in kaart te brengen en die tevens tot doel hebben om knelpunten op te lossen. Projecten als Beregenen op Maat (Hoving en Philipsen, 1999) richten zich vooral op efficiënt beregenen. Waterconservering middels agrarisch stuwbeheer zal de behoefte aan beregening verminderen. Door de combinatie van dergelijke wordt een belangrijke bijdrage geleverd aan het herstel van grondwaterafhankelijke natuurwaarden. In projecten zoals Waterpas (de Vos *et al.*, 2003) worden opbrengstderivingen, milieukundige en economische gevolgen van peilverhogingen voor de landbouw gekwantificeerd op bedrijfsniveau. De gevolgen van de veranderde waterhuishouding op de waterkwaliteit op regionale en landelijke schaal worden modelmatig berekend, met behulp van het Stone-instrumentarium (Schoumans *et al.*, 2002). Momenteel ontbreekt het echter aan voldoende experimentele onderbouwing van deze modelberekeningen. Er is bijvoorbeeld nog weinig bekend over de gevolgen van

waterconservering en zomerse stortbuien op de af- en uitspoeling van nutriënten en op de gewasopbrengst.

Er is reeds veel onderzoek verricht naar de relaties tussen landbouwkundig handelen en de belasting van het milieu met stikstof en fosfaat (zie Evaluatiemestbeleid (RIVM, 2002)). Als gevolg van nationale en internationale afspraken zullen de nutriëntenemissies naar het milieu drastisch moeten worden teruggedrongen, zodat voldaan wordt aan kwaliteitseisen voor het grond- en oppervlaktewater, de bescherming van waardevolle aquatische en terrestrische natuurgebieden en de uitstoot van broeikasgassen en verzurende stoffen naar de atmosfeer. Er zijn echter zeer weinig experimentele gegevens beschikbaar over de interactie tussen waterhuishouding en nutriëntenverliezen uit de bodem.

In dit rapport bespreken wij de relatie tussen de waterhuishouding en nutriëntenverliezen, met speciale aandacht voor de open teelten. Bij de waterhuishouding komen zowel vernatting als verdroging aan de orde. Hierbij wordt ook ingegaan op de relatie tussen beregenen en nutriëntenverliezen. Onder vernatting verstaan wij in dit rapport het actieve waterbeheer door peilverhoging waardoor we te maken krijgen met hogere grondwaterstanden in de percelen. Daarnaast spelen de min of meer autonome processen van klimaatsverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling, die ook aanleiding geven tot nattere bodemcondities. De informatie in dit rapport kan gezien worden als basisinformatie voor het inschatten van de gevolgen van deze autonome processen, maar de aandacht in ons rapport zal vooral gericht zijn op de effecten van het actief vernatten.

Dit rapport gaat in op: het internationale, nationale en regionale beleid op het gebied van waterhuishouding, natuurbeheer en mest- en ammoniak en de mogelijke knelpunten (Hfdst. 2), de beschrijving van de waterhuishouding en gevolgen van verdroging en vernatting (Hfdst. 3); de beschrijving van bodemprocessen die van invloed zijn op de beschikbaarheid en het transport van stikstof en fosfaat (Hfdst. 4), de respons van landbouwgewassen op vochttekorten en -overschotten, en experimenteel onderzoek dat is of wordt uitgevoerd naar de relatie tussen vochtvoorziening, beschikbaarheid van nutriënten en gewasopname (Hfdst. 5). In hoofdstuk 6 volgt een algemene discussie met conclusies in hoofdstuk 7. Op basis van de conclusies van dit rapport worden aanbevelingen gedaan voor nieuw experimenteel onderzoek (Hfdst. 8).

## 2 Internationale, nationale en regionale beleid op het gebied van water en nutriënten in de landbouw

### 2.1 Inleiding

De milieukundige randvoorwaarden die aan de Nederlandse land- en tuinbouw worden gesteld zijn veelal afgeleid van ecologische en gezondheidseisen die aan grond- en oppervlaktewater worden gesteld. Ook worden eisen gesteld aan emissies naar de atmosfeer (ammoniak en broeikasgassen) uit oogpunt van natuur- en klimaatdoelstellingen. De Nederlandse mestwetgeving wordt steeds verder aangescherpt om milieudoelstellingen te halen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste ontwikkelingen in het beleid op een rijtje gezet, waarbij vooral de interactie tussen nutriënten (mineralen) en de waterhuishouding in de open teelten en de gevolgen voor natuurbeheer centraal staan.

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van het beleid dat wij relevant achten voor de vraagstelling van ons project, waarbij de interactie tussen water en nutriënten centraal staat. Hierbij maken wij onderscheid tussen beleid op verschillende schaalniveaus: internationaal, nationaal en regionaal. Wij kiezen voor een korte beschrijving van bestaande of toekomstige wet- of regelgeving, en analyseren vervolgens wat dat kan betekenen voor de open teelten.

*Tabel 2.1 Overzicht van het internationale, nationale en regionale beleid op het gebied van water en nutriënten in de landbouw en natuur*

| Beleid                   | Internationaal                          | Nationaal                                                | Regionaal                         |
|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Water                    | EU-KRW                                  | Com. waterbeheer                                         | GGOR /                            |
|                          | OSPAR                                   | 21 <sup>e</sup> eeuw<br>NMP4                             | Peilbeheer<br>Beregeningsverboden |
| Landbouw /<br>nutriënten | EU-Nitraatrichtlijn                     | MINAS + MAO                                              |                                   |
|                          | Kyoto-protocol                          |                                                          |                                   |
|                          | NEC- Gothenborg-richtlijn               | NMP4                                                     |                                   |
|                          | EU-landbouwbeleid                       | Ecologisering landbouw<br>+ Multifunctionele<br>landbouw | Reconstructie                     |
|                          | GATT/WTO<br>Good agricultural practices | Goede landbouwpraktijk;<br>o.a. uitrijverbod             |                                   |
|                          | EU-Kaderrichtlijn Bodem                 | Wet Bodembescherming<br>Duurzaamheid WRR                 |                                   |
| Natuur                   | Europese Vogel- en<br>Habitat-richtlijn | NMP4                                                     | Reconstructie                     |
|                          |                                         | Vijfde nota ruimtelijke<br>ordening                      | Natuurdoeltypen                   |

## 2.2 Internationale beleid

Het Nederlandse mestbeleid wordt sterk bepaald door afspraken die binnen de Europese Unie (EU) zijn gemaakt. Momenteel heeft Nederland te maken met de volgende EU-regelgeving of EU-beleid dat direct betrekking heeft op de relatie nutriëntenemissies en waterkwaliteit. De volgorde waarin de wet- en regelgeving wordt behandeld is een weergave van onze inschatting van het belang voor het beleid op het gebied van de interactie water en nutriënten.

- a) EU-Kaderrichtlijn water (KRW) (EU, 2000). De KRW is sinds december 2000 van kracht. Deze richtlijn geeft aan dat op stroomgebiedniveau (bijvoorbeeld Rijn of Maas) de waterkwaliteit niet achteruit mag gaan en is gericht op het herstel en bescherming van watersystemen. De KRW integreert ook alle bestaande wetgeving op het gebied van waterkwaliteit, met de intentie dat er geen afwentelingmechanismen mogen optreden of dat normen opgevuld gaan worden. Afspraken, zoals die van het Rijn-actie-plan (RAP), vallen ook onder de KRW. Een belangrijk speerpunt van de KRW wordt het monitoren van de effecten van maatregelen, waarbij de vraag is hoe je op stroomgebiedniveau kan meten wat de verbetering van bijvoorbeeld de waterkwaliteit is ten gevolge van specifieke maatregelen. In 2008 moeten stroomgebiedbeheersplannen publiek worden gepresenteerd. De ambitieuze doelstelling van de KRW is dat alle wateren in 2015 de “goede toestand” hebben bereikt.
- b) EU-nitraatrichtlijn (EU, 1990). Deze richtlijn geeft aan dat het nitraatgehalte in het grondwater onder de norm van 50 mg/l moet blijven in de zogenaamde kwetsbare gebieden. Nederland is als geheel als kwetsbaar gebied aangemeld, zodat deze norm voor heel Nederland geldt. Er bestaat geen eenduidige definitie van de diepte waarop deze norm geldt. Op dit moment gebruikt Nederland de norm voor het bovenste grondwater (1 m diepte), terwijl de intentie van de norm is dat het grondwater geschikt moet zijn als drinkwater. Dit drinkwater wordt in het algemeen op veel grotere diepte gewonnen. De EU-nitraatrichtlijn schrijft ook het gebruik van een maximale hoeveelheid (170 kg N/ha) dierlijke mest voor. Nederland heeft voor grasland een derogatieverzoek ingediend (250 kg N/ha). De EU-nitraatrichtlijn is nu een onderdeel van de EU-Kaderrichtlijn Water.
- c) De Paris conventions and Oslo commission (OSPAR, 2001; Walle and Sevenster, 1998) hebben een doelstelling geformuleerd voor een reductie van 50% in de nutriëntenbelasting van de Noordzee ten opzichte van 1985 naar aanleiding van eerdere afspraken in de International North Sea Conferences. Deze doelstelling is nog niet gehaald maar blijft wel geldig als streven. Ook worden aanbevelingen gedaan om maatregelen in te voeren die de nutriëntenverliezen uit de landbouw reduceren.
- d) Kyoto-protocol (Kyoto-conferentie 1997) waarin een 6% reductie van de broeikasgasemissie in 2008-2012 ten opzichte van het referentiejaar 1990 is geformuleerd. Er zijn geen specifieke doelstellingen voor de Nederlandse

landbouw geformuleerd, maar de landbouw zou wel kunnen bijdragen aan de reductie van de emissie van overige broeikasgassen, met name lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>), om deze doelstelling te helpen realiseren.

- e) EU-National Emission Ceilings (NEC)-richtlijn en het Gothenborg-protocol waarin de ammoniakemissiedoelstelling voor het jaar 2010 is geformuleerd van maximaal 115 miljoen kg ammoniak uit de landbouw in Nederland. De bedoeling hiervan is om zure, nutriëntenrijke depositie in natuurgebieden tegen te gaan. Deze doelstelling is overgenomen in het NMP4 (2001).
- f) EU-landbouwbeleid. De EU staat op het punt om in oostelijke richting uit te breiden. Vele toekomstige Oost-Europese EU-landen hebben een sterke plattelandseconomie. De uitbreiding zal grote gevolgen hebben voor de afzetmogelijkheden van landbouwproducten en de concurrentiepositie van de Nederlandse landbouw. Nederland zal door kwaliteitsproductie en certificering van de gehele productieketen concurrentievoordeel moeten halen. Ook (ecologische) duurzaamheidsprincipes en minimale milieubelasting zullen steeds belangrijkere aspecten bij de productie worden. De groter wordende Europese markt kan aanleiding geven tot een herwaardering van streekeigen producten. Op politiek niveau zijn er stevige discussies over de huidige subsidieregelingen en inkomensondersteuning. Politieke beslissingen op dit vlak kunnen grote gevolgen hebben voor de Nederlandse landbouw.
- g) De onderhandelingen in de GATT en WTO over een vrijere wereldhandel en het afschaffen van importheffingen en exportsubsidies kan voor de Nederlandse en Europese landbouw gevolgen hebben.
- h) Op Europees niveau zijn als onderdeel van de EU-nitraatrichtlijn codes geformuleerd voor “Goede Landbouwpraktijk” (Good Agricultural Practice). Nederland heeft al een aantal maatregelen ingevoerd, zoals het uitrijverbod voor dierlijke mest in bepaalde perioden van het jaar.
- i) De EU heeft de intentie om op het gebied van integrale bodembescherming een EU-Kaderrichtlijn Bodem op te stellen waarin het belang en het duurzaam gebruik van de bodem centraal zal komen te staan: “Towards a thematic strategy for soil protection” (EU, 2002). Dit zal zeker ook gevolgen hebben voor de eisen die aan een duurzaam landbouwkundig gebruik van de bodem worden gesteld.
- j) Europese Vogel- en Habitat-richtlijn. Het ministerie van LNV heeft de taak om de overgebleven natuur in Nederland te behouden en te versterken. De wetten en richtlijnen zijn gericht op de bescherming van zowel natuurgebieden als soorten. Bij de bescherming van natuurgebieden worden soms ook eisen gesteld aan de nutriëntenbelasting vanuit nabij gelegen landbouwgebieden.

## 2.3 Nationale beleid

Het nationale beleid moet minimaal voldoen aan de doelstellingen van het EU-beleid. Er zijn echter enkele beleidsdoelstellingen die afwijken van het EU-beleid of die specifiek zijn voor de Nederlandse situatie.

- a) MINAS (Mineralenaangiftesysteem) is een in 1998 geïmplementeerd systeem waarbij op bedrijfsniveau een boekhouding bijgehouden moet worden van de stikstof- en fosfaatstromen. Het stikstof- en fosfaatverlies wordt bepaald uit het verschil tussen aan- en afvoer van het bedrijf. De verliesnormen zijn in de periode 1998-2002 stapsgewijs verlaagd om zo o.a. te voldoen aan de eisen die de EU-nitraatrichtlijn stelt. Er wordt onderscheid gemaakt op basis van grondgebruik, grondsoort en grondwatertrap. De hooggelegen uitspoelingsgevoelige droge zandgronden hebben de scherpste eisen m.b.t. toegestane stikstofverliezen. Aangezien in de laatste jaren de hydrologische situatie nog al veranderd (verdroogd) is t.g.v. van een steeds verdergaande drainage, is er nu discussie over de vraag welke gronden onder de uitspoelingsgevoelige zandgronden worden gerekend. Momenteel valt kunstmest-fosfaat nog niet onder MINAS. In de onderstaande Tabel 2.2 zijn de MINAS-normen voor 2002 en verwachte normen voor de toekomst opgenomen. In november 2002 heeft de Advocaat-Generaal van het Europese Hof het Nederlandse mestbeleid veroordeeld. Wat dit precies voor de toekomst van de Nederlandse landbouw betekent, is nu nog niet duidelijk. Wel is duidelijk dat er naast de EU-nitraatrichtlijn nog andere internationale richtlijnen zijn die op korte termijn van groter belang zullen zijn.

Tabel 2.2 Huidige en voorgestelde MINAS-verliesnormen (uit MINAS en Milieu; RIVM, 2002)

| Verliesnormen (volgens MINAS) (MINAS-plichtige bedrijven) |                                                                 |                                        |                                     |     |                                        |     |     |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----|----------------------------------------|-----|-----|
| Jaar                                                      | Fosfaatsnormen<br>(kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha/ jaar) |                                        | Stikstofnormen<br>(kg N / ha/ jaar) |     |                                        |     |     |
|                                                           | Gras                                                            | Voeder-, akker- en<br>tuinbouwgewassen | Gras                                |     | Voeder-, akker- en<br>tuinbouwgewassen |     |     |
|                                                           |                                                                 |                                        | I                                   | II  | III                                    | IV  | V   |
| 1-1-1998 tot 1-1-2000                                     | 40                                                              | 40                                     | 300                                 | 300 | 175                                    | 175 | 175 |
| 1-1-2000 tot 1-1-2001                                     | 35                                                              | 35                                     | 275                                 | 275 | 150                                    | 150 | 150 |
| 1-1-2001 tot 1-1-2002                                     | 35                                                              | 35                                     | 250                                 | 250 | 150                                    | 125 | 125 |
| 1-1-2002 tot 1-1-2003                                     | 25                                                              | 30                                     | 220                                 | 190 | 150                                    | 100 | 110 |
| voorgestelde eindnormen <sup>2</sup>                      | 20                                                              | 20                                     | 180                                 | 140 | 100                                    | 60  | 100 |

I = Grasland; II = Grasland droog zand/ löss; III = bouw-/braakland klei of veen, IV = bouw-/braakland droog zand / löss, V = bouw-/braakland overige grond

<sup>2</sup> = De normen voor 2003 moeten nog in de Tweede Kamer worden behandeld. Het is momenteel onduidelijk (mei 2003) wanneer de eindnormen worden ingevoerd.

- b) In Nederland bestaan niet-wettelijke normwaarden voor de nutriëntenconcentraties in het grond- en oppervlaktewater. In NMP4 (2001) wordt onderscheid gemaakt tussen het maximaal toelaatbaar risico (MTR) en streefnormen. De MTR-waarden zijn vastgesteld op basis van wenselijke ecologische condities in het oppervlaktewater en de EU-nitraatrichtlijn voor

drinkwater. De streefwaarden zijn gewenste concentraties en liggen nog lager (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Maximaal toelaatbare risico's (MTR) en streefwaarden van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater volgens NMP4 (2001) ( uit: MINAS en Milieu; RIVM(2002))

Kwaliteitsdoelstelling voor nutriënten in grondwater en oppervlaktewater.  
Concentraties in mg P/l en mg N /l.

| Parameter  | Grondwater       |                       | Oppervlaktewater (zoet)  |                            | Oppervlaktewater (zout)              |
|------------|------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
|            | MTR-waarde       | Streefwaarde          | MTR-waarde <sup>4)</sup> | Streefwaarde <sup>4)</sup> |                                      |
| Totaal-N   | -                | -                     | 2,2                      | 1                          | <50% boven achtergrond <sup>5)</sup> |
| Totaal-P   | -                | 0,4 / 3 <sup>3)</sup> | 0,15                     | 0,05                       | <50% boven achtergrond <sup>5)</sup> |
| Nitraat    | 50 <sup>1)</sup> | 25 <sup>2)</sup>      | -                        | -                          | -                                    |
| Ammonium-N | -                | 2 / 10 <sup>3)</sup>  | -                        | -                          | -                                    |

1. Deze waarde is geldig voor alle grondwater (Bron: NMP2 (VROM, 1993). In NW4, bijlage A aangeduid als MTR-waarde (Bron: VenW, 1999)
2. In NMP4 (Bron: VROM, 2001) is aangegeven dat de streefwaarde geldt voor het diepere grondwater in grondwaterbeschermingsgebieden en in intrekgebieden alsmede voor kwelwater-afhankelijke natuurdoeltypen.
3. De lage waarde is geldig voor zandgrond; de hogere waarde is geldig voor klei- en veengrond. Voor ammonium geldt dat in gebieden met brak/zout grondwater hogere concentraties van nature kunnen voorkomen.
4. Deze waarden gelden als zomergemiddelde waarden voor eutrofiëringgevoelige, stagnante oppervlaktewateren. Voor overige wateren zijn de waarden richtinggevend (Bron: VenW, 1999).
5. Dit is een indicatieve doelstelling. Voorts is de N/P-verhouding van belang. N/P > 25 wordt als duidelijk verhoogd beschouwd.

c) Commissie Waterbeheer 21e eeuw (2000). Nederland krijgt in de zeer nabije toekomst te maken met een veranderende situatie in het waterbeheer, o.a. door de lage ligging van grote delen van Nederland, zeespiegelstijging, de oxidatie en inklinking van vooral de veenweidegebieden en de daarmee gepaard gaande maaiveld dalende, en klimaatsverandering. Bij de klimaatsverandering is de verwachting dat de zomers droger en de winters natter worden, en dat in de zomer de neerslagintensiteit hoger wordt. Deze veranderende hydrologische situaties zullen ook gevolgen hebben voor de risico op emissies van nutriënten uit (nattere) landbouwgronden.

d) Mestafzetovereenkomsten (MAO) zijn in 2002 ingevoerd als onderdeel van de Meststoffenwet om er voor te zorgen dat veehouders kunnen aantonen dat zij over voldoende mestafzetruimte beschikken. Deze mestafzetruimte houdt in dat men mest op eigen grond of via contracten op grond van anderen af kan zetten. In praktijk blijkt dat de mestafzetcontracten en MINAS niet goed op elkaar zijn afgestemd, waardoor er vele loze contracten worden afgesloten. In dat geval hoeft volgens MINAS een veehouder bijvoorbeeld zijn mest niet af te voeren (op basis van N- en P-gehalten), terwijl dit volgens het MAO-systeem wel zou

moeten. Dit verschil wordt veroorzaakt door verschillen in forfaitaire (MOA) en werkelijke (MINAS) N- en P-gehalten in de mest. Het MAO-systeem sluit aan op de gebruiksnorm voor dierlijke mest uit de EU-nitraatrichtlijn.

- e) Het Nederlandse natuurbeleid is geformuleerd in de Natuurbeleidsplan (1990) en in de nota 'Natuur voor mensen, mensen voor natuur' (2000). In het NMP4 (2001) staan ecologische doelstellingen geformuleerd, onder andere uitmondend in de streefwaarden voor nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zoals vermeld in Tabel 2.3. In de Structuurschema Groene Ruimte (LNV, 1995) is globaal beschreven hoe de ecologische hoofdstructuur (EHS) moet worden begrensd. Het Natuurbeleidsplan en de nota 'Natuur voor mensen, mensen voor natuur' beschrijft de doelstelling dat de EHS een samenhangend netwerk van natuurgebieden moet worden (LNV, 1990; 2000). Het ontwikkelen van de EHS en het vernatten van sommige natuurgebieden door het verhogen van het oppervlaktewaterpeil zal ook gevolgen hebben voor nabij gelegen landbouwgronden. Een van de doelstelling is dat 200.000 tot 300.000 ha landbouwgrond in de buurt van de EHS zal moeten vernatten. Naast een voldoende hoeveelheid water (kwantiteit) kan de waterkwaliteit een belangrijke rol spelen bij de mogelijkheden voor natuurontwikkeling, bijvoorbeeld kalkrijk of nutriëntenarm water.
- f) In NMP4 wordt een reductie tot 85 miljoen kg ammoniak uit de landbouw in Nederland nagestreefd met de intentie om de belasting met zure, N-rijke depositie in natuurgebieden tegen te gaan. Deze reductie gaat verder dan de internationale doelstelling (zie par. 2.2 e).
- g) Wet Bodembescherming. De eisen die aan de bodemkwaliteit worden gesteld volgen uit het onderdeel Bodem- en Grondwaterkwaliteit van de Wet Bodembescherming. Wat betreft de bodemkwaliteit staan verontreinigende stoffen zoals zware metalen en organische verontreinigingen centraal. Voor nutriënten zijn wel streefwaarden afgeleid die samenhangen met de kwaliteit van het grondwater ten behoeve van drinkwaterbereiding (zie Tabel 2.3). Voor de landbouw en met name het gebruik van nutriënten is de Meststoffenwet van belang (zie ook par. 2.3.a MINAS)
- h) In de Vijfde nota ruimtelijke ordening (VROM, 2001) wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende functies van het stedelijk en landelijk gebied. De kwaliteit van de bodem en de mogelijkheden van het beheersen van de waterhuishouding bepalen in grote mate de potentie van de functies. Nog steeds geldt dat elke bodem in principe elke functie moet kunnen vervullen. Dit voorzorgsprincipe gaat er dus vanuit dat processen omkeerbaar zijn en dat elke bodem weer in een gewenste toestand te krijgen is.
- i) Ecologisering van de landbouw is zo concreet geworden dat de bedoeling van het ministerie van LNV is dat in 2005 10% van het landbouwareaal voor biologische teelten wordt gebruikt. In de biologische teelten wordt vooral met dierlijk mest en biologische stikstofbinding (vlinderbloemigen) gewerkt om in de

nutriëntenvoorziening van gewassen te voorzien. Dit stelt hoge eisen aan het nutriëntenmanagement van een bedrijf.

- j) Landbouw met een verbrede doelstelling houdt in dat naast de primaire functie van het produceren van voedsel en grondstoffen ook andere functies in een landbouwbedrijf kunnen worden opgenomen (multifunctionele landbouw), zoals zorg, recreatie of de productie van drinkwater en natuur (“Boeren voor Natuur, de slechtste grond is de beste”; Stortelder *et al.*, 2001). Dit wordt als een van de perspectieven gezien voor een toekomstig vitaal platteland.
- k) Duurzaamheid is een algemeen begrip dat volgens de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2002) eenduidiger en beperkter gedefinieerd dient te worden. Landbouw en ecologische duurzaamheid hebben veel met elkaar te maken. Het gaat hier dan om ecologische duurzaamheidvraagstukken, zoals: blijft de bodemvruchtbaarheid op de lange termijn in stand? De verwachting is dat ecologische duurzaamheid een belangrijke rol zal gaan spelen bij toekomstig beleid.

## 2.4 Regionale beleid

We bespreken hier kort het beleid zoals dat door provincies, waterschappen en beheersorganisaties is geformuleerd voor zoverre het betrekking heeft op de interactie nutriënten en water in landbouwgronden en de relaties met natuurbeleid.

- a) Peilbeheer. In de derde en de vierde Nota Waterhuishouding staat dat provincies voor 2002, in het kader van de verdrogingsbestrijding, een streefbeeld van de grondwatersituatie in de vorm van een Gewenste Grondwater en Oppervlaktewater Regime (GGOR) bekend moet maken (V&W, 1989). Het waterbeheer van de waterschappen is nu nog afgestemd op de waterkwantiteit: het kunnen af- en aanvoeren van voldoende hoeveelheden water. De nieuwe Waternood-benadering (Waternood, 1998) is één van de methodieken om voor de verschillende functies in het landelijk gebied doelrealisaties te formuleren, zodat een waterbeheerder betere instrumenten krijgt om de effecten te kwantificeren van de verschillende functies, zoals landbouw, recreatie, natuur, waterwinning. Daarnaast speelt ook de integratie van waterkwantiteits- en kwaliteitsbeheer. Het is een politieke zaak om de belangen van de verschillende functies te beoordelen.
- b) Beregeningsverboden. In sommige provincies mag niet ongelimiteerd van grond- en oppervlaktewater gebruik gemaakt worden ten behoeve van beregening van landbouwgewassen. Onder andere in Limburg en Noord-Brabant zijn reeds beregeningsplanners en meetapparatuur verplicht, waarmee de boeren moeten bijhouden of een beregeningsgift werkelijk noodzakelijk is.
- c) Reconstructie. In sommige provincies worden door middel van reconstructie de functies van het landelijk gebied opnieuw ingedeeld. Hierbij spelen historische,

hydrologische, bodemkundige, ecologische en economische aspecten een rol. Landbouwgrond wordt soms uit productie genomen, minder intensief gebruikt en eventueel vernat. Afhankelijk van de bestemming van het land wordt functionaliteit gedefinieerd, waarbij er steeds meer naar mogelijkheden multifunctioneel landgebruik wordt gezocht. Eén van de multifunctionele combinaties is waterberging, extensieve landbouw en recreatie.

- d) Het aanwijzen en formuleren van doelstelling voor gewenste natuurdoeltypen vindt op provinciaal niveau plaats. Deze doelstellingen leggen randvoorwaarden op aan de nutriëntentoestanden van bodem, gewenste hydrologische randvoorwaarden (kwel), en aan de kwaliteit van het water.

## **2.5 Sectorale aspecten**

In dit hoofdstuk zullen wij enkele aspecten belichten die specifiek zijn voor de verschillende teelten in relatie tot waterbeheer en nutriëntenproblematiek.

### **2.5.1 Akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt**

- a) MINAS. In de periode van 1998-2000 hoefden akker- en tuinbouwbedrijven geen MINAS-aangifte te doen. De mineralenoverschotten van deze bedrijven vertoonden in die periode ook geen duidelijke tendens. Wel voldeed in 1999/2000 reeds 50-60% van de akkerbouwbedrijven aan de MINAS-eindnormen. Momenteel (2003) kan een groot gedeelte van de akkerbouw gemakkelijk aan de MINAS-verplichtingen voldoen, ook als een deel van de dierlijke mest in de akkerbouw wordt geplaatst. Problemen met name voor stikstof zijn er wel voor bedrijven op humusarme uitspoelingsgevoelige zand- en lössgronden. Uit de “Evaluatie Mestbeleid 2002” is gebleken dat bij bemesting volgens Goede Landbouwpraktijk met name op de vollegrondsgroentebedrijven met een hoog aandeel prei en dubbelteelten van bladgewassen de voorgestelde MINAS-eindnormen niet worden gehaald (RIVM, 2002). Ook uit het project “Telen met toekomst” blijkt dat, althans in de eerste jaren van dit project, sommige van deze bedrijven de MINAS-norm 2003 niet haalt. Onlangs is bij de Tweede Kamer het voorstel ingediend om bij dubbelteelten de forfaitaire afvoernorm te verhogen. Bij verdere aanscherping van de verliesnormen kunnen ook vollegrondsgroentebedrijven op kleigrond in de problemen komen. Om verdere ophoping van fosfaat te voorkomen is op de lange termijn een generieke verliesnorm van 0-1 kg fosfaat per ha per jaar noodzakelijk. Daarbij zal het voor de open teelten lastiger worden om de dierlijke mest binnen de milieurandvoorwaarden in te zetten. In de Evaluatie Mestbeleid wordt voorgesteld om in ieder geval kunstmestfosfaat onder MINAS te brengen. De verwachting is dat aanscherping van de normen tot hoge kosten voor alle sectoren zal leiden.

- b) Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw. De bedoeling is water meer vast te houden in de haarvaten van het watersysteem (greppels en sloten). Dit kan echter bij extreem natte omstandigheden tot wateroverlast (en inundatie) van landbouwgronden leiden. Daarom wordt ook aan anticiperend peilbeheer gedacht. Dit houdt in dat in de regionale systemen (tijdelijk) lagere peilen toelaatbaar zijn, waardoor extra water kan worden opgevangen. De verwachting is dat anticiperend waterbeheer meer effect heeft in Laag- dan in Hoog-Nederland. Peilverhogingen leiden tot een lagere N-beschikbaarheid voor het gewas (zie ook 5.1.1.). Er zijn dan hogere N-giften nodig, waardoor problemen met MINAS kunnen ontstaan. Bij peilverhogingen neemt de beschikbaarheid van P in eerste instantie toe, maar als de grond in het voorjaar kouder blijft, belemmert dit de opname van P door het gewas. Op de lange termijn neemt de P-beschikbaarheid door verhoogde uitspoeling af.

Er komt minder zoet water beschikbaar voor de regionale watersystemen, doordat er minder aanvoer is van zoetwater in de zomer, de zoute kwel toeneemt en daardoor de zouttong in de kustzone verder landinwaarts ligt. Hierdoor komt de garantie van voldoende zoetwater voor onder andere de landbouw in de lage polders langs de kust in Zuidwest-Nederland, achter de Hollandse duinenrij, in de Wieringermeer en de droogmakerijen onder druk te staan. In gebieden met grote kans op verzilting zullen minder kwetsbare landbouwgewassen moeten worden geteeld aldus de Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw (2000).

In Hoog-Nederland zal een beperking van de beregening worden ingevoerd. Dit kan een knelpunt vormen voor de landbouw en zeker voor de vollegrondsgroenteteelt. De commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw adviseert dan ook om veeleisende landbouwvarianten tegen te gaan in droogtegevoelige gebieden. Naar aanleiding van bovengenoemd rapport zijn door Alterra in samenwerking met het LEI scenario's doorerekend met watereisende (risicovolle gewassen) en minder watereisende varianten (Veeneklaas *et al.*, 2000). Het verschil tussen de twee varianten betreft voornamelijk een intensivering respectievelijk extensivering van bepaalde delen van de land- en tuinbouw. De verwachting is dat tot 2020 het areaal van de watereisende variant met bijna 30% daalt en van de watersparende variant met bijna 50% stijgt.

## 2.5.2 Bloembollenteelt

- a) MINAS. De stikstofbemesting is de afgelopen jaren gedaald van 320 kg N per ha in 1996 tot 230 kg N per ha in 1999. Dit komt voor de helft door de verminderde toediening van stikstof met organische meststoffen en voor de andere helft door de verminderde toediening van stikstof met kunstmest. Er zijn tussen regio's grote verschillen in het gebruik van dierlijke mest. In de bollenteelt wordt dierlijke mest gebruikt om het organische stofgehalte van de bodem op peil te houden. De verwachting is dat in de toekomst hiervoor meer veen gebruikt zal moeten worden, zodra de kunstmestfosfaat onder MINAS gaat

vallen. Voor de N-bemesting is het de verwachting dat er vooralsnog geen grote problemen met MINAS ontstaan.

Ook uit scenarioberekeningen (Schreuder *et al.*, 2000, 2002ab) blijkt dat de bloembollensector in het algemeen zonder grote problemen aan de MINAS-eindnormen kan voldoen. Uitzondering hierop is de teelt bij een diepe bouwvoor met name van hyacinten en de teelt op droge zandgronden. Voor de bedrijven met hyacintenteelt loopt een procedure om hiervoor een haalbare verliesnorm te verkrijgen. Uitbreiding van het areaal droogtegevoelige zandgronden met scherpere MINAS-normen door een indeling op basis van nieuwe grondwatertrappen, kan voor de bloembollenteelt in het oosten en zuiden van Nederland nadelige gevolgen hebben.

- b) Advies Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw. De beheersing van de waterhuishouding is erg belangrijk voor het behalen van een goede productkwaliteit. Er worden dan ook grote investeringen gepleegd om de waterhuishouding, maar ook de kwaliteit van het bodemprofiel te optimaliseren. Het streven naar het langer vasthouden van gebiedseigen water kan leiden tot een tijdelijk hogere dan door telers gewenste grondwaterstand. Het tijdelijk vergroten van de bergingscapaciteit van de bodem in geval van veel neerslag zal vanwege het economisch belang van de bollensector niet plaatsvinden, en dus geen gevolgen voor deze sector hebben. Bij het vergroten van de boezems, te bereiken door het verbreden van de sloten, kan productiegrond verloren gaan. Effecten van het wijzigen van het waterpeil in gebieden op afstand (bijvoorbeeld vernatting van de duinen ten gunste van natuurontwikkeling) op naastliggende teeltgebieden zijn nog onvoldoende bekend.

Verzilting via het oppervlaktewater en via zoute kwel is een probleem in relatie met waterbeheer, met name de kustgebieden. Bloembollen zijn erg gevoelig voor zout. De waterkwaliteit kan met de toenemende verziltig gebieden ongeschikt maken voor de bollenteelt. De beschikbaarheid van zoet water wordt daarmee een toenemend knelpunt.

- c) Structuurschema Groene Ruimte II: nieuw vestiging. In het Structuurschema Groene Ruimte II is aangegeven dat de bollenteelt in de komende jaren mag gaan uitbreiden, maar dan wel in projectvestiging (clusters van bedrijven). Op deze nieuwvestigingslocaties wordt een nieuwe teeltlaag aangebracht van zandgrond. Deze aangevoerde nieuwe grond kenmerkt zich door een zeer laag organisch stof percentage. Dit percentage moet worden verhoogd door aanvoer van organische stof. Deze opbouw van organische stof, waarbij door mineralisatie ook een groot gedeelte verloren gaat door uitspoeling, in combinatie met de aanwezige drains maken deze nieuwvestigingslocaties tot zeer uitspoelingsgevoelige gebieden (Hack-ten Broeke en Merkelbach, 1999).

### 2.5.3 Boomteelt

#### a) MINAS

Bedrijven zijn MINAS-plichtig vanaf 3 hectare. Een deel van de bedrijven in de boomkwekerij is echter kleiner dan 3 hectare. Bovendien valt potgrond als een belangrijke aanvoerpost buiten de MINAS-systematiek. In de boomkwekerij hoeft geen probleem te ontstaan met MINAS (RIVM, 2002). Zelfs wanneer alleen maar dierlijke mest wordt gebruikt, kan in theorie de behoefte aan nutriënten worden gedekt. Toch ontstaan er knelpunten. Ten eerste omdat om logistieke redenen de dierlijke mest voor twee jaar ineens wordt gegeven aan het begin van één-, twee- of driejarige teelt. Door de gift van dierlijke mest aan het begin van de teelt te verlagen, ontstaat er binnen MINAS ruimte om in het tweede jaar bij te bemesten met kunstmest. Ten tweede wordt dierlijke mest gebruikt om het organische stofgehalte in de bodem op peil te houden. Door dierlijke mest geheel of deels te vervangen door compost kan dit probleem worden ondervangen. Bij scherpere normen (gebaseerd op nutriëntenemissies in plaats van -overschotten) kan de vollegrondboomteelt niet aan de normen voldoen vanwege de hoge stikstofmineralisatie van veengronden.

#### b) Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw

De financiële opbrengst van sierteelt wordt sterk bepaald door de kwaliteit van het geoogste product. Veelal leveren alleen producten met de hoogste kwaliteit geld op en de producten van mindere kwaliteit weinig of niets. Watertekorten kunnen optreden indien het grondwaterpeil te diep zit. In een aantal provincies is het gebruik van een wateradviesstelsel voorwaarde om provinciale heffingen op het gebruik van grondwater terug te krijgen. Verplaatsing van boomteelt naar droge zandgronden geeft een groter probleem op het gebied van beregenen. Gevolgen van flexibel peilbeheer en vernatting zijn nog onvoldoende bekend. Wel is het de verwachting dat tijdelijke of permanente vernatting een grote invloed op de bedrijfsvoering en rendement van sierteelt bedrijven zal hebben.



## **3 Waterhuishouding, verdroging en vernatting**

### **3.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt de waterhuishouding beschreven door eerst op een regionaal schaalniveau de effecten van vernatting en andere maatregelen te bespreken om verdroging tegen te gaan. Hierbij wordt gebruik gemaakt van beschrijvingen van Roest *et al.* (2002) voor gebieden in de provincies Noord-Brabant en Limburg. Deze beschrijving is illustratief voor samenhang tussen hoger en lager gelegen gebieden en de doorwerking van maatregelen in deze gebieden. Vervolgens wordt kort ingegaan op de fysische, chemische en biologische processen die binnen één perceel plaatsvinden. De relatie tussen nutriëntendynamiek en -transport en de waterhuishouding zal in latere hoofdstukken verder worden uitgewerkt, waarbij de effecten van de waterhuishouding voor diverse teelten worden geanalyseerd.

### **3.2 Regionale waterhuishouding**

#### **3.2.1 Verdroging en vernatting**

In het kader van natuurontwikkeling worden er vernattingsmaatregelen voorgesteld om verdroging tegen te gaan, bijvoorbeeld ten behoeve van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Verdroging uit zich in een daling van het freatische en artesische grondwaterpeil en is meestal het gevolg van een combinatie van verhoogde grondwateronttrekkingen voor drinkwater, industrie en landbouw en een (te) goede ontwatering. In het algemeen zal voor de hoger gelegen gebieden (infiltratiegebieden) het reduceren van de onttrekking de belangrijkste oorzaak zijn voor vernatting. In de lager gelegen gebieden (kwelgebieden) zal de ontwatering bepalen of er vernatting optreedt.

Een daling van een diepe grondwaterstand heeft negatieve gevolgen voor de vochtvoorziening van gewassen en natuurlijke vegetatie. Met name in de infiltratiegebieden ontstaat hierdoor voor de landbouw behoefte aan (extra) beregening, wat tot een extra daling van de grondwaterstand zal leiden. Een daling van het diepe grondwaterpeil in dezelfde gebieden leidt ook tot verminderde kwelstromen naar beekdalen met als gevolg een verminderde watervoorziening voor de daar aanwezige landbouw- en natuurgebieden.

#### **3.2.2 Maatregelen om verdroging te bestrijden**

Maatregelen om verdroging te bestrijden kunnen zijn: het verminderen van de grondwateronttrekkingen en het remmen van de ontwatering en afwatering vanuit het gebied waardoor het grondwaterpeil gemiddeld hoger zal komen te staan. Vermindering van grondwateronttrekkingen is een effectieve maatregel, maar niet

altijd snel en eenvoudig te realiseren wegens de belangen van andere partijen. De waterbeheerder kan daarentegen wel ingrijpen in de ontwaterings- en afwateringssystemen.

Een van de maatregelen is om water zo 'hoog' mogelijk in het gebied vast te houden. Het plaatsen van stuwtjes en/of het verondiepen van sloten kunnen in dit geval effectieve maatregelen zijn. Dergelijke ingrepen moeten vaak gebiedsspecifiek worden uitgevoerd om een maximaal effect te bereiken, bijvoorbeeld plaatsing van stuwen en verondiepen in de vlakkere gebiedsdelen en alleen verondiepen of dempen van sloten in de meer hellende delen. Dit leidt tot een andere waterafvoer die afhankelijk is van de hydrologisch toestand van een gebied. In het geval van de zandgronden is het in het algemeen het doel om meer gebiedseigen water in het gebied te houden waardoor de grondwaterstand in de zomer minder ver daalt. Een ander doel is om in kwelgebieden de vegetatie in contact te laten komen met het grondwater.

### **3.2.3 Neveneffecten bij vernatting**

Naast positieve effecten van anti-verdrogingsmaatregelen kan zich ook een aantal neveneffecten voordoen die minder gunstig uitpakken. In hydrologische zin kunnen dit wateroverlast zijn in de kwelgebieden door de toename van de kwelstromen en de verminderde bergingscapaciteit in de onverzadigde zone door de verhoogde grondwaterstand bij (hevige) neerslag. Anderzijds kan ook de kwaliteit van het grondwater worden beïnvloed en daarmee de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Het stromingspatroon van het grondwater kan een groot effect hebben op de mate van verontreiniging van zowel het grondwater als het oppervlaktewater. Waterconserveringsmaatregelen beïnvloeden deze stromingspatronen, maar zijn uitsluitend gericht op de hydrologie (waterkwantiteit) en niet op de waterkwaliteit. Factoren die een grote rol spelen bij de grondwaterkwaliteit zijn de route die het water aflegt en de diepte van de grondwaterspiegel. De route is bepalend voor:

- onderlinge hydrologische verhoudingen tussen de verschillende gebiedstypen, d.w.z. dat hydrologische gevolgen van maatregelen in het ene gebied bepalend kunnen zijn voor de hydrologie in een ander gebied en daarmee elders de bodemchemie kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld kwelstromen met een hogere pH);
- traject waarlangs het water in contact kan komen met verschillende stoffen.
- verblijftijd welke, in samenhang met de chemische en biologische processen tijdens het transport, bepalend zal zijn voor de uiteindelijke waterkwaliteit bij aankomst op een bepaalde locatie (drinkwaterput, oppervlaktewater, natuurgebied).

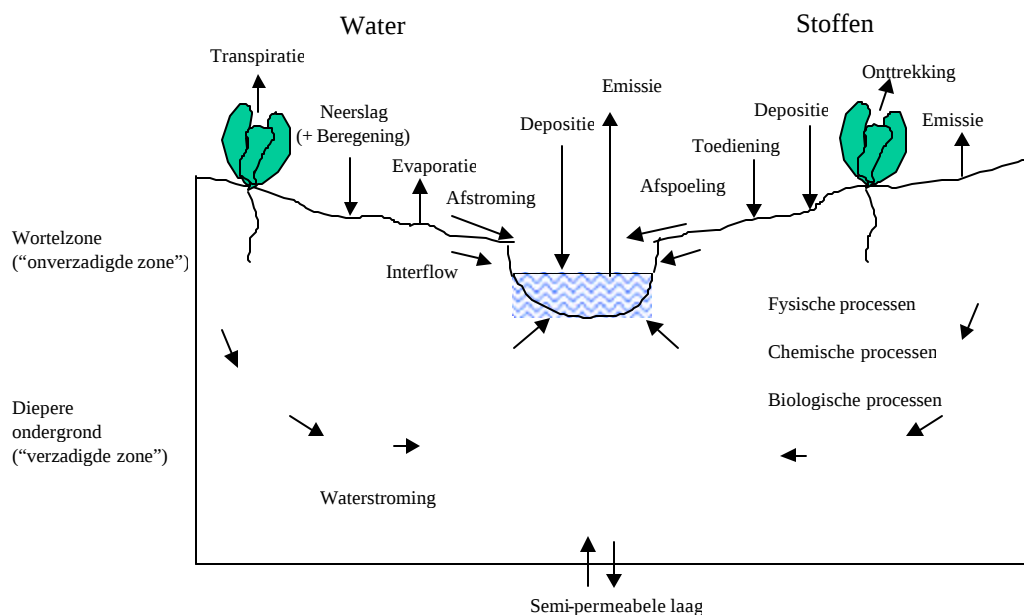
De ondiepe grondwaterspiegel is in eerste instantie van belang voor de vernatting van de bovenste bodemlagen waarin dan zuurstofgebrek en vervolgens anaërobie (zuurstofloosheid) kan gaan optreden (zie par. 3.3.2). De reductieprocessen die met

een (langdurige) anaërobie gepaard zijn van invloed op de mobilisatie van nutriënten (zie Hfdst. 4) en contaminanten, zoals zware metalen en bestrijdingsmiddelen.

### 3.3 Waterstroming en transportprocessen op perceelsschaal

#### 3.3.1 Waterstroming en stoffentransport

Op perceelschaal kan vernatting leiden tot veranderingen in de afvoer van water naar grond- en oppervlaktewater (zie Figuur 3.1). Zo zal door vernatting de mogelijkheid voor extra toekomstige berging van water in de onverzadigde zone afnemen en zal daardoor de kans op afspoeling toenemen. Dit kan grote effecten hebben op het transport van opgeloste stoffen uit de bovenlaag van de bodem naar het oppervlaktewater. Door vernatting kunnen veranderingen optreden in de laterale transportroute richting sloot of drain ten opzichte van drogere omstandigheden (de Vos, 1997). De mate waarin verandering in transportroutes kunnen optreden zal sterk afhankelijk zijn van het bodemtype en de hydrologische situatie. De gevolgen voor de waterkwaliteit hangen dan af van de verdeling van de nutriënten in het bodemprofiel.



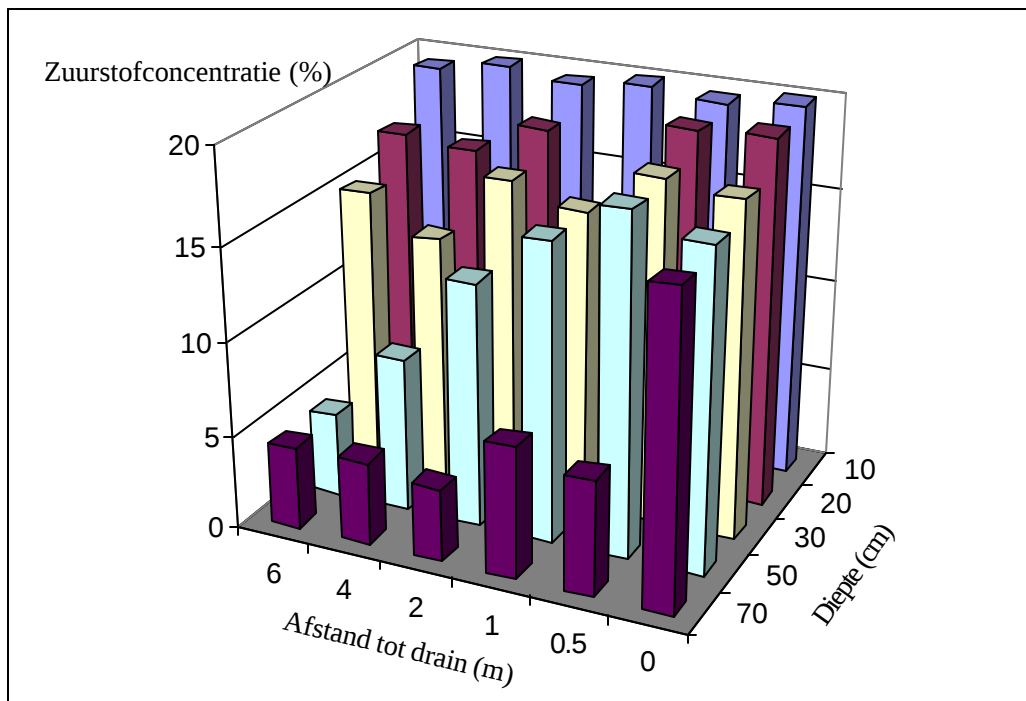
*Figuur 3.1 Stroom van water en stoffen die belasting van het grond- en oppervlaktewater beïnvloeden; fysische, chemische en biologische processen bepalen de uiteindelijke concentraties van stoffen die het grond- en oppervlaktewater bereiken*

#### 3.3.2 Zuurstoftransport

Veranderingen in de waterhuishouding kunnen grote gevolgen hebben voor de zuurstofhuishouding in de bodem. Zuurstoftransport vindt in het algemeen plaats

vanuit de atmosfeer naar de bodem door middel van diffusie- en convectie(stromings-)processen. Het diffusieproces ten gevolge van concentratiegradiënten is hierbij meestal dominant. De zuurstofdiffusiecoëfficiënt van de bodem wordt kleiner bij toenemende watergehaltes in de bodem, aangezien er steeds minder poriën gevuld zijn met lucht (Rappoldt, 1992). Diffusie in water verloopt een factor 10.000 langzamer dan in lucht. Zuurstof wordt in de bodem verbruikt door bodemorganismen, planten of bij chemische reacties. Als de zuurstof wordt verbruikt door bodemorganismen is organische stof (koolstof) als voedingsbron meestal noodzakelijk. Bij gebrek aan zuurstof komen andere micro-organismen in beeld die in staat zijn andere chemische stoffen gebruiken voor het oxidatieproces, bijvoorbeeld nitraat ( $\text{NO}_3$ ). Het biologische denitrificatieproces treedt bijvoorbeeld op onder zuurstofarme omstandigheden en bij een voldoende aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal.

Vernatting zal dus aanleiding geven tot een lagere diffusiesnelheid van zuurstof en lagere zuurstofconcentraties in het bodemprofiel. In gedraineerde percelen zijn duidelijke relaties gemeten tussen zuurstofconcentraties in de bodem, watergehaltes in de bodem en grondwaterstanden (Figuur 3.2). In een periode met een neerslagoverschot zijn boven de drain de grondwaterstanden dieper, de watergehaltes lager en zuurstofgehaltes hoger; midden tussen twee drains (6 m) zijn de grondwaterstanden hoger, watergehaltes hoger en de zuurstofgehaltes lager. Binnen een perceel kunnen dus op één tijdstip dus al enorme variaties in zuurstofgehaltes optreden. De gevolgen van een veranderende zuurstofconcentratie en redox-potentiaal op de chemische vormen van nutriënten en op gewasgroei zullen in hoofdstuk 4 worden besproken.



Figuur 3.2 Gemeten zuurstofconcentraties als functie van de diepte in het bodemprofiel en de afstand tot de drain op een zware zavelgrond (Lovinkhoeve 11 januari 1994; de Vos, 1997)

## **3.4 Plantreacties**

### **3.4.1 Droogte**

Via de huidmondjes vindt, naast uitwisseling van koolzuur en zuurstof, verdamping van water plaats. Het verdampte water wordt aangevuld met bodemwater, waardoor opgeloste voedingsstoffen met het water uit de bodem naar de bladeren worden getransporteerd. Bij droogte zullen de huidmondjes sluiten om verdamping tegen te gaan, hierdoor neemt ook de fotosyntheseactiviteit en daarmee de groei af. Ook bij suboptimale bemesting zal de verdamping minder zijn; omdat dan minder koolzuur voor de groei nodig is. Als maat voor de efficiëntie waarmee planten met water omgaan wordt de transpiratiecoëfficiënt (gewasverdamping ten opzichte van de oogstbare gewasproductie) gebruikt. De droogtetolerantie van gewassen hangt sterk af van het groeistadium, en is sterk gerelateerd aan zouttolerantie. Groentegewassen, aardappel en maïs zijn minder zouttolerant dan granen en suikerbiet (Booker (1994) geciteerd in Vandenbosch *et al.*, 2000).

### **3.4.2 Inundatie**

Planten hebben voor de (aërobe) wortelademhaling zuurstof nodig. De zuurstofspanning waarbij planten van aërobe naar anaërobe ademhaling overgaan, wordt de kritische zuurstofdruk genoemd. In geïnundeerde bodems vermindert de concentratie zuurstof snel. Naast dat dit al snel tot verminderde groei leidt, treedt ook een afname van de opname en transport van ionen door de wortels plaats, wat tot nutriëntengebrek leidt (Collaku and Harrison, 2002). Bovendien kunnen onder gereduceerde bodemomstandigheden voor de plant giftige stoffen ontstaan (gereduceerd ijzer en mangaan en organische zuren), die via de wortels de plant kunnen binnendringen.

In het algemeen zijn landbouwgewassen weinig tolerant voor inundatie. Voor een goede gewasgroei moet het luchtge vulde aandeel van de poriën tussen de 10-15% voor zware kleigrond; 15-20% voor zandige klei en 20-25% voor zandgrond zijn (Boekel, 1973). Wel lijken granen (gerst en wintertarwe) toleranter dan bijvoorbeeld maïs en aardappel (Crawford and Brändle, 1996). Ook worden in granen aanzienlijke rasverschillen gevonden (Collaku and Harrison, 2002). Verschillen in tolerantie voor zuurstofloosheid worden vaak gerelateerd aan de activiteit van alcoholdehydrogenase (ADH) in wortels (zie Fagerstedt and Crawford, 1987). De tolerantie voor zuurstofloosheid is sterk temperatuur afhankelijk (Tabel 3.1). Immers bij lage temperaturen liggen alle stofwisselingsprocessen van zowel micro-organismen als gewassen nagenoeg stil. Als gedurende het groeiseizoen het gewas over moet gaan op de anaërobe ademhaling zal de hoeveelheid opgeslagen koolhydraten mede bepalend zijn voor de overleving. Suikerbieten zijn dan ook gedurende het seizoen relatief tolerant voor zuurstofloosheid. Echter ook de terugkeer naar aërobe omstandigheden (post anoxia stress), door de productie van giftige omzettingsproducten, kan tot schade aan het gewas leiden.

Tabel 3.1 Percentage van de aardappelknollen dat rot vertoont door de duur van het zuurstofgebrek en in afhankelijkheid van de temperatuur in de rug (Veerman, 1999)

| Dagen<br>zuurstofloosheid | Temperatuur (°C) |     |     |
|---------------------------|------------------|-----|-----|
|                           | 12               | 16  | 20  |
| 1                         | 0                | 0   | 41  |
| 2                         | 5                | 79  | 100 |
| 3                         | 49               | 100 | 100 |
| 4                         | 100              | 100 | 100 |

### 3.5 Landbouwkundige opbrengstdervingen (HELP-tabellen)

In Nederland wordt de opbrengstderving van landbouwgewassen bij droogte- en natschade berekend met behulp van de HELP-tabellen (HELP, 1987; zie Tabel 3.2; en geactualiseerde HELP-tabellen (Brouwer en Huinink, 2002), zie Tabel 3.3). Bij droogte houdt de opbrengstderving direct verband met een vochttekort van het gewas. Dit ligt anders voor natschade. Zo bepaalt de draagkracht van de bodem of een perceel bewerkbaar is of niet. De bewerkbaarheid heeft invloed op de zaai- en oogstdata en het op tijd kunnen uitvoeren van teeltmaatregelen (bemesting en gewasbescherming). Daarnaast valt het te verwachten dat vernatting van invloed is op de ontwikkeling van onkruiden en dus ook op de onkruidbestrijding. Tenslotte heeft vernatting een grote invloed op de bodemstructuur (Boekel, 1973; Alblas, 2002). Onder extreem natte situaties (inundatie) kan het gewas door zuurstoftekort verloren gaan, bijvoorbeeld als aardappelen enkele dagen zuurstoftekort hebben (Tabel 3.1). Momenteel is er een Waterpas-instrumentarium in ontwikkeling waarmee nat- en droogteschade gerelateerd worden aan het werkelijke verloop van de grondwaterstanden en waarbij ook de effecten van de nutriëntenbelasting op het milieu worden gekwantificeerd (de Vos *et al.*, 2003).

Tabel 3.2 Voorbeeld van een deel van de HELP-tabel (1987) voor grasland (uit: Waternood, 1998) voor 3 specifieke bodemprofielen (HELP-nummering: 1, 19, 35): een veengrond (V), een kleigrond (Kz2a) en een zandgrond (Z1a). Voor de verschillende grondwatertrappen (GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand; GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand) is het over vele jaren gemiddelde wateroverlast-(wa) en droogteschade-(dr)-percentage aangegeven als opbrengstdepressie

|        | 1  |    | 2  |    | 3  |    | 4  |    | 5   |    | 6   |    | 7   |    | 8   |    | 9   |    | 10  |    | 11  |    | 12  |    | 13  |    | 14  |    |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| HELP-G | 2a |    | 2b |    | 2c |    | 2* |    | 3a  |    | 3b  |    | 3c  |    | 3*  |    | 4   |    | 5   |    | 5*  |    | 6   |    | 7   |    | 7*  |    |
| GHG    | 5  |    | 10 |    | 15 |    | 25 |    | 10  |    | 15  |    | 20  |    | 30  |    | 50  |    | 25  |    | 35  |    | 60  |    | 100 |    | 160 |    |
| GLG    | 70 |    | 70 |    | 70 |    | 75 |    | 105 |    | 105 |    | 105 |    | 110 |    | 110 |    | 140 |    | 150 |    | 170 |    | 200 |    | 260 |    |
|        | wa | dr | wa | dr | wa | dr | wa | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr |
| V      | 32 | 3  | 27 | 3  | 23 | 3  | 16 | 4  | 22  | 7  | 18  | 7  | 15  | 7  | 9   | 8  | 2   | 8  | 9   | 15 | 4   | 17 | 1   | 23 |     |    |     |    |
| Kz2a   | 24 | 0  | 19 | 0  | 15 | 0  | 8  | 0  | 15  | 1  | 11  | 1  | 8   | 1  | 3   | 1  | 0   | 1  | 4   | 5  | 1   | 7  | 0   | 13 | 0   | 20 | 0   | 23 |
| Z1a    | 20 | 2  | 16 | 2  | 13 | 2  | 7  | 3  | 12  | 8  | 9   | 8  | 7   | 8  | 3   | 10 | 0   | 12 | 3   | 18 | 0   | 21 | 0   | 27 | 0   | 30 | 0   | 31 |

Tabel 3.3 Voorbeeld van een deel van de geactualiseerde *HELP*-tabel voor aardappel (uit: Brouwer en Huinink, 2002) voor 3 specifieke bodemprofielen een veengrond (V&W: veengronden en moerige gronden zonder zand- of kleidek), een kleigrond (K1: zavel en klei binnen 80 cm op veen) en een zandgrond (Z50: leemarme/zwaklemige zandgronden met beworteling van 30-50 cm). Voor de verschillende grondwatertrappen (GHG = gemiddeld hoogst grondwaterstand; GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand) is het over vele jaren gemiddelde wateroverlast-(wa) en droogteschade(dr)-percentage aangegeven als opbrengstdepressie. Opgemerkt moet worden dat Brouwer en Huinink (2002) een eenvoudigere indeling hebben gekozen voor de bodemprofielen dan in de oorspronkelijke *HELP*-tabel (1987)

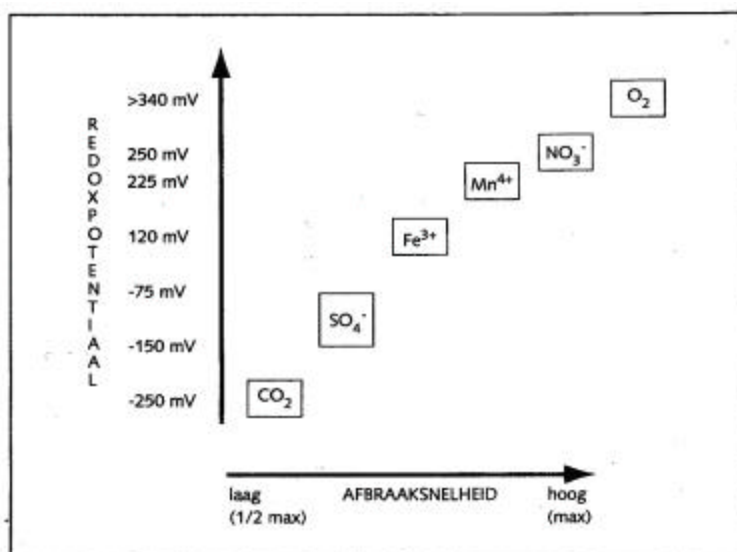
| Gt-klasse | II |    | II* |    | III |    | III* |    | IV  |    | V   |    | V*  |    | VI  |    | VII |    | VII* |    |
|-----------|----|----|-----|----|-----|----|------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|----|
| GHG       | 10 |    | 25  |    | 15  |    | 30   |    | 50  |    | 25  |    | 35  |    | 60  |    | 100 |    | 160  |    |
| GLG       | 70 |    | 75  |    | 105 |    | 110  |    | 110 |    | 140 |    | 159 |    | 170 |    | 200 |    | 260  |    |
|           | wa | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa   | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa  | dr | wa   | dr |
| V&W       | -  | -  | -   | -  | 32  | 6  | 19   | 7  | 8   | 6  | 17  | 14 | 11  | 16 | 4   | 23 | 2   | 29 | 2    | 31 |
| K1        | -  | -  | -   | -  | 30  | 4  | 18   | 5  | 8   | 4  | 17  | 10 | 11  | 10 | 6   | 13 | 4   | 19 | 4    | 24 |
| Z50       | -  | -  | -   | -  | 26  | 1  | 15   | 3  | 5   | 3  | 14  | 6  | 8   | 7  | 1   | 14 | 0   | 22 | 0    | 28 |



## 4 Effecten van vernatten op nutriënten

### 4.1 Redoxpotentiaal en pH

Vernatting leidt tot een lagere zuurstofconcentratie in de bodem. Bovendien wordt door de veel lagere diffusiesnelheid van zuurstof in water dan in lucht de verbruikte hoeveelheid zuurstof veel minder snel aangevuld (zie par. 3.3.2). Het verbruik van zuurstof in de bodem vindt grotendeels plaats door micro-organismen. Mitsch and Gosselink (1993) beschrijven een patroon van veranderingen in de tijd in de volgende: (a)  $O_2$  afname, (b)  $NO_3^-$  afname (tot  $NH_4$ ,  $N_2O$ ?, of  $N_2$ ?), (c) geleidelijke toename van  $NH_4^+$  en  $PO_4^{3-}$ , (d) reductie van het relatief onoplosbare  $Mn^{3+}$  (resultierend in een toename van het meer oplosbare  $Mn^{2+}$ ), en (e) afname van het relatief onoplosbare  $Fe^{3+}$  (en toename van het beter oplosbare  $Fe^{2+}$ ), f)  $SO_4^{2-}$  afname (wordt gereduceerd tot  $H_2S$ ) en  $CO_2$  afname (tot  $CH_4$ ?; Figuur 4.1).

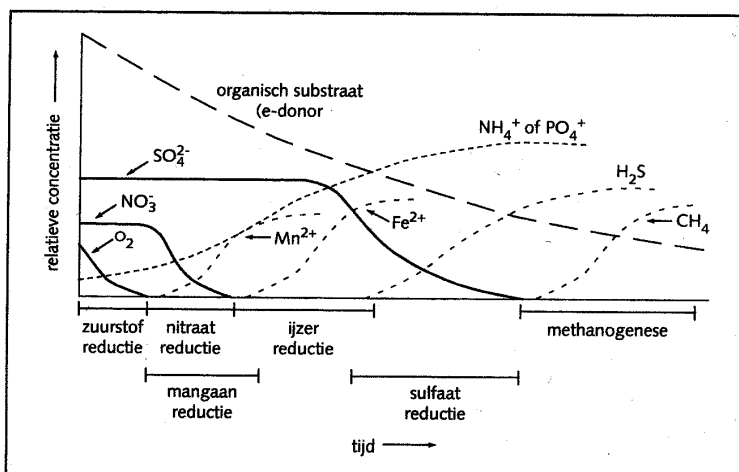


Figuur 4.1 De afbraaksnelheid in relatie tot de redoxpotentiaal (Uit: Wienk et al., 2000)

De snelheid waarmee de redoxpotentiaal daalt hangt grotendeels af van de microbiële activiteit en dus van de beschikbaarheid van enerzijds de hoeveelheid en type oxidatoren (te reduceren verbindingen) en anderzijds van de hoeveelheid organische materiaal in de bodem (Ponnamperuma, 1972; Appelo and Postma, 1996). Bij een redoxpotentiaal onder de + 300 mV wordt de bodem anaëroob genoemd (Reddy and Patrick, 1984).

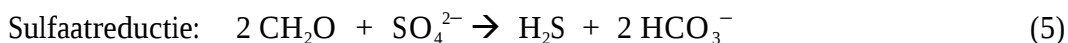
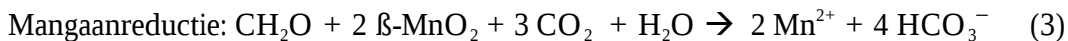
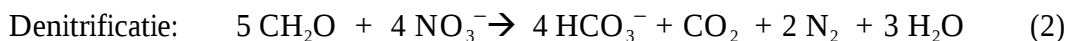
De afbraak van organische stof ( $CH_2O$ ) gebeurt volgens de vergelijking:





Figuur 4.2 Veranderingen in de bodemprocessen na vernatten van de bodem (Mitsch and Gosselink, 1993, Uit: Wienk et al., 2000)

Nadat de in de bodem aanwezige zuurstof ( $O_2$ ) is verbruikt, en de aanvoersnelheid kleiner is dan het verbruik, zullen andere, minder sterke, oxidatoren dienen als zuurstofleverancier en electronenacceptor (zie figuur 4.2). Dergelijke reacties gebeuren in de volgorde (zie Van Breemen and Brinkman, 1978):



In plaats van  $\beta\text{-MnO}_2$  (pyrolusite) en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematite) kunnen ook ander Mn- en Fe-verbindingen betrokken zijn bij de oxidatie van organische stof. Bovengenoemde volgorde is afhankelijk van de pH en van het type Mn-verbinding: in een neutrale bodem zal eerst nitraat worden omgezet en vervolgens Mn, en in een zure grond eerst Mn en vervolgens nitraat (Van Breemen and Brinkman, 1978). Zolang in de bodem nog zuurstof of nitraat aanwezig is, is de kans op omzetting van Fe of  $\text{SO}_4$  gering. In sterk zure bodems ( $\text{pH} < 4.5$ ) wordt de groei van micro-organismen geremd, en treedt vrijwel geen afbraak van organische stof op; een voorbeeld hiervan zijn veengronden. Ook de temperatuur is van invloed op bovengenoemde afbraakprocessen: bij een lagere temperatuur neemt de snelheid ervan af, en daarmee de kans op anaërobie.

De afbraak van nitraat (in  $\text{N}_2$  of  $\text{N}_2\text{O}$ ) is niet reversibel, de omzetting van  $\text{Mn}^{4+}$  in  $\text{Mn}^{2+}$  [reactie 3], van  $\text{Fe}^{3+}$  in  $\text{Fe}^{2+}$  [reactie 4], en van  $\text{SO}_4^{2-}$  in  $\text{S}^{2-}$  [reactie 5] zijn dit

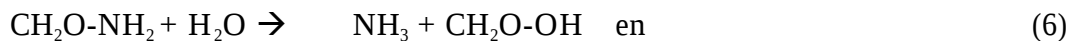
wel. Bij het weer oxideren van  $\text{Mn}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  is de kans echter groot dat er colloïdaal materiaal gevormd wordt, wat wel weer zware metalen en/of fosfaat kan binden maar door de kleinere deeltjesgrootte mobieler kan zijn dan de aggregaten die aanwezig waren voor de anaërobe periode.

Een ander gevolg van vernatting is dat de pH verandert. In het algemeen kan gesteld worden dat de pH meer neutraal zal worden (Reddy and Patrick, 1984; Mitsch and Gosselink, 1993). Dit betekent dat op zure gronden de pH veelal stijgt en op basische gronden daalt. De kwaliteit van het grondwater of het beregeningswater heeft ook een invloed op de pH in de bodem. Bevat het aangevoerde water bufferende stoffen als bicarbonaten dan zal dat een pH verhogende werking hebben.

## 4.2 Stikstof

Stikstof kan in verschillende vormen in de bodem voorkomen. Het voorkomen van de verschillende stikstofvormen en de omzettingsprocessen zijn sterk afhankelijk van de vochtvoorziening van de bodem.

Zowel onder natte en anaërobe als droge en aërobe omstandigheden vindt stikstofmineralisatie plaats. Echter de stikstofmineralisatie verloopt onder aërobe omstandigheden bij een goede vochtvoorziening veel sneller (figuur 4.1). Onder beide omstandigheden wordt organisch-N eerst tot amines en aminozuren afgebroken en daarna tot ammonium (ammonificatie). In waterverzadigde bodems hoopt ammonium zich op.



### Droge en aërobe omstandigheden

Onder aërobe omstandigheden wordt ammonium vervolgens via nitriet omgezet in nitraat. In het algemeen verloopt ammonificatie langzamer dan nitrificatie. Gedurende de winter verloopt zowel het ammonificatie- als het nitrificatieproces langzamer door de lagere temperaturen.

De eerste stap vindt plaats door *Nitrosomonas* sp:



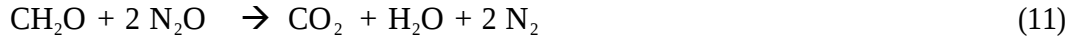
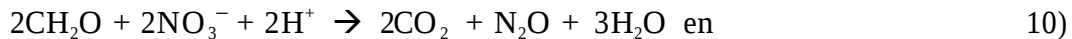
en bij *Nitrobacter* sp.



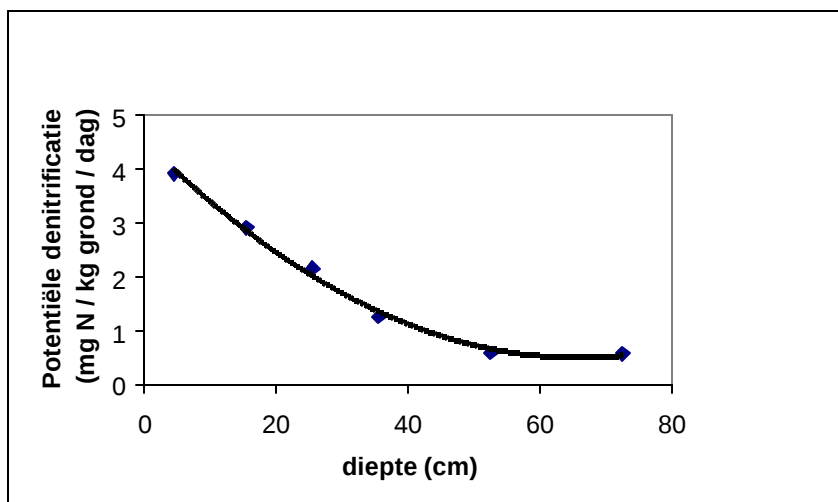
### Natte en anaërobe omstandigheden

Onder natte en dus gereduceerde omstandigheden kan nitraat uit de bodem verdwijnen door denitrificatie. Dit proces leidt tot de vorming van de tussenproducten  $\text{NO}_2^-$  (nitriet) en  $\text{N}_2\text{O}$  (lachgas) en het eindproduct  $\text{N}_2$ . De verhouding tussen  $\text{N}_2\text{O}$  en  $\text{N}_2$  wordt bepaald door de grondsoort, pH,

redoxpotentiaal en de hoeveelheid aanwezige nitraat. Het percentage  $\text{N}_2\text{O}$  is hoger in zure bodems ( $\text{pH} < 5$ ) en bij hoge nitraatconcentraties.



In het veld blijkt dat de potentiële denitrificatie, het vermogen van de grond bij een ongelimiteerde hoeveelheid nitraat onder zuurstofloze omstandigheden te denitrificeren, afneemt met de diepte (Chardon, pers. comm.), wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de afname van gemakkelijk afbreekbare organische stof met de diepte.



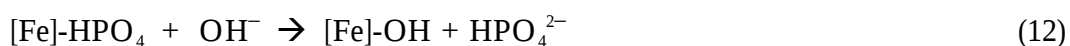
Figuur 4.3 Verloop van de denitrificatie-capaciteit met bemonsteringsdiepte; gemiddelden voor 470 proefplekken (gegevens Sturen op Nitraat; Chardon, pers. comm.)

### 4.3 Fosfor

Fosfor kan in de bodem in verschillende vormen aanwezig zijn. De belangrijkste minerale vorm van fosfor is orthofosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ;  $\text{HPO}_4^{2-}$  en  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). De overheersende vorm is afhankelijk van de pH. In zure en pH-neutrale bodems wordt fosfor (P) vooral gebonden aan amorfe ijzer- en aluminiumhydroxiden, boven pH 6 treedt vooral binding aan calcium op (Beek and Van Riemsdijk, 1979).

#### Droge en aërobe omstandigheden

In een zure bodem ( $\text{pH} < 6$ ) neemt de bindingssterkte voor P af met een toename van de pH, doordat  $\text{OH}^-$  concurreert met P voor de binding aan hydroxiden:



In een basische bodem (pH boven 6) neemt de binding echter weer toe, doordat calciumzouten van P neerslaan. Een stijging van de bodem pH vermindert ook de vastlegging van opgeloste organische stof DOC (Dissolved Organic Carbon), waarvan P ook vaak deel uitmaakt (Chardon *et al.*, 1997). Daarentegen heeft calcium, en dus ook calciumrijk kwelwater een negatieve invloed op de mobiliteit van DOC, en daarmee van opgelost organisch P (Dolfing *et al.*, 1999).

#### Natte en anaërobe omstandigheden

Door Schoumans en Köhlerberg (1997) werd in een incubatie-experiment gevonden, dat door het vernatten en het anaëroob maken van een grondmonster uit een fosfaatrijke bodemlaag, de fosfaatconcentratie in het bodemvocht met een factor 7-10 steeg. In de Verenigde Staten zijn soortgelijke effecten gemeten bij het onder water zetten van landbouwbodems (Young and Ross, 2001). Veldmetingen op twee landbouwpercelen geven aan dat de fosfaatconcentraties al toenamen bij een beperkte vernatting in de ondergrond (Boland *et al.*, 2000). Deze bevindingen worden ook bevestigd door een studie waarbij bodems uit vier Europese landen werden geïncubeerd met water (Scalenghe *et al.*, 2002). Wienk *et al.* (2000) concluderen dat er in Nederland maar zeer weinig studies zijn uitgevoerd waarin voor fosfaat de effecten zijn gemeten. Dit geldt eveneens voor de gevolgen van overstroming van landbouwgronden (Stuyt *et al.*, 2001) en natuurgebieden (Sival *et al.*, 2002). In het buitenland is echter zeer veel onderzoek gedaan naar het (laten) overstromen van landbouwgrond, met name van rijstvelden, en de invloed hiervan op de bodemchemie en het gedrag van P in de bodem (Ponnamperuna, 1972).

De toename van de fosfaatconcentratie bij vernatting is met name het gevolg van de reductie van  $\text{Fe}^{3+}$  naar  $\text{Fe}^{2+}$  (reactie 4) (Groenendijk en van der Bolt, 1996; Wienk *et al.*, 2000). Wanneer  $\text{Fe}^{2+}$  neerslaat als  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  kan P daaraan gebonden worden, maar deze binding is minder sterk dan aan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , zodat meer P in oplossing zal blijven. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat het opgeloste  $\text{Fe}^{2+}$  verplaatst wordt naar een droge en aërobe zone in de bodem, door diffusie of door watertransport, en daar weer wordt geoxideerd en neerslaat als  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  waaraan P wordt vastgelegd. Voor sedimenten is dit aangetoond door Moore and Reddy (1994).

Vernatting heeft ook invloed op de binding van fosfor aan aluminium en calcium; dit omdat bij vernatting de pH naar neutraliteit tendeert. In zure gronden zal de pH stijgen, waardoor fosfor die aan aluminium is gebonden in oplossing gaat. In basische gronden daalt de pH juist, hierdoor komt fosfor vrij die aan klei en hydroxides is gebonden (Ponnamperuma, 1972).

Een ander proces dat kan leiden tot het mobiliseren van P is de aanvoer van gebiedsvreemd sulfaatrijk water in wetlands. In dit geval treedt reductie van  $\text{SO}_4^{2-}$  op (reactie 5), waarna het gevormde  $\text{S}^{2-}$  zich bindt aan  $\text{Fe}^{2+}$  en daarbij het P in oplossing brengt:



Dit proces kan tevens optreden bij sulfaatrijke kwel. Het mechanisme is onder meer aangetoond door Lamers *et al.* (1998) en Beltman *et al.* (2000).

#### Wisselende droge en natte omstandigheden

Bij terugkeer naar droge en aërobe omstandigheden zal fosfor weer worden vastgelegd. Dit proces verloopt strikt chemisch of door chemo-autotrofe bacteriën van het geslacht *Ferrobacillus*. Deze versgevormde, amorfe (niet-kristallijne)  $\text{Fe}^{2+}$  -verbindingen kunnen fosfaten insluiten, waardoor de beschikbaarheid van deze fosfaten vermindert. Door de toename van de fractie niet-kristallijn ijzer wordt het P-sorptievermogen verhoogd en mede de mate van binding. Als na inundatie onder droge omstandigheden fosfaatmeststof wordt toegediend, heeft dit een veel lagere beschikbaarheid dan wanneer geen inundatie heeft plaatsgevonden.

## 5 Effecten van waterhuishouding per sector

### 5.1 Akkerbouw en vollegrondsgroenten

#### 5.1.1 Grondwaterpeil

Er is in Nederland slechts een gering aantal experimenten uitgevoerd naar de effecten van het grondwaterpeil op de nutriëntenbeschikbaarheid voor akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen (Clevering en Alblas, 2003). In het verleden zijn twee meerjarige waterstandspoeven uitgevoerd ten behoeve van de landontginning; recentelijk zijn door PPO-AGV twee proefvelden op zand aangelegd (Alblas, 2002).

Door Noij *et al.* (1997) zijn modelberekeningen aan maïs uitgevoerd. De belangrijkste resultaten van deze onderzoeken worden kort besproken.

##### 5.1.1.1 Verhoogd zomerpeil

###### Het grondwaterstandspoeveld pr. 657 te Nieuw Beerta

In 1942 is er op zware klei (ca. 65% < 16  $\mu$ m) te Nieuw Beerta een grondwaterstandspoeveld aangelegd (Meijer, 1962; 1968). Gedurende de zomermaanden werd een grondwaterstand gehandhaafd van 40 tot 150 cm -mv. In de winter werd met uitzondering van het 150 cm -mv object een peil van 30 cm -mv gehandhaafd. Op het 150 cm -mv object werd steeds hetzelfde peil gehandhaafd. De winterpeilen hadden geen invloed op de opbrengst gedurende het groeiseizoen.

Tabel 5.1 Benodigde N-gift (kg N/ha) om tot een maximale opbrengst te komen bij een gegeven grondwaterpeil (n.b. = niet bekend)

| Gewas            | Jaar | grondwaterpeil (cm -mv) |      |     |     |      |
|------------------|------|-------------------------|------|-----|-----|------|
|                  |      | 40                      | 60   | 90  | 120 | 150  |
| zomergerst-zaad  | 1959 | 90                      | n.b. | 40  | 30  | 30   |
| erwten           | 1960 | n.b.                    | n.b. | 0   | 0   | 0    |
| suikerbiet       | 1956 | 200                     | n.b. | 150 | 100 | n.b. |
| suikerbiet       | 1957 | n.b.                    | n.b. | 140 | 100 | 150  |
| wintertarwe-zaad | 1962 | 90                      | n.b. | 35  | 30  | 35   |
| wintertarwe-stro | 1962 | 65                      | n.b. | 38  | 30  | 35   |
| spinaziezaad     | 1963 | 120                     | n.b. | 100 | 100 |      |
| haver-zaad       | 1963 | 140                     | n.b. | 53  | 40  | 45   |

Gemiddeld genomen werd de hoogste opbrengst verkregen bij een zomerpeil van 120 cm -mv. Bij een peil van 40 cm -mv werd vooral de zaadproductie van granen sterk gereduceerd; dit peil had veel minder effect op de zaadproductie van spinazie en op erwten. Deze laatstgenoemde gewassen wortelen dan ook ondieper dan de andere gewassen. Bij 150 cm -mv was de opbrengstreductie sterk afhankelijk van het weer; in droge zomers was de opbrengstreductie ten gevolge van droogte het hoogst.

Bij een verhoogd waterpeil kan met een hogere stikstofbemesting vaak dezelfde of nagenoeg dezelfde opbrengst worden behaald als bij een lager waterpeil. Wel moet bij een peil van 40 cm –mv vaak fors hogere giften worden gegeven. (Tabel 5.1). Een uitzondering is conservenerwt (stikstofbinder); bij dit gewas had een N-gift juist een negatief effect op de opbrengst.

#### Onderzoek te Vredepeel en Veulen

In de winter van 1999-2000 zijn twee percelen: Veulen (leemarm in beekdal) en Vredepeel (leemarm verwerkte podzol) opgesplitst in twee delen met verschillende zomerpeilen. s' Winters zijn de peilen gelijk (Alblas, 2002). Op het perceel Veulen werden aardappelen (2000) en erwten (2001) geteeld; op het perceel Vredepeel (2001) suikerbieten. Bij het lage peil was een eenmalige berekening van aardappelen en erwten noodzakelijk. Suikerbiet werd niet berekend, alhoewel dit bij het lage peil eigenlijk wel nodig was.

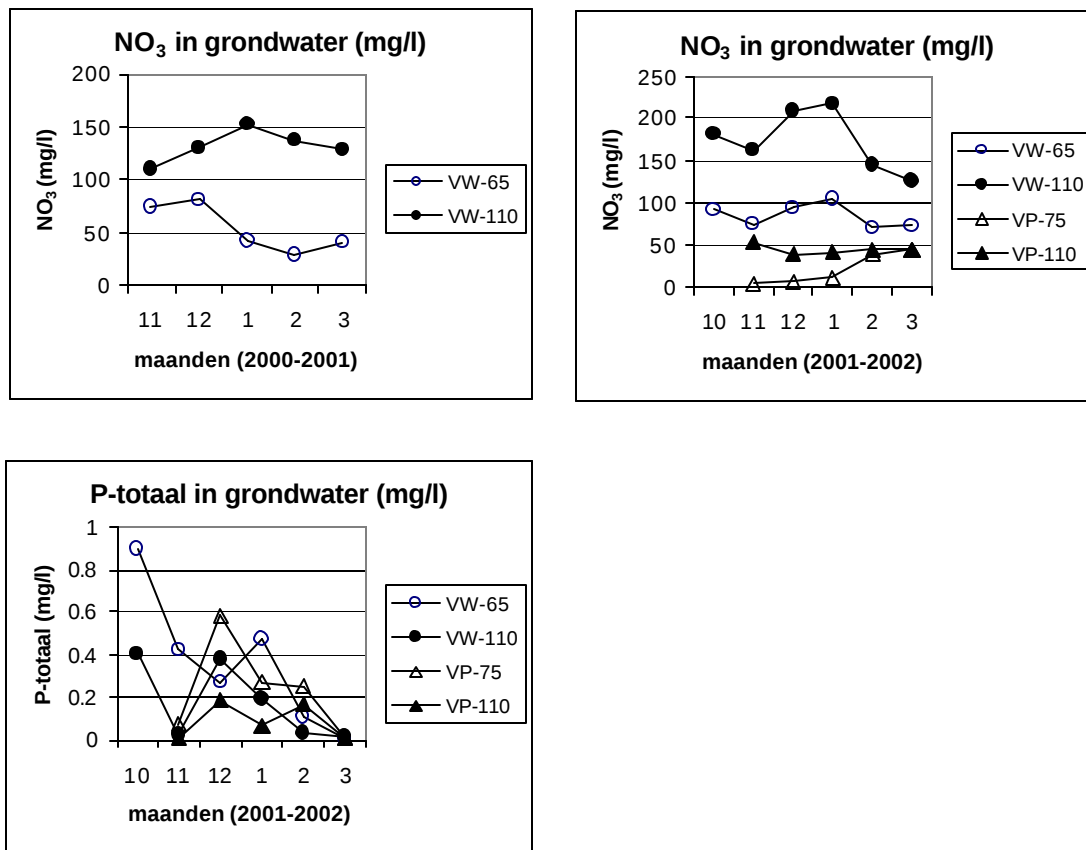
Bij aardappelen was bij een hoog waterpeil een aanzienlijk hogere N-gift nodig om tot dezelfde opbrengst te komen dan bij een laag peil (Tabel 5.2). Ongeacht de N-gift was de N-afvoer met de geoogste aardappelen ca. 30 kg/ha hoger bij het lage peil. Bij doperwt had de N-gift geen invloed op de opbrengst, wel waren de opbrengst en N-afvoer iets hoger bij het lage dan bij het hoge peil. Bij suikerbiet trad bij het lage peil droogtestress op (er werd niet berekend). Dit had tot gevolg dat de opbrengst en daarmee de N-afvoer bij het lage peil juist lager waren dan bij het hoge peil.

In het najaar was bij alle drie de gewassen de hoeveelheid minerale stikstof in de bodemlaag (0-90 cm) veel hoger bij het lage dan hoge peil (Tabel 5.2).

*Tabel 5.2 Opbrengsten, N-afvoer en Nmin najaar (laag 0-90 cm) bij aardappel en conservenerwt te Veulen en suikerbiet te Vredepeel bij drie bemestingsniveaus en twee zomerpeilen. Het lage peil was op beide locaties > 110 cm –mv en het hoge peil 65 en 75 cm –mv voor respectievelijk de locaties Veulen en Vredepeel*

| Zomerpeil:                         | laag peil |      |        | hoog peil |      |        |
|------------------------------------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|
| N-bemesting:                       | geen      | laag | advies | geen      | laag | advies |
| <i>aardappel (Veulen 2000)</i>     |           |      |        |           |      |        |
| N-werkzaam gift (kg/ha)            | 0         | 140  | 240    | 0         | 140  | 240    |
| opbrengst (ton/ha)                 | 53        | 72   | 72     | 40        | 64   | 75     |
| N-afvoer (kg/ha)                   | 95        | 165  | 186    | 58        | 130  | 159    |
| Nmin najaar (kg/ha)                | 61        | 71   | 67     | 26        | 32   | 29     |
| <i>conservenerwt (Veulen 2001)</i> |           |      |        |           |      |        |
| N-werkzaam gift (kg/ha)            | 0         | 15   | 30     | 0         | 15   | 30     |
| opbrengst (ton/ha)                 | 50        | 51   | 50     | 45        | 47   | 45     |
| N-afvoer (kg/ha)                   | 231       | 241  | 216    | 202       | 219  | 203    |
| Nmin najaar (kg/ha)                | 120       | 133  | 144    | 55        | 61   | 71     |
| <i>suikerbiet (Vredepeel 2001)</i> |           |      |        |           |      |        |
| N-werkzaam gift (kg/ha)            | 0         | 100  | 230    | 0         | 100  | 230    |
| opbrengst (ton/ha)                 | 33        | 53   | 53     | 44        | 52   | 59     |
| N-gewasresten (kg/ha)              | 50        | 98   | 134    | 78        | 133  | 165    |
| N-afvoer (kg/ha)                   | 31        | 71   | 60     | 42        | 53   | 76     |
| Nmin najaar (kg/ha)                | 26        | 26   | 35     | 18        | 18   | 18     |

Gedurende de herfst t/m het voorjaar werd in het seizoen 2000-2001 en 2001-2002 het nitraatgehalte in het bovenste grondwater bepaald en in 2001-2002 tevens het fosfaatgehalte (Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Nitraat en fosfaat in het bovenste grondwater gedurende het winterseizoen van 2000-2001 en 2001-2002 na verschillende zomerwaterstanden van 65, 75 en 110 (cm -mv) te Veulen (VW) en Vredepeel (VP). Op Vredepeel werden suikerbieten (2001) en op Veulen aardappel (2000) en erwten (2001) verbouwd

De nitraatgehalten waren hoger bij het lage dan bij het hoge zomerpeil; hetgeen kan duiden op een hogere denitrificatie bij het hoog peil. De verschillen waren op Veulen veel groter dan op Vredepeel (Figuur 5.1). Dit laatste heeft alles te maken met de gewassen die worden geteeld; aardappel en erwten (Veulen) laten veel stikstof achter, daarentegen laten suikerbieten (Vredepeel) een schoon profiel achter. De fosfaatgehalten zijn juist hoger bij een hoog peil. Dit wijst erop dat fosfaat in oplossing is gegaan.

Indien geen vochttekort optreedt, kan worden geconcludeerd dat bij een verhoogd zomerpeil de N-beschikbaarheid lager is, hetgeen zich o.a. uit in een lagere N-opname door het gewas. De lagere N-beschikbaarheid voor het gewas, de lagere N-mineraal in de bodem en nitraatgehalten in het grondwater duiden op een lagere N-mineralisatie en/of hogere denitrificatie bij een verhoogd peil. In hoeverre er ook verschillen zijn in de N-uitspoeling naar het oppervlaktewater is uit de proefresultaten niet te achterhalen. Onder droge omstandigheden, wanneer vocht

beperkend is voor de gewasgroei, heeft vernatting een gunstig effect op de opbrengst en de N-opname.

### 5.1.1.2 Verhoogd winterpeil

In de Flevopolders werd in de zestiger jaren de invloed van de ontwateringstoestand ( $< 30 \text{ cm -mv}$ ) in het winterhalfjaar op de stikstoflevering van de grond tijdens het groeiseizoen en op de ontwikkeling van het gewas onderzocht (Sieben, 1974). Als maat voor de ontwateringstoestand werd de som van de dagelijkse gemeten grondwaterstandsoverschrijdingen in cm ten opzichte van het niveau van 30 cm -mv genomen; respectievelijk genoemd  $SOW_{30}$  en  $SOV_{30}$  voor de winter- en voorjaarsperiode. Daarnaast werden in een aantal proeven N-trappen aangelegd. Gedurende het zomerseizoen waren er geen verschillen in waterpeil.

#### Relatie grondwaterpeil en nitraat in de bodem

Bij slecht ontwaterde objecten is de totale hoeveelheid minerale stikstof niet alleen lager, maar komt de mineralisatie ook trager op gang (Tabel 5.3). Het traag op gang komen van de mineralisatie houdt volgens Sieben (1974) verband met de slechte bodemstructuur die ontstaat bij verhoogde winterwaterstanden. Dit kan wellicht ook tot een hogere denitrificatie leiden. Daarnaast kunnen in het voorjaar ook temperatuurverschillen van invloed zijn geweest op de mineralisatiesnelheid in natte en droge grond.

*Tabel 5.3 De hoeveelheid nitraatstikstof (kg N/ha) in de laag 0-60 cm op verschillende tijdstippen in kale, onbemeste grond bij een drietal ontwateringstoestanden (Flevoland 1962 en 1963)*

| $SOW_{30} + SOV_{30}$ | 1962  |      |          | 1963  |      |          |
|-----------------------|-------|------|----------|-------|------|----------|
|                       | maart | Juni | Augustus | maart | juni | augustus |
| 200                   | 16    | 31   | 50       | 11    | 46   | 56       |
| 600                   | 8     | 16   | 41       | 7     | 34   | 39       |
| 1000                  | 5     | 12   | 39       | 5     | 24   | 36       |

#### Opbrengst van gewassen

Door Sieben (1974) is ook het verband tussen de  $SOW_{30} + SOV_{30}$ -waarde en de opbrengst van haver en gerst onderzocht. Door het toepassen van een voldoende, zware bemesting (ca. 30 kg N/ha hoger) op slecht ontwaterde objecten kon ongeveer dezelfde opbrengst worden verkregen als bij lage giften op een goed ontwaterde object. De opbrengstreductie op slecht ontwaterde gronden lijkt voornamelijk verband te houden met de lagere N-beschikbaarheid. Aangezien Sieben geen uitspraken doet over verschillen in bewerkbaarheid van de bodem bij zaaien en over verschillen in opkomst lijkt het niet logisch te veronderstellen dat de gewasgroei, anders dan door een lagere N-beschikbaarheid, te lijden heeft gehad van de slechte ontwatering gedurende de winterperiode.

### 5.1.1.3 Modelberekeningen

Uit modelberekeningen met SWAP (van Dam *et al.*, 1997) en ANIMO (Groenendijk and Kroes, 1999) aan de stikstofopname van landbouwgewassen blijkt dat het effect van grondwaterstand op de stikstofopname niet lineair is (Noij *et al.*, 1997). Op droogtegevoelige zandgrond is er een positief effect van grondwaterstandsverhoging. Als de grondwaterstand hoger dan 50 cm –mv komt, treedt er een negatief effect op de gewasopname op als gevolg van verhoogde denitrificatie en remming van de mineralisatie. Bij akkerbouwgewassen is een verminderde stikstofopname gevonden van één of enige kg stikstof per cm grondwaterstandsverhoging. Als de natte periode voor het groeiseizoen valt, blijven de effecten op zandgrond nihil.

## 5.1.2 Droogte en beregenen

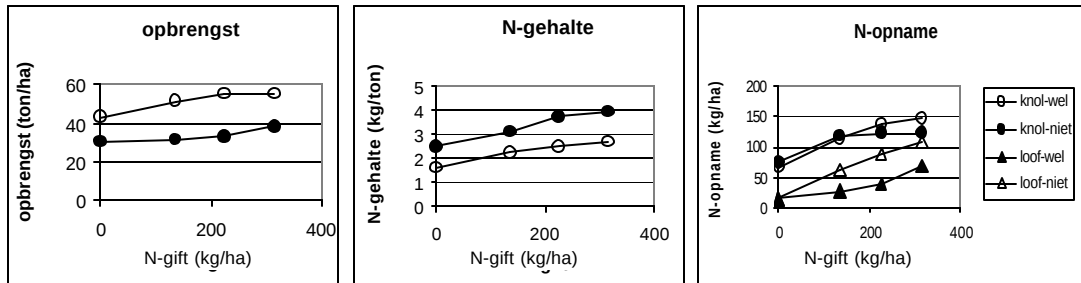
In Nederland en de omliggende landen is veel beregeningsonderzoek uitgevoerd. In dit onderzoek ligt de nadruk op het bepalen van het juiste tijdstip en frequentie van beregening, de grootte van de watergift naast de rendabiliteit van beregenen. Voor de Nederlandse omstandigheden zijn beregeningsadviezen door o.a. Dekkers (2000) opgesteld. Goed beregenen leidt tot optimale opbrengsten en daardoor in het algemeen tot hoge afvoeren van mineralen met het gewas. Ook de bemestingsadviezen voor akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen zijn gebaseerd op een optimale vochtvoorziening voor het gewas. Overzichten van opbrengstdervingen bij droogte worden o.a. gegeven in Vandenbosch *et al.* (2000) en Deproost *et al.* (2001). Daarnaast zijn de potentiële opbrengsten van een aantal belangrijke gewassen (granen, aardappelen, maïs en bieten) in droge jaren berekend door middel van simulaties. (Grashoff *et al.*, 1998).

Onder zeer droge omstandigheden is de vochtvoorziening zowel beperkend voor de mineralisatie als voor de gewasgroei. Onder iets vochtiger omstandigheden vindt er wel mineralisatie plaats, maar blijft de gewasgroei achter. Hierdoor kan zich minerale stikstof in de bodem ophopen. Bij toenemende vochtvoorziening neemt de opbrengst van gewassen toe; maar nemen het N-gehalte en droge stofgehalte in het algemeen iets af. Bij overmatig beregenen kan N-uitspoeling plaatsvinden. De relatie vocht- en nutriëntenvoorziening wordt hieronder voor twee gewassen nader uitgewerkt.

### 5.1.2.1 Aardappelen

Uit Belgisch onderzoek (Vandendriessche *et al.*, 1993) op zandgrond blijkt dat bij beregening maximale opbrengsten worden verkregen als volgens advies bemest wordt (225 kg N/ha) (Figuur 5.2). Als niet beregend wordt, geeft bemesting boven het advies nog wel een hogere opbrengst (Figuur 5.2). Deze hogere opbrengst wordt overigens niet in alle beregeningsonderzoek gevonden. In het algemeen worden hogere N-gehalten in het gewas gevonden indien niet wordt beregend. Ten gevolge hiervan zijn de verschillen in N-afvoer met het gewas vaak kleiner dan die in

opbrengst. Wel komt het voor dat in uitzonderlijke droge jaren het zwaarder bemeste gewas investeert in loofproductie die echter niet kan worden omgezet in knolopbrengst (Figuur 5.2). Ten gevolge hiervan is de N in de gewasresten hoog. In aardappelen werd op niet beregende percelen duidelijk hogere N<sub>min</sub> waarden in de bodem gevonden na de oogst dan op beregende percelen (data niet gepresenteerd).



Figuur 5.2 De opbrengsten, N-gehalten en N-opname van beregende (wel) en niet beregende (niet) aardappels op zand in 1991 (Gegevens van Vandendriessche et al., 1993)

### 5.1.2.2 Maïs

Door van der Schoot (1999-2001) werd onderzocht of onder droge omstandigheden een lage plantdichtheid en het zaaien van een bladarm ras (lagere fotosynthese, maar ook kleiner verdampend oppervlak) voordelen biedt. Ook werd verondersteld dat bij droogte met een lagere N-gift kan worden volstaan. Onderzoek vond plaats bij twee vochtniveaus (niet en wel beregenen); twee plantdichtheden (laag en hoog); twee rassen (relatief bladarm en bladrijk) en drie N-giften.

Omdat in de drie onderzoeksjaren niet of nauwelijks droogte optrad, waren de verschillen kleiner dan verwacht. Opbrengstverschillen ten gevolge van vochttoestanden waren niet of nauwelijks aanwezig. Wel zijn bij een optimale vocht- en stikstofvoorziening de opbrengsten het hoogst bij het bladrijk gewas, en (minder duidelijk) bij een hoge plantdichtheid. Onder optimale omstandigheden reageert het bladarm ras iets sterker op een verhoging van de plantdichtheid dan het bladrijk gewas. Bij vochttekort wordt de opbrengst bij een hoge plantdichtheid van het bladrijk ras in verhouding het meest gereduceerd. Bij suboptimale opbrengsten, hetzij vanwege vochttekorten, lage plantdichtheid of bladarm gewas zijn de N-gehalten hoger. De verschillen in N-opname waren dus kleiner dan die in opbrengsten.

Op droogtegevoelige gronden zonder beregeningsmogelijkheden zou het verkleinen van het verdampend oppervlak dus gunstig uit kunnen werken. In dergelijke gevallen zou dus ook de N-bemesting aangepast kunnen worden. Bij een optimale vochtvoorziening leiden deze aanpassingen dan wel tot lagere opbrengsten.

### 5.1.3 Druppelirrigatie en fertigatie

Fertigatie is het toedienen van voedingsstoffen via beregenings- (volveldsfertigatie) of irrigatiewater (druppelfertigatie) aan het gewas. De nutriëntengift wordt hierbij

aangepast aan de te verwachten toename in biomassa gedurende een bepaalde periode (Ingestad, 1982). Bij druppelfertigatie kan zowel de watergift als de totale nutriëntengift goed in de tijd worden gespreid. Door de grond voldoende vochtig te houden, blijven de aanwezige nutriënten ook goed voor de plant beschikbaar. De hoeveelheid minerale stikstof die na de oogst achterblijft, zou daardoor kunnen worden verkleind.

Uit onderzoek van Van Geel (2000) blijkt dat in 1999 niet, maar in 2000 wel op de watergift bij aardappelen kon worden bespaard middels druppelirrigatie en -fertigatie (Tabel 5.4). De opbrengst en N-afvoer waren hoger bij irrigatie en fertigatie dan bij beregenen. De besparing op de totale watergift leidde tot minder N-uitspoeling gedurende de teelt. Na de oogst waren er echter weinig verschillen aanwezig in de minerale stikstof in de bodem (data niet gepresenteerd).

*Tabel 5.4 Vergelijk van verschillende toedieningsmethoden van water en stikstof op de opbrengst, N gehalte en N-afvoer van aardappelen (van Geel, 2000)*

|                              | beregenen | irrigatie | fertigeren |
|------------------------------|-----------|-----------|------------|
| totale watergift (mm)        | 125       | 74        | 74         |
| netto knolopbrengst (ton/ha) | 76,2      | 82,4      | 81,6       |
| N-gehalte (g N / kg d.s.)    | 10,6      | 11,8      | 11,5       |
| N-afvoer (kg N / ha)         | 200       | 224       | 229        |

Door Pettersson *et al.* (1993) werd onderzoek gedaan naar volveldsfertigatie in zomergerst. Op de niet gefertigeerde en geïrrigeerde veldjes bleef vooral de P-opname achter. Dit was zowel direct het gevolg van het achterblijven van de fosfaatopname door de slechte mobiliteit van fosfaat in de grond als indirect van de slechte wortelgroei van het gewas bij een lage beschikbaarheid van nutriënten. In aardappel had fertigatie met fosfaat wel effect op de knolsortering; maar niet op de uiteindelijk opbrengst (Booij *et al.*, 2000).

#### **5.1.4 Proeven onder semi-geconditioneerde omstandigheden**

In het kader van het project vochtgebruik en droogtegevoeligheid van voedergewassen zijn door het AB-DLO (nu PRI) in de jaren 1994 t/m 1996 bakkenproeven uitgevoerd (Smid *et al.*, 1998). Op basis van volumepercentages vocht werden verschillende droogtescenario's uitgevoerd. Van de vier voedergewassen vertoonde triticale de geringste opbrengstreductie met toenemende droogte. Net zoals in de veldproeven wordt bij droogte de stikstofopname minder gereduceerd dan de droge stofopbrengst. Ook zijn de N<sub>min</sub> waarden na de oogst hoger bij lagere opbrengsten. Bij luzerne speelt hierbij ook de mate van N-binding een rol. Nadeel van deze bakkenproef is (naast de geringe diepte) dat voor alle gewassen dezelfde droogteperiode is genomen, dit heeft tot gevolg dat de gewassen (zoals triticale) niet altijd in hun meest droogtegevoelige periode zijn getoetst.

## 5.2 Bloembollenteelt

Er heeft in de recente of minder recente geschiedenis geen onderzoek in de bloembollen plaatsgevonden waarbij naar zowel de waterhuishouding als naar N- en P-verliezen is gekeken. Wel is onderzoek verricht naar de invloed van het waterpeil en beregenen op de opbrengst van bloembollen.

### 5.2.1 Waterpeil

#### 5.2.1.1 Droogteschade

In Tabel 5.5. staan voor de belangrijkste gewassen in de Bollenstreek de optimale grondwaterstanden weergegeven. Deze tabel is gebaseerd op onderzoek dat in het verleden is gedaan naar opbrengsten bij verschillende vaste grondwaterpeilen door A.H. Blaauw (30'er jaren), B. van der Valk (70'er jaren) en A.M. van Dam (1999-2002). Het onderzoek van Blaauw (1938) en van der Valk (1971) was bedoeld als droogteschadeonderzoek, vandaar dat er vaak niet gemeten is bij grondwaterstanden hoger dan 40 à 50 cm –mv. Uit onderzoek aan hyacint blijkt dat de verschillen tussen fijn en grof zand te maken hebben met een hogere capillaire opstijging (10 cm) bij fijn dan bij grof zand.

*Tabel 5.5 Optimale grondwaterstanden voor de gewasgroei van de drie belangrijkste gewassen in de Bollenstreek op fijn en op grof zand*

| Gewas   | Grondsoort | Optimale grond-waterstand (cm –mv) | Opmerkingen                                                   |
|---------|------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Hyacint | fijn zand  | 60                                 | bij 50 cm -mv: 9 % opbrengstreductie<br>ondieper niet gemeten |
|         | grof zand  | 50                                 |                                                               |
| Tulp    | fijn zand  | 50                                 | ondieper niet gemeten                                         |
|         | grof zand  | 40-50                              | ondieper niet gemeten                                         |
| Narcis  | grof zand* | 45                                 | ondieper niet gemeten                                         |

\* Bij Narcis is alleen onderzoek gedaan op grof zand.

#### 5.2.1.2 Natschade

Door Van der Valk (1971) is bij verschillende bodemtemperaturen onderzocht hoe lang tulpen onder water kunnen staan zonder dat zichtbare schade optreedt aan de plantkwaliteit (Tabel 5.6).

*Tabel 5.6 Schadegrenzen in de eerste maand na planten uitgedrukt in maximaal aantal dagen waarbij tulp (Apeldoorn), bij drie verschillende bodemtemperaturen, zonder lucht kan waarbij nog net geen schade aan de plantkwaliteit optreedt*

| Bodemtemperatuur | Max. aantal dagen zonder lucht |
|------------------|--------------------------------|
| 2 °C             | 14                             |
| 6 °C             | 8                              |
| 10 °C            | 2                              |

Verder bleek natschade sterk afhankelijk te zijn van de grondwaterstand. Tot 5-10 cm onder de bolbasis (20 tot 25 cm –mv) treedt er weinig schade op. Bij hogere grondwaterstanden en toenemende duur van de inundatieperiode neemt de schade toe. Daarnaast is de gevoeligheid van inundatie afhankelijk van het tijdstip in het groeiseizoen. Vooral vroeg in het seizoen was de schade hoog (Van der Valk en Geers, 1969; Van der Valk, 1971). Onderzoek van Van Dam (nog niet gepubliceerd) bevestigt de resultaten van Van der Valk: de eerste weken na planten geeft één of twee weken inundatie schade, maar later in het winterseizoen zijn er geen effecten op de opbrengst en broeikwaliteit van tulpen.

### **5.2.2 Beregenen**

In de brochure 'Berekening van bloembolgewassen' (IKC, 1993) worden opbrengstresultaten vermeld van beregeningsproeven bij tulpen en irissen, uitgevoerd op verschillende zavelgronden. Hieruit blijkt dat beregenen in vergelijking tot niet beregenen de opbrengst van tulpen met 10% en van irissen met 8% verhoogde. Daarnaast is gemeten wat het gemiddelde waterverbruik van voorjaarsbloeiërs (tulp en narcis) is in de periode vanaf eind maart tot half juni en voor lelie in juni en juli. Het gemiddelde waterverbruik varieerde voor tulp en narcis van 2,3 mm per dag tot 3,6 mm per dag. Lelie verbruikte tussen 2,1 en 4,0 mm per dag. Het verbruik was gerelateerd aan de bodembedekkingsgraad. Hieruit zijn omrekeningsfactoren afgeleid van de referentiegewasverdamping naar de verdamping van bloembolgewassen.

### **5.2.3 Fertigatie**

Vanaf 1999 werd bij tulp, lelie en hyacint op verschillende locaties in proeven de traditionele volveldse toepassing van N-meststoffen vergeleken met toediening van N door middel van fertigatie (Van Dam *et al.*, 2002). Bij de fertigatiebehandelingen werd doorgaans ook de watergift gevarieerd. Geconcludeerd werd dat bij gewassen die normaal gesproken beregend worden op uitspoelingsgevoelige grond 35 (tulp) tot 70 à 85 mm (lelie) bespaard kan worden. Wanneer de grond grotere giften (15-20 mm per keer) gemakkelijk kan bergen in de bouwvoor, levert fertigatie geen besparing in de watergift op. Wanneer gewassen normaal gesproken niet beregend worden, zoals in de Bollenstreek gebruikelijk is, wordt bij fertigatie juist extra water gebruikt, omdat dit nodig is voor de toediening van nutriënten. In de proeven bedroeg dit 40 tot 90 mm.

De stikstofbesparing door gebruik van fertigatie ten opzichte van volveldsbemesting verschilt per gewas. Voor hyacint is de besparing vrij klein of afwezig, doordat de kwaliteit van het gewas sterk op stikstof reageert, en de hoogste gift in de proeven ook regelmatig de optimale gift is. Voor tulp en lelie kan wel stikstof bespaard worden, in de proeven 70 tot 85 kg N per ha. Bij al deze proeven is met de name de bodem uitvoerig bemonsterd op N; nutriëntgehalten in bodemvocht en/of drainwater zijn niet bepaald. Gebleken is dat in het westelijk zandgebied N bespaard wordt doordat niet in de paden bemest wordt, en de N gehalten in de paden dan ook

lager zijn dan bij volveldsbemesting. Deze besparing wordt enigszins teniet gedaan door dat in het bed de uitspoeling toeneemt bij fertigatie, zeker in vergelijking met situaties waarbij normaal gesproken niet beregend wordt.

## **5.2.4 Emissies**

In 1995 is in een samenwerkingsverband tussen het Hoogheemraadschap van Rijnland, het Staring Centrum en het Laboratorium voor bloembollenonderzoek een studie gedaan naar de emissie van bestrijdingsmiddelen en nutriënten (Van Aartrijk *et al.*, 1995). De kennis in deze studie werd vergaard uit veldonderzoek, scenario-onderzoek en modelonderzoek.

### **5.2.4.1 Veldonderzoek**

In St. Maartensbrug (proefbedrijf) werden in het drainwater concentraties gemeten van 7 mg N/l, in Wassenaar (praktijkbedrijf) bedroeg de concentratie 5 tot 8 mg N/l. In St. Maartensbrug bestond relatief groot verschil tussen de meetopstellingen, wat betreft de fosfaatconcentratie in drainwater: 2-3 mg P/l en 0,6 mg P/l. In Wassenaar werden erg hoge waarden voor fosfaat in drainwater gemeten: gemiddeld 7,5-10 mg P/l, met een variatie tussen de 2 en 20 mg P/l.

### **5.2.4.2 Scenarioberekeningen**

Een belangrijke analyse betreft de vergelijking van de situatie waarin de bemestingspraktijk van de jaren tachtig (scenario 1987), gekenmerkt door toepassing van stalmest, drijfmest en meervoudige meststoffen voor organische stof voorziening, stuifbestrijding en plantenvoeding, wordt vergeleken met een bemestingsscenario 2000, dat o.a. gekenmerkt wordt door toepassing van GFT-compost, groenbemesters en enkelvoudige kunstmeststoffen. Resultaten van modelsimulaties wijzen uit dat op langere termijn, zowel in Noord- als Zuid-Holland, de emissie van N-verbindingen in scenario 2000 ongeveer de helft bedraagt van die in scenario 1987. Drainwaterconcentraties in het scenario 2000 zullen tussen 3-10 en 7-10 mg N/l gaan bedragen in resp. Noord- en Zuid-Holland. De grenswaarde van 2,2 mg N/l in drainwater zal moeilijk of niet kunnen worden onderschreden; wel kan het organische-stofgehalte van de bodem redelijk goed op peil blijven.

Voor fosfaat wordt berekend dat in scenario 2000 op langere termijn de P-belasting van het oppervlaktewater ca. een factor 10 afneemt ten opzichte van scenario 1987. De drainwaterconcentratie in scenario 2000 zal ca. 2-3 mg P/l gaan bedragen voor Noord- resp. Zuid-Holland. Zelfs wanneer in het geheel geen P meer zou worden toegepast, zou de P-concentratie van het drainwater op termijn stabiliseren bij ca. 1,8 mg P/l.

Voorts blijkt uit de scenariostudie dat:

- i) stopzetten van beregenen in Noord-Holland, in combinatie met het opzetten van het slootpeil voor de vochtvoorziening, leidt tot een geringe verhoging van de afvoer van stikstof naar het oppervlaktewater
- ii) het tijdstip waarop stalmest wordt toegediend nauwelijks effect heeft op de uitspoeling van N en P naar het oppervlaktewater en
- (iii) de nitraatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater gevoelig is voor opname door het gewas. Hoge nitraatconcentraties ten gevolge van N-bemesting in combinatie met regenbuien kunnen leiden tot een ongewenste uitspoeling.

## **5.3 Boomteelt**

Net zoals bij de bloembollenteelt is in de boomteelt geen onderzoek bekend naar de gecombineerde effecten van nutriënten en waterhuishouding op gewasgroei en N- en P-uitspoeling.

### **5.3.1 Nutriënten**

In het nutriëntenonderzoek wordt vooral aandacht besteed aan het verminderen van de gift uit dierlijke mest. De stikstofbehoefte in het tweede en derde jaar van meerjarige teelten wordt nu deels gedekt uit kunstmest. Daarnaast wordt compost ingezet om het organische stofgehalte van de bouwvoor in stand te houden.

### **5.3.2 Waterpeil**

Op dit moment zijn er niet veel kwantitatieve gegevens bekend over het effect van een tijdelijke of permanente verhoging van het waterpeil op de opbrengst van sierteeltgewassen. Het effect zal per regio en per gewasgroep sterk verschillen. Het is wel duidelijk dat tijdelijke of permanente vernatting een grote invloed op de bedrijfsvoering en rendement van sierteeltbedrijven zal hebben.

### **5.3.3 Beregeningsonderzoek**

Hooggelegen zandgronden zijn erg geschikt voor boomteelt. Een deel van deze gronden heeft echter een lage grondwaterstand, terwijl het vochtvasthoudend vermogen gering is. In droge perioden is beregenen noodzakelijk voor een optimale gewasgroei. In het project “Beregenen op maat” is gewerkt aan het vaststellen van kritische bodemvochtgehalten (Pronk en De Beuze, 2002; Pronk *et al.*, 2002). Overigens is de boomkwekerij geen extreme watergebruiker. Indien aanvulling door middel van beregening noodzakelijk is, bedraagt dit gemiddeld 50-200 mm afhankelijk van grondsoort en gewas.

.



## 6 Discussie

### 6.1 Beleid

De intentie van het internationale, nationale en regionale beleid is te gaan voldoen aan de normen voor grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit. In EU-nitraatrichtlijn staat de nitraatnorm voor grondwater van 50 mg/l centraal, welke gebaseerd is op de drinkwaternorm. De EU-nitraatrichtlijn is geldig is voor heel Nederland. De Nederlandse MINAS-systematiek is bedoeld om aan de EU-nitraatrichtlijn te gaan voldoen. Echter in MINAS zitten nog verschillende aannamen op het gebied van stikstofstromen die er toe kunnen leiden dat het gewenste resultaat en werkelijke resultaat niet overeenkomen. Een recente uitspraak (7 november 2002) van de Advocaat-generaal bij het Hof van Justitie van de Europese Gemeenschappen (zaak C-322/00) over het Nederlandse mestbeleid maakt het erg onzeker of de EU akkoord gaat met de Nederlandse MINAS-systematiek.

In gebieden van Nederland waar water en nutriënten vanuit de bodem in korte tijd naar het oppervlaktewater worden afgevoerd, zijn zowel N- en P-transport uit milieu-oogpunt erg belangrijk. De MTR- en streefwaarden voor nutriëntenconcentraties in oppervlaktewater zijn erg laag (Tabel 2.3). Onze verwachting is dat er in de toekomst gebiedsgerichte differentiatie zal komen in de gestelde normen (Kaderrichtlijn Water). Bij deze normen spelen “natuurlijke” achtergrondconcentraties van nutriënten ook een belangrijke rol. Op dit moment is de P-concentratie in het oppervlaktewater de dominante factor bij het ontstaan van ecologische problemen zoals algenbloei. In het huidige MINAS-beleid zijn de P-overschotten nog aanzienlijk (20-40 kg P/ha), terwijl vele gronden reeds verzadigd zijn met P. De verwachting is dat het minimaal tientallen jaren gaat duren voordat scherpe P-milieudoelstellingen voor oppervlaktewater gehaald kunnen worden en het is daarbij dan ook noodzakelijk dat de aan- en afvoer van P meer in balans komt. Ook de strenge normen voor N-concentraties in het oppervlaktewater worden nu nog niet gehaald, maar aangezien de P-problematiek voor het oppervlaktewater dominanter is, is dit stikstofprobleem op de korte termijn minder urgent.

In de landbouwpraktijk zijn de vraagstukken rond vernatting groter dan de problematiek rond verdroging. Bij verdroging is er in de landbouw door beregening nog eventueel corrigerend op te treden. Bij vernatting is het veel moeilijker correcties uit te voeren. De vraag is wat er met nutriënten, met name P, gebeurt onder natte omstandigheden. De verwachting is dat de beschikbaarheid van P zal toenemen onder natte omstandigheden. Door de in het algemeen hoge fosfaattoestanden in de Nederlandse landbouwgronden kan dit leiden tot een verhoogd risico op P-verliezen naar vooral het oppervlaktewater.

Er is in deze voorstudie niet onderzocht wie het beleid moet uitvoeren en of er knelpunten kunnen optreden bij tegengestelde belangen. Wel kunnen wij voorzien dat bij vernatting door het verhogen van oppervlaktewaterpeilen de

grondwaterstanden in aangrenzende natuurgebieden kunnen stijgen tot een gewenst niveau. Hierdoor kan echter bijvoorbeeld het P-gehalte van het oppervlaktewater stijgen ten gevolge van extra P-mobilisatie uit nabij gelegen landbouwgronden en kan er meer broeikasgasemissie (m.n. lachgas) naar de atmosfeer optreden. Er zal een afweging op een zo hoog mogelijk ruimtelijk en bestuurlijk integratieniveau nodig zijn om maatregelen zo effectief en integraal mogelijk te laten zijn, zonder ongewenste bijeffecten.

## 6.2 Processen

Veranderingen in de waterhuishouding in hoger gelegen infiltratiegebieden kunnen gevolgen hebben voor lager gelegen gebieden, bijvoorbeeld door verandering van de kwantiteit en kwaliteit van kwelwater. Op perceelschaal kunnen veranderingen in het waterbeheer, bijvoorbeeld peilbeheer of beregening, de transportroutes van water en nutriënten richting grond- en oppervlaktewater beïnvloeden. Vernatting van percelen zal een grote invloed hebben op de zuurstofhuishouding van de bodem en daarmee samenhangend de redox-potentiaal, waardoor chemische en biologische processen in de bodem anders gaan verlopen.

Er kan een algemeen onderscheid gemaakt worden tussen grondsoorten en hydrologische situaties met betrekking tot de relatie nutriënten-water. Voor de hoger gelegen zandgronden, die veelal droogtegevoelig zijn, met diepe watervoerende pakketten staat de nitraatuitspoeling en de denitrificatie in de ondergrond centraal. De inzet van beregening zou daar de stikstofbenutting kunnen verhogen door een bodemvochtgehalte te handhaven waarbij er voldoende transport en opname van stikstof mogelijk is, en zo de N-verliezen kunnen beperken. Voor de kleigronden geldt dat deze vaak ondiep (circa 1 m –mv) ontwaterd zijn en dat de verblijftijd (transporttijd) van het water van bodemoppervlak naar het oppervlaktewater kort is (< 1-2 jaar) (Eertwegh, 2002). Denitrificatie is op kleigronden aanzienlijk, waardoor N-concentraties in het grondwater (1 –mv) veelal laag zijn. Vooral de P-problematiek op deze gronden in relatie tot P-concentraties in het oppervlaktewater is belangrijk. De capaciteit voor P-binding is in kleigronden veel groter dan in zandgronden, maar door afspoeling en preferent transport via scheuren kan N- en P-transport grote gevolgen hebben. Op veengronden speelt de ontwatering een belangrijke rol bij de mineralisatie van het organische materiaal en de daarmee samenhangende inklinking. Ook N- en P-achtergrondconcentraties hangen nauw samen met vaak nutriëntenrijke kwel, welke deels gestuurd kan worden met de waterhuishouding.

De gewasreacties op droge of natte omstandigheden zullen per gewas anders zijn. Veelal hebben de reacties niet direct met de vochttoestand zelf te maken, maar met de gevolgen van te hoge zoutconcentraties of te lage zuurstofconcentraties in de bodem. In droge situaties kunnen agrariërs nog reageren door beregening toe te passen. Als er eenmaal te natte situaties zijn opgetreden, bijvoorbeeld door stortbuien, dan zijn er weinig beheersmogelijkheden om dit tegen te gaan. Opbrengstschades door te droge of te natte toestanden worden tot nu toe vooral bepaald aan de hand van de HELP-tabellen (HELP, 1987). In deze tabellen wordt

geen rekening gehouden met het dynamische gedrag van het grondwater, de nutriëntentoestand van de bodem en de bedrijfsvoering.

De belangrijkste microbiële processen die in natte en droge bodems optreden zijn goed bekend. In natte bodems zijn zowel de beschikbaarheid van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal als de aanwezigheid van electronenacceptoren bepalend voor het type en de intensiteit van redox-reacties. Zolang denitrificatie in bodems plaatsvindt, zal niet of nauwelijks ijzerreductie optreden. De aanwezigheid van grote hoeveelheden nitraat in de bodem vermindert dus de kans dat fosfaat door desorptie voor het gewas beschikbaar komt. De intensiteit (en dus de snelheid van verdwijnen en ontstaan van redoxsystemen) van redoxreacties wordt mede bepaald door de hoeveelheid organische stof. Het achterblijven van gemakkelijk afbreekbare organische stof, zoals suikerbietresten, zal dus sneller tot zuurstofloosheid en vervolgens tot denitrificatie leiden.

## **6.3 Open teelten**

### **6.3.1 Effect van vochttekorten**

In Nederland en de omliggende landen is veel beregeningsonderzoek uitgevoerd. In het onderzoek ligt de nadruk op het bepalen van het juiste tijdstip van beregening, de hoeveelheid toe te dienen water naast de rendabiliteit van beregenen. De bemestingsadviezen voor akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen zijn ook opgesteld voor een optimale vochtvoorziening. Optimaal beregenen leidt zeker voor de akkerbouwgewassen dan ook tot een hoge opbrengst en hierdoor dus tot hoge afvoer van mineralen met het gewas. Bij groentegewassen is dit overigens niet altijd het geval, bijvoorbeeld bij prei, waarbij de hoeveelheid vers product van groot belang is.

Beregeningsverboden maken de teelt van veel groentegewassen nagenoeg onmogelijk. Akkerbouwgewassen, behalve aardappelen en maïs, worden veelal niet beregend. Er is veel onderzoek gedaan naar de effecten van vochttekort op de opbrengst van akkerbouwgewassen; de effecten op de opname van nutriënten en de voorraad minerale N in de bodem zijn veel minder goed onderzocht. In het algemeen wordt bij droogte de N-opname minder sterk gereduceerd dan de opbrengst van gewassen. Bij een lagere N-afvoer met het gewas is de minerale N die na de oogst in de bodem achterblijft hoger. In principe leiden sub-optimale N-giften in combinatie met lagere plantdichtheden (vanwege het lager verdampend bladoppervlak) minder snel tot een opbrengstreductie bij vochttekort. Het geven van een hoge N-gift bij vochttekort zet weinig zoden aan de dijk; en is zeker vanuit milieutechnisch oogpunt dan ook af te raden.

In jaren met een vochttekort kan met een lagere N-gift worden volstaan, omdat de waterbeschikbaarheid dan beperkend is. Echter, bij akkerbouwgewassen wordt de N-gift veelal in het begin of grotendeels in het begin van het groeiseizoen gegeven, zodat moeilijk kan worden ingespeeld op mogelijke vochttekorten. Voor

aardappelteelt is de toepassing van druppelfertigatie of –irrigatie vooralsnog niet rendabel. Dit komt mede omdat voor een goede groei bij aardappel circa 2/3 van de mestgift aan het begin van het groeiseizoen moet worden gegeven, hierdoor vallen de N-besparingen ten gevolge van druppelfertigatie of –irrigatie tegen. Bij groentegewassen wordt de mestgift vaak wel gespreid in de tijd gegeven, middels bijmestsystemen, ook wordt fertigatie wel toegepast. Verder wordt veel gebruikgemaakt van ammoniumhoudende meststoffen die in depot in de grond worden gebracht. Deze depots kunnen echter bij zeer hevige neerslag uitspoelen. Zowel teveel als te weinig beregenen kan tot uitspoeling van stikstof leiden. Indien niet wordt beregend kan bij vroegruimende gewassen de stikstof die in de bodem achterblijft ten dele door vanggewassen worden opgenomen.

Er is niet of nauwelijks onderzoek verricht naar het gedrag van fosfaat in relatie tot beregening. Wel zal droogte leiden tot lagere fosfaatafvoer, maar niet per definitie tot een hogere fosfaatuitspoeling.

### **6.3.2 Effecten van grondwaterwaterpeil**

Er is veel onderzoek gedaan naar de opbrengstderving bij sub-optimale (constante) grondwaterwaterpeilen. Dit onderzoek (tezamen met expertkennis) heeft geleid tot het opstellen van de HELP-tabellen (HELP, 1987). In een klein aantal proeven is ook naar de invloed van het waterpeil op de beschikbaarheid van nutriënten gekeken. Sieben (1974) heeft onderzoek verricht naar de effecten van verhoogde winterpeilen op de aanwezigheid van minerale N in de bodem en op de opbrengsten van graangewassen. Het onderzoek werd recent na de drooglegging in Flevoland uitgevoerd. Dit betekent dat waarschijnlijk veel minder organisch geboden N in de bodem aanwezig was dan op het ‘oude’ land. Daarnaast waren toentertijd de opbrengsten en dus ook de bijbehorende N-giften veel lager dan nu. Desalniettemin zal dit weinig afbreuk doen aan de conclusies. Een verhoogd winterpeil leidt tot denitrificatie en een verlaagde en verlate mineralisatie van N uit organische stof. Door Meijer (1962; 1968) is op kleigrond en door Alblas (2002) op zandgrond onderzocht in hoeverre een verhoogd zomerpeil van invloed is op de gewasopbrengst en de N-opname bij verschillende N-giften. Uit beide onderzoeken komt naar voren dat in normale zomers een verhoogd peil tot een verlaagde opbrengst en N-afvoer met het gewas leidt bij dezelfde N-gift. Deze lage opbrengst kan volledig worden gecompenseerd door een hogere N-gift. Bij sommige gewassen leidt dit overigens wel tot vrij hoge giften. Dit betekent dat een verhoogd peil wel van invloed is op de N-beschikbaarheid maar verder de groei van het gewas niet sterk beïnvloed. Bij vaste, niet extreem hoge, waterpeilen lijkt het wortelstelsel van gewassen zich goed te kunnen aanpassen.

De effecten van vernatting op de beschikbaarheid van fosfaat voor landbouwgewassen zijn onduidelijk. Vernatting leidt in principe tot een hogere beschikbaarheid van fosfaat; maar kan ook tot fosfaatuitspoeling leiden. Aangezien de meeste bodems een hogere fosfaattoestand hebben dan landbouwkundig noodzakelijk is, is het niet waarschijnlijk dat op korte termijn fosfaatgebrek zal

optreden en dat dit tot opbrengstdervingen zal leiden. De lange termijneffecten zijn echter moeilijk in te schatten.

In hoeverre gewassen zich kunnen herstellen van zuurstofgebrek na bijvoorbeeld een periode van hevige regenval is onvoldoende bekend. Bovendien kan hevige regenval leiden tot uitstel van ziekte- en onkruidbestrijding, dit omdat de geringe draagkracht van de bodem berijding niet toestaat. De gevolgen van hevige regenval kunnen vanwege de geringere waterberging groter zijn indien ook het waterpeil ten behoeve van waterconservering is verhoogd.



## 7 Conclusies

Het Europese beleid op het gebied van water, landbouw (nutriënten), en natuur zal voor Nederland richtinggevend zijn. De EU-Kaderrichtlijn Water omvat veel van de huidige regelgeving. De economische positie van de Nederlandse en Europese landbouw hangt nauw samen met de onderhandelingen in de GATT en WTO over een vrijere wereldhandel en het afschaffen van importheffingen en exportsubsidies.

De Nederlandse bodems zijn voor een deel fosfaatverzadigd. In het waterbeheer is uit ecologisch oogpunt een trend naar vernatting ten behoeve van natuurontwikkeling. Ook de veranderingen in het klimaat, de bodemdaling en de zeespiegelstijging zullen aanleiding geven tot een grote kans op nattere bodemcondities in grote gebieden in Nederland. Voor het zoete oppervlaktewater in Nederland zijn momenteel de P- en N-concentraties in het oppervlaktewater veelal te hoog. Bij vernatting is vooral het risico aanwezig dat de P-concentraties in het oppervlaktewater door uit- en afspoeling zullen toenemen door een verhoogde oplosbaarheid van P. Voor nitraat valt te verwachten dat in verhouding meer nitraat naar het oppervlakte- dan naar het grondwater zal uitspoelen door een verandering in de transportroutes van de bodem naar het oppervlaktewater. Daarnaast zullen door denitrificatie nitraatconcentraties in het grondwater afnemen.

Voor de akkerbouw zijn voor een groot aantal gewassen de opbrengstdervingen bij droogte bekend. Voor de meeste gewassen geldt dat een optimale beregening voor gewasproductie ook tot de hoogste N-afvoeren met het gewas leidt. Mogelijke uitzondering is een aantal groentegewassen, waarbij vooral het versgewicht van belang is. In het algemeen leidt droogte tot grotere reducties in opbrengsten dan in N-afvoeren met het gewas. Bij vroegrijpende gewassen kan de N die na de oogst achterblijft door vanggewassen deels worden opgenomen. Droogte kan dus leiden tot hoge hoeveelheden stikstof die na de oogst in de bodem achterblijven, met een verhoogd risico op verliezen naar het milieu.

Uit het onderzoek met een verhoogd winterpeil blijkt dat opbrengstdervingen ten gevolge van overschrijdingen van een waterpeil van 30 cm –mv gedurende het winterseizoen gecompenseerd kunnen worden door een ca. 30 kg/ha hogere N-gift bij zomergerst en haver. Uit onderzoek met verschillende zomerpeilen blijkt dat een verhoogd zomerpeil tot aanzienlijke opbrengstreducties kan leiden; hetgeen nagenoeg volledig kan worden gecompenseerd door een fors hogere N-gift (tot ca. 100 kg N/ha). Het grote voordeel van vernatting is dat minder vaak beregend hoeft te worden. Er zijn weinig proeven uitgevoerd waarin het lot van P en het gewas onder vernatte omstandigheden is gemeten.

Zolang er voor de wortelgroei voldoende zuurstof in de bodem aanwezig is, heeft vernatting vooral invloed op de beschikbaarheid van stikstof voor het gewas. Bovendien wortelen gewassen ondieper bij een hoog peil. Opbrengstreducties ten gevolge van zuurstofloosheid zullen naar verwachting dan ook voornamelijk optreden bij sterk fluctuerende waterpeilen.



## 8 Plan voor het vervolg van het onderzoek

Gezien de hoge fosfaattoestand van vele gronden, de verwachting dat het gebruik van dierlijke mest in de toekomst problematischer zal worden, zeker onder nattere omstandigheden kiezen wij voor proeven waarbij de basisbemesting in organische vorm wordt gegeven, eventueel aangevuld met kunstmest (aansluitend op de landbouwpraktijk). Inspelend op een strengere mestwetgeving in de toekomst gaan wij dan uit van een verliesnorm van 0 kg fosfaat, uitgaande van werkelijk gemeten waarden. Dit houdt dus in dat de P-aanvoer gelijk is aan de verwachte P-afvoer. Ons project zal experimentele gegevens opleveren over het gedrag van landbouwkundige systemen onder vernatte omstandigheden in enkele proefsituaties. Hierbij zal een vergelijk worden gemaakt tussen een optimaal en suboptimaal (d.w.z. vernatting) waterbeheer voor de landbouw. Voor beide varianten zullen de nutriëntenverliezen naar grond- en oppervlaktewater worden gekwantificeerd. Dit houdt in dat we de transportroutes in het veld zullen vaststellen. Bij de keuze van gewassen zal zoveel mogelijk bij de gangbare landbouwpraktijk worden aangesloten.

Om deze resultaten in een kader te plaatsen en te interpreteren is het gebruik van simulatiemodellen noodzakelijk. De relatie met modellen is ook belangrijk voor toekomstige ontwerp van monitoringsprogramma's in het kader van de EU-Kaderrichtlijn Water. De complexiteit van de interactie tussen water-nutriënten (N en P) en beheer daarvan, zal er toe leiden dat er wordt gekozen voor een beperkt aantal proeven met voldoende aandacht voor compleetheid. De meerwaarde van deze proeven is dan dat er zoveel informatie wordt verkregen dat bestaande simulatiemodellen gebruikt kunnen worden en dat evaluatie van de modelresultaten mogelijk is.

De voorwaarden die het natuurbeleid stelt aan gewenste N- en P-concentraties in grond- en oppervlaktewater zien wij als randvoorwaarden. In ons project zullen we onderzoeken hoeveel de N- en P-belasting van het grond- oppervlaktewater is en toetsen hoe de gewenste normen te halen zijn. Ons doel is om een generieke bijdrage te leveren aan de kennis omtrent de interactie waterhuishouding en nutriëntenverliezen en daarbij zo specifiek en kwantitatief mogelijk aan te geven wat de verwachte ontwikkelingen zijn. De akkerbouw en melkveehouderij (vooral grasland) komen qua omvang (aantal hectares) het eerst in aanmerking voor het uitvoeren van dit type experimenten. In de bollenteelt speelt het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen een grotere rol en zijn mogelijkheden om de waterhuishouding te veranderen beperkter. De bometeelt is een kleinere sector (aantal hectares). Onze keuze is om in 2003 met experimenten in de akkerbouw te beginnen, waarbij wordt aangesloten bij een deels ingericht proefveld (zandgrond) in Vredepeel (Limburg), waar slootpeilen opgezet kunnen worden en water via drains geïnfiltreerd kan worden. De bedoeling is om 2004 de experimenten uit te breiden naar grasland (melkveehouderij).



## Literatuur

Aatrijk, J. van, P. Groenendijk, J.J.T.I. Boesten, O.F. Schoumans and R. Gerritsen 1995. Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Staring Centrum, rapport 387.6.

Alblas, J., 2002. Vernatting en gevolgen voor de teelt van akkerbouwgewassen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving BV, sector AGV. Rapport nr. 1125105-1.

Apello, C.A.J. and D. Postma, 1996. Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema, Rotterdam.

Beek, J. and W.H. van Riemsdijk, 1979. Interaction of orthophosphate ions with soil. In: G.H. Bolt (ed.) Soil chemistry. B. Physico-chemical models. Elsevier Amsterdam. p. 259-284.

Beltman, B., T.G. Rouwenhorst, M.B. van Kerkhoven, T. van der Krift and J.T.A. Verhoeven, 2000. Internal eutrophication in peat soils through competition between chloride and sulphate with phosphate for binding sites. Biogeochemistry 50: 183-194.

Blaauw, A.H., 1938. De betekenis van den grondwaterstand voor de bloembollencultuur. Mededeeling No. 53, Laboratorium voor Plantenphysiologisch Onderzoek, Wageningen. N.V. Noord-Hollandsche Uitgevers-Maatschappij, Amsterdam.

Boekel, P., 1973. De betekenis van de ontwatering voor de bodemstructuur op de zavel- en lichte kleigronden. IB rapport 5-1973.

Boland, D., J.A. Bleumink, Th. Vellinga and J.G. Kroes, 2000. Omgaan met vernatting. CLM publicatie 451-2000. Elinkwijk b.v., Utrecht.

Booij, R., H. Smid, and K. Wijnholds, 2000. Bepaling van de effectiviteit van fertilisatie met HydroTerra, CalciNit en Krista-K in aardappelen (pootgoed en consumptie) geteeld op zandgrond. PRI Nota 5.

Breemen, N. van and R. Brinkman, 1978. Chemical equilibria and soil formation. In: Soil Chemistry A. Basic Elements, G.H. Bolt and M.G.M. Bruggenwert (Ed.). Elsevier, Amsterdam.

Brouwer, F. and J.T.M. Huinink, 2002. Opbrengstdervingspercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. Geactualiseerde help-tabellen en opbrengstdepressiekarten. Alterra-rapport 429.

Chardon, W.J., O. Oenema, P. del Castilho, R. Vriesema, J. Japenga and D. Blaauw, 1997. Organic phosphorus in solutions and leachates from soils treated with animal slurries. *Journal of Environmental Quality*. 26 (2) : 372-378

Clevering, O.A. and J. Alblas, 2003. Relatie vocht- en nutriëntenvoorziening bij akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO-AGV rapport 110183 (in prep.)

Collaku, A. and S.A. Harrison, 2002. Losses in wheat due to waterlogging. *Crop Sci.* 42: 444-450.

Commissie Waterbeheer 21e eeuw, 2000. Waterbeleid voor de 21e eeuw. Geef water de ruimte en aandacht die het verdient. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw.

Crawford, R.M.M and R. Brändle, 1996. Oxygen deprivation stress in a changing environment. *Journal of Experimental Botany* 47: 145-159.

Dam, A.M. van, P.Vreeburg, E.A.C. Vlaming-Kroon and L. Kater, 2002. Water Optimaal, Optimalisatie toediening water en voedingsstoffen in de open teelten m.b.v. druppelirrigatie. Verslag Praktijkonderzoek Plant en Omgeving sector Bloembollen.

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk & C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical document 45, DLO Winand Staring centre, Wageningen.

Dekkers, W.A., 2000. Beregenen van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PAV publicatie 99.

Deproost, P., F. Elsen, I. Vanongeval and M. Geypens, 2001. Beredeneerd beregenen van stamslabonen en voorjaarsspinazie op zandleem- tot leembodems. Bodemkundige Dienst van België.

Dolfing, J., W.J. Chardon and J. Japenga, 1999. Association between colloidal iron, aluminum, phosphorus, and humic acids. *Soil Science* 164: 171-179.

Eertwegh, G.A.P.H., 2002. Water and nutrient budgets at fieldscale and regional scale. Travel times of drainage water and nutrient loads to surface water. PhD-thesis, Wageningen University, The Netherlands.

EU, 1980. Richtlijn van de raad van 15 juli 1980 betreffende de kwaliteit van het voor menselijke consumptie bestemd water. Richtlijn 80/778/EEG. Brussel: Europese Gemeenschap.

- EU, 2000. Richtlijn van de raad tot vaststelling van een kader voor de communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Brussel: Europese Gemeenschap.
- EU, 2002. Towards a thematic strategy for soil protection. COM(2002)179/2.
- Fagerstedt, K.V. and R.M.M. Crawford, 1987. Is anoxia tolerance related to flooding tolerance? *Functional Ecology* 1: 49-55.
- Geel, W. van, 2000. (Voorlopig) proefverslag druppelirrigatie en –fertigatie in aardappelen te Vredepeel in 2000 (PPO, ongepubliceerd).
- Grashoff, C., H.F.M. Aarts, and H.G. Smid, 1998. Opbrengst en oogstzekerheid van voedergewassen bij beregeningsverboden. AB-DLO, Rapport 93, Wageningen.
- Groenendijk, P. and F.J.E. van der Bolt, 1996. Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep. Effecten van waterhuishoudkundige ingrepen. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 306.4.
- Groenendijk, P. and J.G. Kroes, 1999. Modelling the nitrogen and phosphorous leaching to groundwater and surface water with ANIMO 3.5. DLO-Staring Centre, Wageningen, Report 144..
- Hack-ten Broeke, M.J.D. and R.C.M. Merkelbach, 1999. Milieukundige toetsingscriteria voor nieuwvestiging van bloembollenteelt. Alterra, rapport 677.
- HELP, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Rapport van de werkgroep HELP-tabel. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.
- Hoving, I.E. and A.P. Philipsen, 1999. Beregenen op maat op melkveebedrijven. Praktijkonderzoek Veehouderij-publicatie 138, Lelystad.
- IKC, 1993. Informatie en Kennis centrum Akker- en Tuinbouw Afdeling Bloembollen. Berekening van Bloembolgewassen. Lisse.
- Ingestad, T., 1982. Relative addition rate and external concentration: Driving variables used in plant nutrition research. *Plant, Cell and Environment* 5: 443-453.
- Lamers, L.P.M., H.B.M. Tomassen and J.G.M. Roelofs, 1998. Sulphate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science Technology* 32: 199-205.
- LNV, 1990. Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing. Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij. Staatsuitgeverij, Den Haag.

- LNV, 1995. Structuurschema Groene Ruimte: het landelijk gebied de moeite waard. Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- LNV, 2001. Nota 'Natuur voor mensen, mensen voor natuur'. Nota natuur, bos en landschap in de 21<sup>e</sup> eeuw. Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Meijer, H.J., 1962. Enkele resultaten van het grondwaterstandsproefveld Pr 657 op perceel 7. Verslag over de jaren 1956 t/m 1960. Vereniging tot exploitatie van proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van de provincie Groningen. pp. 40 – 50.
- Meijer, H.J., 1968. Enkele resultaten van het grondwaterstandsproefveld Pr 657 op perceel 7. Verslag over de jaren 1961 t/m 1965. Vereniging tot exploitatie van proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van de provincie Groningen. pp. 40 – 50.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink, 1993. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, 2nd edition.
- Moore, P.A. and K.R. Reddy, 1994. Role of Eh and pH on phosphorus geochemistry in sediments of Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Environmental Quality* 23:955-964.
- NMP2, 1993. Nationaal MilieubeleidsPlan 2. SDU Den Haag.
- NMP4, 2001. Nationaal MilieubeleidsPlan 4. SDU Den Haag.
- Noij, I.G.A.M., H.F.M. Aarts and J. Roelsma, 1997. Invloed van vernatting op de stikstofopname van gewassen en op het stikstofoverschot van bedrijven. SC-DLO rapport 574.
- OSPAR, 2001. The Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area; OSPAR EUC 01/2/1.
- Pettersson, R., O. Anderen and K. Vegh, 1993. Growth and nutrient uptake of spring barley under different water and nutrient regimes *Swedish Journal of Agricultural Research* 23: 171-179.
- Ponnamperuma, F.N., 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-95.
- Pronk, A.A. and M. De Beuze, 2001. Waterbesparing in de boomteelt. PPO, sector Bomen. PPO 406: pp. 19.
- Pronk, A.A., P. de Willigen, E. Heuvelink and H. Challa, 2002. Development of fine and coarse roots of *Thuja occidentalis* 'Brabant' in non-irrigated and drip irrigated field plots. *Plant and Soil* 243: 161-171.

Rappoldt, C., 1992. Diffusion in aggregated soil. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Reddy, K.R. and W.H. Patrick Jr., 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments-review. CRC Critical Reviews in Environmental Control. 13 (4): 273-309.

RIVM, 2002. MINAS en milieu; balans en verkenning. RIVM, Bilthoven.

Roest, C.W.J., R.P.J.J. Rietra, J.S. van der Molen, W. J. Chardon, A.A.M.F.R. Smit and R.J.M. Merkelbach, 2002. Definitiestudie voor vervolgonderzoek naar mogelijke effecten van waterconservering op grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. Alterra rapport Waterconservering.

Scalenghe, R., A.C. Edwards, F. Ajmone Marsan and E. Barberis, 2002. The effects of reducing conditions on the solubility of phosphorus in a diverse range of European agricultural soil. European Journal of Soil Science, 53: 439-447.

Schoumans, O.F. and L. Köhlenberg, 1997. Invloed van veroudering van ijzerhydroxide en anaerobe omstandigheden op de fosfaatconcentratie in fosfaatverzadigde lagen. DLO-Staring Centrum rapport 508, Wageningen

Schoumans, O.F. , J. Roelsma, H.P. Oosterom, P. Groenendijk, J. Wolf, H. van Zeijts, G.J. van den Born, S. van Tol, A.H.W. Beusen, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer en F.K. van Evert, 2002. Nutriëntenemissie vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0; clusterrapport 4: deel1. Alterra-rapport 552, Wageningen.

Schreuder, R., A.M. van Dam, A.J. Snoek, J.J. de Haan and A.T. Krikke, 2000. Consequenties MINAS en Mestbeleid voor de bollenteelt op sectorniveau. Rapport nr. 123. Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse.

Schreuder, R. and A.J. Snoek, 2002a. Met hakken over de sloot; Bedrijfsvoering bleembollenbedrijven in de binnenduinrand getoetst aan huidige en toekomstige randvoorwaarden. Concept PPO-rapport, Lisse, 45 p.

Schreuder, R., A.J. Snoek, R. van der Laan, N. Reijers, R.W. van der Meer, 2002b. Randvoorwaarden bollenteelt ontleend aan eisen en wensen vanuit beleid en maatschappij; Achtergronddocument bij “Met hakken over de sloot”. Intern concept PPO-rapport, Lisse, 61 p.

Schoot, J.R. van der, 1999-2001. Maïsteelt bij suboptimale vochtvoorziening. Ongepubliceerd rapport PPO.

Sieben, W.H., 1974. Over de invloed van de ontwatering op de stikstoflevering en op de opbrengst van jonge zavelgronden in de IJsselmeerpolders. Van Zee tot Land 51.

Smid, H.G., C. Grasshoff and H.F.M. Aarts, 1998. Vochtgebruik en droogtegevoeligheid van voedergewassen. Experimenteel onderzoek 1994-1996. AB-DLO rapport 91.

Sival, F.P., P.C. Jansen, B.S.J. Nijhof and A.H. Heidema, 2002. Overstroming en vegetatie: Literatuurstudie over de effecten van overstroming op zuurgraad en voedselrijkdom. Alterra rapport 335, Wageningen.

Stuyt, L.C.P.M., F.J.E. van der Bolt, C.H.M. de Bont, N.W. van den Brink, I. Immink J.E. Groenenberg, L.W.G. Higler, W.C. Knol, J.Kros, A.J.M. Koomen, G.J. Maas, A. Makaske, J. Runhaar and F.P. Sival, 2001. Effecten van overstromingen op LNC-waarden, landbouw, natuur en Milieu. In: den Heyer F., A. van der Veen, L. Stuyt, A.C.W.M. Vrouwenfelder, A.B.M. Stax, M. de Muinck Keizer, B. Jonkman, Ch. Vlek, P.H. Waarts (eds). Wat als we nat gaan, een beschouwing van de stand van zaken. Delft Cluster.

Stortelder, A.H.F, R.A.M. Schrijver, H. Alberts, A. van den Berg, R.G.M. Kwak, K.R. de Poel, J.H.J. Schaminee, I.M. van den Top en P.A.M. Visschedijk, 2001. Boeren voor natuur; de slechtste grond is de beste. Alterra-rapport 312, Wageningen.

Valk, G.G.M. van der, 1971. The influence of short periods of restricted aeration on development of tulips. In: Acta Horticulturae 23, Vol II, p. 333-337. (First International Symposium on Flowerbulbs, Noordwijk/Lisse 1970).

Valk, G.G.M. van der and K. Geers, 1969. Invloed van waterhuishouding in de grond op ontwikkeling en produktie van bolgewassen. In: Weekblad voor de Bloembollencultuur 80 nr. 21, p. 472.

Vandendriessche, H., J. Bries, E. Smeets, F. Elsen and M. Geypens, 1993. Invloed van de bemesting en de berekening op de kwaliteit van aardappelen. IWONL-Eindrapport, Comité voor Toegepaste Bodemkunde (1991-1993), Sectie: Bodemkundige Dienst van België.

Vandenbosch, T., B. Philipsen, S. Janssen, M. Huybrechts, G. Wera, A. van den Pol-van Dasselaar, J. Alblas and K. Grashoff, 2000. Droogtetolerantie van landbouwgewassen in het Benelux Middengebied. Watermanagement Benelux Middengebied.

Veeneklaas, F.R., J.M.J. Farjon, B. van der Ploeg, C.J.M. Wijnen and K.W. Ypma, 2000. Scenario's voor land- en tuinbouw en natuur. Vooruitzichten voor 2030 met een doorkijk naar de rest van de 21<sup>ste</sup> eeuw. Alterra-rapport 123, Wageningen.

Veerman, A., 1999. Erwinia rotting of submerged potato tubers. Abstracts of conference papers and demonstrations. 14th Triennial Conf. of Eur. Ass. for Potato Research, 2-7 May, Sorrent, Italy; p. 541-542.

Vos, J.A. de, 1997. Water flow and nutrient transport in a layered silt loam soil. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Vos, J.A. de, J.G. Conijn, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, N. Reijers, J. Alblas, A.J. Otjens, M. Heinen, S. van Dijck, F.B.T. Assinck, M.J.D. Hack-ten Broeke, 2003. Waterpas: Een instrumentarium voor het berekenen van effecten van veranderend waterbeheer op landbouw en milieu. Alterra-rapport (in prep).

VROM, 2001. Ruimte maken, ruimte delen: Vijfde nota over de ruimtelijke ordening 2000/2020. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.

V&W, 1989. Water voor nu en later. Derde Nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Staatsuitgeverij, Den Haag.

Walle, F.B. and J. Sevenster, 1998. Agriculture and the Environment: minerals, manure and measures. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Waternood, 1998. Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater. Een op grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting en beheer van oppervlaktewatersystemen. Projectgroep Waternood. Dienst Landelijk Gebied (DLG)-publicatie 1998/2, Utrecht.

Wienk, L.D., J.T.A. Verhoeven, H. Coops and R. Portielje, 2000. Peilbeheer en nutriënten. RIZA rapport 2000-012, Lelystad.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2002. Duurzame ontwikkeling; bestuurlijke voorwaarden voor een mobiliserend beleid. Rapporten aan de regering 62. SDU Den Haag

Young, E.O. and D.S. Ross, 2001. Phosphate release from seasonally flooded soils: a laboratory microcosm study. Journal of Environmental Quality 30: 91-101.