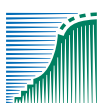




Verkenning gebruiksnormen voor nutriënten bij grondteelten onder glas:

Methodiekontwikkeling en voorbeeldstudie voor chrysanten

A.A. Pronk, W. Voogt, A.L. Smit, K.B. Zwart, C.L. van Beek, M. Heinen,
G.G. van der Lugt & L.F.M. Marcelis





Verkenning gebruiksnormen voor nutriënten bij grondteelten onder glas:

Methodiekontwikkeling en voorbeeldstudie voor chrysanten

A.A. Pronk¹, W. Voogt², A.L. Smit¹, K.B. Zwart³, C.L. van Beek³, M. Heinen³,
G.G. van der Lugt⁴ & L.F.M. Marcelis^{1,5}

- ¹ Plant Research International, Wageningen UR
- ² Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Glastuinbouw, Wageningen UR
- ³ Alterra, Wageningen UR
- ⁴ Blgg
- ⁵ Contactpersoon

© 2005 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.plant@wur.nl
Internet : www.plant.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	7
1.1 Achtergronden	7
1.2 Beschrijving van het systeem en afbakening	8
2. Tuinbouwkundig optimaal bemestingsadvies	11
3. Methodiek voor het opstellen van gebruiksnormen	15
3.1 Het bodemoverschot	15
3.1.1 N _{min} aanvang jaar	17
3.1.2 Mineralisatie van N uit veengronden	17
3.1.3 Nalevering vanuit / vastlegging van N in gewasresten en organische producten	17
3.1.4 Aanvoer N met kunstmest	17
3.1.5 Afvoer N met gewas	17
3.1.6 Denitrificatie	18
3.1.7 Effect van stomen	21
3.2 Van N-bodemoverschot naar milieukwaliteit	22
3.3 Berekening van het P-bodemoverschot	22
3.3.1 Aanvoer van P met organische producten	22
3.3.2 Aanvoer van P met het gietwater	22
3.3.3 Aanvoer van P met kunstmest	22
3.3.4 Afvoer van P met gewas	23
3.4 Aannames	24
4. Resultaten chryasant	25
4.1. Het tuinbouwkundig optimale bemestingsadvies (basisscenario)	25
4.1.1 Aanvoer van stikstof	25
4.1.2 Denitrificatie	25
4.1.3 N-bodemoverschot	26
4.2 Aangescherpte gebruiksnormen	27
4.2.1 Resultaten scenario 1 (verlaagde watergift)	28
4.2.2 Resultaten scenario 2 (verlaagde watergift en maximaal 50 mg nitraat per L)	30
4.2.3 Resultaten scenario 3 (sterk verlaagde watergift en lage N-aanvoer)	31
4.3 Milieukwaliteit	32
4.4 Het P-bodemoverschot	33
5. Discussie	35
5.1 Effect van beregeningsoverschot	35
5.2 Effect van denitrificatie	35
5.3 Organische producten	36
5.4 Concentraties in het beregeningswater	36
5.5 De aannames	37

	pagina
5.6 Gebruiksnormen en de toekomst	37
5.7 Alternatieve mogelijkheden voor gebruiksnormen	38
5.8 De GlaMi-gewasnormen	38
5.9 Overdraagbaarheid naar andere teelten	38
6. Conclusies	41
Referenties	43
Bijlage I. Bepaling van de denitrificatieverliezen	4 pp.
Bijlage II. Denitrificatie	1 p.
Bijlage III. Gewasafvoer	1 p.
Bijlage IV. Volledige balansen ter berekening van het N-bodemoverschot	5 pp.

Voorwoord

Uitspraken van het Europese Hof van Justitie maken het nodig dat er (wetenschappelijk) onderbouwde gebruiksnormen voor nutriënten in de glastuinbouw worden opgesteld per 1 januari 2006. De Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen Glastuinbouw (WOGG) heeft tot doel een wetenschappelijke onderbouwing te geven van gebruiksnormen voor nutriënten in de glastuinbouw. De volgende personen hebben zitting in de WOGG: Leo Marcelis (Plant Research International; voorzitter), Leo Oprel (LNV; secretaris), Mark de Bode (LNV; adviseur), Ruud Teunissen (RIZA; adviseur), Alex Mellema (GlaMi; adviseur), Geerten van der Lugt (Blgg; onderzoeker), Wim Voogt (PPO; onderzoeker).

Deze studie rapporteert over een eerste fase van een onderzoek naar onderbouwing van gebruiksnormen. In deze eerste fase is een verkenning uitgevoerd voor het ontwikkelen van een werkwijze om tot gebruiksnormen te komen voor grondteelten, waarbij chrysanth als voorbeeldgewas is gebruikt.

Deze studie moest in korte tijd uitgevoerd worden (opdrachtbevestiging begin februari). Gezien de complexiteit van de materie is het belangrijk dat een aantal uitgangspunten bij verschillende deskundigen getoetst kan worden en besproken in verschillende gremia. Hier was nog niet altijd voldoende tijd voor. Dit betekent dat op een aantal onderdelen nog nadere studie en verfijning nodig is. De getoonde berekeningsuitkomsten moeten daarom ook gezien worden als voorlopige getallen.

Gezien het conceptuele karakter van dit rapport moeten de resultaten vertrouwelijk behandeld worden.

Samenvatting

Uitspraken van het Europese Hof van Justitie van 2 oktober 2003 en 29 april 2004 nopen Nederland tot het per 1 januari 2006 ontwikkelen van wetenschappelijk onderbouwde gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat voor de glastuinbouw.

Dit rapport is een eerste verkenning voor het ontwikkelen van een werkwijze om tot deze gebruiksnormen voor grondteelten onder glas te komen. Als toetsgewas is hiervoor het gewas chrysant gekozen omdat voor dit gewas relatief veel (onderzoeks)gegevens beschikbaar zijn waaruit geput kon worden.

Getracht is zoveel mogelijk de werkwijze te volgen die ook bij de open teelten is toegepast, waarvoor inmiddels voor verschillende sectoren gebruiksnormen zijn opgesteld. Er zijn echter nogal wat verschillen tussen kasteelten en open teelten, verschillen die op sommige punten een andere benadering vergen. De belangrijkste verschillen zijn:

- Het gegeven dat het neerslagoverschot niet zoals in de open teelten constant is (veelal 400 mm per jaar) maar door de teler beïnvloed kan worden. Naarmate er in ruimere mate geïrrigeerd wordt zal dat niet alleen effect hebben op de hoeveelheid uitgespoelde stikstof maar ook op de uiteindelijke nitraatconcentratie in het grondwater.
- Een jaarrondteelt onder duidelijk productievare omstandigheden dan in de open lucht (assimilatiebelichting, temperatuur) waardoor per jaar aanzienlijk hogere N-opnames plaatsvinden (tot meer dan 1000 kg N/jaar).
- de adviesbestedingsstrategie op basis van een te handhaven concentratie in het bodemvocht, waarbij anders dan in de open grond niet met kg N per ha gerekend wordt maar de concentratie in het 1 op 2 extract de bestedingshoeveelheid bepaalt, via de concentratie van nutriënten in het gietwater.
- De toepassing van gesloten drainagesystemen met onderbemaling, met daarbij de mogelijkheid van hergebruik van drainwater. Hierbij kan tevens de omvang van de emissie naar de omgeving gunstig beïnvloed worden, maar waarbij ook, afhankelijk van de hydrologische situatie, kwel, inzijging en wegzijging kan voorkomen.

Aannames

Evenals voor de open teelten wordt er vanuit gegaan dat de berekende bodemoverschotten (grovweg het verschil tussen aan- en afvoer) in principe potentiële verliezen zijn. Omdat denitrificatie een hoge 'afvoer'post is die sterk beïnvloed kan worden door bedrijfstype, teeltwijze e.d. is anders dan in de open teelten getracht om de denitrificatieverliezen modelmatig per bedrijfstype te schatten. Ook het afwezig zijn van een landelijk meetnet voor bedekte teelten is een belangrijke reden voor deze aanpak.

Gezien de complicerende invloed van de gevarieerde hydrologische situaties worden voor een aantal veel voorkomende bedrijfstypen voorlopig alleen uitspraken gedaan over de vracht aan N en de concentratie in het percolaat dat de drains, respectievelijk de fictieve ondergrens van het systeem, bereikt.

Allereerst wordt in dit rapport een berekeningswijze ontwikkeld om voor chrysanten het gangbare tuinbouwkundig optimale bestedingsadvies uit te drukken in termen van kg N en kg P per ha per jaar, een en ander volgens goede landbouwpraktijk.

In hoofdstuk 2 worden 12 verschillende bedrijfstypen gedefinieerd die verschillen in grondsoort (6 op zand, 3 op klei en 3 op venige klei), wel en niet assimilatiebelichting, type ontwatering (diep grondwater en onderbemaling) en het type kas (oud en nieuw). Per bedrijfstype is op basis van de genormaliseerde verdamping voor het gewas chrysant (721 mm per jaar) de genormaliseerde evapotranspiratie berekend waarbij correcties zijn toegepast voor kastype en assimilatiebelichting. Vervolgens is per bedrijfstype de bijbehorende beregeningshoeveelheid vastgesteld, waarbij correcties voor grondsoort en ontwatering zijn verwerkt; hierbij is tevens een zekerheidsmarge ingebouwd om voor heterogeniteit binnen de kas te corrigeren.

Om de N-aanvoer te berekenen is deze beregeningshoeveelheid vervolgens vermenigvuldigd met een N-concentratie die gebruikelijk is en overeenkomt met het Advies. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de verschillende grondsoorten; op klei en venige klei wordt in de praktijk gemiddeld een hogere dosering aangehouden dan op zand. De N-aanvoer varieerde daardoor tussen de bedrijfstypen tussen 1000 en 1700 kg N per ha.

Aan de afvoerzijde staat de N die met het geoogste product wordt afgevoerd. Deze is geschat per bedrijfstype op basis van diverse onderzoeken waarbij mineralenbalansen zijn opgesteld. De variatie in de N-afvoer bedroeg tussen de 750 en 1000 kg N per ha (hoofdstuk 3). De denitrificatie, die met extreem veel onzekerheden is omgeven, werd

op dagbasis berekend met een eenvoudig model, waarbij de invloed van grondsoort, ontwatering (vochtverzadigingsgraad), potentiële denitrificatie en nitraatconcentratie in ogenschouw wordt genomen. Vanwege met name de onzekere schatting van de parameters die de invloed van de vochtverzadigingsgraad op de denitrificatie voorspellen zijn de berekeningen voor een tweetal situaties uitgerekend, één waarbij de waarden van de parameters leiden tot een hoge denitrificatie en één tot een lage denitrificatie.

Het aldus berekende N-bodemoverschot (aanvoer minus denitrificatie minus afvoer geogst product) wordt verondersteld de stikstofvracht te zijn die de drains, c.q. de ondergrens van het systeem, bereikt. Door de vracht te delen door het beregeningsoverschot wordt een eerste indicatie verkregen van de nitraatconcentratie in het percolaat. Deze kan vervolgens vergeleken worden met de norm uit de Nitraatrichtlijn. Vanwege de complexe hydrologische situatie in de glastuinbouw is deze vergelijking in veel gevallen niet op zijn plaats; zo zal bij hergebruik van drainwater de vracht en concentratie aan N die uiteindelijk in het grondwater terecht komt aanzienlijk lager zijn dan het bodemoverschot doet vermoeden. Bij bedrijfstypen met een negatief overschot kan sowieso geen concentratie berekend worden.

In navolging van de WOG-Open teelten is een belangrijke aanname overigens dat uitgegaan wordt van een evenwichtssituatie met betrekking tot opbouw en afbraak van organische stof in de bodem. De hoeveelheid N die jaarlijks mineraliseert uit gewasresten en inputs aan organische stof uit het verleden, wordt verondersteld in evenwicht te zijn met jaarlijkse 'investeringen' in organische stof. Met 'investeringen' wordt bedoeld de hoeveelheid N waarmee organische stof opgebouwd wordt om daarmee de levering in komende jaren veilig te stellen.

Het tuinbouwkundig optimale bemestingsadvies

In hoofdstuk 4 wordt eerst het basisscenario (de adviesbasis) behandeld. De geschatte denitrificatie is sterk afhankelijk van de waarden van de parameters voor vochtverzadiging, ontwatering en grondsoort en bedraagt enkele honderden kg N bij parameterwaarden die gunstig zijn voor denitrificatie en maximaal 150 kg bij ongunstige waarden.

Het resulterende bodemoverschot varieert dan voor de 12 bedrijfstypen tussen de -36 kg N en 685 kg N per ha, het beregeningsoverschot varieert tussen de 471 mm (zand, diep grondwater, met assimilatiebelichting en een nieuwe kas) en -77 mm (venige klei, onderbemaling 0,85 m, nieuwe kas met assimilatiebelichting). De negatieve beregeningsoverschotten op venige klei maakt dat alleen een overschot kon worden berekend en geen concentratie in het percolaat tot aan de drain. Voor de overige bedrijven was de berekende concentratie vele malen groter dan de waarde genoemd in de Nitraatrichtlijn (50 mg nitraat per liter).

Aangescherpte gebruiksnomen

Vervolgens is een drietal scenario's doorgerekend:

- scenario 1: schatting van de effecten van een verlaagde watergift.
- scenario 2: dezelfde watergift als in scenario 1 maar dan met een N-aanvoer waarbij de N-concentratie in het percolaat niet hoger zou worden dan 50 mg nitraat per liter.
- scenario 3: sterk verlaagde watergift maar waarbij ook de N-aanvoer van scenario 2 is aangehouden.

De mogelijkheid bestaat dat deze scenario's tot groeireductie of kwaliteitsverlies zullen leiden en daardoor teeltkundig gezien minder gewenst.

De verlaagde watergift in scenario 1 veroorzaakt een lagere denitrificatie, maar ook werd de N-aanvoer sterk verlaagd doordat de concentratie in het gietwater constant gehouden wordt. Het resultaat is niet in alle gevallen een lager bodemoverschot omdat soms de denitrificatie sneller daalt dan de aanvoer. In alle gevallen, behalve op venige klei, is het bodemoverschot gedeeld door het beregeningsoverschot vele malen hoger dan de norm van de Nitraatrichtlijn. Om een nitraatconcentratie in het percolaat van 50 mg te halen moet de N-aanvoer met honderden kg N (in 1 bedrijfstype zelfs 700 kg N per ha) naar beneden (scenario 2). In scenario 3 tenslotte wordt duidelijk dat ten opzichte van scenario 2 een verlaging van de watergift in veel gevallen weer een verhoging van de concentratie tot gevolg.

Conclusies

Duidelijk is geworden dat het voor het behalen van de gewenste milieukwaliteit niet voldoende is om zich te richten op een beperking van de N-aanvoer (of betere benutting van de gegeven stikstof) alleen. De beregeningshoeveelheid en daarmee gepaard gaande het beregeningsoverschot is een minstens zo belangrijke factor voor de uiteindelijke N-concentraties in het bovenste grondwater en het oppervlaktewater, omdat zowel uitspoeling als denitrificatie beïnvloed worden. Zowel de N-aanvoer als het watergeefregime zullen in de uiteindelijke normstelling een plaats moeten krijgen.

1. Inleiding

1.1 Achtergronden

Op 2 oktober 2003 heeft het Europese Hof van Justitie uitspraak gedaan over de Nederlandse invulling van de Nitraatrichtlijn. Het Hofarrest acht het stelsel van verliesnormen als aangegeven in het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) niet toereikend om te kunnen voldoen aan de verplichtingen die voortvloeien uit de Nitraatrichtlijn (Anonymous, 1991). Het Hof oordeelt dat aan deze verplichting alleen kan worden voldaan door middel van een stelsel van gebruiksnormen.

Op 29 april 2004 heeft het Europese Hof van Justitie uitspraak gedaan in de beroepsprocedure van Nederland tegen het Commissiebesluit om de vrijstelling van de MINAS-heffingen voor onder andere de glastuinbouw als ontoelaatbare steun te kwalificeren. Het Hof heeft Nederland in het ongelijk gesteld en bepaalde dat de vrijstelling als ontoelaatbare exploitatiesteun moet worden beschouwd die niet verenigbaar is met de gemeenschappelijke markt en dus niet mag worden toegepast.

De uitspraken leiden ertoe dat:

1. Nederland per 1 januari 2006 (wetenschappelijk) onderbouwde gebruiksnormen voor de glastuinbouw moet hebben.
2. Nederland, juridisch gezien, de vrijstellingsregeling in moet trekken waarbij, teruggaand tot 1 januari 1998, een naheffing zou moeten worden opgelegd om de onterecht verleende steun terug te vorderen.

Wat betreft punt 2 wordt momenteel aan een nieuwe vrijstellingsregeling gewerkt.

Dit rapport geeft een eerste aanzet/onderbouwing van toekomstige gebruiksnormen voor de glastuinbouw.

In 1997 hebben overheden en de glastuinbouwsector het Convenant Glastuinbouw en Milieu (GlaMi) ondertekend. Het Convenant bevat sectordoelstellingen voor 2010 voor onder andere het gebruik van meststoffen.

De sectordoelstelling is in het Besluit glastuinbouw vertaald naar doelstellingen voor individuele bedrijven. In het Besluit zijn voor de milieuvelden energie, gewasbeschermingsmiddelen, stikstof en fosfor verbruiksdoelstellingen per gewas (gebruiksnormen) opgenomen (Anonymous, 2000).

De gebruiksnormen zijn gebaseerd op een evenredige inspanning van de gewasgroepen voor het behalen van de sectordoelstelling in 2010. De gewasnormen zijn gebaseerd op een verdeling van de 'verbruikskoek', waarbij de omvang van de 'verbruikskoek' is gebaseerd op de publicatie 'Mest meester in de glastuinbouw' (IKC-L, 2000). Op verzoek van de Stuurgroep GlaMi heeft een college van deskundigen twee rapporten uitgebracht over de hoogte en systematiek van de huidige GlaMi-gewasnormen.

Voor het vaststellen van de oorspronkelijke gewasnormen is gebruik gemaakt van registratiegegevens van tuinders (MPS, MBT), voor het evaluatieadvies is gebruik gemaakt van gegevens van de Uitvoeringsorganisatie Integrale Milieutaakstelling (UO-IMT) die de rapportages van de registratiegegevens van de tuinders verwerkt.

Inmiddels is een project geformuleerd waarin een set van wetenschappelijk onderbouwde gebruiksnormen voor de glastuinbouw zal worden opgeleverd. Het project wordt gefaseerd uitgevoerd en dit rapport doet verslag van de voorfase. Deze voorfase is gericht op de bedekte grondteelt en alleen het gewas chrysant wordt uitgewerkt als voorbeeld. Voor chrysant is gekozen omdat dit gewas de belangrijkste grondteelt betreft (ca. 750 ha) en omdat van dit gewas veel gegevens voorhanden zijn.

De voorfase omvat de volgende onderdelen:

- A. Ontwikkelen van een berekeningswijze om per gewas een tuinbouwkundig optimaal bemestingsadvies op te stellen in termen van kg N en kg P per ha per jaar, een en ander overeenkomstig goede landbouwpraktijk.
- B. Opstellen van een tuinbouwkundig optimaal bemestingsadvies voor N en P in termen van kg N en kg P per ha per jaar bij chrysant overeenkomstig goede landbouwpraktijk.
- C. Ontwikkelen van een systematiek voor het onderbouwen en toetsen van gebruiksnormen voor N in het kader van de Nitraatrichtlijn.
- D. Wetenschappelijke onderbouwing en toetsing van gebruiksnormen voor N bij chrysant.

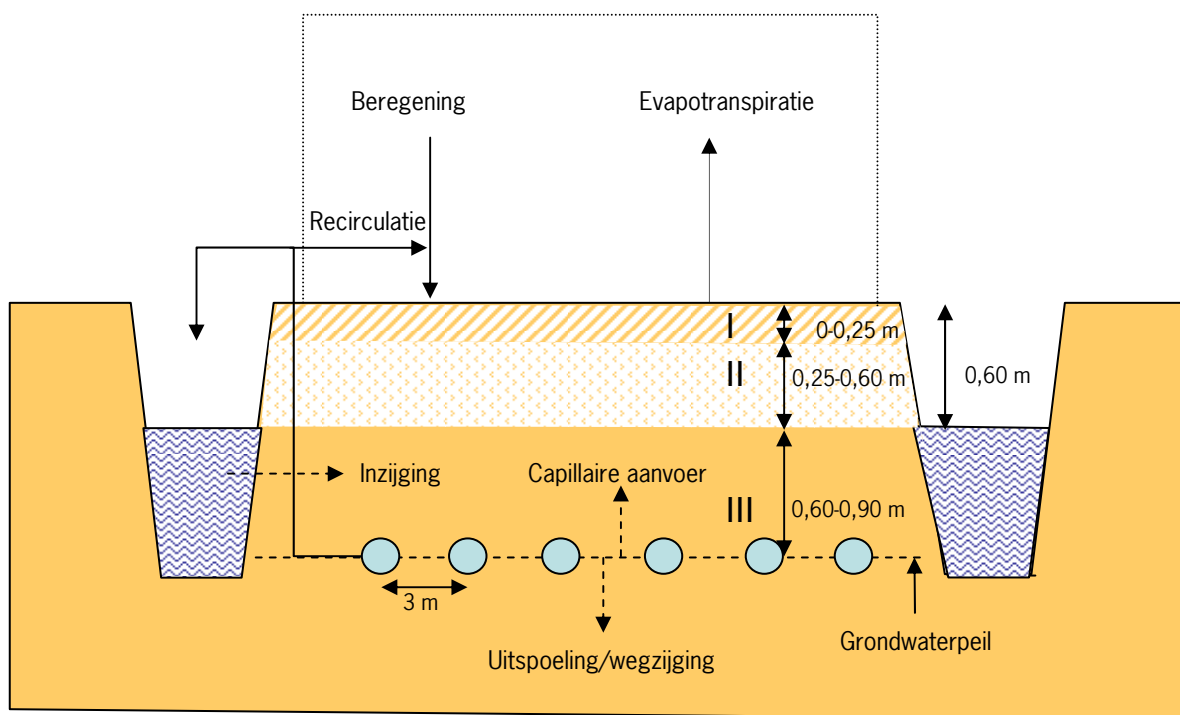
1.2 Beschrijving van het systeem en afbakening

Teeltsituatie en bodem

Grondteelt in kassen wijkt op een aantal onderdelen af van de teelten in de open lucht. Het meest opvallende verschil is dat het klimaat in een kas tot een bepaalde hoogte zelfstandig en onafhankelijk van het weer buiten geregeld kan worden. Neerslag in de vorm van beregening is volledig onder controle van de ondernemer. De temperatuur wordt door de ondernemer (binnen bepaalde grenzen) op de gewenste hoogte gehouden. De stralingsniveaus zijn in een kas lager dan in de open teelten omdat het glas een bepaalde fractie van het licht wegvangt. Aan de andere kant wordt in moderne kassen in een aantal gevallen het gewas juist extra belicht om de gewasgroei te bevorderen, de zogenaamde assimilatiebelichting.

Deze omstandigheden maken het mogelijk dat een kas het gehele jaar door beteeld wordt met een gewas.

De bemesting wordt eveneens volgens een andere benadering dan in de open teelten uitgevoerd. Nutriënten worden opgelost in het beregeningswater toegediend. De nutriëntendosering is erop gericht om een bepaalde nutriëntconcentratie in het wortelmilieu (0,00-0,25 m) te realiseren en te handhaven. Naast de dosering van nutriënten via de beregening wordt meestal eenmaal per 3 à 4 jaar organisch materiaal in de grond gebracht. Dit betreft vrijwel altijd grove composten of schorsproducten die vooral voor structuurbehoud of -verbetering worden toegepast. Hoeveelheden variëren van 50-150 ton. Dierlijke meststoffen worden vrijwel niet gebruikt.



Figuur 1. Schematisch overzicht van de waterhuishouding van een glastuinbouwbedrijf met onderbemaling.

Naast compost wordt in de bovengrond ook weinig materiaal afkomstig van perspotjes en gewasresten ingewerkt, resulterend in een verhoging van het organische-stofpercentage. Tevens wordt bij grondteelten de bodem jaarlijks gestoomd (sterilisatie). Dit kan grote invloed hebben op de stikstofhuishouding.

Irrigatie

De watervoorziening vindt in de meeste gevallen plaats via beregening, hetzij via breedspreiende regenleidingssystemen bovenover het gewas of via smalspreiende systemen onder het gewas (beddenteelt) of in de plantrij (rijenteelt). Bij de teelt in rijen wordt in veel gevallen ook wel druppelbevloeiing toegepast. De waterverdeling over het oppervlak van alle systemen is niet uniform. De VC (variatiecoëfficiënt) bedraagt bij regenleidingsystemen in gunstige gevallen 10-15%, maar vaker > 20%. Bij druppelbevloeiing is er bij goed onderhoud een VC van 8-15% te halen, maar kan ook oplopen tot > 50% (Heemskerk *et al.*, 1997). Een andere bron van variatie is de lichtonderschepping van bepaalde kasconstructie-onderdelen, waardoor bepaalde plaatsen structureel minder licht ontvangen en minder verdampen. Ook zijn er plaatsen die juist extra verdampen vanwege meer blootstelling aan luchtbeweging of stralingswarmte van verwarmingsbuizen. Als gevolg van deze bronnen van ongelijkheid houden telers een ruime watergift aan om droge plekken te vermijden.

Afhankelijk van het seizoen varieert de frequentie van watergeven van 1 maal per 2 weken (opdrachtige gronden winter) tot 4 maal per week (droogtegevoelige grond, zomer). Dit geldt alleen voor beregening, bij druppelbevloeiing zijn er meerdere gietbeurten per dag. De grootte van de watergift stellen telers af op gevoel en ervaring, maar in toenemende mate worden hulpmiddelen als beregeningsmodellen of tensiometers en andere sensoren gebruikt om de gift af te stemmen op de behoefte van het moment (Korsten, 1998; Voogt *et al.*, 1999).

Ontwatering

De ontwateringssituatie van een kas is eveneens sterk afwijkend van teelten in de vollegrond (Voogt *et al.*, 2003). Een deel van de bedrijven ligt in poldergebieden met een voor de kasteelt te hoog polderpeil. Er wordt dan een gesloten drainagesysteem toegepast met onderbemaling (Figuur 1). De drains liggen op ongeveer 0,90 cm diepte op een onderlinge afstand van 3 meter onder het gehele kascomplex. Bij dit type bedrijven is er potentieel de mogelijkheid van capillaire opstijging. De grondwaterstand wordt op 0,60 tot 0,90 cm diep gehouden. Door de onderbemaling en de hoge waterstand van het oppervlaktewater (slootwaterpeil), vindt horizontale verplaatsing plaats van het water uit de sloot naar onder de kas (inzijging). Ook kan er water worden aangevoerd vanuit het diepere grondwater door waterdruk vanuit verder weg gelegen hogere gebieden of oppervlaktewater (kwel). Daarnaast kan er tussen de drains uitspoeling of wegzijging optreden, indien het sloot- of polderpeil (periodiek) lager is dan het drainageniveau. Bij deze bedrijven komen drie grondsoorten voor: zand, klei en venige klei. Zand en klei zijn de gangbare grondsoorten, venige klei is een kleigrond waar veenresten doorgewerkt zijn en deze grond heeft daardoor een hoog percentage organische stof (>15%). Echte veengronden volgens het systeem van bodemclassificatie komen in de glastuinbouw slechts sporadisch voor. In de meeste gevallen zijn het wel moerige bodems, die vallen in de klassen venige klei/zand of kleilig veen. Daarnaast zijn er bedrijven met een grondwaterstand dieper dan ca. 1 m. Op deze bedrijven is geen drainagesysteem aangelegd of dit is niet werkzaam. De vochtvoorziening is volledig afhankelijk van beregening, de bijdrage van capillaire opstijging is verwaarloosbaar of volledig afwezig. Deze bedrijven liggen vrijwel uitsluitend op zandgronden en leemhoudende zandgronden. De grond op deze bedrijven is gevoeliger voor uitdroging, en er wordt frequenter en meer water gegeven dan bij overeenkomstige bodemtypen met ondiep grondwater.

Het systeem met onderbemaling heeft een complexe waterhuishouding. In deze studie is de waterhuishouding echter sterk vereenvoudigd. Deze vereenvoudiging wordt gemaakt door aan te nemen dat er 1. geen inzijging vanuit de slootkant optreedt, en 2. dat er geen kwel vanuit het ondiepe grondwater optreedt. Aan de onderzijde van het systeem wordt de grens van het systeem op drainniveau getrokken. Indien er geen drain aanwezig is door een diepe grondwaterstand wordt een fictieve ondergrens van het systeem aangehouden die op 0,85 m ligt.

De berekeningen hebben daardoor betrekking op het identificeren van het bodemoverschot tot aan het drainniveau, respectievelijk de fictieve ondergrens. Samen met het berekende neerslagoverschot (beregening – verdamping, beide op jaarbasis) kan berekend worden wat de belasting is van het oppervlaktewater (lozing via drain) of van het ondiepe grondwater (uitspoeling tussen de drains).

Hergebruik van drainagewater

Een aparte bespreking is nodig van de situatie waarbij bedrijven drainagewater hergebruiken in de teelt. In deze gevallen kan het geproduceerde drainagewater overeenkomen met het berekeningsoverschot of vermengd met water dat via inzijging of kwel wordt aangevoerd op drainniveau. Ook kan slechts een deel in de drains opgevangen zijn en een ander deel via wegzijging verdwenen zijn. Daarnaast zijn er gemengde systemen denkbaar van de genoemde situaties. Bij de situaties van vermenging met inzijging of kwelwater kan het voorkomen dat qua volume water of ongewenste concentraties aan overige mineralen niet al het drainagewater gebruikt kan worden (Voogt *et al.*, 2000b). Volgens de WVO (Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren) zijn bedrijven echter in principe verplicht het drainagewater te hergebruiken in de teelt. Er is daarom een beperking aangebracht, zodat situaties met kwel en inzijging, met een verhoogd Na- of Cl-gehalte niet tot problemen hoeven te leiden. De regel is als volgt: indien de vracht N in het drainwater $> 300 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jaar}^{-1}$, dan moet van dit drainagewater een hoeveelheid overeenkomend met minimaal 150 kg N worden hergebruikt in de teelt. Voor de systematiek van de berekening van het bodemoverschot zoals die in dit rapport wordt gehanteerd, heeft recirculatie/hergebruik echter geen consequenties en wordt daarom niet meegerekend. In hoofdstuk 3.2 wordt verder ingegaan op hergebruik van drainagewater.

Afbakening

Zowel bij de categorie bedrijven met grondwater binnen –1 m en een gesloten drainage met onderbemaling (hierna genoemd: 'met drainage') als de categorie bedrijven met grondwater dieper dan 1 m (hierna genoemd: 'grondwater') zijn er afwijkende situaties en uitzonderingen op het algemeen gestelde. Ook de beperking tot drie grondsoorten is een sterke vorm van vereenvoudiging. Er is echter gekozen voor deze sterke vereenvoudiging om het systeem voor normering overzichtelijk te houden. Mocht tijdens een volgende fase blijken dat de gekozen indeling niet past op een aanwezige situatie dan zal dit bij de verdere invulling van het systeem worden aangepast.

In dit rapport wordt chrysant als pilot gewas gebruikt.

Echter, omdat de methodiek nog in ontwikkeling is en er op een aantal onderdelen nog nadere studie en verfijning noodzakelijk is, moeten de **berekeningsuitkomsten** worden gezien als **voorlopige getallen**.

2. Tuinbouwkundig optimaal bemestingsadvies

Met tuinbouwkundig optimaal bemestingsadvies wordt bedoeld een advies voor de bemesting die nodig is voor goede productie en een goede kwaliteit van het product. Ten behoeve van de EU-regelgeving is het gewenst een geadviseerde gift uit te drukken in kg N/ha. De huidige Bemestings Adviesbasis Grond voor de Glastuinbouw (Van Den Bos *et al.*, 1999) heeft echter tot doel het realiseren en handhaven van een gewenste concentratie stikstof en fosfaat in het wortelmilieu (0,0-0,25 m). Op basis van de Bemestings Adviesbasis Grond is een advies uitgewerkt dat de aanvoer in kg N/ha geeft.

Om de hiervoor genoemde concentratie te handhaven wordt het beregeningswater van nutriënten voorzien volgens meststoffenrecepten en concentratie-adviezen. Het principe is dus het regelen van de concentratie en de samenstelling van een voedingsoplossing, in afhankelijkheid van analyseresultaten. Er wordt vanuit gegaan dat niet alleen bij aanvang van een teelt, maar ook tijdens de teelt regelmatig grondmonsters worden genomen. De N-concentratie (totaal van NO₃ en NH₄) in het 1:2 extract grond : water is de sturende factor die de te geven hoeveelheid nutriënten bepaalt. De andere voedingselementen worden naar verhouding meegedoseerd. Te hoge of te lage gehalten van een bepaald voedingselement in de analyse worden gecorrigeerd door verlaging c.q. verhoging van de concentratie van dit element in de voedingsoplossing. Aan de basis staat dus een zogenaamde voedingsoplossing, een fictieve oplossing met voor de hoofdelementen gewenste concentraties, die als standaard geldt. Deze voedingsoplossing is berekend op een min of meer willekeurige totale ionensom (EC-waarde). In feite zijn het ionenverhoudingen ten opzichte van elkaar.

De berekening zelf is niet gekoppeld aan de recepten, maar de beregeningshoeveelheid heeft wel erg veel invloed op de totale hoeveelheid stikstof, in kg N ha⁻¹ jr⁻¹, die aan het gewas gegeven wordt. De berekening is afhankelijk van verschillende factoren. Om deze factoren te onderscheiden worden er in deze studie 12 bedrijfstypen gedefinieerd die verschillen in factoren die de beregeningshoeveelheid bepalen. Het aantal factoren dat van invloed is op de berekening is beperkt tot gewas, type kas, grondsoort, type ontwatering en wel of geen assimilatiebelichting. Voor deze 12 bedrijfstypen worden eerst de beregeningshoeveelheden berekend en vervolgens op basis van de concentratie de aanvoer van stikstof in kg N per ha. Onlogische combinaties zijn niet opgenomen als bedrijfstype.

Variatiebronnen ter bepaling van de beregeningshoeveelheid

Klimaat

De hoeveelheid beregeningswater die in de praktijk wordt toegediend is gebaseerd op de evapotranspiratie. De evapotranspiratie is op dagbasis sterk afhankelijk van straling, temperatuur en vochtdeficit. Hier wordt evenwel uitgegaan van een standaard jaar en blijft de variatie tussen jaren buiten beschouwing. Van belang is wel op te merken dat als gevolg van de verschillen in klimatologische situatie de actuele evapotranspiratie en als gevolg daarvan de actuele watergiften in de praktijk van jaar tot jaar enorm kunnen verschillen. Als standaardjaar is het langjarig gemiddelde (30 jaar) van het weerstation van PPO Naaldwijk genomen. Voor de kasklimaatgegevens is uitgegaan van de gemiddelden van een database met meetgegevens van chrysan.

Gewas

De transpiratie is sterk verschillend per gewas (Voogt & Houter, 2003). Om de totale aanvoer van stikstof en fosfaat via de bemesting te kunnen bepalen, is het daarom noodzakelijk te rekenen met de transpiratie op gewasniveau. In deze studie wordt vooralsnog alleen het gewas chrysan bekeken. Hoewel verschillende cultivars ook verschillende transpiraties kunnen hebben is dat in deze studie niet meegenomen.

Kastype

Verschillen tussen kastypen vormen een derde variatiebron. Deze verschillen (hoogbouw, laagbouw, nokrichting, kasdekhelling) kunnen teruggebracht worden tot de factor lichtdoorlatendheid (transmissiewaarde). In de berekeningen wordt dit ter vereenvoudiging teruggebracht tot een 'oude kas', met een gemiddelde lichtdoorlatendheid van 65% en een 'moderne kas' met een lichtdoorlatendheid van 83% (Tabel 1).

Assimilatiebelichting

Hierbinnen is een grote variatie: lichtefficiëntie (lamptype, reflector), geïnstalleerd vermogen, branduren. Ter vereenvoudiging wordt hier alleen gerekend met één factor: het wel of niet aanwezig zijn. Er wordt uitgegaan van een intensiteit van 10.000 lux m² en een aantal branduren gebaseerd op het gemiddeld stralingsverloop over het jaar, waarbij belicht wordt zodra er minder is dan 100 w m². Voor daglengtegevoelige gewassen (chrysant) wordt daarbij nog rekening gehouden met de benodigde uren duisternis (Tabel 1).

Grondsoort

Van de in glastuinbouw gebruikte bodemtypen worden alleen zand, klei en klei met hoog organische-stofgehalte (venige klei, >15% organische stof) beschouwd (Tabel 1). Het effect van de grondsoort hangt samen met het vochtbergend vermogen en de waterretentiecurve. Bij zandgronden wordt frequenter en meer water gegeven dan bij kleigronden. Bij venige klei wordt bovendien gedurende de winterperiode nauwelijks water gegeven (Korsten, 1998; Voogt *et al.*, 2002; Voogt *et al.*, 2000b; Voogt *et al.*, 2003; Voogt *et al.*, 1999; Voogt & Van Winkel, 2004).

Tabel 1. *Overzicht van de verschillende bedrijfstypen.*

Bedrijfstype	Grondsoort	Type ontwatering	Type kas	Assimilatiebelichting
1	zandgrond	diep grondwater	nieuw	ja
2	zandgrond	diep grondwater	oud	ja
3	zandgrond	diep grondwater	oud	nee
4	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja
5	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja
6	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee
7	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja
8	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja
9	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee
10	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja
11	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja
12	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee

Ontwatering

De beregeningshoeveelheid wordt afgestemd op het type ontwatering. Een gewas geteeld met een diepe grondwaterstand zonder actieve ontwatering, is gevoeliger voor uitdroging: er wordt frequenter en meer water gegeven dan bij overeenkomstige bodemtypen met ondiep grondwater.

Berekeningsmethoden ter bepaling van de beregeningshoeveelheid

De beregeningshoeveelheid wordt gebaseerd op de genormaliseerde gewasverdamping + bodemverdamping (evapotranspiratie) en diverse correctiefactoren voor de verschillende variatiebronnen (Tabel 2).

De genormaliseerde gewasverdamping (hier verder evapotranspiratie, gewas-+bodemverdamping, genoemd) van chrysant is 721 mm per jaar. Afhankelijk van het kastype en de assimilatiebelichting wordt deze hoeveelheid gecorrigeerd: bij een nieuw kastype is de evapotranspiratie 18% hoger dan de genormaliseerde evapotranspiratie en met assimilatiebelichting komt er 115 mm per jaar bij. De zo berekende evapotranspiraties staan in Tabel 4.

Tabel 2. Berekende genormaliseerde evapotranspiratie voor chrysant en toegepaste correctiefactoren voor de berekening van de specifieke evapotranspiratie per bedrijfstype.

Genormaliseerde evapotranspiratie	721	mm jr ⁻¹
Correctiefactoren:		
kastype	1,18	Factor
Assimilatiebelichting	115	mm

Tabel 3. Correctiefactoren ter berekening van de beregeningshoeveelheid per bedrijfstype.

Grondsoort	zand	1,125	Factor
	venige klei	0,8	Factor
	klei	1,08	Factor
Ontwatering	diep grondwater	1,15	Factor
	onderbemaling, 0,85 m	1,00	Factor

De beregeningshoeveelheid wordt vervolgens uitgerekend op basis van de evapotranspiratie, gecorrigeerd voor grondsoort en ontwatering (Tabel 3). Voor het vaststellen van de gangbare beregeningshoeveelheid in de praktijk, moet rekening gehouden worden met een veiligheidsmarge. Deze veiligheidsmarge wordt gehanteerd om de ongelijkheid in het beregeningssysteem tussen plaatsen in de kas te compenseren en bedraagt 15%. De beregeningshoeveelheid wordt daarom berekend als:

evapotranspiratie * correctiefactor grondsoort * correctiefactor ontwatering * veiligheidsmarge.

Bepaling van de doseerconcentratie

De bemestingsadviesbasis gaat uit van het systeem van een streefwaarde voor de grond, onderzocht d.m.v. het 1:2 volume-extract. De geadviseerde doseerconcentratie is hiervan afhankelijk. Rondom het streefcijfer wordt met een marge van + en – 30%, het zogenaamde streeftraject, de standaard dosering geadviseerd. Beneden het streeftraject wordt een lineaire verhoging van de doseerconcentratie geadviseerd, tot (virtueel) maximaal 2* de standaard dosering bij 0 N in de grond. Boven het streeftraject wordt de dosering lineair verlaagd tot 0, bij 2,5 maal de streefwaarde. Het feitelijke bemestingsadvies is dus afhankelijk van de heersende N-toestand in de teelt. Deze toestand wordt beïnvloed door het complex van alle N-stromen in het verloop in de van de tijd, zoals gift, opnamesnelheid, uitspoeling, mineralisatie en denitrificatie, bij uiteenlopende grondsoorten. De doseerconcentratie die in de hier beschreven methodiek gehanteerd wordt, zal daarom met deze terugkoppelingseffecten rekening moeten houden. Dit is gedaan door de gemiddelden te nemen van de werkelijk geadviseerde en uitgevoerde bemesting. Hiervoor is gebruik gemaakt van een database van het Blgg (G. van der Lugt, pers. communicatie) en metingen op bedrijven (Voogt *et al.*, 1999, Voogt *et al.*, 2000b, Voogt *et al.*, 2002). Uit de toepassing van deze bepalingwijze volgt dat bij klei en venige kleigronden gemiddeld een hogere dosering wordt geadviseerd dan bij zandgronden (Tabel 4).

Tabel 4. *Berekende genormaliseerde evapotranspiratie per bedrijfstype, de bijbehorende beregeningshoeveelheden, de concentratie stikstof volgens Advies in het beregeningswater en de N-aanvoer in kg N/ha (inclusief N met organisch materiaal).*

Bedrijfstype	Evapotranspiratie	Beregeningshoeveelheid	Concentratie ¹	N-aanvoer ²
	(mm jr ⁻¹)	(mm jr ⁻¹)	(mmol L ⁻¹)	kg N/ha
1	966	1437	8	1709
2	836	1244	8	1493
3	721	1073	8	1301
4	966	1249	8	1499
5	836	1082	8	1311
6	721	933	8	1145
7	966	889	11	1368
8	836	769	11	1184
9	721	663	11	1022
10	966	1199	9,5	1670
11	836	1038	9,5	1456
12	721	895	9,5	1266

¹ *De concentratie in het beregeningswater is conform de uitwerking van de Bemestings Adviesbasis Grond (Van den Bos et al., 1999).*

² *Aangenomen is dat de jaarlijkse aanvoer van N in de vorm van organisch materiaal op de zand- (1-6), veen- (7-9) en kleibedrijven (10-12) respectievelijk 100 kg N, 0 kg N en 75 kg N/ha is.*

De berekende beregeningshoeveelheden en de bijbehorende aanvoer van stikstof worden in het volgende hoofdstuk als de hoeveelheden van het basisscenario beschouwd.

3. Methodiek voor het opstellen van gebruiksnormen

3.1 Het bodemoverschot

Om uitspraken te kunnen doen over de samenstelling van het grond- en oppervlaktewater is inzicht nodig in het bodemoverschot. Het bodemoverschot is de hoeveelheid stikstof of fosfaat die uiteindelijk zijn weg zal vinden naar het oppervlaktewater of het grondwater.

Voor het bepalen van het bodemoverschot wordt als basis de berekeningswijze aangehouden zoals deze gepresenteerd is door Schröder *et al.* (2004). Hierbij wordt het N-bodemoverschot berekend door de N-afvoerposten af te trekken van de N-aanvoerposten. Een voorbeeld van de verschillende aan- en afvoerposten van de berekeningswijze staan in Tabel 5 en worden beoordeeld op deugdelijkheid voor het berekenen van het N-bodemoverschot van grondteelten onder glas.

Evenals de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG) voor de open teelten richt de WOG voor de glastuinbouw zich op de lange termijn, zodat ook voor de glastuinbouw van het concept van een ruimtelijk en temporeel evenwicht is uitgegaan. Echter, omdat het in de glastuinbouw vaker dan in de open teelten om monoculturen in ruimte en tijd gaat, wordt een aanpak per gewas gehanteerd. De tijdseenheid voor de berekening van het bodemoverschot blijft per jaar (1 januari - 31 december), ondanks dat teelten vaak over de jaarwisseling heen gaan.

Er wordt vanuit gegaan dat de hoeveelheid stikstof die mineraliseert in een bepaald jaar n vanuit inputs in eerdere jaren ($<n$; gewasresten, compost, organische meststoffen e.d.) in evenwicht is met de hoeveelheid N die in datzelfde jaar n geïnvesteerd wordt in gewasresten, c.q. humus via de N_r^1 fractie van organische meststoffen, compost, etc. om daarmee de levering in latere jaren ($>n$) veilig te stellen. Op de balans kunnen deze hoeveelheden expliciet zichtbaar gemaakt worden maar ze hoeven niet gekwantificeerd te worden voor het bepalen van het bodemoverschot. In de praktijk betekent dit dat de jaarlijkse hoeveelheid N die mineraliseert vanuit de bodem niet meetelt met het bodemoverschot maar dat de (incidentele) totale aanvoer van N in de vorm van stalmest, compost, perspotten e.d. wel volledig meetelt voor het bodemoverschot.

In de veronderstelde evenwichtssituatie wordt dus aangenomen dat de (gemiddelde) jaarlijkse aanvoer van organische N in de vorm van gewasresten en organische producten gelijk is aan de jaarlijkse afbraak van de organische stof in de bodem.

Depositie van stikstof is niet opgenomen als aanvoerpost bij de berekening van het N-bodemoverschot voor de glastuinbouw. Het dak van de kas verhindert dat de depositie op de grond komt. Als het regenwater, met daarin de depositie, opgevangen wordt in een waterbassin, dan wordt bij het bijmesten om een gewenste concentratie te krijgen, automatisch rekening gehouden met de stikstofconcentratie van het bassinwater. Dit geldt ook voor de N in andere gietwaterbronnen (oppervlaktewater of bronwater). In deze studie zijn geen bedrijven beschouwd met hergebruik van drainagewater (zie 1.2). Uiteraard kan door hergebruik van drainagewater de N-concentratie van het gietwater verhoogd zijn. Maar de bemesting wordt dan eveneens aangepast. Om die reden worden depositie, N in gietwater en N in hergebruikt drainagewater niet meegerekend, maar verondersteld te zijn verrekend met de aanvoer via bemesting. **Men moet zich realiseren dat bij hergebruik van drainagewater het N-bodemoverschot niet gelijk is aan de emissie aan N.**

¹ De N_r fractie van organische materialen is het moeilijk mineraliseerbaar (resistant) gedeelte van de totale N-inhoud (niet binnen het eerste jaar na toediening).

Tabel 5. N-bodemoverschot (kg N per ha per jaar) in jaar n (start = 1 januari van jaar n, einde = 31 december van jaar n) voor de WOG-glastuinbouw op basis van het schema zoals gebruikt in WOG-open teelten met een willekeurig getallenvoorbeeld, naar Schröder et al. (2004).

		Compleet (bruto)	Gecorrigeerd voor kruisposten (netto)
Aanvoer:	N _{min} aanvang jaar n	125	
	Nalevering vanuit inputs gegeven in eerdere jaren (<n)		
	organische mest ¹	25	
	gewasrest ²	50	
	overige organische meststoffen w.o. compost, perspotten, etc.	9	
	Organische mest, jr n	100	100
	dierlijke mest		
	overige organische meststoffen w.o. compost, perspotten, dekstro, etc.	70	70
	Gietwater		
	kasdek	25	
	aanvullend oppervlaktewater	25	
	drainagewater, via hergebruik	180	
	Kunstmest	890	
	Bemesting ³		1120
	TOTAAL	1499	1290
Afvoer:			
	Gewas (daadwerkelijke afvoer), jr n	'opbrengst x gehalte'	850
	N _{min} aanvang jaar n+1	125	
	Vastgelegd/vastgehouden in jr n ten behoeve van latere jaren		
	dierlijke mest ²	25	
	gewasresten ³	50	
	overige organische meststoffen w.o. compost, perspotten, dekstro, etc.	9	
	Denitrificatie	150	150
Aanvoer- Afvoer	N-bodemoverschot, jr n	290	290
	Waarvan:		
	drainagewater ⁴	250	250
	wegzijging	40	40

¹ Nawerking van mest in jaar n die in jaren n-1 en eerder gegeven is en (in evenwichtssituatie) aan de overschotkant van de balans in humus vastligt.

² Bijvoorbeeld levering uit oude gewasresten met daartegenover (in evenwichtssituatie) aan de overschotkant van de balans vastlegging in nieuwe gewasresten.

³ Onder bemesting wordt hier de aanvoer van stikstof met het beregeningswater verstaan, zoals stikstof uit bronwater, oppervlaktewater, regenwater en het eventueel hergebruik van drainagewater.

⁴ Van dit drainagewater wordt in dit voorbeeld 180 kg hergebruikt als gietwater.

3.1.1 N_{min} aanvang jaar

In navolging van Schröder *et al.* (2004) komt de N_{min}-voorraad bij het jaarbegin voor aan beide zijden van de balans en behoeft voor de berekening van het N-bodemoverschot geen becijfering. Anders dan in de open teelten heeft de N_{min} bij aanvang van de teelt geen betekenis bij het berekenen van de relatie tussen bemesting en opbrengst noch bij het afleiden van adviesgiften voor de bemesting. De Adviesbasis Bemesting Grond verlaagt de adviesgift niet als er sprake is van een hoge N_{min} bij aanvang van de teelt, zoals dat bij de open teelten gebruikelijk is (Van Dijk, 2003).

3.1.2 Mineralisatie van N uit veengronden

De categorie veengronden, waarmee de WOG rekening houdt bij de berekening van het N-bodemoverschot en waarbij rekening gehouden wordt met afbraak van het moedermateriaal, komen in glastuinbouw nauwelijks voor. In het kader van de vereenvoudiging wordt er daarom geen rekening met deze categorie gehouden

3.1.3 Nalevering vanuit / vastlegging van N in gewasresten en organische producten

In de glastuinbouw wordt niet jaarlijks een bemesting met organische stof uitgevoerd; ook is de hoeveelheid materiaal uit gewasresten veelal beperkt of volledig afwezig. Op zand- en kleigronden is het wel gebruikelijk dat er eenmaal per 3-4 jaar een bemesting met organisch materiaal, voor bodemverbetering, wordt uitgevoerd. Door mineralisatie stijgt de N-concentratie in de bodem en via de al genoemde terugkoppeling op het bemestingsadvies leidt dit dan tot een lagere N-aanvoer. In de praktijk betekent dit dus dat de netto mineralisatie gecompenseerd wordt door een lagere kunstmestgift. Een regelmatige (ook als dit bijvoorbeeld om de 4 jaar gebeurt) aanvoer zal uiteindelijk leiden tot evenwichtsituaties waarbij een groot gedeelte van de gemiddelde jaarlijkse totale N-aanvoer via organisch materiaal ook inderdaad jaarlijks mineraliseert. Bij een goed werkende terugkoppeling zal dit de aanvoer van kunstmest N via het gietwater reduceren; in dat geval zal de totale hoeveelheid werkzame N gelijk blijven.

3.1.4 Aanvoer N met kunstmest

De bouwvoor wordt conform de Bemestings Adviesbasis Grond (Van den Bos *et al.*, 1999) op een gewenste concentratie stikstof gehouden. De totale stikstofaanvoer hangt daardoor sterk samen met de beregeningshoeveelheid. De beregeningshoeveelheid heeft eveneens een grote invloed op het neerslagoverschot. Voor het vaststellen van de aanvoer van kunstmest-N is uitgegaan van de beregeningshoeveelheden welke in de praktijk gangbaar zijn. Hiervoor is een aantal bronnen geraadpleegd met data op het gebied van de watergift bij chrysant (Anonymous, 2003; Korsten, 1998; Voogt, 2003; Voogt & Houter, 2003; Voogt *et al.*, 2000b; Voogt *et al.*, 2003; Voogt *et al.*, 1999; Voogt & Van Winkel, 2004). De totale hoeveelheden met het beregeningswater aangevoerde N zijn berekend als de hoeveelheid beregeningswater vermenigvuldigd met de concentraties die voortvloeien uit toepassing van de Bemestings Adviesbasis Grond (Tabel 4).

3.1.5 Afvoer N met gewas

De gewasafvoer is berekend uit meetgegevens die zijn verzameld bij diverse onderzoeken waarbij mineralenbalansen zijn opgesteld (Korsten, 1998; Voogt *et al.*, 2002; Voogt *et al.*, 2000b; Voogt *et al.*, 2003; Voogt *et al.*, 1999; Voogt & Van Winkel, 2004). In een aantal gevallen zijn dit balansen die jaarrond zijn verzameld. In andere gevallen zijn deze van individuele jaren afkomstig maar zijn dan telkens geëxtrapoleerd naar een jaar. In alle gevallen is het berekend als de netto afvoer van het geogste product dat uit de kas verwijderd wordt. De waarden voor chrysant zijn weergegeven in Tabel 6. De basisgegevens voor deze tabel staan in Bijlage III; daarin valt op dat de afronding van stikstof voor bedrijfstypen 3, 6 en 9 behoorlijk afwijkt van de gemeten gegevens. De gemeten

gegevens behorende bij deze bedrijfstypen zijn relatief oud (1994-1998). Bij de afronding van de afvoercijfers zoals in Tabel 6 is rekening gehouden met een productiestijging anno 2005.

Tabel 6. *Aangenomen netto N- en P-afvoer voor de verschillende bedrijfstypen.*

Bedrijfstype	Kastype	Assimilatiebelichting	Grondsoort	Ontwatering	N-afvoer (kg ha ⁻¹ jr ⁻¹)	P-afvoer ¹ (kg ha ⁻¹ jr ⁻¹)
1	nieuw	ja	zandgrond	diep grondwater	1000	110
2	oud	ja	zandgrond	diep grondwater	900	95
3	oud	nee	zandgrond	diep grondwater	750	80
4	nieuw	ja	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	1000	110
5	oud	ja	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	900	95
6	oud	nee	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	750	80
7	nieuw	ja	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	1000	110
8	oud	ja	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	900	95
9	oud	nee	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	750	80
10	nieuw	ja	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	1000	110
11	oud	ja	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	900	95
12	oud	nee	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	750	80

¹ Afvoercijfers bij een normale P-toestand in de bodem.

3.1.6 Denitrificatie

Denitrificatie in de WOG en in de WOGG

De benadering van uitspoeling van stikstof van de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG) (Schröder *et al.*, 2004) is gebaseerd op een statistische analyse van een groot aantal meetgegevens uit het landelijk mest meetnet (LMM). Daarvoor waren gegevens noodzakelijk over nitraatgehaltes van het grondwater en het stikstofoverschot, in combinatie met grondgebruik, grondwatertrap (Gt) en neerslagoverschot. Met behulp van regressie-vergelijkingen is een relatie gelegd tussen het gehalte aan nitraat in het grondwater en het stikstofoverschot van bedrijven uit LMM. Uit die relatie is per type landgebruik, grondsoort, Gt en neerslagoverschot de fractie van het stikstofoverschot die blootstaat aan risico op uitspoeling aangegeven. Min of meer als vanzelfsprekend wordt aangenomen dat de rest van het overschot verdwijnt door denitrificatie, maar dat wordt niet echt aangetoond. De teelt onder glas maakt geen deel uit van het LMM. Daarom kan de relatie die voor de open teelten geldt niet zonder meer worden toegepast in de bedekte teelten. Bovendien kan door het gebruik van onderbemaling de WOG-benadering niet rechtstreeks voor de bedekte teelt worden gebruikt.

De hierboven benoemde bedenkingen hebben geleid tot een eenvoudige benadering om denitrificatie te schatten. Omdat de actuele hoeveelheid stikstof die denitrificeert afhangt van enerzijds de hoeveelheid stikstof die aanwezig is en anderzijds het vochtgehalte van de bodem, wordt de denitrificatie voor verschillende beregeningsstrategieën bepaald.

Bepaling van denitrificatieverliezen m.b.v. reductiefuncties

De methode van Hénault & Germon (2000) gaat uit van een maximale denitrificatie onder optimale omstandigheden (de potentiële denitrificatie) voor een bepaalde grondsoort. De actuele denitrificatie wordt daaruit afgeleid met behulp van een aantal reducerende factoren op basis van de actuele nitraatgehaltes, vochtgehalten en temperatuur.

Het vochtgehalte is in feite een maat voor het zuurstofgehalte, de werkelijk sturende parameter. Aangezien in de meeste gronden de aanvoer van zuurstof wordt bepaald door het vochtgehalte, wordt in plaats van het zuurstofgehalte, het vochtgehalte gebruikt als reducerende factor.

De methode van Hénault & Germon (2000) is aangepast voor de Nederlandse situaties door Heinen (2003; 2005a; 2005b) en Heinen *et al.* (2005), die de actuele denitrificatie afleidde uit de potentiële denitrificatie volgens:

$$D_a = D_p f_N f_S f_T \quad (1)$$

waarin

D_a	actuele denitrificatie	kg N ha ⁻¹ d ⁻¹
D_p	potentiële denitrificatie	kg N ha ⁻¹ d ⁻¹
f_N	reductiefunctie voor nitraatgehalte	dimensieloos
f_S	reductiefunctie voor water-verzadigingsgraad	dimensieloos
f_T	reductiefunctie voor temperatuur	dimensieloos

De potentiële denitrificatie D_p is de denitrificatie die wordt gemeten indien de omstandigheden in de bodem ideaal zijn voor denitrificatie. Dat is wanneer er een overmaat aan nitraat-N is, wanneer het systeem anaëroob is, wat overeenkomt met volledige waterverzadiging, en bij een referentietemperatuur T_{ref} . In die situatie zijn alle drie de reductiefuncties gelijk aan 1. In alle andere gevallen zijn de reductiefuncties kleiner dan 1².

Naarmate minder nitraat in de bodem aanwezig is wordt f_N kleiner; naarmate de bodem minder met water verzadigd is wordt f_S kleiner en naarmate de temperatuur lager is wordt f_T kleiner. Zie Bijlage I voor meer details.

Om vanuit de potentiële denitrificatie de actuele denitrificatie te berekenen zijn dagelijks de reductiefuncties berekend op basis van de temperatuur, de verzadigingsgraad en het nitraatgehalte in de bodem. Bijlage I laat zien dat de reductiefuncties slechts met een grote mate van onzekerheid geschat kunnen worden; dit geldt met name voor de f_S reductiefunctie. De hiervoor benodigde parameters vertoonden bij metingen een grote spreiding. Daarom zijn de berekeningen uitgevoerd voor een tweetal situaties waarbij de uiterste waarden van de parameters genomen zijn:

$f_{S\text{ hoog}}$ hierbij zijn uiterste waarden van de parameters gebruikt die leiden tot een hoge denitrificatie

$f_{S\text{ laag}}$ idem, maar nu resulterend in een lage denitrificatie

De parameter die nodig was voor de temperatuurreductiefunctie vertoonde minder variatie, terwijl de parameter voor de schatting van f_N weliswaar grote spreiding vertoonde maar relatief weinig van invloed was op de denitrificatie (Heinen, 2005a; 2005b; Heinen *et al.*, 2005). Het College van Deskundigen ging bij het bepalen van de GlaMi-normen uit van verschillende temperatuurregimes voor bloemisterijgewassen 10-14, 14-16 en 18-20 °C (etmaal). In dit rapport wordt voor chrysanten aangenomen dat de temperatuur gereguleerd wordt op 18 °C. 's Zomers kan de temperatuur in de kas oplopen tot waarden van 28 °C. De bodemtemperatuur fluctueert veel minder dan de luchttemperatuur en wordt constant verondersteld op 20 °C (ongepubliceerde gegevens W. Voogt, PPO, 2005).

Tevens dient opgemerkt te worden dat bij de parameterschattingen de gegevens voor een veengrond gebruikt zijn en dat er geen gegevens voorhanden zijn voor een venige kleigrond. De gepresenteerde denitrificatie voor bedrijfstype 7 t/m 9 (venige kleigrond) zal hierdoor waarschijnlijk een overschatting zijn.

In overeenstemming met de systeemafbakening (zie paragraaf 1.2) zijn de volgende bodemlagen onderscheiden:

- I 0,0-0,25 m
- II 0,25-0,60 m
- III 0,60-grondwaterstand (meestal 0,90 m).

² Behalve f_T welke ook groter dan 1 kan worden indien $T > T_{ref}$

De potentiële denitrificatie D_p

Een bepaling van D_p in chrysantenteelt afkomstig van een biologisch bedrijf op een humusarme zandgrond bedroeg gemiddeld $7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ voor laag I en $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ voor laag II.

D_p profielen nemen over het algemeen af met de diepte doordat het organische-stofgehalte afneemt. De hoge D_p voor veengronden worden veroorzaakt door de hoge fractie gemakkelijk afbreekbare organische stof in veengronden en is een algemeen voorkomend verschijnsel.

Wijze van berekenen

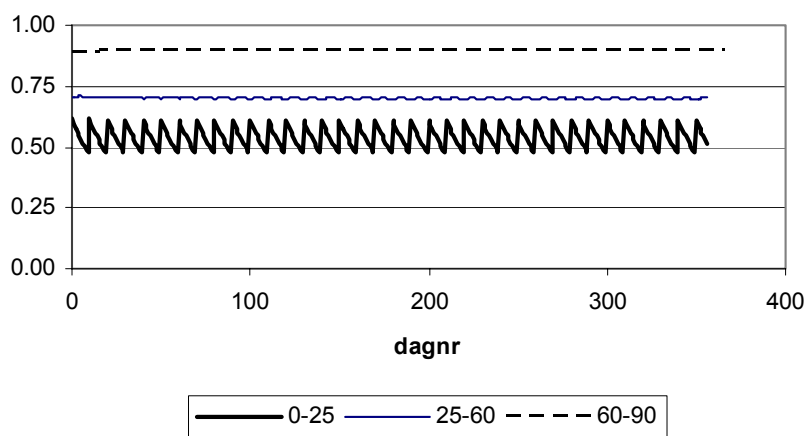
Voor de berekening van de denitrificatie is een zeer eenvoudige benadering gekozen. De temperatuur wordt overal op $20 \text{ }^\circ\text{C}$ verondersteld, waardoor de reductiefactor voor temperatuur 1 bedraagt.

De vochtverzadiging hangt samen met de watergift: hoe hoger de gift, hoe hoger de vochtverzadiging. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de grondsoorten. De vochtverzadiging bij de verschillende giften staat weergegeven in Tabel 7.

In de berekening wordt elke 10 dagen (3 dagen bij een hoge beregeningsintensiteit) water en daarmee gelijktijdig ook stikstof toegevoegd aan laag I. De hoeveelheid vocht en stikstof resulteert direct in een even groot vochtoverschot, waarin een hoeveelheid stikstof zit die gelijk is aan het stikstofoverschot gedeeld door het aantal giften per jaar. Afhankelijk van deze toediening van vocht en stikstof wordt de snelheid waarmee het vocht uit laag 1 naar laag 2 zakt, zodanig ingesteld dat het vochtgehalte in laag 1 constant blijft als een zaagtandspanning en slingert om de ingestelde waarde voor het gewenste vochtgehalte. Hetzelfde gebeurt met het vocht in de lagen 2 en 3, alleen is daar de amplitude van de vochtverzadiging veel lager dan in laag 1 doordat er nu niet om de tien dagen water wordt aangevoerd, maar elke dag. Bovendien wordt er ook dagelijks water afgevoerd. Een voorbeeld van de dynamiek van het vochtgehalte is weergegeven in Figuur 2.

Bij het constante vochtgehalte stelt zich een evenwicht in van het nitraatgehalte van elke laag. Het niveau van dat evenwicht is afhankelijk van de snelheid waarmee stikstof wordt aangevoerd en de denitrificatiesnelheid. Voor elke situatie is de denitrificatie berekend bij deze evenwichtssituatie. In de bovenste laag slingert de nitraatconcentratie om de evenwichtconcentratie, in de lagen daaronder is de amplitude van het concentratieverschil veel lager, vergelijkbaar met die van het vochtgehalte.

Berekeningen werden uitgevoerd op dagbasis en de som van de dagelijkse denitrificatie van alle lagen is vervolgens gesommeerd over het gehele jaar. De denitrificatie is uitgedrukt in $\text{kg N per ha per jaar}$, voor een vochtige grond.



Figuur 2. Voorbeeld van de dynamiek van de fractie verzadiging met vocht gedurende het jaar in de drie bodemlagen voor watergiften conform de praktijk.

Rekenscenario's voor denitrificatie

In deze studie wordt voor een aantal situaties de actuele denitrificatie berekend. Het aantal situaties is om praktische redenen beperkt gehouden, waarbij voor 3 grondsoorten (zand, klei en veen) gekozen is en bij zandgrond de situatie met zowel diep grondwater als onderbemaling tot op 0,85 m meegenomen is. Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn voor venige klei is hier de denitrificatie berekend voor veengrond. De denitrificatie zal hierdoor waarschijnlijk overschat worden. De vochtreductiefunctie f_s is vanuit de gevoeligste reductiefunctie (Heinen, 2003), d.w.z. een relatief kleine verandering in de vochttoestand heeft een relatief grote verandering in de actuele denitrificatie tot gevolg. De berekeningen zijn ook voor een lagere beregeningshoeveelheid uitgevoerd omdat een aanscherping van de aanvoer van stikstof door middel van het verminderen van de beregeningshoeveelheid een groot effect heeft op de hoeveelheid stikstof die denitrificeert. De resultaten van deze berekeningen worden besproken in paragraaf 4.2.1. De situaties, behorende bij de berekeningen voor het bodemoverschot bij de Bemestings Adviesbasis Grond staan in Tabel 7.

Bij Tabel 7 dient opgemerkt te worden dat het een grove versimpeling van een zeer variabel systeem betreft. Bij alle variabelen in Bijlage I komt grote spreiding voor; in bepalingen van D_p is een variatiecoëfficiënt (CV) > 2 niet ongebruikelijk. Postma (1996) rapporteert potentiële denitrificatiesnelheden van gemiddeld 20 kg N ha⁻¹ dag⁻¹ in de laag 0-80 cm.

Door de gevolgde benadering worden er voor elke variant twee denitrificatiegetallen berekend door met een lage en een hoge waarde voor de f_s te rekenen en die als range kunnen worden gezien voor de hier gehanteerde omstandigheden.

Tabel 7. Invoerdata voor potentiële denitrificatie D_p en verzadigingsgraad S voor de denitrificatieberekeningen voor de drie bodemlagen (I, II, III).

Bedrijfstype	Grondsoort	Ontwatering	D_p^1 (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)			Vocht $_p^1$ S (verzadigingsgraad)		
			I	II	III	I	II	III
1 t/m 3	zand	diep grondwater	11	4	0,2	0,6	0,6	0,8
4 t/m 6	zand	onderbemaling, 0,85 m	11	4	0,2	0,7	0,8	0,9
7 t/m 9	Veen	onderbemaling, 0,85 m	100	20	1	0,7	0,8	0,95
10 t/m 12	klei	onderbemaling, 0,85 m	20	4	0,1	0,7	0,8	0,9

¹ Onvoldoende gegevens om een range te berekenen.

De invoergegevens met betrekking tot de beregeningshoeveelheden en de bijbehorende stikstofgiften staan in Tabel 4. Daarbij is nog onderscheid gemaakt tussen kasttype en of er gebruik wordt gemaakt van assimilatiebelichting. Vooruitlopend op de resultaten bleek dat er weinig verschillen waren tussen oude en nieuwe kassen en kassen met of zonder assimilatiebelichting binnen een grondsoort en ontwateringdiepte. Daarom is dit onderscheid niet verder meegenomen in de resultaten.

3.17 Effect van stomen

Bij grondteelten in de kas wordt de bodem jaarlijks gestoomd (sterilisatie). Dit kan grote invloed hebben op de bodemkundige processen zoals de denitrificatie-activiteit indien de microbiële populatie sterk wordt aangetast. Uit de bodemsanering is echter bekend dat binnen afzienbare tijd (\pm 2 weken) na het stomen van grond (thermische voorbehandeling) de microbiële populatie weer op haar oude niveau is (Richardson *et al.*, 2002). Het is echter onbekend of resultaten uit de bodemsanering geëxtrapoleerd kunnen worden naar een kasmilieu. In ongepubliceerde gegevens van Heinen (2005) werd gevonden dat stoomsterilisatie in de glastuinbouw geen duidelijk effect had op de

NO₃-concentraties in het bodemvocht. Dit hoeft echter niet persé te betekenen dat stoomsterilisatie geen effect heeft op denitrificeerders.

Postma (1996) en Sonneveld (1969) concludeerden dat via gasvormige emissie aanzienlijke hoeveelheden stikstof verloren kunnen gaan tijdens en vlak na het stomen van de grond. Omdat er geen gegevens zijn over het effect van stoomsterilisatie op denitrificeerders en/of denitrificatie is het effect hier niet meegenomen. Het is op dit moment onbekend wat het netto effect is van stomen op de N-huishouding. Afgaande op de metingen (Postma, 1996; Sonneveld, 1969) zal het stomen eerder leiden tot een onderschatting dan een overschatting van de werkelijke denitrificatie-verliezen in de glastuinbouw.

3.2 Van N-bodemoverschot naar milieukwaliteit

De milieukwaliteit wordt in dit rapport beoordeeld aan de hand van de Nitraatrichtlijn met een doorkijk naar de kaderrichtlijn water. Daarbij wordt een maximale nitraatconcentratie van 50 mg per liter nagestreefd (11,3 mg nitraat-N L⁻¹).

In dit rapport wordt de belasting van stikstof in kg N ha⁻¹ tot aan de drain berekend. Tevens wordt een beregeningsoverschot berekend. Daarmee is de concentratie stikstof in het neerslagoverschot te berekenen. Door de complexe waterhuishouding van de glastuinbouw kan echter geen uitspraak gedaan worden of dit de concentratie is die zal uitspoelen of wel in de drain terecht zal komen, temeer daar er in situaties met ondiep grondwater en dus onderbemalingsystemen sprake is van hergebruik van drainagewater. Feitelijk wordt uit het grondwater het bodemoverschot geheel of gedeeltelijk weer teruggewonnen en is de N-vracht die daadwerkelijk in het grondwater terecht komt aanzienlijk lager dan het bodemoverschot zou doen vermoeden. Uit mineralenbalansstudies op enkele bedrijven bleek dat er van het bodemoverschot 30-60% weer herbenut kan worden via het gietwater.

3.3 Berekening van het P-bodemoverschot

Alle cijfers en berekeningen in deze paragraaf hebben betrekking op fosfor (P). Het P-bodemoverschot wordt berekend uit de aanvoer met organische producten en overige aanvoerposten en de afvoer met het geoogste product. In deze studie wordt ervan uitgegaan dat de P-toestand van de bodem normaal is.

3.3.1 Aanvoer van P met organische producten

In navolging van de WOG open teelten (Schröder *et al.*, 2004) wordt uitgegaan van een specifieke verhouding tussen N en P. De gehanteerde N/P-verhouding in dit rapport voor compost is 4,0. De aanvoer van P wordt bij een aanvoer van 100 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ gesteld op 25 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (zandgrond) en bij een aanvoer van 75 kg N op ha⁻¹ jr⁻¹ op 18 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (kleigrond). Er wordt een verwaarloosbaar kleine hoeveelheid P aangevoerd met het plantmateriaal.

3.3.2 Aanvoer van P met het gietwater

In regenwater is de bijdrage van P verwaarloosbaar. Bij gebruik van oppervlaktewater is er sprake van een geringe hoeveelheid, in de orde van grootte van 10-15 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ (Voogt & Korsten, 1996). De hoeveelheden zijn echter zo gering dat ze niet meegenomen worden bij de berekening van het P-bodemoverschot.

3.3.3 Aanvoer van P met kunstmest

De P-bemesting is gebaseerd op het instandhouden van een voldoende hoog P-niveau in de bodem voor optimale gewasgroei. De P-bemesting in de Bemestings Adviesbasis Grond is niet gewasspecifiek, hangt niet van de berekening af en wordt voorafgaande aan de teelt als een voorraadbemesting toegediend.

Voor het bepalen van de P-bemesting wordt gebruik gemaakt van de Bemestings Adviesbasis Grond (Van den Bos *et al.*, 1999). Het Advies is gebaseerd op één of twee bodemkundige bepalingen voorafgaande aan de teelt: P-AI (mg/100 g grond) of P-AI en P_w (mg/L grond) Deze dienen iedere 4 jaar bepaald te worden. Afhankelijk van de waardering van de uitkomsten wordt een bemesting uitgevoerd (Tabel 8). Bij de waardering normaal voor P-AI (41 - 121) wordt een onderhoudsbemesting van 50 kg P ha⁻¹ gegeven, tenzij de P_w hoger is dan 0,10: dan is er geen P-bemesting nodig. Als P-AI hoger is dan 121 is bij geen enkele P_w een P-bemesting nodig. Bij lagere P-AI (<41) wordt de adviesgift hoger, tot 400 kg P ha⁻¹ bij zeer lage P_w (Tabel 8). Indien geen P-AI cijfer bekend is, maar toch een advies gegeven moet worden voor de voorraadbemesting, dan is het schema in Tabel 9 te gebruiken (Van den Bos *et al.*, 1999).

Er is geen adviessysteem in de Adviesbasis voor een bijbemesting van P tijdens de teelt.

Tabel 8. Schema voor het vaststellen van de fosforgift, uitgedrukt in kg P ha⁻¹ bij de gegeven P-AI en P-watercijfers (1:2) (overgenomen van Van den Bos *et al.*, 1999).

P_w (1:2)	P-AI				
	0-20	21-40	41-80	81-120	>121
<0,05	400 ¹	300	200	100	0
0,06-0,10	300	200	100	50	0
0,11-0,15	** ²	100	50	0	0
0,16-0,20	**	50	0	0	0
>0,20	**	0	0	0	0

¹ Na twee jaar een nieuw basisonderzoek laten uitvoeren voor een juiste bepaling van het P-AI-cijfer.

² Combinatie is zeer onwaarschijnlijk.

Tabel 9. Schema voor het vaststellen van de fosforgift, uitgedrukt in kg P ha⁻¹ indien alleen een P_w bekend is (overgenomen van Van den Bos *et al.*, 1999).

P_w (1:2)	P-gift (kg ha ⁻¹)
<0,05	200
0,05-0,10	100
>0,10	0

3.3.4 Afvoer van P met gewas

De afvoer van P met het gewas varieert van 80 tot 110 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 6). Deze afvoer is, evenals de afvoer van N, proportioneel met de gewasproductie. In Bijlage III wordt een overzicht gegeven van de herkomst van de gegevens. Ook hier is, net als bij de afvoer van N met het gewas, onderscheid gemaakt tussen kastype en wel of geen assimilatiebelichting.

3.4 Aannames

De volgende aannames zijn gemaakt om de studie te kunnen uitvoeren.

Waterhuishouding in de bodem:

- Er treedt geen inzijging op vanuit het hoger staande grondwaterpeil.
- Er treedt geen kwel op uit de ondergrond.
- Er vindt geen aanvoer van nutriënten plaats vanuit oppervlakte- of grondwater (schone omgeving).

Nutriëntenaanvoer:

- Alle kunstmeststikstof wordt via het beregeningswater toegediend.
- De eventuele stikstof in het beregeningswater wordt beschouwd als te zijn inbegrepen in de kunstmestgift.
- De normen zijn gebaseerd op teeltsystemen en management anno 2003.

Nutriëntenconcentratie in de teeltlaag:

- De concentratie stikstof in de teeltlaag is min of meer constant verondersteld voor de berekening van de denitrificatie.

Teeltsituatie:

- Er is over het gehele teeltoppervlak sprake van een continue, d.w.z. jaarrond, teelt. Voor chrysant betekent dit 4,5 teelten per jaar (oude kas, geen belichting) tot 5,3 teelt per jaar (nieuwe kas, met belichting).
- De productie is voor het betreffende bedrijfstype optimaal.
- Verschillen tussen cultivars worden buiten beschouwing gelaten.

Berekeningswijze N-bodemoverschot:

- Het systeem is stabiel, d.w.z. de afbraak van organische stof is gelijk aan de aanvoer met vers organisch materiaal. Derhalve is er geen netto verlies van organische stof of van stikstof uit de organische stof.
- Effecten van stomen op het N-bodemoverschot zijn niet meegenomen.
- Het bodemoverschot en de emissies worden uitgedrukt in kg N per ha bruto geteeld oppervlak (inclusief rijpaden e.d., excl. ketelhuis); het bedrijfsoppervlak bestaande uit verharding e.d. wordt niet betrokken in de berekeningen.

Berekeningswijze P-bodemoverschot:

- Voor de berekening van het P-bodemoverschot gelden dezelfde aannames als bij de berekening van het N-bodemoverschot.
- De P-toestand wordt als normaal aangenomen. Dit betekent dat er alleen een onderhoudsbemesting plaatsvindt en geen reparatiebemesting zoals nodig is bij lage P-toestanden.

4. Resultaten chrysant

4.1. Het tuinbouwkundig optimale bemestingsadvies (basisscenario)

4.1.1 Aanvoer van stikstof

De aanvoer van stikstof (kunstmest + N uit organische producten) varieert van ruim 1000 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ tot ruim 1700 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, afhankelijk van het bedrijfstype (Tabel 10). Daarbij moet bedacht worden dat het om 4,5-5,5 teelten chrysant per jaar gaat. De afvoer van stikstof met het geogste product varieert van 750 tot 1000 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 6).

Tabel 10. *Berekende stikstofaanvoer per bedrijfstype.*

Bedrijfstype	Grondsoort	Type ontwatering	Type kas	Assimilatiebelichting	N-aanvoer (kg ha ⁻¹ jr ⁻¹) ¹
1	zand	diep grondwater	nieuw	ja	1709
2	zand	diep grondwater	oud	ja	1493
3	zand	diep grondwater	oud	nee	1301
4	zand	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja	1499
5	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja	1311
6	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee	1145
7	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja	1368
8	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja	1184
9	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee	1022
10	klei	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	ja	1670
11	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	ja	1456
12	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	nee	1266

¹ *Naanvoer is de aanvoer van stikstof met het beregeningswater plus organische producten.*

4.1.2 Denitrificatie

De verschillen in denitrificatie tussen oude en nieuwe kassen, en met of zonder assimilatiebelichting binnen een grondsoort en ontwateringdiepte waren erg gering. Daarom zijn de resultaten gemiddeld en samengevat in Tabel 11. De resultaten van alle situaties zijn weergegeven in Bijlage II.

De berekende denitrificatie in kg per ha en de gehalten in het grondwater zijn in dit rapport met een grote mate van onzekerheid omgeven en moeten als een eerste verkenning worden beschouwd. Ze zijn bovendien sterk afhankelijk van de hoogte van de beregeningshoeveelheid en het stikstofoverschot. Het belang van denitrificatie onder bepaalde omstandigheden kan zichtbaar gemaakt worden door het uit te drukken als fractie van het N-overschot. Wel moet met nadruk opgemerkt worden dat deze fractie van het overschot **niet** mag worden gebruikt om in andere situaties het aandeel denitrificatie uit het bodemoverschot te berekenen. **De fracties zijn onvergelijkbaar.**

De berekende denitrificatie loopt voor alle gronden sterk uiteen, afhankelijk van de opgelegde condities.

De jaarlijkse denitrificatie in zandgrond met onderbemaling kan liggen tussen ca. 121 en 303 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 11).

Afhankelijk van de instelling van de reductiefunctie voor de waterverzadiging zijn dit in verhouding tot het bodemoverschot aanzienlijke hoeveelheden.

In de zandgrond met een diepe ontwatering is de denitrificatie lager dan bij onderbemaling. Gemiddeld over alle situaties wordt 24 tot 295 N kg ha⁻¹ jr⁻¹ gedenitrificeerd, waarbij de meeste denitrificatie plaatsvindt in de bouwvoor, maximaal 55%. Het gevolg van de lagere denitrificatie bij diepe ontwatering (veroorzaakt door een lagere vochtverzadiging, zie Tabel 7), is een hoger stikstofgehalte in het water in de laag 0,60-0,90 m.

De lage denitrificatie bij kleigrond bij f_s laag is terug te voeren op de hoge waarde van 0,83 voor S_s (zie Tabel 21 in Bijlage I) in vergelijking met die van 0,33 voor bijvoorbeeld zand. Dit betekent dat pas bij een verzadigingsgraad van 83% bij kleigrond denitrificatie op gaat treden, bij zandgrond zal dit al bij 33% gebeuren.

Tabel 11. *Berekende denitrificatie (kg ha⁻¹ jr⁻¹) voor de bodemlaag van 0,90 m bij chrysant. f_s hoog en laag betekent een hoge, respectievelijk lage reductiefactor voor vocht (f_s).*

Bedrijfstype	Grondsoort	Ontwatering	Denitrificatie (kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹)	
			f_s laag	f_s hoog
1 t/m 3	zand	diep grondwater	24	295
4 t/m 6	zand	onderbemaling, 0,85 m	121	303
7 t/m 9	veen	onderbemaling, 0,85 m	146	308
10 t/m 12	klei	onderbemaling, 0,85 m	13	456

In veengronden ligt de denitrificatie range tussen de 146 en 308 kg ha⁻¹ jr⁻¹. In veengronden is echter altijd sprake van een negatief vochtoverschot met beregenen. Aannemelijk is dat het ontbrekende vocht aangevuld wordt door kwel en inzijging vanuit de aangrenzende sloot of dat er andere onzekerheden zijn in de berekening van het beregeningsoverschot waardoor dit negatief is. Door dit negatieve beregeningsoverschot spoelt er in de berekeningen geen stikstof uit, maar vindt er ophoping plaats in de laag 0-0,25 m in situaties waarin niet alles denitrificeert. In de kleigronden kan de denitrificatie uiteenlopen van 13 tot 456 kg N kg ha⁻¹ jr⁻¹, sterk afhankelijk van de vochtsituatie. In kleigronden zonder denitrificatie spoelt alle stikstof uit.

4.1.3 N-bodemoverschot

Het N-bodemoverschot varieert van -36 tot 685 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, afhankelijk van het bedrijfstype en de keuze van de parameterwaarden die de waarde van f_s (denitrificatie) bepalen (Tabel 12). Hierin is meegenomen dat er een aanvoer is van organisch gebonden stikstof (uit mest of compost) van 100 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ voor bedrijven op zand en 75 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ voor bedrijven op klei (zie Bijlage IV voor een volledige berekening). Het negatieve N-bodemoverschot voor bedrijfstypen 8 en 9 (veengrond) betekent dat deze bedrijven zouden interen op de hoeveelheid aanwezige organische stof. In principe is dit geen duurzaam systeem. Een bodemoverschot van 60 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ bij bedrijfstype 7 waarbij tevens een negatief beregeningsoverschot gerealiseerd wordt, betekent juist dat stikstof zich zal ophopen in de bodem. Immers, er is een overschot aan stikstof maar geen uitspoeling. Beide resultaten zijn niet waarschijnlijk en verdienen nadere aandacht.

Tabel 12. Beregeningsoverschot (mm jr^{-1}), denitrificatie ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$), bijbehorende N-bodemoverschot ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) en nitraatconcentraties (mg L^{-1}) in het percolaat tot aan de drain voor de verschillende bedrijfstypen bij het huidige bemestingsadvies. Grote voorzichtigheid is geboden bij de beoordeling van de concentraties.

Bedrijfs- type	Beregening	Beregeningsoverschot	Aanvoer	Denitrificatie		Bodemoverschot		Concentratie (mg L^{-1})	
	(mm jr^{-1})	(mm jr^{-1})	($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$)	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag
1	1437	471	1709	295	24	414	685	389	644
2	1244	408	1493	295	24	298	569	324	618
3	1073	352	1301	295	24	259	527	327	664
4	1249	284	1499	302	212	196	378	307	591
5	1082	246	1311	302	212	108	290	195	524
6	933	212	1145	302	212	92	274	192	572
7	889	-77	1368	308	146	60	222	- ¹	-
8	769	-67	1184	308	146	-24	138	-	-
9	663	-58	1022	308	146	-36	126	-	-
10	1199	234	1670	456	13	214	653	406	1238
11	1038	202	1456	456	13	100	539	219	1180
12	895	174	1266	456	13	60	499	152	1267

¹ Voor een negatief beregeningsoverschot (geen uitspoeling) kan geen nitraatconcentratie geformuleerd worden.

4.2 Aangescherpte gebruiksnormen

Er zijn verschillende opties om de stikstofbalans beter in evenwicht te krijgen en daarmee het N-bodemoverschot en de milieubelasting te verminderen. De aanvoer van stikstof met kunstmest kan gereduceerd worden door de berekening beter af te stemmen op de behoefte van het gewas bij gelijkblijvende N-concentraties in het beregeningswater. Daarvoor is een scenario (scenario 1) met een lagere beregeningshoeveelheid met dezelfde concentratie in het beregeningswater doorgerekend (Tabel 13). De totale aanvoer van stikstof met het beregeningswater neemt af door de verminderde beregening, maar door droger telen verandert ook de waterhuishouding bij de berekeningen van de denitrificatie. De berekening is berekend met de factoren uit Tabel 2 waarbij de 15% zekerheidsmarge achterwege gelaten is. De hoeveelheid stikstof die afgevoerd wordt met denitrificatie is bij deze andere vochttoestand van de bodem opnieuw doorgerekend. De afvoer met het geoogste product verandert niet bij een aangepaste beregeningshoeveelheid en aangepaste (verminderde) totale stikstofaanvoer.

Daarnaast is een scenario doorgerekend (scenario 2) waarbij de beregening uitgevoerd is als in scenario 1 en waarbij vervolgens is berekend hoe hoog de aanvoer van N uit mest dan nog mag zijn bij een N-bodemoverschot dat leidt tot een concentratie in het percolaat aan de drain van niet meer dan 50 mg nitraat L^{-1} .

Als laatste scenario (scenario 3) wordt het effect van een kleiner beregeningsoverschot op de concentratie van het percolaat aan de drain verkend: een kleiner beregeningsoverschot bij een gelijkblijvend N-bodemoverschot verhoogt de concentratie. Bij scenario 3 is het N-bodemoverschot gelijk aan het N-bodemoverschot bij scenario 2 maar de beregening wordt afgestemd op de evapotranspiratie + 10%. Dit betekent dat er geen rekening meer gehouden wordt met correctiefactoren voor de bepaling van de beregeningshoeveelheid voor grondsoort en ontwateringsituatie. Er is echter wel rekening gehouden met de ongelijkheid van het gietsysteem. Met de factor van 10% wordt aansluiting gezocht bij de modelberekeningen (Assinck & Heinen, 2001), waarbij geconcludeerd werd dat bij een variatiecoëfficiënt van 12% van het beregeningssysteem er geen vochttekorten voor de planten meer optreden. Hierbij moet opgemerkt dat de VC op zichzelf niet maatgevend is voor bepaling van een minimaal benodigde overirrigatie, omdat er binnen het bodemprofiel compensatie kan optreden door beworteling en waterverdeling.

Bij deze scenarioberekeningen is een aantal kanttekeningen te plaatsten. Als eerste moet bij de scenario's 1 en 2, en zeker bij 3, worden aangenomen dat de vochtvoorziening voor de teelt veilig gesteld kan worden door een optimaal watergeefstelsel en hulpmiddelen om de gewasvraag te berekenen en te controleren. In de tweede plaats wordt verondersteld dat bij een veranderende stikstofaanvoer de afvoer met geoogst product niet verandert. Ten derde hangt de denitrificatie af van het vochtgehalte (beregeningsstrategie) en de stikstofconcentratie in de bodem. De concentratie in de bodem hangt op zijn beurt af van de concentratie van het beregeningswater. Als de aanvoer van stikstof gelijk blijft maar de berekening verandert, is de concentratie van het beregeningswater anders en daarmee de concentratie in de bodem. De denitrificatie is niet specifiek voor alle scenario's uitgerekend. Alleen bij scenario 1 is dit wel gedaan. Voor de andere scenario's zal worden aangegeven of op grond van de veranderde beregeningsstrategie of bemestingsstrategie de denitrificatie onder- dan wel overschat wordt.

De in dit rapport opgenomen scenario's moeten beschouwd worden als een eerste verkenning.

Andere scenario's, waarmee de gestelde doelen bereikbaar worden, zijn denkbaar, bijvoorbeeld:

- het (nog) beter rekening houden bij de giften met het opnamepatroon van het gewas
- het aanhouden van een lagere veiligheidsmarge aan N in het bewortelbare profiel (buffer)
- het op voorhand rekening houden met de mineralisatie vanuit de bodem (inclusief opgebrachte organische materialen)
- rekening houden met de beginhoeveelheid N in het profiel
- rekening houden met de bewortelingsdiepte
- het nagaan of de (in de praktijk) gewenste concentratie van 2 mmol N/liter bodemvocht ook onder alle omstandigheden een streefwaarde moet zijn
- het ontwikkelen van watergeef/bemestingsstrategieën op basis van modellen
- het ontwikkelen van bemestingsstrategieën die optimaal rekening houden met recirculatie

Tabel 13. Overzicht van de scenario's.

Scenario	Beregeningshoeveelheid	Aanvoer
Basis	evapotranspiratie*correctiefactoren*veiligheidsmarge ¹	berekening*concentratie ² + N org. producten
1	evapotranspiratie*correctiefactoren	berekening*concentratie ² + N org. producten
2	evapotranspiratie*correctiefactoren	hoeveelheid voor behalen 50 mg l ⁻¹ ³
3	evapotranspiratie * 1.10	hoeveelheid van scenario 2

¹ Veiligheidsmarge is 1.15.

² Concentratie volgens de Bemestings Adviesbasis Grond (Van den Bos et al., 1999).

³ Voor het behalen van de 50 mg l⁻¹ is vanuit het beregeningsoverschot berekend wat het N-bodemoverschot en daarmee de maximale N-aanvoer mag zijn.

4.2.1 Resultaten scenario 1 (verlaagde watergift)

Bij scenario 1 is de denitrificatie voor een verlaagde beregeningshoeveelheid uitgerekend. De invoergegevens voor deze berekeningen staan in Tabel 14.

Tabel 14. Invoerdata voor de berekening van de denitrificatie bij een gereduceerde beregeningshoeveelheid voor de drie bodemlagen (I, II, III).

Bedrijfstype	Grondsoort	Ontwatering	D_p^1 (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)			Vocht _p ¹ S (verzadigingsgraad)		
			I	II	III	I	II	III
1 t/m 3	zand	diep grondwater	11	4	0,2	0,5	0,5	0,6
4 t/m 6	zand	onderbemaling, 0,85 m	11	4	0,2	0,5	0,6	0,85
7 t/m 9	veen	onderbemaling, 0,85 m	100	20	1	0,5	0,5	0,85
10 t/m 12	klei	onderbemaling, 0,85 m	20	4	0,1	0,5	0,6	0,85

¹ Onvoldoende gegevens om een spreiding te berekenen.

Het N-bodemoverschot varieert van -23 (intering, echter verwaarloosbaar klein) tot 499 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 15). Dit zijn aanzienlijke hoeveelheden verlies aan stikstof maar gemiddeld per teelt is het hoogste verlies vergelijkbaar met een toelaatbaar overschot, dat op zandgrond bij 1 teelt per jaar tot een aanvaardbare waterkwaliteit leidt (Schröder *et al.*, 2004; Smit & Van Dijk, 2003; Van der Sluis *et al.*, 2004). Ook hier is de concentratie die berekend wordt van het percolatiewater tot aan de drain echter vele malen hoger dan gewenst. Het beregeningsoverschot is namelijk aanzienlijk lager dan het neerslagoverschot waarmee in het mest-ABC³ (Schröder *et al.*, 2004) van de vollegrondsteelten gerekend wordt (ca. 400 mm).

Het droger telen heeft verschillende effecten. In de eerste plaats denitrificeert er minder stikstof doordat de grond minder in verzadigde toestand zal zijn. In de tweede plaats wordt, doordat de concentratie in het beregeningswater gelijk gehouden is, er minder stikstof aangevoerd. Afhankelijk van de grootte van de genoemde posten is het effect op het bodemoverschot wisselend. Bij een lage f_s (lage denitrificatie) gaat bij alle bedrijfstypen het bodemoverschot vergeleken met het basisscenario ('nat') naar beneden. Een f_s hoog heeft echter bij de droge teelt minder effect op de denitrificatie dan bij een natte teelt. In een aantal gevallen gaat hierdoor het bodemoverschot bij droge teelt zelfs omhoog ten opzichte van natte teelt omdat de denitrificatie sterker afneemt dan de N-aanvoer (bedrijfstype 3 en 6 t/m 12, vergelijk Tabel 12 met Tabel 15).

³ Het mest-ABC zijn eenvoudige rekenregels waarbij in de open teelten op basis van het N-bodemoverschot, grondsoort en neerslagoverschot de nitraatconcentratie in het grondwater wordt berekend.

Tabel 15. *Berekende beregeningshoeveelheden (mm jr⁻¹), beregeningsoverschot (mm jr⁻¹), de aanvoer van stikstof (kg ha⁻¹ jr⁻¹), denitrificatie bij hoge en lage f_s (kg ha⁻¹ jr⁻¹), het bodemoverschot (kg ha⁻¹ jr⁻¹) en de nitraatconcentraties bij een hoge en lage f_s (mg nitraat L⁻¹) van scenario 1. Grote voorzichtigheid is geboden bij de beoordeling van de concentraties.*

Bedrijfs- type	Berekening	Beregeningsoverschot	Aanvoer ¹	Denitrificatie		Bodemoverschot		Concentratie	
	(mm jr ⁻¹)	(mm jr ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ jr ⁻¹)	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag
1	1249	284	1499	124	0	375	499	586	780
2	1082	246	1311	124	0	287	411	518	742
3	933	212	1145	124	0	271	395	566	825
4	1087	121	1317	164	53	153	264	561	968
5	941	105	1153	164	53	89	200	379	849
6	811	90	1008	164	53	94	205	464	1010
7	773	-193	1190	153	13	37	177	²	-
8	669	-167	1030	153	13	-23	117	-	-
9	577	-144	888	153	13	-15	125	-	-
10	1043	77	1462	202	0	260	462	1492	2650
11	903	67	1276	202	0	174	376	1151	2489
12	779	58	1111	202	0	159	361	1218	2769

¹ *Inclusief de hoeveelheid stikstof uit organische producten van 100 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ bij bedrijfstypen 1 t/m 6 (zand) en 75 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ bij bedrijfstypen 10 t/m 12 (klei).*

² *Voor een negatief beregeningsoverschot (geen uitspoeling) kan geen nitraatconcentratie geformuleerd worden.*

Voor de veengronden zijn de berekeningen voor de denitrificatie nog een keer uitgevoerd door niet het wateroverschot en het stikstofoverschot als invoer te kiezen, maar de werkelijke water- en stikstofgiften. In die berekeningen is een vaste dagelijkse verdamping en stikstofopname aangenomen en opgelegd. Het gevolg daarvan is een veel grotere variatie in het vocht- en stikstofgehalte van de laag 0-0,25 m, waardoor ook bij een negatief vochtoverschot altijd een hogere denitrificatie zou kunnen optreden. Uit de berekeningen bleek echter dat de denitrificatie niet toenam.

4.2.2 Resultaten scenario 2 (verlaagde watergift en maximaal 50 mg nitraat per L)

De totale aanvoer van stikstof moet aanzienlijk gereduceerd worden om, onder alle aannames van deze studie, aan de waterkwaliteit van 50 mg nitraat L⁻¹ te voldoen (Tabel 16). Voor bijvoorbeeld bedrijfstype 1 daalt de aanvoer van 1709 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ in het basisscenario (Tabel 10) tot 1032 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ in scenario 2 bij een lage f_s (Tabel 16).

Voor de andere bedrijfstypen zijn de verschillen minder groot maar bedragen toch vaak honderden kg N.

De op papier berekende benodigde overschotten voor het halen van de nitraatrichtlijn zijn erg laag, van 7 tot 32 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ en vooralsnog erg optimistisch en niet realistisch. Men dient zich te realiseren dat in deze studie geen effect van een verminderde stikstofbemesting op de gewasproductie verondersteld is, zodat de afvoer van stikstof met het gewas niet daalt bij dalende stikstofgiften. Bij deze lage bodemoverschotten en de daardoor sterk verlaagde N-aanvoer, is deze aanname naar verwachting niet correct.

Een ander effect waar in deze studie geen rekening mee gehouden is, is dat als de concentratie stikstof in de bodem verandert, de denitrificatie ook verandert. Bij minder aanbod (lagere concentraties in de bodem door lagere concentraties in het beregeningswater), zal de denitrificatie waarschijnlijk ook minder worden. De denitrificatie-waarden die in Tabel 16 gepresenteerd zijn, zijn berekend voor scenario 1 en daarom waarschijnlijk te hoog voor scenario 2. Het bodemoverschot wordt dientengevolge onderschat.

Als laatste dient nog opgemerkt te worden dat bij een veranderend N-aanbod de productie en daarmee de afvoer van stikstof met geoogst product waarschijnlijk ook verandert.

Tabel 16. *Berekende beregeningshoeveelheden (mm jr⁻¹), beregeningsoverschot (mm jr⁻¹), de aanvoer van stikstof (kg ha⁻¹ jr⁻¹), denitrificatie bij hoge en lage f_s (kg ha⁻¹ jr⁻¹), het bodemoverschot (kg ha⁻¹ jr⁻¹) en de nitraatconcentraties bij een hoge en lage f_s (mg nitraat L⁻¹) van scenario 2. Grote voorzichtigheid is geboden bij de beoordeling van de concentraties.*

Bedrijfs- type	Beregening	Beregeningsoverschot	Aanvoer		Denitrificatie ¹		Bodemoverschot		Concentratie
	(mm jr ⁻¹)	(mm jr ⁻¹)	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag	mg L ⁻¹
1	1249	284	1156	1032	124	0	32	32	50
2	1082	246	1052	928	124	0	28	28	50
3	933	212	898	774	124	0	24	24	50
4	1087	121	1178	1067	164	53	14	14	50
5	941	105	1076	965	164	53	12	12	50
6	811	90	924	813	164	53	10	10	50
7	773	-193	1190 ²	991	153	13	-22	-22	-
8	669	-167	1030	894	153	13	-19	-19	-
9	577	-144	888	747	153	13	-16	-16	-
10	1043	77	1211	1009	202	0	9	9	50
11	903	67	1110	908	202	0	8	8	50
12	779	58	959	757	202	0	7	7	50

¹ *Er is dezelfde denitrificatie verondersteld als bij scenario 1. Bij lagere aanvoer van stikstof verandert de denitrificatie ook, zodat deze cijfers geen correct beeld geven van de denitrificatie.*

² *Voor de bedrijven 7-9 houdt een negatief beregeningsoverschot (geen uitspoeling) in dat geen concentratie berekend kan worden. De weergegeven aanvoer op deze bedrijven is die zoals bij scenario 1.*

4.2.3 Resultaten scenario 3 (sterk verlaagde watergift en lage N-aanvoer)

De beregeningshoeveelheid bij scenario 3 ligt tussen de 85 en 98% van de beregeningshoeveelheid van scenario 2 voor de zandgronden, bij respectievelijk diep grondwater en onderbemaling. Op venige klei is de beregeningshoeveelheid in de andere scenario's lager dan de evapotranspiratie. De beregeningshoeveelheid in scenario 3 is nu echter 38% hoger dan in scenario 2 omdat geen correctiefactor is toegepast voor grondsoort. Voor kleigrond is de beregeningshoeveelheid in scenario 3 2% hoger dan in scenario 2. Het N-bodemoverschot verandert niet, immers de N-aanvoer en denitrificatie zijn gelijk gesteld aan de N-aanvoer en denitrificatie uit scenario 2. De concentratie in het percolaat tot aan de drain neemt bij zandgronden sterk toe (bedrijfstype 1 t/m 6) maar bij klei (bedrijfstype 10 t/m 12) juist af (Tabel 17). Voor venige klei kan door het negatieve bodemoverschot geen concentratie in het percolaat tot aan de drain uitgerekend worden. Ook hier dient weer opgemerkt te worden dat de beregeningsoverschotten veel lager zijn dan in het ABC voor open teelten aangenomen wordt. Evenals bij scenario 2 geldt dat ook hier de denitrificatie en de N-afvoer met geoogst product waarschijnlijk veranderen door de andere beregenings- en bemestingsstrategie.

Tabel 17. *Berekende beregeningshoeveelheden (mm jr^{-1}), beregeningsoverschot (mm jr^{-1}), de aanvoer van stikstof ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$), denitrificatie bij hoge en lage f_s ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$), het bodemoverschot ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) en de nitraatconcentraties bij een hoge en lage f_s (mg nitraat L^{-1}) van scenario 3. Grote voorzichtigheid is geboden bij de beoordeling van de concentraties.*

Bedrijfs- type	Beregening	Beregeningsoverschot	Aanvoer		Denitrificatie ¹		Bodemoverschot		Concentratie ²
	(mm jr^{-1})	(mm jr^{-1})	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag	f_s hoog	f_s laag	mg L^{-1}
1	1062	97	1156	1032	124	0	32	32	147
2	920	84	1052	928	124	0	28	28	147
3	793	72	898	774	124	0	24	24	147
4	1062	97	1178	1067	164	53	14	14	62
5	920	84	1076	965	164	53	12	12	62
6	793	72	924	813	164	53	10	10	63
7	1062	97	1131	991	153	13	-22	-22	- ³
8	920	84	1034	894	153	13	-19	-19	-
9	793	72	887	747	153	13	-16	-16	-
10	1062	97	1211	1009	202	0	9	9	40
11	920	84	1110	908	202	0	8	8	40
12	793	72	959	757	202	0	7	7	40

¹ *Er is dezelfde denitrificatie verondersteld als bij scenario 1. Bij een andere aanvoer van stikstof en een andere berekening verandert de denitrificatie ook, zodat deze cijfers geen correct beeld geven van de denitrificatie.*

² *Omdat vanuit de concentratie de aanvoer teruggerekend is, wordt bij concentratie geen onderscheid gemaakt tussen een hoge of lage f_s .*

³ *Voor een negatief beregeningsoverschot (geen uitspoeling) kan geen nitraatconcentratie geformuleerd worden.*

4.3 Milieukwaliteit

Een beschouwing over de milieukwaliteit levert in een kassituatie problemen op. In een kas is het niet relevant om dit te berekenen door, zoals dat bij ABC open teelten is gedaan, het N-bodemoverschot te delen door het beregeningsoverschot. Immers, bij open teelten is er een vaste hoeveelheid neerslag aangenomen voor het winterseizoen, waarbij alle aanwezige N-min in de bodem uitspoelt. In de kassituatie is dit sowieso niet gebonden aan het seizoen en zeker niet een vaste hoeveelheid. Verbinding aan een beregeningsoverschot levert bovendien het gevaar op dat de NO_3 -concentratie sterk verlaagd kan worden door het beregeningsoverschot toe te laten nemen. Dit zou een averechts effect op de milieukwaliteit hebben.

In deze studie is de 'vracht' van stikstof tot aan de drain op een eenvoudige wijze berekend met vele onzekerheden. Het beregeningsoverschot tot aan de drain is eveneens met vele onzekerheden berekend.

Als aangenomen wordt dat er geen andere waterbewegingen of stikstofstromen optreden dan kan met enige reserve en voorzichtigheid gekeken worden naar mogelijke concentraties in het drainwater of het water dat door de drain naar het grondwater zal wegstromen.

Wel geven deze resultaten aanleiding voor het idee dat de balans meer in evenwicht moet komen om de emissie (naar welke bron dan ook) te verminderen.

De berekeningen in dit rapport hebben alle betrekking op het beteelde oppervlak. Als een en ander gemiddeld wordt over het bedrijfsoppervlak zullen emissies per ha enigszins lager worden maar eventueel berekende concentraties bij lozing op oppervlaktewater of naar het grondwater zullen niet veranderen.

4.4 Het P-bodemoverschot

Het P-bodemoverschot is voor alle bedrijfstypen negatief (Tabel 18). Dit betekent dat de P-toestand bij deze bemesting langzaam achteruit gaat. Op termijn wordt dat gecorrigeerd omdat de bemesting volgens het advies hoger zal worden. Uit de bemonstering zal op termijn blijken dat de P-toestand daalt en extra bemesting noodzakelijk is voor het in stand houden van een normale P-toestand. De P-gift kan dan oplopen tot 100 en 200 kg ha⁻¹ (maximaal 400 kg P ha⁻¹, zie Tabel 8 en Tabel 9), waarmee het P-overschot op de balans eveneens oploopt. Bij een gift van 200 kg P ha⁻¹ wordt het overschot $200 - 80 = 120$ bij bedrijfstype 9 en $200 + 25 - 110 = 115$ kg P ha⁻¹ bij bedrijfstype 1.

Bij een normale P-toestand is het bodemoverschot negatief (Tabel 18). Een negatief P-bodemoverschot betekent dat er geen ophoping in de bodem optreedt. Gezien een door de overheid geformuleerd onvermijdelijk en milieukundig acceptabel verlies van ongeveer 9 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (20 kg fosfaat ha⁻¹ jr⁻¹) voor de open teelten, is op grond van deze gegevens bij het volgen van het bemestingsadvies en een normale P-toestand, geen direct milieukundig risico te verwachten.

Tabel 18. De P-gift, de P-afvoer en het berekende P-overschot (kg ha⁻¹ jr⁻¹).

Bedrijfstype	Kastype	Ass.bel.	Grondsoort	Ontwatering	P-gift ¹	P-afvoer	P-bodemoverschot
1	nieuw	ja	zandgrond	diep grondwater	75	110	-
2	oud	ja	zandgrond	diep grondwater	75	95	-
3	oud	nee	zandgrond	diep grondwater	75	80	-
4	nieuw	ja	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	75	110	-
5	oud	ja	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	75	95	-
6	oud	nee	zandgrond	onderbemaling, 0,85 m	75	80	-
7	nieuw	ja	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	50	110	-
8	oud	ja	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	50	95	-
9	oud	nee	venige klei	onderbemaling, 0,85 m	50	80	-
10	nieuw	ja	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	68	110	-
11	oud	ja	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	68	95	-
12	oud	nee	kleigrond	onderbemaling, 0,85 m	68	80	-

¹ Voor berekening van de kunstmestgift als voorraadbemesting is uitgegaan van een normale P-toestand van de bodem. Bij zandgrond wordt 25 kg P ha⁻¹ met organische producten aangevoerd, bij kleigronden 18 kg P ha⁻¹, Op veengrond worden geen organische producten aangevoerd (zie paragrafen 3.1.3 en 3.3.1).

5. Discussie

5.1 Effect van beregeningsoverschot

In de glastuinbouw gaat het geven van water en het geven van mest samen. Telers geven een concentratie stikstof aan het beregeningswater mee om het gewas van water én stikstof te voorzien. Het verminderen van het beregeningsoverschot vermindert daardoor ook de aanvoer van stikstof, immers de concentratie blijft gelijk. Uit Tabel 4 blijkt echter dat dit in de praktijk niet altijd zo is. Bij minder beregenen wordt de concentratie stikstof verhoogd om toch aan een gewasvraag te voldoen. Voor het ontwikkelen van teeltsystemen die aan milieuranvoorwaarden voldoen is het daarom noodzakelijk zowel naar de stikstof'vracht' te kijken als naar het 'beregeningsoverschot'. Deze twee aspecten zouden apart op hun bijdrage aan het behalen van de doelstelling Nitraatrichtlijn) onderzocht moeten worden, maar niet los van elkaar. Het terugdringen van het N-bodemoverschot zal daarom onvermijdelijk samen moeten hangen met het formuleren van een beregeningsadvies, of een waterverbruiksnorm om een acceptabel beregeningsoverschot niet te overschrijden.

Een punt dat de aandacht vraagt en dat nader gekwantificeerd zal moeten worden is de vraag in hoeverre een bepaald neerslagoverschot **nodig** is om variaties in waterafgifte van het gietsysteem, van evapotranspiratie, rand-effecten en andere oorzaken van ongelijkheid te vereffenen, zodat op lange termijn geen pleksgewijze verzouting in het wortelmilieu een verminderde groei geeft. In Voogt *et al.* (2002) bleek uit een modelberekening dat het minimale overschot in een gegeven praktijksituatie 8% moest zijn om verdroging te voorkomen. Voor benadering van zoutbelasting zullen nog nadere modelstudies nodig zijn. Uit onderzoek met het fertigatiemodel blijkt dat het afstemmen van de berekening op de verdamping realiseerbaar is (Voogt *et al.*, 2002; Voogt *et al.*, 2000a; Voogt *et al.*, 2000b; Voogt *et al.*, 2003; Voogt & Van Winkel, 2004). Vooralsnog bleek uit dit onderzoek niet dat genoemde werkwijze aanleiding gaf tot verdroging of verzouting. Ook uit een inventarisatie van praktijkbedrijven, bleek dat bedrijven met een waterverbruik lager dan de berekende verdamping over vier jaren bekeken geen zoutophoping lieten zien (Voogt *et al.*, 2000b; Voogt *et al.*, 2000c). Mocht zoutophoping een rol spelen, dan zal bij doorspoelen op dat moment het profiel weinig stikstof moeten bevatten. Het zal duidelijk zijn dat dan een andere bemestingsstrategie dan de huidige nodig is.

5.2 Effect van denitrificatie

De berekende denitrificatie loopt voor alle gronden sterk uiteen, afhankelijk van de opgelegde condities.

De resultaten van de berekeningen zijn eveneens niet altijd eenvoudig te verklaren. Telkens zijn de resultaten het gevolg van de volgende instellingen:

- Aangenomen vochtverzadiging in de bodemlagen (Tabel 7, Tabel 14).
- De spreiding in de paramaters waarmee f_s (f_s hoog of laag) berekend wordt (Bijlage I) en die het effect van de gehanteerde verzadigingsgraad bepalen.
- De gecombineerde water- en stikstofoverschotten. Deze verschillen per situatie (Tabel 10, Tabel 12, Tabel 15).

Het verschil in denitrificatie tussen de zandgronden met onderbemaling en diep grondwater lijkt een logische verklaring te hebben. De laatste zijn droger en daardoor beter voorzien van zuurstof, waardoor de kans op denitrificatie kleiner wordt.

Het verschil tussen klei en zandgrond met een ondiep grondwater is moeilijker te verklaren. Gevoelsmatig zou men veronderstellen dat de kans op denitrificatie in klei groter is dan in zand. Toch geven de berekeningen aan dat zowel bij de beregeningshoeveelheden van scenario 1 als bij de standaard beregeningshoeveelheden de hoogste denitrificatie voorkomt in zandgrond. Dat wordt volledig veroorzaakt door het verschil in de reductiefunctie voor vocht van zand en klei. Voor zand geldt dat de denitrificatie pas op gang komt bij een relatieve vochtverzadiging van 30% (f_s hoog) of bij 70% (f_s laag). Dat betekent het volgende: wanneer de hoge f_s wordt gebruikt in de berekeningen, de denitrificatie gelijk is aan nul, zolang het vochtgehalte beneden de 30% blijft. Bij gebruik van de lage f_s is dat het geval tot een vochtgehalte van 70%.

Bij klei ligt dat anders. De denitrificatie bij de hoge f_s begint dan bij 50% vochtverzadiging en die bij de lage f_s pas bij 90% vochtverzadiging. Aangezien 90% vochtverzadiging in klei in de berekeningen minder vaak wordt bereikt dan 70% in zand, is de denitrificatie in klei lager dan die in zand.

Bij veen doet zich de eigenaardige situatie van een negatief beregeningsoverschot voor. Daardoor is er in de berekeningen dus geen transport van water en stikstof naar dieper gelegen lagen en vindt alle eventueel optredende denitrificatie in de bovenste laag plaats.

5.3 Organische producten

Bij de teelt van chrysanten wordt compost gebruikt voor het behoud van de bodemvruchtbaarheid. In de praktijk worden één keer per 3 a 4 jaar grote hoeveelheden opgebracht. Meestal betreft het materialen die toegepast worden voor bodemverbetering en die slechts langzaam mineraliseren (grove compost, (half-) gecomposteerde boomschors), zodat de hoeveelheid beschikbare N in het jaar van toediening verwaarloosbaar zal zijn. In deze studie wordt er vanuit gegaan dat de jaarlijkse netto beschikbaarheid van N uit organische stof, via mineralisatie volledig gecompenseerd wordt door de terugkoppeling van het N-min-gehalte op het bemestingsadvies.

5.4 Concentraties in het beregeningswater

In Tabel 19 zijn de concentraties van het beregeningswater berekend. Bij scenario 1 is de concentratie conform de Bemestings Adviesbasis Grond, bij de overige scenario's is de concentratie lager en varieert van 5,9 tot 9,0 mmol N L⁻¹.

Hierbij dient wederom opgemerkt te worden dat de berekende concentraties in het gietwater bij een lage denitrificatie aanzienlijk lager liggen dan de Bemestings Adviesbasis Grond, maar dat bij een hoge denitrificatie de concentraties in het gietwater vergelijkbaar of zelfs hoger zijn.

De hier gepresenteerde concentraties wijken niet dramatisch af van de Bemestings Adviesbasis Grond. Om toch het systeem duurzaam in evenwicht te brengen is het noodzakelijk om naast het in 'concentraties denken' voor bemesting, ook in hoeveelheden, d.w.z. vrachten, te denken. Het 'balans-denken' staat bij de teelt in kasgrond in de kinderschoenen en verdient grote aandacht bij het ontwikkelen van teeltsystemen die binnen de randvoorwaarden van de Europese Unie rendabel kunnen voortbestaan.

Tabel 19. Berekende concentraties (mmol N L^{-1}) van het beregeningswater voor de verschillende scenario's bij een hoge of lage f_S .

Bedrijfstype	Scenario				
	1	2		3	
		f_S hoog	f_S laag	f_S hoog	f_S laag
1	8,0	6,6	5,9	8,1	7,3
2	8,0	6,9	6,1	8,6	7,5
3	8,0	6,9	5,9	8,5	7,3
4	8,0	7,7	7,0	8,3	7,5
5	8,0	8,2	7,3	8,8	7,9
6	8,0	8,1	7,2	8,7	7,7
7	11,0	¹	-	-	-
8	11,0	-	-	-	-
9	11,0	-	-	-	-
10	9,5	8,3	6,9	8,5	7,1
11	9,5	8,8	7,2	9,0	7,4
12	9,5	8,8	6,9	9,0	7,1

¹ Bij een negatief berekeningsoverschot spoelt er geen stikstof uit. Daarom kan geen concentratie van het beregeningswater berekend worden.

5.5 De aannames

De aannames in deze studie zijn veelvuldig. Dit was nodig om in de beperkte tijd inzicht te krijgen in de mogelijkheden en onmogelijkheden. Alle aannames, en in het bijzonder die betrekking hebben op de waterhuishouding zodat het systeem door ons sterk vereenvoudigd kon worden, verdienen nog een nadere toetsing. Tevens is het niet duidelijk of bij een verminderde aanvoer van water en/of stikstof de gewasproductie en daarmee de afvoer van de gewassen verandert.

Dan is er nog een aantal processen waar in deze studie geen rekening mee gehouden is, zoals stomen, recirculatie van het drainwater en het al dan niet optreden van kwel en weg- en inzijging. Wederom moeten alle aannames die aan deze studie ten grondslag liggen op een nader tijdstip nauwkeurig besproken en grondiger geanalyseerd worden.

5.6 Gebruiksnormen en de toekomst

In deze studie is uitgegaan van de huidige situatie voor gewasproductie, bemesting en berekening. De laatste decenia is de productie van chrysant stabiel gestegen met enkele procenten per jaar (R. Corsten, DLV, pers. meded., Voogt *et al.*, 2005). Daarmee wordt het systeem nog steeds intensiever en vooralsnog is er geen zicht op stabilisatie van de productie. De stikstofafvoer met het geogste product stijgt mee met de drogestofproductie. Het formuleren van gebruiksnormen voor stikstof anno 2005 zou rekening moeten houden met deze stijgende producties. Op dit moment is niet aan te geven hoeveel deze stijging voor de komende jaren zou moeten zijn en hoeveel flexibiliteit er in de gebruiksnormen moet worden opgenomen door deze te verwachten toename in stikstofafvoer met geogst product.

5.7 Alternatieve mogelijkheden voor gebruiksnormen

Het bepalen van een vooraf gedefinieerd N-bodemoverschot door aan de aanvoorzijde normen te formuleren, zal in de glastuinbouw niet automatisch tot de gewenste waterkwaliteit leiden, noch in het bovenste grondwater, noch in het drainagewater. Er zijn vele knelpunten geformuleerd waarom dit afwijkend is van een teelt in de open grond. De grootste knelpunten hebben betrekking op de voorspelling van de benodigde watergift. Deze is sterk afhankelijk van het actuele klimaat en het bedrijfstype. Complicaties zijn er ook door de hydrologische situatie bij de bedrijven met onderbemaling.

Een alternatief voor gebruiksnormen zou zijn de individuele bedrijven een norm op te leggen voor hun bedrijfseigen emissie. Hiermee kunnen de ondernemers hun eigen maatregelen nemen om de emissie te beperken. Bovendien wordt hiermee voorkomen dat gebruiksnormen voor meststoffen en/of water voor sommige bedrijfsituaties te beperkend zijn, terwijl ze voor andere zeer ruim zijn en dan aanleiding zijn voor een ongewenste belasting van het milieu. Technische mogelijkheden zijn aanwezig om de bedrijfseigen emissie te controleren en te berekenen.

5.8 De GlaMi-gewasnormen

Het Convenant Glastuinbouw en Milieu (GlaMi) voorziet in het maximale gebruik van meststoffen per gewas (gewasnormen) in 2010 voor individuele bedrijven (Anonymous, 2000). Het College van deskundigen heeft (aan de stuurgroep GlaMi) geadviseerd (Adviesrapport verifiëren gewasnormen, december 2003) de gecorrigeerde gewasnorm voor chrysant in 2010 te stellen op 1180 kg N per ha per jaar en 198 kg fosfor per ha per jaar (Anonymous, 2003). Deze hoeveelheid stikstof is lager dan de berekende stikstofgift voor de verschillende bedrijfstypen in de praktijk (basisscenario, Tabel 10). De aanvoer in scenario 1, waarbij de veiligheidsmarge van de beregeningshoeveelheid af gehaald is, is eveneens te hoog, maar is voor de helft van de bedrijven acceptabel. Tabel 20 laat voor alle bedrijven de relatie met de GlaMi-norm zien. De moderne bedrijfstypen (nieuwe kas en assimilatiebelichting, de nummers 1, 4, 7 en 10) kennen de hoogste N-aanvoer in verband met de hoge producties. Dit betekent dat deze bedrijven de meeste moeite hebben met de GlaMi-normen.

Bij een normaal P-niveau van de bodem resulteert het P-bemestingsadvies in een lagere aanvoer (50 kg P ha⁻¹ jr⁻¹) dan de GlaMi-norm. Bij een zeer laag P-niveau kan de P-aanvoer oplopen tot maximaal 400 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 8), hetgeen boven de GlaMi-norm is.

Tabel 20. *Het aantal bedrijven dat in de verschillende scenario's zou voldoen aan de GlaMi-norm van 1180 kg N/ha aanvoer. (1/6 = 1 van de 6 bedrijven op zand voldoet aan de norm).*

	Zand	Venige klei	Klei	Alle bedrijven
Basisscenario	1/6	2/3	0/3	3/12
Scenario 1	3/6	3/3	1/3	7/12
Scenario 2	6/6	-	3/3	9/9
Scenario 3	6/6	3/3	3/3	12/12

5.9 Overdraagbaarheid naar andere teelten

In hoeverre is de in dit rapport gehanteerde werkwijze geschikt om ook in andere teelten dan chrysanten toe te passen? De Nederlandse glastuinbouw in grond is zeer divers met enorme verschillen in teeltwijze, teeltduur, bemestingstrategieën e.d., bijvoorbeeld:

- Bij bladgewassen wordt veelal alleen een voorraadbemesting bij het begin van de teelt gegeven.
- Sommige gewassen worden gedurende de winter niet beregend.
- Bij bepaalde bolgewassen, bijvoorbeeld *Hippeastrum*, is de aanvoer van N met het plantgoed al toereikend zodat daardoor niet bemest hoeft te worden.

Toch lijkt ook bij deze gewassen de werkwijze toepasbaar, maar dan zullen andere balansposten naar voren komen dan bij chrysant. De berekening van het bodemoverschot zal echter in grote lijnen op dezelfde manier kunnen plaatsvinden, door het in kaart brengen van alle aanvoerposten, de afvoer en de denitrificatie.

Wel moet bedacht worden dat van het gewas chrysant veel bekend is door jarenlang onderzoek; van andere gewassen is veel minder bekend, zelfs geen onttrekking, zodat in bepaalde gevallen nader onderzoek noodzakelijk zal zijn.

6. Conclusies

- De stikstofhuishouding is sterk verschillend tussen verschillende bedrijfstypen (grondsoort, grondwaterniveau, kastype, wel of geen belichting).
- De N-aanvoer bij het tuinbouwkundig optimale bemestingsadvies is veelal hoger dan de GlaMi-norm. De P-aanvoer is lager dan de GlaMi-norm bij een voldoende P-toestand van de bodem.
- Bij het tuinbouwkundig optimale bemestingsadvies is de nitraatconcentratie in het percolaat aan de onderkant van het systeem (0,85 m diepte) heel veel groter dan 50 mg L⁻¹; deze concentratie varieerde afhankelijk van bedrijfstype tussen 152 en 1267 mg NO₃ L⁻¹. In de open teelten wordt de nitraatconcentratie in dit percolaat als maat genomen voor de milieukwaliteit. Deze concentratie mag dan niet hoger zijn dan 50 mg nitraat per liter.
- De aanvoer en afvoer van stikstof is sterk verschillend tussen 'nieuwe' en 'oude' teeltsystemen. De hoeveelheden stikstof zijn veel groter bij de nieuwe teeltsystemen terwijl de nitraatconcentratie in het percolaat weinig verschilt tussen 'oude' en 'nieuwe' teeltsystemen.
- Er zijn drie verschillende scenario's uitgewerkt, waarmee gedacht werd de milieulast te kunnen verminderen. In het eerste scenario werd de watergift sterk verlaagd. Doordat de nutriënten tezamen met het water worden gedoseerd, leidde dit scenario tot een sterke vermindering van de N-aanvoer en daardoor in de meeste gevallen ook tot een lager N-bodemoverschot. De nitraatconcentratie in het percolaat werd echter hoger doordat het beregeningsoverschot sterker afnam dan het N-bodemoverschot. Dus hoewel een vermindering van de watergift tot gewenste milieu-effecten als verminderd watergebruik en verminderd N-bodemoverschot leidde, leidde het tot een sterkere overschrijding van de gewenste nitraatconcentratie in het percolaat. In het tweede scenario, waarin tevens de N-aanvoer verlaagd werd, en het derde scenario, waarin naast de verlaging van de N-aanvoer de watergift nog verder verlaagd werd, kon de nitraatconcentratie in het percolaat wel verlaagd worden. Deze scenario's lijken echter niet realistisch voor een goede gewasgroei, gezien het zeer lage N-bodemoverschot. Hoewel er veel meer verschillende scenario's denkbaar zijn dan de drie die in deze studie zijn uitgewerkt, geven ze wel duidelijk de problematiek van de glastuinbouw weer: maatregelen gericht op verlagen van het N-bodemoverschot geven nog geen garantie op verlaging van de nitraatconcentratie in het percolaat.
- Gaat een teler recirculeren dan neemt de aanvoer van stikstof af, het bodemoverschot eveneens, maar de nitraatconcentratie in het percolaat verandert niet.
- In deze studie is de relatie tussen de nitraatconcentratie in het percolaat of het N-bodemoverschot enerzijds en de nitraatconcentratie in het grondwater anderzijds niet bepaald.
- Deze studie roept vragen op wat het milieu het zwaarst belast: (1) een klein N-bodemoverschot met een klein beregeningsoverschot, resulterend in een geringe hoeveelheid percolaat met een hoge nitraatconcentratie op 0,85 m diepte of (2) een groter N-bodemoverschot met een groot beregeningsoverschot en als gevolg daarvan een grotere hoeveelheid percolaat met een lagere nitraatconcentratie.
- Voor het behalen van een gewenste nitraatconcentratie in het bovenste grondwater onder een glastuinbouwbedrijf zal naast een aanvoernorm voor stikstof een beregeningsvoorschrift voor een gewenst neerslagoverschot geformuleerd moeten worden. De teelten in de open lucht hebben in de winterperiode een neerslagoverschot waardoor een gewenste concentratie zich laat herleiden tot een maximaal toelaatbaar N-bodemoverschot. Voor de glastuinbouw zal naast het formuleren van een N-bodemoverschot ook een neerslagoverschot geformuleerd moeten worden. Deze twee indicatoren samen zijn nodig om aan de gewenste doelstelling van een nitraatconcentratie in het bovenste grondwater te voldoen.

- Het P-bemestingsadvies volgens de adviesbasis is afhankelijk van het P-AL-cijfer of de P-AL- en P_w -cijfers in het grondmonster. Bij een normaal P-niveau wordt een onderhoudsbemesting van 50 kg P ha^{-1} gegeven. Bij een dalend P-niveau van de bodem regelt het advies dat de benodigde P-bemesting omhoog gaat.
- De P-balans is sterk vereenvoudigd doordat een aantal chemische bodemprocessen niet in beschouwing genomen is. De balans geeft een goed inzicht in de aanvoer en afvoer van P bij het tuinbouwkundig advies. Het systeem is echter niet in evenwicht, de balans is sterk negatief. Hiermee wordt niet aan de gestelde aannames voldaan en deze balans is ook niet duurzaam. Door de complexiteit van de chemische bodemprocessen en het korte tijdsbestek van deze studie is de P-balans echter niet verder uitgewerkt.

Referenties

- Anonymous, 1991.
Directive of the Council of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (91/676/EEC). European Commission, Brussels.
- Anonymous, 2000.
Handboek milieumaatregelen glastuinbouw editie 2000,
<http://www.glami.nl/upload/downloads/pdf/Handboekdef.pdf>. 80 pp.
- Anonymous, 2003.
Adviesrapport verifiëren gewasnormen (GlaMi), Delfland, 27 pp.
- Assinck, F.B.T. & M. Heinen, 2001.
Modelverkenning naar het effect van niet-uniform verdeelde watergiften op de opname van chrysanten onder glas. Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen. 36 pp.
- De Visser, P.H.B., W. Voogt, F.B.T. Assinck, M. Heinen, J. Postma, J.J. Amsing, G. Straatsma & L.F.M. Marcelis, 2004.
Organische stofmanagement in de biologische kasteelt. Resultaten paprikaproef en modellering stikstofdynamiek. Rapport 86, Plant Research International, Wageningen, 68 pp.
- Heemskerck, M.J., E.A. v. Os & M.N.A. Ruijs, 1997.
Verbeteren watergeefsystemen voor grondgebonden teelten. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente Vestiging Naaldwijk, rapport 84, Naaldwijk. [78] pp.
- Heinen, M., 2003.
Simple denitrification model? Literature review, sensitivity analysis, and application. no 690, Alterra, Green World Research, Wageningen, 131 pp.
- Heinen, M., 2005a.
Application of a widely used denitrification model to Dutch data sets. Geoderma, aangeboden.
- Heinen, M., 2005b.
On a simplified denitrification process model: review and properties. Geoderma, aangeboden.
- Heinen, M., K.B. Zwart & E. Hummelink, 2005.
Calibratie denitrificatie reductiefuncties, Alterra, Wageningen, in prep.
- Hénault, C. & J.C. Germon, 2000.
NEMIS, a predictive model of denitrification on the field scale. European Journal of Soil Science 51, 257-270.
- IKC-L, 2000.
Mest meester in de glastuinbouw, Ede.
- Korsten, P., 1998.
Mineralenbalansen grondteelten. Chrysantenbedrijven, PBG-intern rapport, Naaldwijk.
- Postma, R., 1996.
Stikstofverliezen door denitrificatie op praktijkbedrijven met jaarrondchrysant. Verslag C96.11 (Intern Verslag NMI), 44 pp.
- Richardson, R.E., C.A. Jamers, V.K. Bhupathiraju & L. Alvarez-Cohen, 2002.
Microbial activity in soils following steam treatment. Biodegradation 13, 285-295.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. v. Dijk, J.C. v. Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems, 2004.
Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Rapportnummer 79, Plant Research International, Wageningen, 60 pp.
- Smit, A.L. & W. v. Dijk, 2003.
Kosteneffectieve maatregelen(pakketten) om voor de sectoren vollegrondsgroenten, bollen en veehouderij te voldoen aan MINAS 2003-eindnormen, Plant Research International, Wageningen, 100 pp.
- Sonneveld, C., 1969.
De invloed van het stomen op de stikstofhuishouding van de grond. Tuinbouwmededelingen 32, 197-203.

- Van Beek, C.L., E.W.J. Hummelink, G.L. Velthof & O. Oenema, 2004.
Nitrogen losses through denitrification from an intensively managed grassland on peat soil. *Biology and Fertility of Soils* 39, 329-336.
- Van den Bos, A.L., C. de Kreijl & W. Voogt, 1999.
Bemestings adviesbasis grond. Praktijkonderzoek Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk, 54 pp.
- Van der Sluis, B.J., A.A. Pronk, F.C.G. Guiking & W.J.M. Hazelaar, 2004.
Kosteneffectieve maatregelen-pakketten bij mineralenbeleid verdergaand dan MINAS: Boomkwekerij, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, 43 pp.
- Van Dijk, W., 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad. 66, [24] pp.
- Velthof, G.L. & O. Oenema, 1995.
Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: II. Effects of soil type, nitrogen fertilizer application and grazing. *European Journal of Soil Science* 46, 541-549.
- Voogt, W., 2003.
Meststofverbruik: realisatie en normverbruik, PPO-Glastuinbouw, intern rapport, Naaldwijk, 20 pp.
- Voogt, W. & B. Houter, 2003.
Wateropname bij teelten in kasgrond, PPO-Glastuinbouw, intern rapport, Naaldwijk, 28 pp.
- Voogt, W. & P. Korsten, 1996.
Mineral balances for radish crops grown under glass. *Acta Horticulturae* 428, 53-64.
- Voogt, W. & A. van Winkel, 2004.
Ontwikkelen en toetsing van het PC fertigatiemodel (in voorbereiding)
- Voogt, W., P. Korsten & E. Klein-Buitendijk, 1999.
Mineralenbalansen grondteelten; bedrijven zonder drainagesysteem, PBG intern rapport, Naaldwijk.
- Voogt, W., R. de Graaf, A.A.M. van den Burg & R. van Oosten, 2000a.
Water-, stikstof- en natriumbalans bij teelten in kasgrond, PPO-Glastuinbouw, intern rapport, Naaldwijk, 31 pp.
- Voogt, W., A. Huys & R.H.M. Maaswinkel, 2000b.
Toetsing fertigatiemodel. Toetsing van het fertigatiemodel op vier praktijkbedrijven met chrysant gedurende twee jaar (1997 - 1999), PBG, intern rapport, Naaldwijk, 88 pp.
- Voogt, W., J.A. Kipp, R. de Graaf & L. Spaans, 2000c.
A fertigation model for glasshouse crops grown in soil. *Acta Horticulturae* 537, 495-502.
- Voogt, W., F. Assinck, J. Balendonck, G. Blom-Zandstra, M. Heinen & F.H. de Zwart, 2002.
Minimalisering van de uitspoeling bij teelten in kasgrond: verslag van geïntegreerd onderzoek naar de mogelijkheden en effecten van minimalisering van de watergift bij chrysantenteelt. Rapport 543, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Sector Glastuinbouw, Naaldwijk, 63 pp.
- Voogt, W., A. Korsten & R. van Winkel, 2003.
Chrysantenteelt met minimale emissie, Naaldwijk.
- Voogt, W., A. van Winkel & A.L. van den Bos, 2005.
De voedingsopname van chrysant, PPO rapport, in voorbereiding.
- Zwart, K.B., 2004.
Denitrification in top soil and sub soil, data and model results. *In* Controlling nitrogen flows and losses, Exeter, 2004. Ed D.J. Hatch. pp. 375-377.

Bijlage I.

Bepaling van de denitrificatieverliezen

Bepaling van denitrificatieverliezen m.b.v. reductiefuncties

De methode van Hénault & Germon (2000) gaat uit van een maximale denitrificatie onder optimale omstandigheden (de potentiële denitrificatie) voor een bepaalde grondsoort. De actuele denitrificatie wordt daaruit afgeleid met behulp van een aantal reducerende factoren op basis van de actuele nitraatgehalten, vochtgehalten en temperatuur. Het vochtgehalte is in feite een maat voor het zuurstofgehalte, de werkelijk sturende parameter. Aangezien in de meeste gronden de aanvoer van zuurstof wordt bepaald door het vochtgehalte, wordt in plaats van het zuurstofgehalte, het vochtgehalte gebruikt als reducerende factor.

De methode van Hénault & Germon (2000) is aangepast voor de Nederlandse situaties door Heinen (2003; 2005a; 2005b) en Heinen *et al.* (2005), die de actuele denitrificatie afleidde uit de potentiële denitrificatie volgens:

$$D_a = D_p f_N f_S f_T \quad (1)$$

waarin

D_a	actuele denitrificatie	kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹
D_p	potentiële denitrificatie	kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹
f_N	reductiefunctie voor nitraatgehalte	dimensieloos
f_S	reductiefunctie voor water-verzadigingsgraad	dimensieloos
f_T	reductiefunctie voor temperatuur	dimensieloos

De potentiële denitrificatie D_p is de denitrificatie die wordt gemeten indien de omstandigheden in de bodem ideaal zijn voor denitrificatie. Dat is wanneer er een overmaat aan nitraat-N is, wanneer het systeem anaëroob is, wat overeenkomt met volledige waterverzadiging ($S = 1$), en bij een referentietemperatuur T_{ref} . In die situatie zijn alle drie de reductiefuncties gelijk aan 1. In alle andere gevallen zijn de reductiefuncties kleiner dan 1⁴.

De reductiefunctie voor nitraat kan worden beschreven met een Michaelis-Menten (of Monod) functie:

$$f_N = \frac{N}{K + N} \quad (2)$$

waarin

N	nitraatgehalte	mg N kg ⁻¹
K	nitraatgehalte waarbij $f_N = 0,5$	mg N kg ⁻¹

De reductiefunctie voor de waterverzadiging werd het beste beschreven met een machtsfunctie:

$$f_S = \begin{cases} 0 & S < S_t \\ \left(\frac{S - S_t}{1 - S_t} \right)^w & S_t \leq S \leq S_m \\ 1 & S_m < S \end{cases} \quad (3)$$

waarin

S	verzadigingsgraad of watergevuuld poriënvolume (volumetrisch watergehalte gedeeld door porositeit)	dimensieloos
S_t	de ondergrens voor S waarboven denitrificatie voorkomt	dimensieloos
w	vormparameter	dimensieloos

⁴ Behalve f_T welke ook groter dan 1 kan worden indien $T > T_{ref}$

De temperatuurreductie-functie was een Q_{10} relatie:

$$f_T = Q_{10}^{(T-T_{ref})/10} \quad (4)$$

waarin

T	bodemtemperatuur	°C
T_{ref}	referentietemperatuur, namelijk T waarbij D_p is vastgesteld (= 20 °C)	°C
Q_{10}	toenamefactor per 10 graden T verandering	dimensieloos

Parameterschatting

De drie reductiefuncties bevatten 4 onbekende parameters, namelijk K , S_t , w en Q_{10} . In een uitgebreide calibratie van de reductiefuncties onder Nederlandse omstandigheden zijn voor 7 datasets de onbekende parameters middels optimalisatieprocedures vastgesteld (Heinen, 2005a). De variaties in Q_{10} waren klein, zodat $Q_{10} = 3,42$ gebruikt kan worden voor alle Nederlandse omstandigheden (Heinen *et al.*, 2005). In de overige parameters werd grote spreiding gevonden, zowel in de Nederlandse datasets als in de internationale literatuur (Heinen, 2005b). Voor Nederlandse omstandigheden zijn de volgende parameters afgeleid.

Tabel I.1. Geoptimaliseerde parameterschattingen (min-max, Heinen, 2005a). K in mg nitraat per kg droge grond, S_t en w dimensieloos.

Grondsoort	K	S_t	w
Zand	0,46 - 22,84	0,00 - 0,33	3,69 - 8,77
Veen	41,87 - 135,3	0,00 ¹	2,44 - 10
Klei	1,99 - 22,58	0,00 - 0,83	4,99 - 5,98

¹ Geen spreiding.

Uit Tabel I.1 blijkt dat de spreiding in de parameters erg hoog kan zijn. De spreiding werd veroorzaakt door spreiding in waarnemingen, maar ook door afwijkingen (biases en errors) in de datasets en door sub-optimale fits. Zeker voor de veengronden was de fit tussen berekende en gemeten waarden vaak zwak ($R^2 \leq 0,41$). De hoogste K waarden van 22,84 voor zand en klei komen goed overeen met de waarde van 22 die Hénault en Germon (2000) rapporteerden voor zandgrond. Tevens dient opgemerkt te worden dat de gegevens voor een veengrond zijn en dat er geen gegevens voorhanden zijn voor een venige kleigrond. De gepresenteerde denitrificatie voor bedrijfstype 7 t/m 9 (venige kleigrond) zal hierdoor waarschijnlijk overschat worden.

De potentiële denitrificatie is een maat voor de afbreekbaarheid van organische stof door denitrificeerders en wordt doorgaans beschouwd als een bodemeigenschap in combinatie met landgebruik. Op grasland is D_p vaak hoger dan op bouwland, vanwege de hogere organische-stofgehalten in graslanden (Zwart, 2004). Figuur I.1 laat een overzicht zien van gemeten D_p 's op Nederlandse gronden per bodemlaag. In overeenstemming van de systeemafbakening (zie paragraaf 1.2) zijn de volgende bodemlagen onderscheiden:

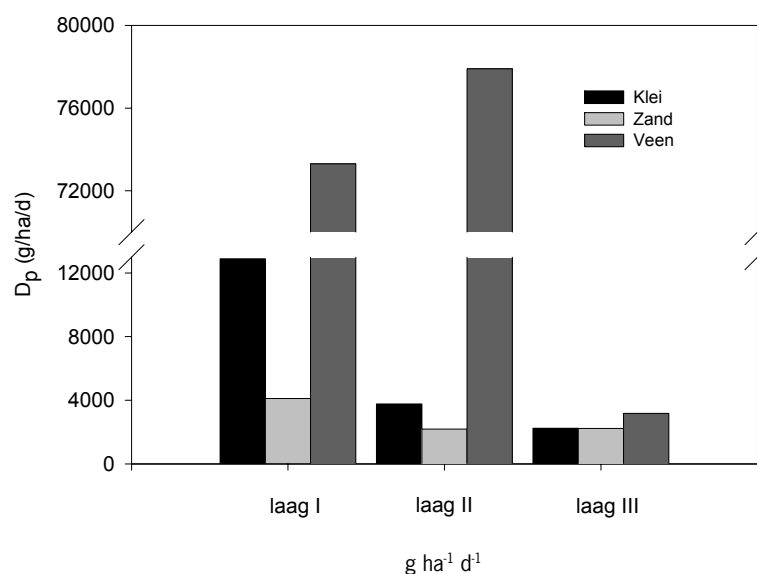
- I 0-0,25 m
- II 0,25-0,60 m
- III 0,60-grondwaterstand (meestal 0,90 m).

De resultaten in Figuur I.1 zijn gebaseerd op de resultaten van De Visser *et al.* (2004), Van Beek *et al.* (2004), Velthof & Oenema (1995) en Zwart (2004) en ongepubliceerde resultaten van Zwart (mondelijke mededeling, 2005). Al deze gegevens waren verzameld in landbouwsystemen, maar verder was de achtergrond van de data zeer divers. De proeven werden o.a. uitgevoerd op biologische bedrijven, gangbare bedrijven, graslanden, akkerbouw en glas-tuinbouw. Van sommige datasets was alleen het gemiddelde bekend, van andere datasets waren ook individuele

waarnemingen bekend. Verder werden soms gestoorde en soms ongestoorde grondmonsters gebuikt. Hierdoor is de gemiddelde waarde, zoals gepresenteerd in Figuur I.1 mogelijk 'biased' en was het niet mogelijk een spreiding aan te geven. De enige bepaling van D_p in chrysantenteelt is afkomstig van een biologisch bedrijf op een humusarme zandgrond en bedroeg gemiddeld $7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ voor laag I en $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ voor laag II. Dit is enigszins lager dan de gemiddelde gegevens in Figuur I.1 maar het is niet bekend waardoor dit veroorzaakt werd.

Postma (1996) rapporteert potentiële denitrificatiesnelheden van gemiddeld $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ in de 0-80 cm laag gemiddeld voor zes chrysanten bedrijven. De actuele denitrificatiesnelheid werd gemeten op twee bedrijven en lag in de orde van grootte van $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ in de laag 0-40 cm.

D_p profielen nemen over het algemeen af met de diepte, doordat het organische-stofgehalte afneemt. De hoge D_p waarden voor veengronden in Figuur I.1 werden veroorzaakt door de hoge fractie gemakkelijk afbreekbare organische stof in veengronden; dit is een algemeen voorkomend verschijnsel.



Figuur I.1. Gemiddelde D_p in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ voor droge grond van verschillende datasets per bodemlaag op verschillende gronden. Laag I = 0-0,25 m, laag II = 0,25-0,60 m, laag III = 0,60-0,90 m beneden maaiveld.

Wijze van berekenen

Voor de berekening van de denitrificatie is een zeer eenvoudige benadering gekozen. De temperatuur wordt overal op $20 \text{ }^\circ\text{C}$ verondersteld, waardoor de reductiefactor voor temperatuur 1 bedraagt.

De vochtverzadiging hangt samen met de watergift, hoe hoger de gift, hoe hoger de vochtverzadiging. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de grondsoorten. De aangenomen vochtverzadiging bij de verschillende giften staat weergegeven in Tabel 7 in de hoofdtekst van dit rapport. De reductiefunctie voor de vochtverzadiging is berekend voor de uiterste waarden van S_t en w .

De reductiefunctie voor het nitraatgehalte is eveneens berekend voor de hoogste en de laagste K-waarden, de verschillen waren zo gering dat alleen de hoogste K-waarden zijn weergegeven.

In de berekening wordt elke 10 dagen (3 dagen bij een hoge beregeningsintensiteit) water en daarmee gelijktijdig ook stikstof toegevoegd aan laag 1. De hoeveelheid vocht en stikstof resulteert direct in een even groot vochtoverschot, waarin een hoeveelheid stikstof zit die gelijk is aan het stikstofoverschot gedeeld door het aantal giften per jaar. Afhankelijk van deze toediening van vocht en stikstof wordt de snelheid waarmee het vocht uit laag 1 naar laag 2 zakt, zodanig ingesteld dat het vochtgehalte in laag 1 constant blijft als een zaagtandspanning en slingert om de ingestelde waarde voor het gewenste vochtgehalte. Hetzelfde gebeurt met het vocht in de lagen 2 en 3, alleen is daar de amplitude van de vochtverzadiging veel lager dan in laag 1 doordat er nu niet om de tien dagen water wordt

aangevoerd, maar elke dag. Bovendien wordt er ook dagelijks water afgevoerd. Een voorbeeld van de dynamiek van het vochtgehalte is weergegeven in Figuur 2 (hoofdstuk).

Bij het constante vochtgehalte stelt zich een evenwicht in van het nitraatgehalte van elke laag. Het niveau van dat evenwicht is afhankelijk van de snelheid waarmee stikstof wordt aangevoerd en de denitrificatiesnelheid. Voor elke situatie is de denitrificatie berekend bij deze evenwichtssituatie. In de bovenste laag slingert de nitraatconcentratie om de evenwichtconcentratie, in de lagen daaronder is de amplitude van het concentratieverschil veel lager, vergelijkbaar met die van het vochtgehalte.

Berekeningen werden uitgevoerd op dagbasis en de som van de dagelijkse denitrificatie van alle lagen is vervolgens gesommeerd over het gehele jaar. De denitrificatie is uitgedrukt in kg N per ha per jaar, voor een vochtige grond.

Rekenscenario's

In deze studie wordt voor een aantal situaties de actuele denitrificatie berekend. Het aantal situaties is om praktische redenen beperkt gehouden, waarbij voor drie grondsoorten (zand, klei en veen) gekozen is en bij zandgrond de situatie met zowel diep grondwater als onderbemaling tot op 0,85 m meegenomen is. Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn voor venige klei is hier de denitrificatie berekend voor veengrond. De denitrificatie zal hierdoor waarschijnlijk overschat worden. De vochtreductiefunctie f_s is vanuit de gevoeligste reductiefunctie (Heinen, 2003), d.w.z. een relatief kleine verandering in de vochttoestand heeft een relatief grote verandering in de actuele denitrificatie tot gevolg. De berekeningen zijn ook voor een lagere beregeningshoeveelheid uitgevoerd omdat een aanscherping van de aanvoer van stikstof door middel van het verminderen van de beregeningshoeveelheid een groot effect heeft op de hoeveelheid stikstof die denitrificeert. De resultaten van deze berekeningen worden besproken in paragraaf 3.2.1. De situaties, behorende bij de berekeningen voor het bodemoverschot bij de Bemestings Adviesbasis Grond, staan in Tabel 7 (hoofdstuk).

Bij Tabel 7 dient opgemerkt te worden dat het een grove versimpeling van een zeer variabel systeem betreft. Bij alle variabelen van Tabel 7 komt grote spreiding voor; in bepalingen van D_p is een variatiecoëfficiënt (CV) > 2 niet ongebruikelijk. Op deze aspecten van onzekerheid wordt verder gegaan in hoofdstuk 7 (Aanbevelingen).

Door de gevolgde benadering worden er voor elke variant twee denitrificatiegetallen berekend door met een lage en een hoge waarde voor de f_s te rekenen en die als range kunnen worden gezien voor de hier gehanteerde omstandigheden.

De invoergegevens met betrekking tot de beregeningshoeveelheden en de bijbehorende stikstofgiften staan in Tabel 4 (hoofdstuk). Daarbij is nog onderscheid gemaakt tussen kastype en of er gebruik wordt gemaakt van assimilatiebelichting. Vooruitlopend op de resultaten bleek dat er weinig verschillen waren tussen oude en nieuwe kassen en kassen met of zonder assimilatiebelichting binnen een grondsoort en ontwateringdiepte. Daarom is dit onderscheid niet verder meegenomen in de resultaten.

Bijlage II.

Denitrificatie

Denitrificatie ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) voor een bodemlaag van 0,90 m in een chrysantenteelt in de volle grond in kassen voor drie grondsoorten, twee type ontwateringen, kastype, met of zonder assimilatiebelichting en beregeningshoeveelheid en bij de hoogste en de laagste waarde voor de reductiefactoren voor vochtverzadiging f_s .

Bedrijfs- type	Grondsoort	Ontwatering	Kas	Assimilatie- belichting	Beregenings- hoeveelheid	Denitrificatie bij	
						f_s laag	f_s hoog
1	zand	diep grondwater	nieuw	+	standaard	26	298
2	zand	diep grondwater	oud	+	standaard	26	298
3	zand	diep grondwater	oud	-	standaard	26	288
1	zand	diep grondwater	nieuw	+	scenario 1	0	101
2	zand	diep grondwater	oud	+	scenario 1	0	134
3	zand	diep grondwater	oud	-	scenario 1	0	136
4	zand	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	standaard	121	369
5	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	standaard	117	257
6	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	standaard	124	283
4	zand	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	scenario 1	59	197
5	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	scenario 1	45	144
6	zand	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	scenario 1	56	150
7	veen	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	standaard	162	366
8	veen	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	standaard	140	280
9	veen	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	standaard	167	270
7	veen	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	scenario 1	13	189
8	veen	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	scenario 1	13	127
9	veen	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	scenario 1	13	136
10	klei	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	standaard	6	493
11	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	standaard	16	443
12	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	standaard	16	418
10	klei	onderbemaling, 0,85 m	nieuw	+	scenario 1	0	286
11	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	+	scenario 1	0	259
12	klei	onderbemaling, 0,85 m	oud	-	scenario 1	0	62

Bijlage III.

Gewasafvoer

De gemiddelde gewasafvoer uit Tabel 6 is gebaseerd op gemeten N- en P-gehalten in het gewas en netto afvoer van drogestof van het gewas (N en P in kg ha⁻¹ jr⁻¹. Ass.bel. staat voor assimilatiebelichting).

Jaar	Bedrijf	Kastype	Ass.bel.	Grondsoort	N	P	Bron
1994	1	oud	n	zavel	494	71	(Korsten, 1998)
1994	2	oud	n	zavel	507	69	(Korsten, 1998)
1994	4	oud	n	klei	553	76	(Korsten, 1998)
1994	5	oud	n	klei	490	69	(Korsten, 1998)
1995	4	oud	n	klei	612	88	(Korsten, 1998)
1995	5	oud	n	klei	528	74	(Korsten, 1998)
1994	3	oud	n	zand	409	69	(Voogt <i>et al.</i> , 1999)
1995	3	oud	n	zand	429	77	(Voogt <i>et al.</i> , 1999)
1999	1	nieuw	j	zw klei	844	102	(Voogt <i>et al.</i> , 2000b)
1999	2	nieuw	n	zand	808	101	(Voogt <i>et al.</i> , 2000b)
1999	3	nieuw	n	klei	781	76	(Voogt <i>et al.</i> , 2000b)
1999	4	oud	j	venige klei	782	82	(Voogt <i>et al.</i> , 2000b)
2000	1	nieuw	j	zw klei	1013	87	(Voogt <i>et al.</i> , 2002)
2000	2	nieuw	n	zand	954	113	(Voogt <i>et al.</i> , 2002)
2000	3	nieuw	n	klei	931	77	(Voogt <i>et al.</i> , 2002)
2000	4	oud	j	venige klei	981	97	(Voogt <i>et al.</i> , 2002)
2002	1	nieuw	j	zavel	929	119	(Voogt <i>et al.</i> , 2000a)
2002	2	oud	j	klei	788	77	(Voogt <i>et al.</i> , 2000a)
2002	3	nieuw	j	klei	1173	126	(Voogt <i>et al.</i> , 2000a)
2003	1	oud	n	zand	478	62	(Voogt & Van Winkel, 2004)
2003	1	oud	j	zavel	752	88	(Voogt & Houter, 2003)
2003	2	nieuw	j	klei	918	89	(Voogt & Houter, 2003)
2003	3	nieuw	j	klei	1087	126	(Voogt & Houter, 2003)

Het aantal waarnemingen, de gemiddelde N- en P-afvoer en de standaardafwijking (st. afwijking) van de bovenstaande tabel en de afronding tot gehele getallen.

Kastype	Ass.bel	Aantal waarnemingen	N			P		
			gemiddelde	st. afwijking	afronding	gemiddelde	st. afwijking	afronding
Nieuw	j	6	994	121	1000	108	18	110
Oud	j	4	826	105	900	86	9	95
Oud	n	9	500	61	750	73	7	80

Bijlage IV.

Volledige balansen ter berekening van het N-bodemoverschot

Basisscenario.

Bedrijfs- type	Kas- type	Assimilatie- belichting	Grond- soort	Ontwatering	Evapo- transpiratie	Berege- ning	Beregenings- overschot	Org. mest kg N/ha	Kunst- mest	Denitrificatie bij		Bodemoverschot bij		NO ₃ mg/l bij		
										f _s ,hoog	f _s ,laag	f _s ,hoog	f _s ,laag	f _s ,hoog	f _s ,laag	
1	nieuw	ja	zand	grondw	966	1437	471	100	1609	295	24	1000	414	685	389	644
2	oud	ja	zand	grondw	836	1244	408	100	1393	295	24	900	298	569	324	618
3	oud	nee	zand	grondw	721	1073	352	100	1201	292	24	750	259	527	327	664
4	nieuw	ja	zand	drain	966	1249	284	100	1399	303	121	1000	196	378	307	591
5	oud	ja	zand	drain	836	1082	246	100	1211	303	121	900	108	290	195	524
6	oud	nee	zand	drain	721	933	212	100	1045	303	121	750	92	274	192	572
7	nieuw	ja	veen	drain	966	889	-77	0	1368	308	146	1000	60	222	0	0
8	oud	ja	veen	drain	836	769	-67	0	1184	308	146	900	-24	138	0	0
9	oud	nee	veen	drain	721	663	-58	0	1022	308	146	750	-36	126	0	0
10	nieuw	ja	klei	drain	966	1199	234	75	1595	456	17	1000	214	653	406	1238
11	oud	ja	klei	drain	836	1038	202	75	1381	456	17	900	100	539	219	1180
12	oud	nee	klei	drain	721	895	174	75	1191	456	17	750	60	499	152	1267

Scenario 1.

Bedrijfs- type	Kas	Assimilatie- belichting	Grond- soort	Ontwatering	Verdam- ping	Berege- ning	Beregenings- overschot	Org. mest	Kunst- mest	Denitrificatie		Gewas- afvoer		Bodemoverschot bij		NO ₃ mg/l bij	
										f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag
1	nieuw	ja	zand	grondw	966	1249	284	100	1399	124	0	1000	375	499	586	780	
2	oud	ja	zand	grondw	836	1082	246	100	1211	124	0	900	287	411	518	742	
3	oud	nee	zand	grondw	721	933	212	100	1045	124	0	750	271	395	566	825	
4	nieuw	ja	zand	drain	966	1087	121	100	1217	164	53	1000	153	264	561	968	
5	oud	ja	zand	drain	836	941	105	100	1053	164	53	900	89	200	379	849	
6	oud	nee	zand	drain	721	811	90	100	908	164	53	750	94	205	464	1010	
7	nieuw	ja	veen	drain	966	773	-193	0	1190	153	13	1000	37	177	-	-	
8	oud	ja	veen	drain	836	669	-167	0	1030	153	13	900	-23	117	-	-	
9	oud	nee	veen	drain	721	577	-144	0	888	153	13	750	-15	125	-	-	
10	nieuw	ja	klei	drain	966	1043	77	75	1387	202	0	1000	260	462	1492	2650	
11	oud	ja	klei	drain	836	903	67	75	1201	202	0	900	174	376	1151	2489	
12	oud	nee	klei	drain	721	779	58	75	1036	202	0	750	159	361	1218	2769	

Scenario 2.

Bedrijfs- type	Kas- type	Assimilatie- belichting	Grondsoort	Ontwatering	Verdamping	Berekening	Beregenings- overschot	Totaal n-aanvoer bij		Denitrificatie bij		Gewas- afvoer	Bodem- overschot	Concentratie NO ₃ mg/l
								f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag			
1	nieuw	Ja	zand	grondw	966	1249	284	1156	1032	124	0	1000	32	50
2	oud	Ja	zand	grondw	836	1082	246	1052	928	124	0	900	28	50
3	oud	Nee	zand	grondw	721	933	212	898	774	124	0	750	24	50
4	nieuw	Ja	zand	drain	966	1087	121	1178	1067	164	53	1000	14	50
5	oud	Ja	zand	drain	836	941	105	1076	965	164	53	900	12	50
6	oud	Nee	zand	drain	721	811	90	924	813	164	53	750	10	50
7	nieuw	Ja	veen	drain	966	773	-193	1131	991	153	13	1000	-22	-
8	oud	Ja	veen	drain	836	669	-167	1034	894	153	13	900	-19	-
9	oud	Nee	veen	drain	721	577	-144	887	747	153	13	750	-16	-
10	nieuw	Ja	klei	drain	966	1043	77	1211	1009	202	0	1000	9	50
11	oud	Ja	klei	drain	836	903	67	1110	908	202	0	900	8	50
12	oud	Nee	klei	drain	721	779	58	959	757	202	0	750	7	50

Scenario 3.

Bedrijfs- type	Kas- type	Assimilatie- belichting	Grond- soort	Ontwatering	Verdam- ping	Berege- ning	Beregenings- overschot	N-aanvoer bij		Denitrificatie bij		Gewasafvoer bij		Bodemoverschot bij		Conc NO ₃ mg/l
								f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	f _s hoog	f _s laag	
1	nieuw	ja	zand	grondw	966	1062	97	1156	1032	124	0	1000	1000	32	32	147
2	oud	ja	zand	grondw	836	920	84	1052	928	124	0	900	900	28	28	147
3	oud	nee	zand	grondw	721	793	72	898	774	124	0	750	750	24	24	147
4	nieuw	ja	zand	drain	966	1062	97	1178	1067	164	53	1000	1000	14	14	62
5	oud	ja	zand	drain	836	920	84	1076	965	164	53	900	900	12	12	62
6	oud	nee	zand	drain	721	793	72	924	813	164	53	750	750	10	10	63
7	nieuw	ja	veen	drain	966	1062	97	1131	991	153	13	1000	1000	-22	-22	0
8	oud	ja	veen	drain	836	920	84	1034	894	153	13	900	900	-19	-19	0
9	oud	nee	veen	drain	721	793	72	887	747	153	13	750	750	-16	-16	0
10	nieuw	ja	klei	drain	966	1062	97	1211	1009	202	0	1000	1000	9	9	40
11	oud	ja	klei	drain	836	920	84	1110	908	202	0	900	900	8	8	40
12	oud	nee	klei	drain	721	793	72	959	757	202	0	750	750	7	7	40

