

RIVM rapport 718201007/2003

Toets van STONE versie 2.0

Samenvatting en belangrijkste resultaten

A.Tiktak^a, A.H.W. Beusen^a, L.J.M. Boumans^a,
P. Groenendijk^b, B.J. de Haan^a, R. Portielje^c,
C.G.J. Schotten^a en J. Wolf^b.

- a) RIVM, Bilthoven
- b) Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen
- c) RIZA, Lelystad

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat Generaal Milieubeheer in het kader van het project M/718201, ‘Vermesting’; deelproject ‘Ketenmodel vermessing’. Het onderzoek van Alterra en RIZA kwam ten laste van de ‘eigen’ opdrachtgevers.

Abstract

The STONE model for nitrogen and phosphorus emission to the groundwater and surface waters has been developed to evaluate the environmental consequences of policies regarding manure and agriculture. In 2000, an advisory body ('The Spiertz Commission') explicitly asked for validation of the Dutch eutrophication models. This report summarises the most important findings of the so-called 'STONE test'. STONE results were compared with monitoring data at different spatial scales from the field scale up to the national scale. At the field scale, conclusions were drawn on process descriptions and temporal dynamics. At the national scale, spatial patterns and frequency distributions were investigated. Here, STONE slightly underestimated the median nitrate concentrations in the upper groundwater. Also, the correlation between measured and simulated concentrations of nitrogen in the groundwater was good. Large differences were, however, found at the regional scale. These differences might be attributed to errors in the manure transport and application module. This suggests that STONE is not yet suitable for applications at the regional scale. The predicted concentration of nitrate and phosphorus in drain water was higher than the actual concentration of these compounds in surface waters. This was expected, because riparian retention and loss processes in surface waters were not modelled. Future research should be directed towards (i) improving the model performance at the regional scale, and (ii) further validation of the surface water component of STONE by combining the model with a surface water model.

Voorwoord

STONE is het landsdekkende nutriëntenemissiemodel dat ontwikkeld is voor het evalueren van effecten van nationaal en Europees milieu- en landbouwbeleid op de belasting met stikstof en fosfaat van het grond- en oppervlaktewater. Het model is gezamenlijk eigendom van het consortium RIVM, RIZA en DLO. De huidige versie van STONE, versie 2.0, werd in 2001 opgeleverd. Veel medewerkers uit de verschillende instituten hebben hieraan bijgedragen. Het model is inmiddels ingezet voor een aantal MNP producten, zoals de Vijfde Milieuverkenning, de tweede Natuurverkenning en de Evaluatie van de Meststoffenwet (EMW). De Commissie Spiertz vroeg in 2000 expliciet om validatie van het modelinstrumentarium dat gebruikt wordt ter ondersteuning van het vermessingsbeleid (Velthof, 2001). In dit kader is in 2001 een eerste plausibiliteitstoets uitgevoerd, die globaal duidelijk gemaakt heeft waarvoor STONE wel geschikt is en waarvoor niet. De toets die in dit rapport beschreven staat, gaat verder – er worden verklaringen gezocht voor afwijkingen en aanbevelingen gedaan voor het oplossen van knelpunten.

Naast de auteurs van dit rapport hebben vele anderen, direct of indirect, meegewerkt aan het toetsen van STONE. In alle gevallen bleek een grote betrokkenheid. Ik bedank namens de Stuurgroep STONE een ieder die een bijdrage geleverd heeft. Ik vertrouw erop dat ook in de toekomst een beroep op hen gedaan kan worden. Gezien eerdere ervaringen in de beleidstoepassingen tot nu toe twijfel ik daar niet aan.

Ir. Reinier van den Berg

Leider van het Team Landbouw en Duurzaamheid van het Landelijk Gebied (LDL), RIVM

Inhoud

Samenvatting	9
1. Inleiding	11
2. Opzet van de STONE toets	13
3. Modelvarianten en historische bemestingsreeksen	17
3.1 Modelversies	17
3.2 Historische bemestingsreeksen	18
4. Resultaten	23
4.1 Toets van het hydrologisch deelsysteem	23
4.2 Toepassing van STONE op proefvelden	25
4.3 Toets op oppervlaktewaterkwaliteit in stroomgebieden	28
4.4 Landelijke toets op oppervlaktewaterkwaliteit	29
4.5 Landelijke toets op nitraat in het grondwater	33
5. Discussie, conclusies en aanbevelingen	41
5.1 Invloed van de historische bemestingsreeksen	41
5.2 Tekortkomingen van de gevolgde procedure	41
5.3 De belangrijkste conclusies op een rij	42
5.4 Aanbevelingen	43
Literatuur	47
Bijlage 1 Procedure vergelijking van LMM met STONE	51
Bijlage 2 Gebruikte afkortingen	55
Bijlage 3 Verzendlijst	57

Samenvatting

STONE is het landsdekkende nutriëntenemissiemodel dat ontwikkeld is voor het evalueren van effecten van nationaal en Europees milieu- en landbouwbeleid op de belasting met stikstof en fosfaat van het grond- en oppervlaktewater. Het model is gezamenlijk eigendom van het consortium RIVM, RIZA en DLO. Het model is inmiddels ingezet voor een aantal MNP producten, zoals de Vijfde Milieuverkenning, de tweede Natuurverkenning en de Evaluatie van de Meststoffenwet (EMW). De Commissie Spiertz vroeg in 2000 expliciet om validatie van het modelinstrumentarium dat gebruikt wordt ter ondersteuning van het vermessingsbeleid (Velthof, 2001). In dit kader is in 2001 een eerste plausibiliteitstoets uitgevoerd, die globaal duidelijk gemaakt heeft waarvoor STONE wel geschikt is en waarvoor niet. De meest robuuste resultaten van STONE waren de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater en de fosfaathopning in de bodem, met name de resultaten op een landelijke schaal. Veel aspecten, met name op een fijner schaalniveau dan het nationaal niveau zijn in 2001 niet onderzocht. Om deze redenen werd besloten tot een uitgebreide STONE toets, waarvan de belangrijkste resultaten in dit document beschreven zijn.

Tijdens deze nieuwe toets zijn de met STONE berekende stikstof- en fosfaatconcentraties in primair door de landbouw beïnvloede bodem-, grondwater- en klein oppervlaktewatersystemen gedetailleerd in ruimte en tijd geëvalueerd. De toets gebruikte hiervoor een aantal landsdekkende datasets, namelijk de CIW waterenquête (oppervlaktewaterkwaliteit), het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (nitraat in grondwater). Daarnaast is gebruik gemaakt van meetgegevens op proefvelden en in stroomgebieden. De gebruikte historische bemestingsreeksen zijn in beperkte mate vergeleken met CBS gegevens over het regionale mestgebruik in Nederland.

Tijdens de toets kwam naar voren dat voor het leveren van belangrijke MNP producten onder andere gebruik gemaakt is van andere dan de centraal beheerde (door de Stuurgroep STONE geaccordeerde) modelversies, de zogenaamde STONE specials. Aangezien dit tot verwarring leidt, dient deze werkwijze in de toekomst vermeden te worden, zeker waar het gaat om belangrijke MNP producten zoals de Evaluatie Mestbeleid en de Milieu- en Natuurverkenningen. Bovendien dient, in tegenstelling tot de huidige praktijk, in de toekomst een gewijzigde versie *vooraf* op een aantal aspecten getoetst te worden.

De historische bemesting die in recente STONE toepassingen (Vijfde Milieuverkenning en Evaluatie Mestbeleid) is gebruikt bleek circa 20% lager te zijn dan schattingen over het mestgebruik door het CBS. Dit wordt veroorzaakt door de (optimistische) aanname dat er niet meer mest wordt uitgereden dan is toegestaan. Daarnaast bleek de uitrijvolgorde – eerst op maïs en dan op gras of omgekeerd - die gebruikt was om de historische bemestingsreeksen te genereren, fout te zijn, waarbij de afwijking in de Vijfde Milieuverkenning het grootst was. De historische bemestingsreeksen hebben een gering effect op de met STONE 2.0 berekende stikstofafspoeling naar het oppervlaktewater, maar een aanzienlijk effect op de berekende ni-

traatuitspoeling naar het grondwater. De oorzaak van dit verschil kon op basis van de gebruikte gegevens niet worden bepaald.

Uit de vergelijking tussen resultaten van het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid en van STONE blijkt dat de mediane nitraatconcentratie in het bovenste grondwater door STONE wordt onderschat, zowel bij gebruik van het MV5 scenario als bij gebruik van gecorrigeerde historische bemestingsreeksen. Echter, in het laatste geval wordt het areaal land met een nitraatconcentratie onder de drinkwaternorm wel goed gereproduceerd. Op het niveau van LEI mestgebieden zijn er grote afwijkingen tussen de met STONE gesimuleerde nitraatconcentratie en de gemeten nitraatconcentratie. De fouten in de mestverdeling alleen kunnen die afwijkingen niet verklaren. STONE is hierdoor (nog) niet geschikt voor uitspraken op regionale schaal.

STONE simuleert in het algemeen hogere concentraties in het afspoelend water dan gemeten wordt in het kleine oppervlaktewater. Dit verschil kan onder andere veroorzaakt worden door retentie in de oeverzone en het kleine oppervlaktewater. De grootte van deze processen kan op dit moment (nog) niet met metingen worden onderbouwd. De grootte van de verliezen en de retentie is evenwel groter dan de retentie die gevonden werd via onafhankelijke berekeningen met PCDitch.

Het rapport sluit af met aanbevelingen over het oplossen van de belangrijkste knelpunten. Het gebrek aan overeenstemming tussen de gemeten en gesimuleerde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater op regionale schaal dient onderzocht te worden in een aanvullend toetsingstraject. Hierbij dient men gebruik te maken van datasets waarin naast einduitkomsten (b.v. nitraatconcentraties in het bovenste grondwater) ook tussenresultaten ter verklaring gegeven worden. Deze datasets zijn al of komen binnenkort beschikbaar. Daarnaast dient onderzocht te worden of het verschil tussen de met STONE berekende concentratie in het afgespoelde water en de concentratie in het oppervlaktewater inderdaad verklaard kan worden door processen in de oeverzone en de sloot.

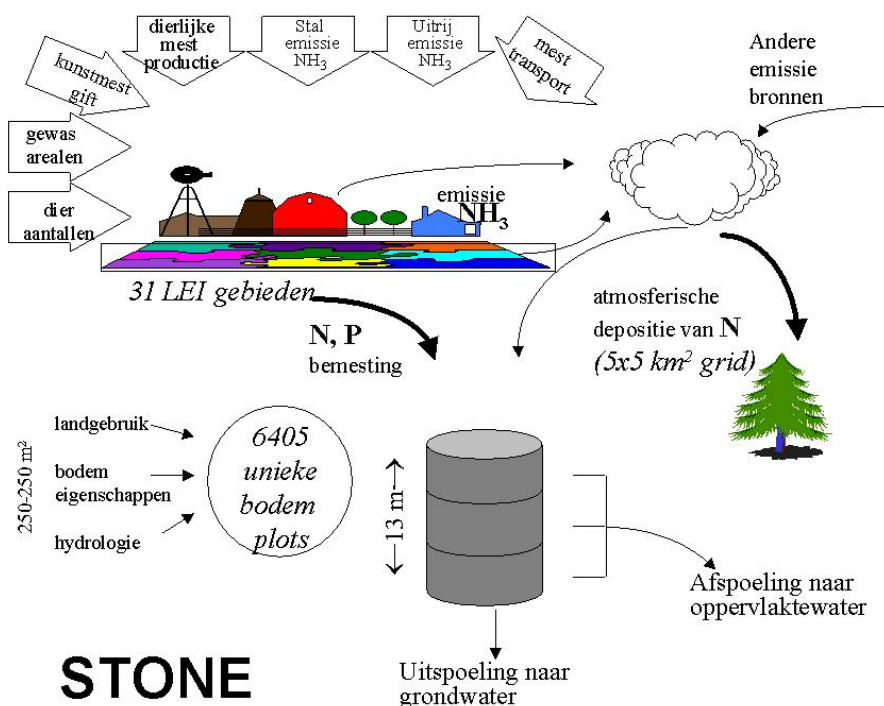
1. Inleiding

Het STONE model is het landsdekkende nutriëntenemissiemodel van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP). STONE is ontwikkeld voor het evalueren van effecten van nationaal en Europees milieu- en landbouwbeleid op de belasting met stikstof en fosfaat van het grond- en oppervlaktewater. Het model houdt ondermeer rekening met bemesting, opname door gewassen, mineralisatie, denitrificatie en atmosferische stikstofdepositie. Het model wordt primair gebruikt voor de ondersteuning van het nationale vermistingsbeleid (o.a. RIVM, 2000, 2002a; Overbeek *et al.*, 2001b; Schoumans *et al.*, 2002; Oenema *et al.*, 2002). Daarnaast is het model ingezet voor de tweede Natuurverkenning (RIVM, 2002b). STONE is een interdepartementaal consensusmodel, dat ontwikkeld is door RIVM, DLO en RIZA. De Commissie Spiertz vroeg in 2000 expliciet om validatie van het modelinstrumentarium dat gebruikt wordt ter ondersteuning van het vermistingsbeleid (Velthof, 2000). Hierbij werd gesteld dat de herkomst van de gegevens en de gevolgde procedures helder moeten zijn. Verder dienden de modeluitkomsten aan een kritische beoordeling te worden onderworpen, waarbij toetsing aan meetgegevens een belangrijke rol speelt. In dit kader is na de oplevering van STONE 2.0 een zogenaamde 'plausibiliteittoets' uitgevoerd (Overbeek *et al.*, 2001a, 2002). Tijdens deze toets zijn de STONE resultaten vergeleken met gelumpde waarnemingen (frequentiedigrammen, jaarsommen, etc.). Een belangrijke conclusie van deze toets was dat het model vooralsnog vooral geschikt was om uitspraken te doen voor relatief grote arealen en dan met name over landsdekkende uitspraken over nitraatuitspoeling naar het grondwater en de fosfaatophoping in de bodem (Rötter *et al.*, 2001). Veel aspecten, met name op een fijner schaalniveau dan het nationaal niveau waren nog onvoldoende onderzocht (Rötter *et al.*, 2001). Om deze redenen werd besloten tot een uitgebreide STONE toets, waarvan de belangrijkste resultaten in dit document beschreven worden.

2. Opzet van de STONE toets

Het STONE model berekent voor 6405 unieke combinaties van voornamelijk landgebruik, bodemtype en hydrologische situatie de uit- en afspoeling van nitraat en fosfaat (figuur 1). Het meest recente modeloverzicht kan worden gevonden in Schoumans *et al.*, (2002), hier wordt alleen een zeer summier overzicht gegeven.

STONE bestaat uit een keten van modellen. Voor de EMW toepassing is het FARMMIN model (Schoumans *et al.*, 2002) gebruikt om voor de melkveehouderij de bemesting van grasland- en maïsland te berekenen. CLEAN berekent dieraantallen, mestproductie en –verdeling, ammoniakvervluchtiging en bemesting van bouwland, grasland en maïsland (Van Tol *et al.*, 2002). De atmosferische depositie van stikstof wordt berekend middels SRM model (Van Jaarsveld, 1995). Het ANIMO model (Groenendijk en Kroes, 1999) is een complex procesmodel voor nutriënten- en koolstofhuishouding in de bodem. QUADMED is een empirisch model voor de berekening van de gewasafvoer, gebaseerd op resultaten van bemestingsproeven. De gebruikte hydrologische invoergegevens zijn berekend met het hydrologisch model SWAP (Kroes *et al.*, 2000).



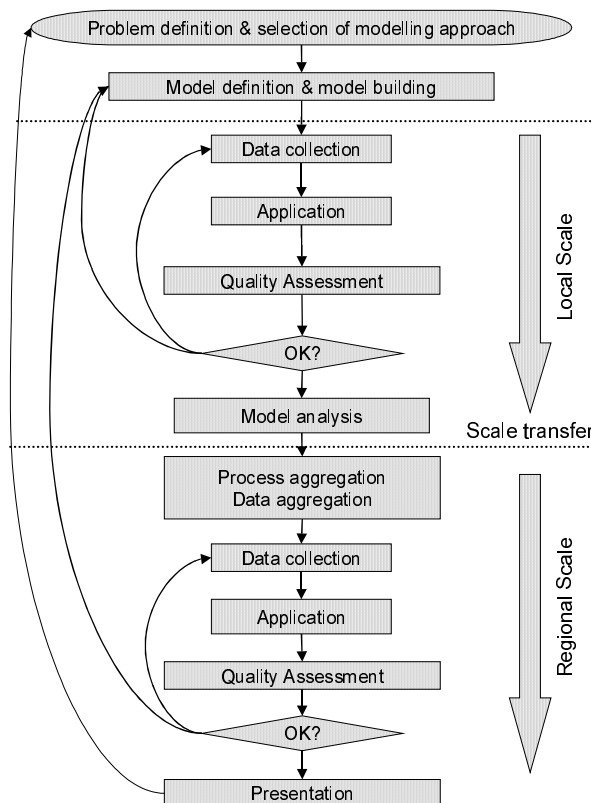
Figuur 1 Overzicht van belangrijkste invoergegevens en modelresultaten van het STONE model.

De nitraat- en fosfaatconcentratie in primair door de landbouw beïnvloede kleine oppervlaktewater- en grondwatersystemen zijn gedetailleerd in ruimte en tijd geëvalueerd. De betrouwbaarheid van de eindresultaten van STONE (de uit- en afspoeling van nitraat en fosfaat) wordt bepaald door de betrouwbaarheid van de gebruikte deelmodellen en de betrouwbaarheid van de gebruikte invoergegevens. Een belangrijk deel van deze analyse kan plaatsvinden door vergelijking van de STONE resultaten met gegevens uit landelijke meetnetten. Aangezien de kern van het STONE model een complex procesmodel is, zijn er naast de eindresul-

taten veel tussenresultaten nodig, die niet landelijk beschikbaar zijn. Denk hierbij aan gegevens over denitrificatie, mineralisatie en gewasafvoer. Om deze reden is de STONE toets gesplitst in een tweetal deeltolsten:

- Toetsing van het model op de veldschaal. Dit geeft inzicht in de onderliggende processen, parameterisatie van procesparameters, etc.
- Toetsing van het model op de landelijke schaal. Tijdens deze fase wordt getoetst of met het model correcte uitspraken kunnen worden gedaan op het schaalniveau van de uiteindelijke toepassing. Tijdens deze fase wordt vooral gekeken naar ruimtelijke patronen en gemiddelden en minder naar de onderliggende processen.

Deze benadering sluit aan op de onderzoeksketenbenadering, zoals voorgesteld door De Vries (1994), Bouma *et al.* (1998), Tiktak (1999) en Tiktak *et al.* (2002). De gehele onderzoeksketen is geschematiseerd weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Onderzoeksketen die gevolgd dient te worden bij de ontwikkeling en toetsing van een model dat oorspronkelijk voor de veldschaal ontwikkeld is (cf. Tiktak, 1999)

Tijdens de toets zijn de volgende datasets gebruikt:

1. Meetgegevens van proefvelden verkregen via een drietal projecten, te weten 'Fosfaatverliezen op grasland' (Van der Salm en Schoumans, 2000), 'Kwantificering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden' (Kroes, 1996) en 'Integrale monitoring van stikstofstromen in bodem en gewas op het proefbedrijf De Marke' (Hack-ten Broeke en Aarts, 1996);
2. Oppervlaktewaterkwaliteit in een aantal stroomgebieden, met name Bergambacht en Schuitenbeek;

3. De CIW waterkwaliteitsenquête. Deze dataset is gebruikt voor de landelijke toets op de oppervlaktewaterkwaliteit;
4. Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM; Fraters *et al.*, 1999). Dit meetnet is gebruikt voor de landelijke toets op nitraat in het grondwater;
5. De Landelijke Steekproef Kaarteenheden, LSK (Finke *et al.*, 2001). Deze dataset is gebruikt voor validatie op de fosfaatvoorraad in de bodem (Leopold *et al.*, 2003).
6. Grondwaterstanden en drainwaterafvoer in een aantal stroomgebieden. Deze dataset is gebruikt om het minimum schaalniveau waarvoor de STONE hydrologie geldig is te beoordelen (Kroes *et al.*, 2002).

Tijdens de uitvoering van de toets bleek dat de materie dermate complex was, dat besloten is de toets op te delen in een aantal deeltoetsen. Van een aantal onderdelen is tevens een gedetailleerde deelrapportage beschikbaar. De toets op proefvelden werd uitgevoerd onder leiding van Alterra en is uitgebreid beschreven in ter Horst en Wolf (2003). De toets op oppervlaktewaterkwaliteit (onderdelen 2 en 3) is uitgevoerd onder leiding van RIZA en Alterra en beschreven in Portielje *et al.* (2003). De bodem- en grondwatertoets (onderdelen 4 en 5) is uitgevoerd onder leiding van het RIVM; alle relevante informatie is te vinden in dit rapport en in Leopold *et al.* (2003). De hydrologische deeltoets is beschreven in Kroes *et al.* (2002).

3. Modelvarianten en historische bemestingsreeksen

Tijdens de opzet van de STONE toets is ervan uitgegaan dat er sprake is van één operationele STONE versie. Deze aanname sluit aan op de afspraak binnen het STONE consortium dat beleidsgevoelige berekeningen dienen te worden uitgevoerd met een door de stuurgroep STONE geaccordeerde modelversie. De laatste modelversie die aan deze criteria voldoet, is STONE versie 2.0 in combinatie met het scenario uit de Vijfde Milieuverkenning (RIVM, 2000). In de loop van de STONE toets is ten behoeve van de Evaluatie van de Meststoffenwet (RIVM, 2002a) ook een STONE special ontwikkeld. Het betreft hier zowel een speciale versie van het model alsook van de bijbehorende historische bemestingsreeksen. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van de verschillende versies.

3.1 Modelversies

In juni 1996 is besloten te starten met de ontwikkeling van een eerste versie van het STONE model. Deze versie is medio 1998 opgeleverd en bestond uit een koppeling van de bestaande modellen CLEAN, SRM en ANIMO. De hydrologie en landsdekkende schematisatie voor deze versie waren rechtstreeks overgenomen uit een studie ter voorbereiding van de derde nota waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). Het werd al snel duidelijk dat de kwaliteit van de STONE resultaten voor een belangrijk deel afhankelijk was van een goed hydrologisch modelinstrumentarium. Pas nadat dit instrumentarium gereed gekomen was, is de eerste versie van STONE operationeel verklaard. Deze versie (STONE 1.3) is door het RIVM toegepast voor de Vijfde Milieuverkenning (RIVM, 2000; Overbeek *et al.*, 2001b).

Een belangrijke tekortkoming van STONE 1.3. was dat de ruimtelijke schematisatie uitsluitend op hydrologische kenmerken gebaseerd was en niet op bodemchemische eigenschappen. Om deze reden is in het voorjaar van 2001 een nieuwe ruimtelijke schematisatie van Nederland opgeleverd (Kroon *et al.*, 2001) en zijn nieuwe modules voor berekening van de gewasopname, denitrificatie en mineralisatie van organische stof geïmplementeerd. Dit heeft geleid tot de oplevering van STONE 2.0. Deze versie is ingezet voor de tweede Natuurverkenning (RIVM, 2002b). De belangrijkste verschillen tussen STONE 2.0 en STONE 1.3 zijn:

- De nieuwe schematisatie is gedetailleerder (6405 plots in STONE 2.0 tegen 3643 plots in STONE 1.3);
- De gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) zijn in STONE 2.0 gebaseerd op klimatologische reeksen van 30 jaar, terwijl in STONE 1.3 kortere reeksen van 15 jaar gebruikt werden;
- In STONE 2.0 zijn niet bemeste grasarealen aan het natuurareaal toegekend. Dit heeft consequenties voor de mestverdeling;
- De gewasopname wordt in STONE 2.0 berekend met de QUADMOD benadering (Berge *et al.*, 2000). Deze benadering is sterk empirisch en is in sterke mate gebaseerd op resultaten van proefvelden;
- De denitrificatie werd in STONE 1.3. bepaald door de afbraaksnelheid van organische stof onder anaërobe omstandigheden (Groenendijk en Kroes, 1999) en de daaruit resul-

rende vraag naar zuurstof. In STONE 2.0 is gekozen voor een meer robuuste, empirische benadering, waarbij de denitrificatie afhangt van temperatuur en bodemvochtgehalte (Bril *et al.*, 1994). De invloed van bodemvocht op de overige organische stofomzettingen is op dezelfde wijze meegenomen.

Omwille van de EMW (RIVM, 2002a) is er een STONE special ontwikkeld, STONE versie 2.0a (Schoumans *et al.*, 2002). Als basis van deze versie is STONE versie 2.0 genomen. Naast een aantal technische veranderingen is ook een aantal inhoudelijke wijzigingen doorgevoerd. Zo is de gewasopnamemodule, QUADMODO, gereguleerd om verliesnormen te kunnen opleggen en is de stikstof- en fosforfractie van gewasresten op een ander moment bepaald (jaar 7 in plaats van jaar 1). Tevens zijn de fractie beweiding van grasland en de verdeling van organische stikstof van weidemest over de verschillende stikstofpools veranderd. In STONE 2.0a is voor alle gronden de maximale fosfaatbufferconcentratie op 90 mg L⁻¹ P gezet. Dit zorgt ervoor dat buffercapaciteit van de bodem bij een lage pH waarde volledig benut wordt. Zie voor details verder Schoumans *et al.* (2002).

3.2 Historische bemestingsreeksen

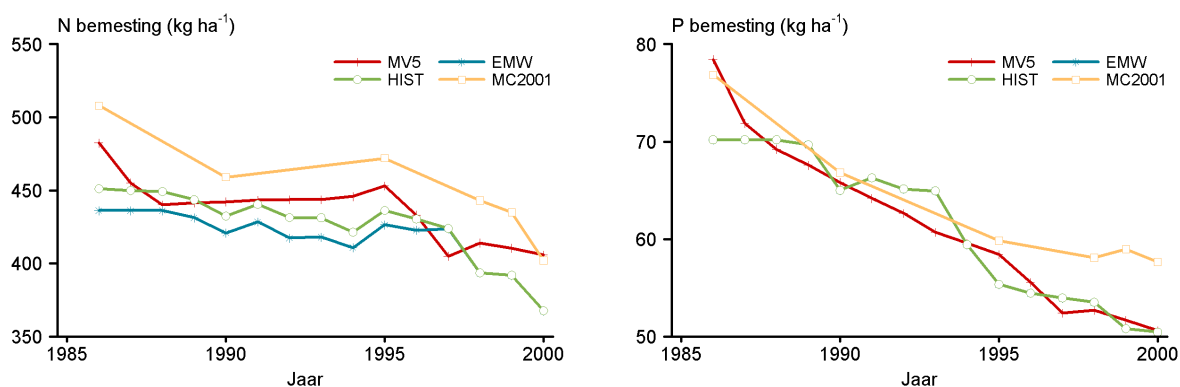
Sinds het uitbrengen van de Vijfde Milieuverkenning is er veel werk verricht aan het correct maken van de historische bemestingsreeksen, omdat gebleken was dat daarin gebreken zaten. Naast vele kleine veranderingen is er één belangrijke wijziging doorgevoerd die belangrijke gevolgen heeft voor de mestverdeling binnen (en in mindere mate) buiten een LEI gebied, namelijk de zogenaamde uitrijvolgorde van dierlijke mest (Van Tol *et al.*, 2002). De uitrijvolgorde wordt per mestsoort opgegeven en geeft aan op welke gewas-bodemcombinatie de mest prioritair wordt toegediend. Deze volgorde wordt éénmalig opgegeven, en geldt dus voor de gehele periode en voor het gehele land. De uitrijvolgorde was in de historie van het MV5 scenario niet correct beschreven. Dat is in november 2001 rechtgezet. Dit scenario wordt in dit rapport aangeduid met de term HIST scenario.

Een resultaat van het veranderen van de uitrijvolgorde is dus dat de officieel geaccordeerde STONE versie 2.0 (met de MV5 historie) géén correcte historische bemestingsreeksen bevat.

Daarnaast bestaat de historische mestbelasting van de EMW. Hiervoor is de juiste uitrijvolgorde gebruikt. Voor de EMW is er daarnaast een bijzonder procedure toegepast om ervoor te zorgen dat de norm op maïs gehaald zou worden. Omdat voor de EMW berekeningen data uit FARMMIN gebruikt zijn, was het noodzakelijk om de uitrijvolgorde van vleesvee- en vleskalverendrijfmest zodanig aan te passen dat CLEAN de bemestingsnormen op de juiste manier zou opvullen. De verandering betrof voor deze mestsoorten het omdraaien van de toediening op grasland en snijmaïs. Normaal gesproken wordt rundveemest eerst op gras toegediend en dan op maïs. Voor de EMW is de volgorde dus eerst op maïs en dan op grasland. Omdat er in CLEAN per simulatieperiode slechts één uitrijvolgorde wordt opgelegd, betekende deze aanpassing dat ook de historische mesttoediening gewijzigd is.

Een resultaat van het omdraaien van het veranderen van de uitrijvolgorde is dat ook de EMW historie niet geheel correct is.

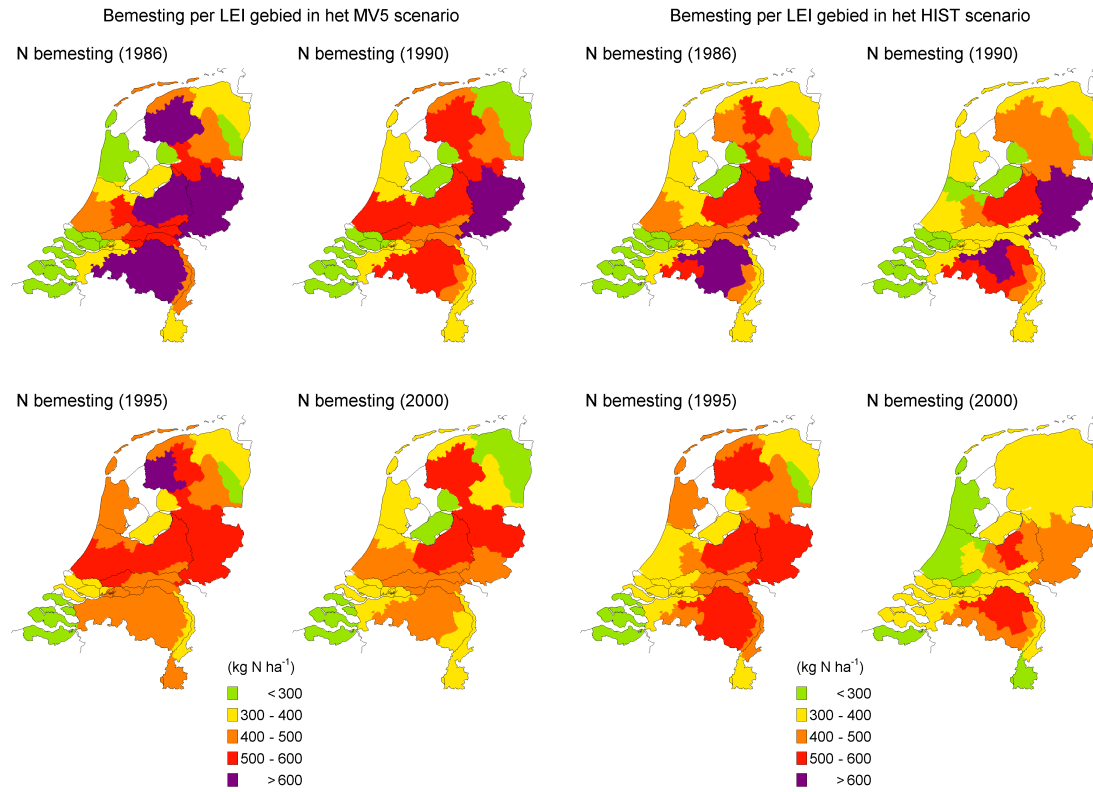
De figuren 3 en 4 laten de verschillen tussen de verschillende historische bemestingsreeksen zien. Naast het MV5 en het EMW scenario is ook het boven vermelde HIST scenario opgenomen.



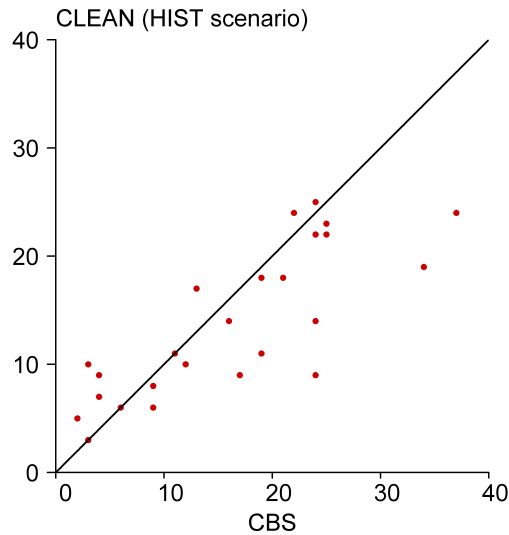
Figuur 3. Totale N- en P bemesting (kg ha^{-1}) als functie van de tijd voor het MV5 scenario, het EMW scenario en het HIST scenario. Voor P overlappen de lijnen voor EMW en HIST. Voor de volledigheid zijn ook de CBS getallen opgenomen, zoals samengevat in Milieucompendium 2001 (MC2001).

Zoals de figuren laten zien, zijn de verschillen voor N groter dan voor P. Het MV5 scenario is het meest afwijkende scenario. Verder valt op dat de verschillen op LEI gebiedsniveau veel groter dan zijn de verschillen op een landelijke schaal (figuur 4). Ook hier geldt dat de verschillen het grootst zijn voor het MV5 scenario. In de figuur zijn ook de CBS getallen opgenomen, die gebaseerd zijn op opgaven uit de praktijk. Zie verder de volgende alinea.

Zoals reeds eerder door Overbeek *et al.* (2001a) is vastgesteld, is validatie van de historische bemestingsreeksen tegen empirische gegevens vrijwel onmogelijk. Allereerst zijn er géén echte metingen beschikbaar. Het best beschikbare materiaal zijn de CBS statistieken, die in feite gebaseerd zijn op opgaven uit de praktijk. In het geval van dierlijke mest zijn de verzamelde gegevens onvoldoende representatief voor de berekening van regionale gemiddelden. Daarnaast worden gegevens over het kunstmestgebruik en mesttransport tussen de regio's al gebruikt bij het vaststellen van de modelinvoer. Ondanks deze kanttekeningen kan geconstateerd worden dat de door CLEAN berekende historische bemesting circa 20% te laag is (figuur 4 en 5; zie ook Overbeek *et al.*, 2001a). De verschillen worden veroorzaakt door de aanname in CLEAN dat het niet mogelijk is boven de gebruiksnorm te bemesten – het teveel wordt naar andere regio's getransporteerd. Dit is strijdig met de bevindingen van het CBS dat er in de mestoverschotgebieden boven de norm is bemest.



Figuur 4. Stikstofbemesting per LEI gebied voor twee verschillende historische bemestingsreeksen. Voor uitleg van de bemestingsreeksen: zie tekst.



Figuur 5. Gebruik van dierlijke mest (kiloton stikstof) per LEI mestgebied in 1997.

Samenvattend kan gesteld worden dat in géén van de grote toepassingen van het STONE model (Vijfde Milieuverkenning en EMW) correcte historische bemestingsreeksen gebruikt zijn. Er zijn verschillen tussen de best beschikbare schattingen over het mestgebruik in Nederland (CBS statistieken) en de CLEAN berekeningen. Dit wordt veroorzaakt door de (optimistische) aanname dat de gebruiksnormen altijd gehaald zullen worden. De consequenties van de verschillen worden besproken in hoofdstuk 5.1.

4. Resultaten

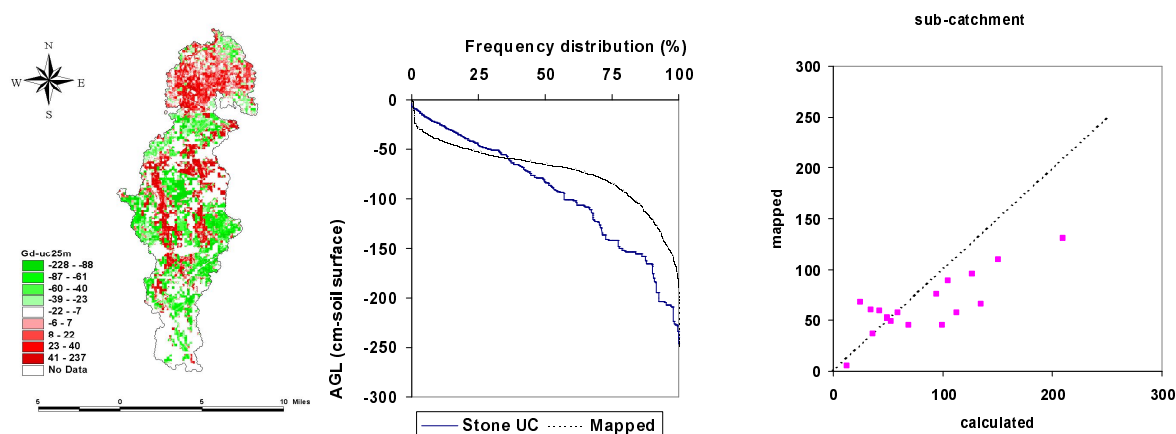
In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de verschillende deeltolsten.

4.1 Toets van het hydrologisch deelsysteem

Tijdens de oplevering van de hydrologische basis voor STONE 2.0 is een plausibiliteitstoets uitgevoerd (Kroes *et al.*, 2001). Hierin werd de hydrologie op een aantal algemene kenmerken (grondwaterstanden, verdamping, neerslagoverschot) beoordeeld. Als onderdeel van de STONE toets is een aantal belangrijke termen nader geanalyseerd. Doel was ondermeer om inzicht te krijgen in het minimum schaalniveau waarvoor de STONE hydrologie geldig is. Hiertoe is een regionale toets op de hydrologie uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende termen beoordeeld: (i) de drainwaterafvoer uit een stroomgebied en (ii) de grondwaterstanden in een aantal regio's. De regionale toets op de hydrologie is uitgebreid beschreven in Kroes *et al.*, (2002). In dit rapport wordt alleen de vergelijking op grondwaterstanden beschreven.

Geactualiseerde grondwaterstandkaarten waren op het moment van de studie (voorjaar 2002) beschikbaar voor Noord-Brabant en een deel van noordelijk Limburg. De geactualiseerde kaarten zijn gebaseerd op een methodiek die is beschreven door Finke *et al.* (2001). Van deze kaarten is de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) gebruikt voor de vergelijking, omdat de GHG een gevoelige parameter is in de nutriëntenberekeningen van STONE.

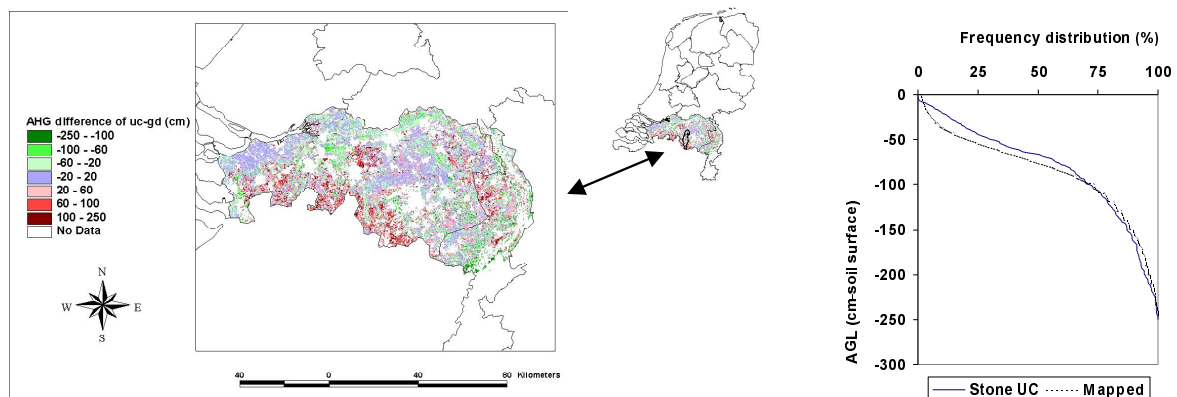
Voor het stroomgebied van de Beerze is een vergelijking gemaakt tussen de berekende en de geactualiseerde grondwaterstanden. Uit deze vergelijking blijkt dat er ruimtelijk forse verschillen zijn binnen het stroomgebied (figuur 6, links en midden). De beste correlatie werd gevonden indien gemiddelden per deelstroomgebied vergeleken werden (figuur 6, rechts).



Figuur 6. Verschil tussen gekarteerde en berekende grondwaterstanden in het stroomgebied van de Beerze (links); cumulatieve frequentieverdeling van de gesimuleerde (STONE UC) en gekarteerde (Mapped) grondwaterstanden (midden) en vergelijking van de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden per deelstroomgebied (rechts).

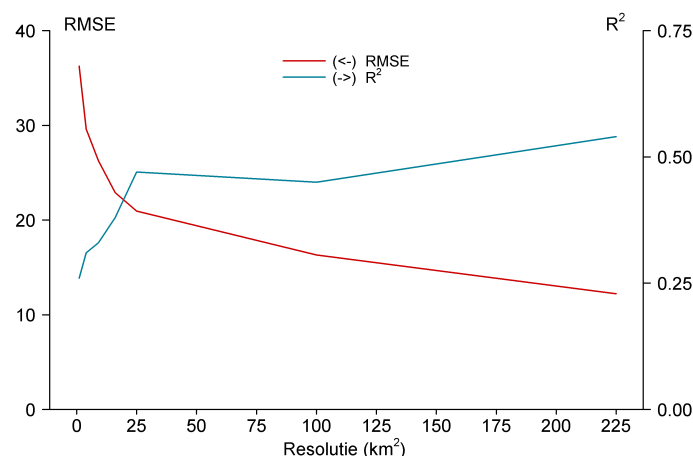
Vervolgens is voor Noord-Brabant en het noordelijk deel van Limburg een vergelijking gemaakt tussen de berekende en gekarteerde (geactualiseerde) grondwaterstanden. Uit deze

vergelijking blijkt dat er ruimtelijke verschillen zijn (figuur 4, links), maar dat de cumulatieve frequentieverdeling goed overeenkomt (figuur 4, rechts).



Figuur 7. Verschil tussen gekarteerde en berekende grondwaterstanden in de provincie Noord-Brabant en een deel van Limburg (links) en de cumulatieve frequentieverdeling van de gesimuleerde (STONE UC) en gekarteerde (Mapped) grondwaterstanden (midden).

Bovenstaande vergelijking suggereert dat STONE in het algemeen de gemiddelde grondwaterstand in een groter gebied correct simuleert, maar dat er op kleinere schalen afwijkingen zijn. De afwijkingen tussen gemeten en gekarteerde grondwaterstanden op kleinere schalen vormden mede aanleiding voor een analyse naar het schaalniveau waarop de resultaten toepasbaar zijn. Daartoe is een schaalexperiment uitgevoerd, waarbij cellen met resoluties van 1, 4, 9, 16, 25, 100 en 225 km² zijn geprojecteerd op de gekarteerde en berekende grondwaterstanden in Noord-Brabant en het noordelijk deel van Limburg, een gebied van 4000 km². Binnen elke cel zijn de gekarteerde en berekende grondwaterstanden vergeleken. Bij deze vergelijking zijn verschillende statistische parameters gehanteerd. Twee van deze statistische maten, de RMSE (Root Mean Square Error) en de correlatiecoëfficiënt (R^2) zijn in figuur 8 met elkaar vergeleken. Uit de figuur blijkt dat er een trendbreuk is rond de 25 km². Met name



Figuur 8. Afhankelijkheid van de overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden van de resolutie. Zie tekst voor uitleg.

de correlatiecoëfficiënt wordt snel slechter. Dit suggereert dat STONE in ieder geval niet moet worden ingezet voor toepassingen met een schaalniveau kleiner dan 25 km². De mini-

male resolutie van 25 km² lijkt plausibel, aangezien dit de gemiddelde grootte is van de WIS eenheden, die gebruikt zijn in de STONE schematisatie (Kroon, mondelinge toelichting, 2003).

4.2 Toepassing van STONE op proefvelden

Op proefvelden zijn naast de eindtermen, zoals de nitraatconcentratie in het grondwater, ook individuele balansposten gemeten. Hierdoor ontstaat meer inzicht in het functioneren van het model. Omdat de in STONE 2.0 gebruikte ANIMO versie iets afwijkt van de lokale ANIMO 3.7 versie, zijn beide versies getoetst. Dit geeft een indicatie van de consequenties van deze verschillen. Een overzicht van de mate waarin STONE 2.0 in staat is om de meetresultaten van de diverse proefvelden te simuleren, wordt gegeven in tabel 1. Deze vergelijking bestaat uit twee onderdelen, namelijk (i) vergelijking van de gemiddelde uitkomst tijdens de gehele duur van de proefperiode en (ii) vergelijking van de temporele dynamiek tijdens de proef. Een uitgebreide rapportage van de toets op proefvelden is te vinden in Ter Horst en Wolf (2003).

Tabel 1. Overzicht van de mate waarin STONE 2.0 in staat is om de meetresultaten van de proefvelden zoals beschreven in Ter Horst en Wolf (2003) te simuleren.

	Vochtgehalte		N en P opname ¹		Mineraal N ²		N concentratie ³		P concentratie ⁴	
	Avg	Var	Avg	Var	Avg	Var	Avg	Var	Avg	Var
Cranendonck P0	☺	☺	☹,☺ ⁵						☺	☹
Cranendonck P20	☺	☺	☹,☺ ⁵						☺	☹
Cranendonck P40	☺	☺	☹,☺ ⁵						☹	☹
Heino P0	☺	☺	☹,☺ ⁵						☺	☺
Heino P20	☺	☺	☹,☺ ⁵						☺	☺
Heino P40	☺	☺	☹,☹ ⁵						☹	☹
Waiboerhoeve P0	☺	☺	☺,☹ ⁵						☺	☺
Waiboerhoeve P20	☺	☺	☺,☹ ⁵						☺	☺
Waiboerhoeve P40	☺	☺	☹,☹ ⁵						☺	☺
Zegveld P0	☺	☺	☹,☺ ⁵						☹	☹
Zegveld P20	☺	☺	☹,☹ ⁵						☺	☹
Zegveld P40	☺	☺	☹,☹ ⁵						☺	☺
Cranendonck M15	☺	☺	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☺	☺		
Cranendonck M18	☺	☺	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☺	☺		
Ruurlo 16	☺	☺	☹ ⁶	☹ ⁶	☹	☹	☹	☹		
Ruurlo 19	☺	☺	☺ ⁶	☹ ⁶	☹	☹	☹	☹		
Marke 2	☺	☺	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		
Marke 9	☺	☺	☺ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		
Marke 11	☺	☺	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		
Marke 17	☺	☹	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		
Marke 19	☹	☹	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		
Marke 21	☺	☹	☹ ⁶	☹ ⁶	☺	☺	☹	☹		

De resultaten zijn getoetst op de gemiddelde (Avg) uitkomst en op de temporele dynamiek (Var). Een goede overeenkomst is weergegeven met het symbool ☺. In het geval van de temporele dynamiek is voor een slechte overeenkomst het symbool ☹. Onderschatting in de gemiddelde waarde is weergegeven met het symbool ☹, overschatting met het symbool ☹.

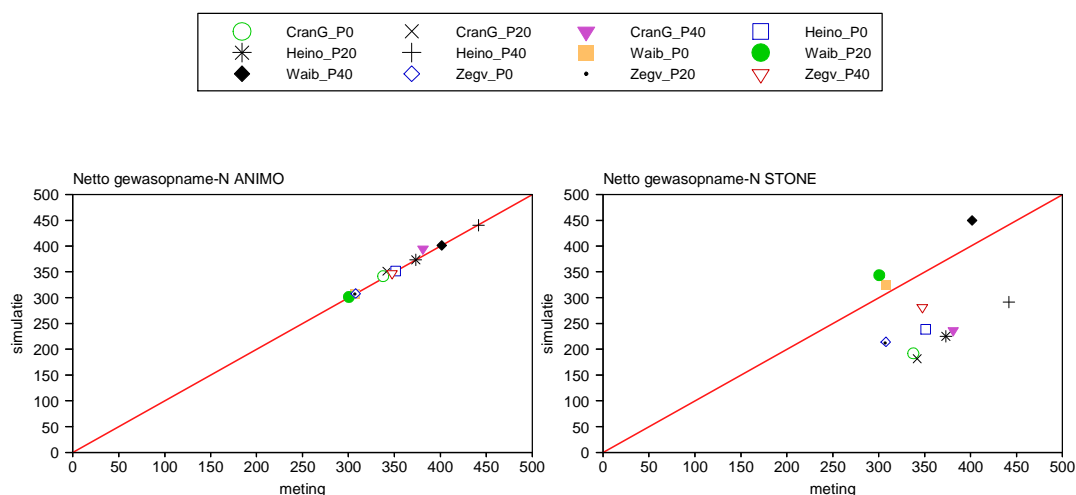
- 1) Netto opname, die gelijk is aan totale gewasopname min N (P) recycling via gewasresten en exudaten.
- 2) Voorraad minerale stikstof in de bovengrond.
- 3) Nitraatconcentratie in bovenste grondwater.
- 4) Totaal P concentratie in bodemvocht van 0 tot 30 cm diepte.
- 5) Respectievelijk stikstof- en fosforopname.
- 6) Stikstofopname.

Waterbalans

De waterbalans, zoals berekend met het model SWAP, is getoetst aan de hand van gemeten grondwaterstanden en bodemvochtgehalten. In vrijwel alle proefvelden komen de gesimuleerde en gemeten waarden goed overeen.

Gewasopname

De gesimuleerde netto gewasopname van stikstof is vaak te laag vergeleken met de gemeten netto stikstofopname (tabel 1; figuur 9). Deze onderschatting doet zich zowel bij akkerbouwgewassen als bij grasland voor. Een gedeeltelijke verklaring is het feit dat STONE 2.0 de stikstofopname berekent voor de landbouwpraktijk in Nederland en niet voor proefvelden. Hiertoe wordt in STONE 2.0 gebruikt gemaakt van een managementfactor. In de praktijk zal namelijk de opbrengst, en daarmee de netto stikstofopname, lager zijn dan in proefvelden. Graslanden worden in de praktijk minder vaak gemaaid, het gewasmanagement en de controle van ziekten en plagen zijn minder goed en de opbrengstverliezen zijn groter. De gesimuleerde netto gewasopname van fosfor kon alleen getoetst worden aan de gemeten opname op graslanden. De fosforopname correspondeert goed met de gemeten opname op zandgronden, maar is aan de hoge kant op zeeklei- en veengronden (tabel 1). De verhouding tussen de netto stikstof- en fosforopname volgens STONE 2.0 is te laag. De gesimuleerde stikstofrecycling via gewasresten heeft een groot effect op de netto stikstofopname. In de proeven met mais te Cranendonck was de bruto stikstofopname in STONE 2.0 gelijk aan die in ANIMO 3.7, maar was de stikstofrecycling via gewasresten meer dan vijfmaal groter (Ter Horst en Wolf, 2003). De netto stikstofopname van STONE 2.0 werd hierdoor bijna de helft kleiner dan die van ANIMO 3.7. De gemeten variatie in netto stikstofopname van jaar tot jaar blijkt door de opgelegde gewasopname in QUADMOD niet met STONE 2.0 gesimuleerd te kunnen worden (tabel 1).



Figuur 9. Gemeten versus gesimuleerde (links: ANIMO 3.7; rechts: STONE 2.0) netto stikstofopname door grasland (kg N ha^{-1}) op vier locaties (Cranendonck, Heino, Waiboerhoeve, Zegveld) met verschillende trappen van stikstof- en fosfaatbemesting (zie ter Horst en Wolf, 2003)

Mineraal stikstof

Het gemeten verloop van de voorraad mineraal stikstof in de bovengrond wordt op alle proefvelden goed met STONE 2.0 gesimuleerd. Alleen voor de graslandproeven in Ruurlo berekent STONE 2.0 een te kleine voorraad mineraal stikstof. Dit wordt vooral veroorzaakt door de grote bruto stikstofopname (namelijk gelijk aan relatief lage netto stikstofopname plus de relatief hoge stikstofrecycling via gewasresten) en deels ook door de grote denitrificatieverliezen volgens STONE 2.0.

Nitraatconcentraties

In de snijmaïsvelden te Cranendonck wordt het gemeten verloop van de nitraatconcentraties in het bodemvocht op 1 m –mv. goed gesimuleerd met STONE 2.0 (Tabel 1), en in de graslandproef te Ruurlo slecht tot matig goed. STONE 2.0 berekende voor deze graslandproef vaak te lage nitraatconcentraties in vergelijking met de meetwaarden, die meestal samengaan met een te laag gesimuleerde voorraad mineraal stikstof. Dit blijkt een gevolg van de hoge bruto stikstofopname en de relatief hoge stikstofrecycling via gewasresten. In de proefvelden op De Marke zijn de gesimuleerde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater meestal te hoog en soms veel te hoog in vergelijking met de meetwaarden. Deze te hoog gesimuleerde nitraatconcentraties worden vooral verklaard door de te laag gesimuleerde stikstofopname door de gewassen en soms ook deels door de te laag gesimuleerde toename van de organische stikstofvoorraad. Voor de meeste proeven blijkt STONE 2.0 niet in staat om de variatie in gemeten nitraatconcentratie met de tijd goed te simuleren.

Fosfaatconcentraties

Fosfaatconcentraties zijn bepaald in het bodemvocht in de bovenste 30 cm laag van de bodem op vier locaties met drie bemestingstrappen. De gemiddeld gemeten totaal-P concentraties kunnen redelijk goed gesimuleerd worden met STONE 2.0 (Tabel 1). De gesimuleerde verandering in totaal-P concentratie met de tijd komt in de helft van de gevallen goed overeen met de gemeten verandering, maar wijkt in de andere helft van de gevallen matig tot sterk af. Het blijkt dat STONE 2.0 een grotere toename (of minder afname) in totaal-P concentratie over de jaren berekent bij een toenemend fosfaatoverschot, maar dat dit effect niet gemeten wordt. De gemeten totaal-P concentratieverandering met de tijd blijkt meestal identiek voor de drie trappen van fosfaatoverschot.

Samenvatting

De belangrijkste conclusies uit de toepassing op proefvelden zijn:

- De grondwaterstanden en bodemwatergehalten worden goed beschreven;
- De berekende netto gewasopname van stikstof is vaak te laag met STONE vanwege een te lage totale gewasopname en een te hoge stikstof terugvoer naar de bodem via gewasresten. Voor fosfaat zijn soortgelijke conclusies te trekken;
- De jaar tot jaar variatie in gewasopname kan met STONE niet goed beschreven worden. Dit heeft ondermeer te maken met de opgelegde gewasopname in QUADM0D;
- Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater worden vaak matig tot slecht beschreven met STONE. De lokale ANIMO versie is beter in staat de gemeten nitraatconcentraties te reproduceren. Dit heeft ondermeer te maken met de opgelegde gewasopname.

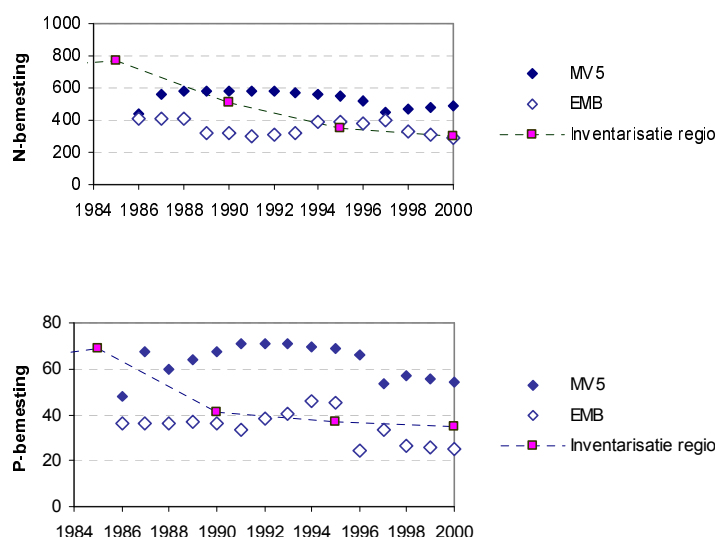
Het belangrijkste knelpunt is de berekening van de nutriëntenoverschotten in de bodem. Dit vereist een betere berekeningswijze van de nutriëntenopname door het gewas en de nutriënten terugvoer naar de bodem via gewasresten. Met name de temporele en ruimtelijke variatie in deze variabelen behoeft aandacht.

4.3 Toets op oppervlaktewaterkwaliteit in stroomgebieden

STONE is vervolgens getoetst op regionale schaal. De stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater volgens STONE berekeningen is vergeleken met de nitraat- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater en de vrachten uit een stroomgebied. In deze studie zijn gegevens uit de stroomgebieden Schuitembeek (zandgebied) en Bergambacht (kleigebied) gebruikt. Daarnaast is het model toegepast op gegevens uit de stroomgebieden van de Beerze en de Regge. In de geselecteerde stroomgebieden worden de locaties vooral beïnvloed door landbouwbronnen. Behalve de concentraties in het oppervlaktewater en de vrachten uit het stroomgebied zijn ook de waterbalans en waar mogelijk de historische bemestingsreeksen getoetst.

Resultaten

In het stroomgebied Bergambacht waren praktijkschattingen van de bemesting over de periode 1984-2000 voorhanden (figuur 10). Uit de figuur blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de beide historische bemestingsreeksen (zie ook paragraaf 3.2). De verschillen zijn het grootst voor P. Tevens valt op dat géén van de historische bemestingsreeksen de gemeten trend reproduceert.



Figuur 10. Verloop van de N en P bemesting (kg/ha) als functie van de tijd in het stroomgebied Bergambacht.

De concentraties in het afspoelend water volgens STONE liggen in het algemeen fors hoger dan de gemeten concentratie in het oppervlaktewater (tabel 2). De verschillen kunnen veroorzaakt worden door retentie en verliezen in de oeverzone en het oppervlaktewater en

door vermenging met water van elders (zie ook paragraaf 4.4. Hierdoor is een rechtstreekse vergelijking tussen STONE resultaten en de metingen niet goed mogelijk.

Tabel 2. Gemiddelde berekende en gemeten concentraties van N en P in het oppervlaktewater.

Stroomgebied	N (mg L ⁻¹)			P (mg L ⁻¹)		
	Metingen	Berekend gemiddelde over de jaren 1991-2000		Metingen	Berekend gemiddelde over de jaren 1991-2000	
		MV5	EMW		MV5	EMW
Diepenheim	6,7	11,3	11,9	0,17	0,56	0,32
Weerselo	5,6	12,4	15,4	0,17	0,45	0,22
Bergambacht	3,4	23,5	10,2	0,65	1,97	0,84
Schuitenbeek	5,7	12,1	13,6	0,27	1,03	0,86

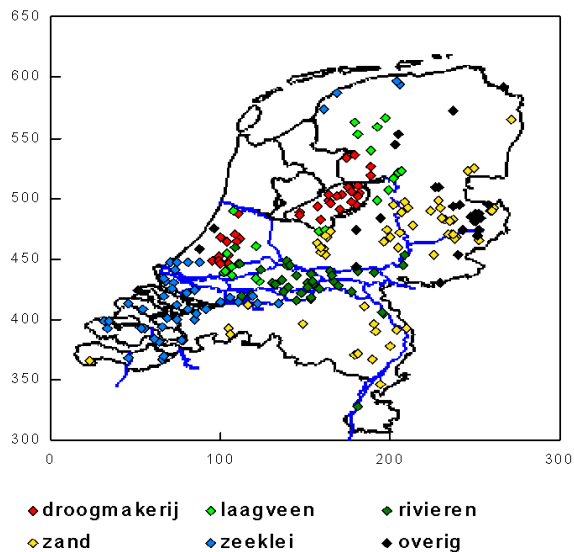
Behalve naar de jaargemiddelde concentraties is in de stroomgebieden Bergambacht en Schuitenbeek ook gekeken naar de seizoensdynamiek. Deze seizoensvariatie ontstaat door verschillende processen, zoals verhoogde mineralisatie en verhoogde nutriëntenopname door waterplanten in de zomer, variatie in de kwelflux en de invloed van de temperatuur op de retentie in de oeverzone en het oppervlaktewater. Aangezien dergelijke processen in oevers en oppervlaktewater niet door STONE wordt beschreven, kan het model de seizoensvariatie niet altijd correct beschrijven. Hierdoor berekent STONE een tegengestelde cyclus in nitraatconcentraties in Bergambacht.

4.4 Landelijke toets op oppervlaktewaterkwaliteit

De landelijke toets op oppervlaktewaterkwaliteit is uitgebreid beschreven in Portielje *et al.* (2003). De toets is uitgevoerd door de concentraties in het afspoelend water berekend met STONE te vergelijken met gemeten concentraties in het oppervlaktewater. De onderliggende dataset is via de CIW enquête ingezameld. Hierbij is de regionale waterbeheerders gevraagd om een set van meetlocaties binnen hun beheersgebied die voor het overgrote deel door landbouw beïnvloed zijn, aan te leveren. Als aanvullend criterium is gesteld dat het landgebruik in de eenheid waarvoor de toets is uitgevoerd, voor meer dan 70% uit landbouw of natuur bestaat. Op deze wijze is de dataset gereduceerd tot 219 locaties (figuur 11). Belangrijke ontbrekende gebieden zijn Noord-Holland en Zuid Limburg. Het centrale en zuidelijk zandgebied zijn slechts dun vertegenwoordigd. De historische bemestingsreeksen uit de scenario's MV5 (STONE 2.0) en EMW (STONE 2.0a) zijn gebruikt.

De STONE toets op het oppervlaktewater is in drie stappen uitgevoerd:

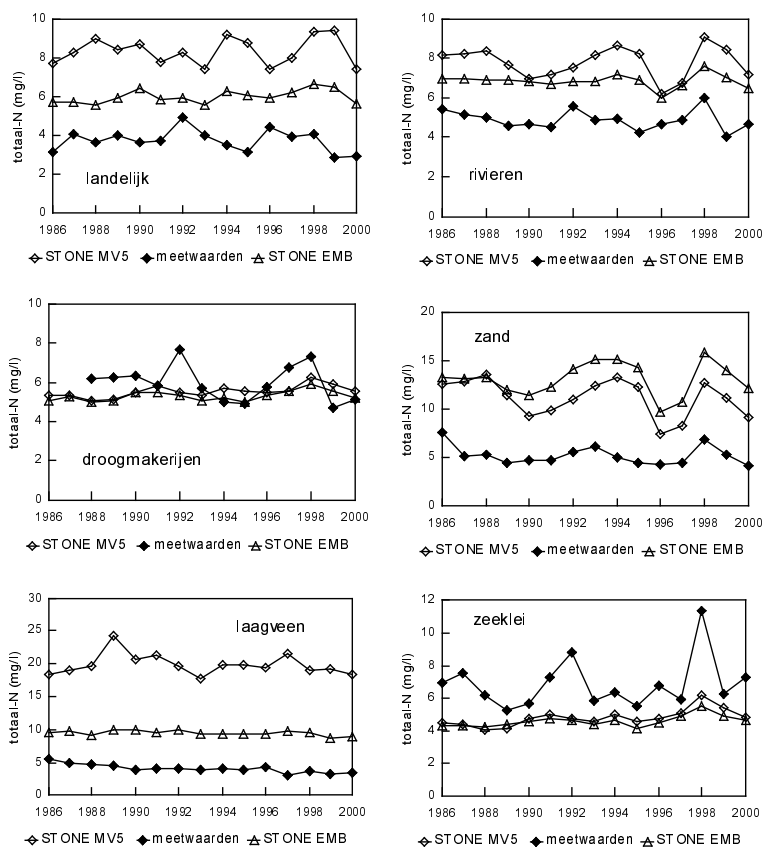
- Vergelijking van oppervlaktegewogen mediane concentraties op landelijke schaal en per landschapsregio. Hierbij wordt gekeken of de verhouding tussen de gesimuleerde en gemeten concentratie redelijk is met inachtneming van retentie die in het oppervlaktewater optreedt;
- Vergelijking van de trends over de periode 1986-2000. Een relatieve trend is onafhankelijk van de hoogte van de concentraties en geeft aan of de verandering van concentraties in de tijd met elkaar (gemeten ten opzichte van berekend) in overeenstemming zijn.
- Residuen (afwijkingen van jaar tot jaar) ten opzichte van trendlijn. De residuen geven aan of het model de variatie van jaar tot jaar ten gevolge van weersvariaties reproduceert.



Figuur 11. Ligging van de meetpunten in de landelijke toets op oppervlaktewaterkwaliteit.

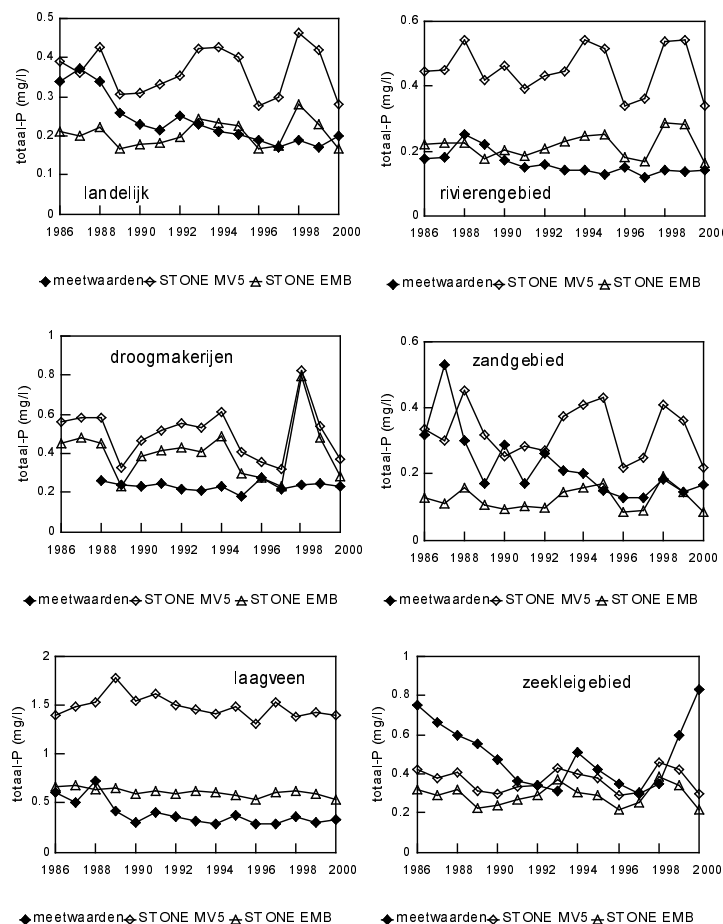
Resultaten

De met STONE voorspelde concentraties van N en P in het afspoelend water zijn in het algemeen hoger dan de gemeten concentraties (figuur 12 en tabel 3). Deze discrepantie kan



Figuur 12. Verloop van de met STONE gesimuleerde nitraatconcentratie in het afspoelend water en de concentratie in het oppervlaktewater. De concentraties zijn gegeven voor Nederland en per landschapsregio. Zie ook Portielje et al. (2003)

ondermeer veroorzaakt worden door retentie in de oeverzone en het oppervlaktewater en door vermenging met water van elders. De grootte van deze processen kan op dit moment (nog) niet met metingen worden onderbouwd. De grootte van de verliezen en de retentie is evenwel groter dan de retentie die gevonden werd via onafhankelijke berekeningen met PCDitch (Janse en Van Puijenbroek, 1997) door Oenema *et al.* (2002). Zij vonden een verlies van circa 25% voor fosfaat en vrijwel géén retentie voor nitraat. Daarnaast is de representativiteit van de gegevensset een punt van aandacht. Zo ontbreken in de gegevensset de regio's Noord-Holland en Zuid Limburg en zijn het centrale en zuidelijke zandgebied dun vertegenwoordigd. Ook de selectie van de meetpunten speelt een rol. Er zijn nogal wat meetpunten die niet beschouwd kunnen worden als voornamelijk door landbouw beïnvloed klein oppervlaktewater. Het is duidelijk dat het MV5 scenario te hoge waarden geeft voor laagveen (zowel voor N als voor P). Opvallend is voorts dat zowel MV5 als EMW te lage concentraties geven in het zeeleigebied (zowel N als voor P). Mogelijke verklaringen hiervoor zijn de grote bijdrage van glastuinbouw in dit gebied die niet in STONE is opgenomen, of een lokale beïnvloeding door kwel.



Figuur 13. Verloop van de met STONE gesimuleerde fosfaatconcentratie in het afspoelend water en de concentratie in het oppervlaktewater. De concentraties zijn gegeven voor Nederland en per landschapsregio. Zie ook Portielje *et al.* (2003)

Zowel de berekende als de gemeten trend in de stikstofconcentratie is gering. De dalende trends in de gemeten fosfaatconcentraties worden niet gereproduceerd door STONE (figuur 13). Mogelijke verklaringen hiervoor zijn een niet te verwaarlozen invloed van sanering van

ongerioleerde lozingen in het landelijk gebied in combinatie met introductie van fosfaatvrije wasmiddelen in jaren '80. Ook is de wijze van mesttoediening verbeterd en zijn calamiteiten en incidenten sterk afgenomen. De verschillen tussen berekende en gemeten trends in N zijn aanzienlijk kleiner.

Voor totaal-P zijn de gesimuleerde verschillen tussen natte en droge jaren veel groter dan in de gemeten waarden. De correlaties tussen de residuen zijn derhalve veelal niet significant. Interne processen in de oeverzone en het oppervlaktewater kunnen deze variatie afvlakken. Voor totaal-N zijn de correlaties tussen residuen voor de meeste regio's wel significant; echter niet in het rivierengebied.

De gemiddelde verhouding tussen de berekende concentraties in het afspoelend water en de gemeten concentraties in het oppervlaktewater over de periode 1986-2000 zijn in het algemeen groter dan één (tabel 3). Uitzonderingen hierop zijn N en P in het zeeleigebied en N in de droogmakerijen. Opvallend is voorts de lage waarde van de verhouding voor P in het zandgebied bij het EMW scenario. De verhoudingen zijn voor zowel N als P zeer hoog in het laagveengebied bij het MV5 scenario.

Voor N zijn de verhoudingen tussen de gemeten en berekende concentraties betrokken op de wintergemiddelden lager dan die betrokken op de jaargemiddelden (tabel 3). Biologische processen die een verlaging van de gemeten stikstofconcentratie ten gevolge hebben (denitrificatie, opname in biomassa) zijn namelijk temperatuurafhankelijk. Voor P zijn deze verhoudingen voor het winterhalfjaar in het algemeen vrijwel gelijk aan het jaargemiddelde.

Tabel 3. Gemiddelde verhouding tussen de berekende mediane concentraties in het afspoelend water (STONE MV5 en STONE EMW) en de gemeten mediane concentraties in het oppervlaktewater, landelijk en per regio. Zie ook Portielje et al. (2003).

	Verhouding MV5 : gemeten				Verhouding EMW : gemeten			
	jaar		winter		jaar		winter	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Landelijk	1,6	1,6	1,3	1,7	1,4	0,9	1,2	1,0
Droogmakerijen	1,0	2,1	0,8	3,0	0,9	1,7	0,7	2,5
Laagveengebied	5,0	4,1	3,7	4,6	2,4	1,7	1,9	1,9
Rivierengebied	2,3	2,9	1,9	2,7	1,6	1,4	1,4	1,3
Zandgebied	2,2	1,7	1,9	1,6	2,5	0,6	2,4	0,6
Zeeleigebied	0,7	0,8	0,6	1,1	0,7	0,7	0,5	0,9

Samenvattend kan gesteld worden dat STONE in het algemeen hogere concentraties in het afspoelend water simuleert dan gemeten wordt in het kleine oppervlaktewater. Dit verschil kan veroorzaakt worden door retentie en verliezen in de oeverzone en in het kleine oppervlaktewater. De verliezen zijn echter groter dan vastgesteld met onafhankelijke berekeningen met PCDitch (Oenema et al., 2002). Het verdient daarom aanbeveling om in een vervolgtraject aandacht aan dit probleem te besteden.

4.5 Landelijke toets op nitraat in het grondwater

Voor de landelijke toets op nitraat in het grondwater is gebruik gemaakt van gegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM; Fraters *et al.*, 1999). De dataverzameling voor het LMM is niet specifiek gericht op validatie van modellen. Per bedrijf wordt een aantal percelen geselecteerd, waar de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en de grondwaterstand gemeten worden. Alle waarnemingen worden per bedrijf gemiddeld. Binnen STONE wordt niet gewerkt met bedrijven, maar met zogenaamde plots. Deze plots zijn unieke combinaties van eigenschappen als hydrotype, grondwatertrap, kwelklasse, bodemsoort, etc. (Kroon *et al.*, 2001). Deze plots zijn vrijwel altijd groter dan de bedrijven en variëren in grootte van 25 ha tot 50.000 ha. Aangezien er binnen één bedrijf meerdere combinaties voor kunnen komen van gewas, bodemtype en grondwatertrap is het niet mogelijk om een één op één koppeling tussen bedrijven en plots te leggen. Om deze reden is een procedure ontwikkeld om de LMM resultaten te vergelijken met de STONE resultaten. Deze procedure berekent op bedrijfslocaties zowel de bedrijfsgemiddelde actuele grondwaterstand als de bedrijfsgemiddelde actuele concentratie in de bovenste meter van het grondwater. Vervolgens wordt in een gebied van 5 x 5 km² gezocht naar die STONE plots die qua kenmerken overeenkomen met de in het meetnet opgegeven bedrijf- en bodemeigenschappen. In eerdere studies (Overbeek *et al.*, 2001a, 2002) is op een andere diepte dan de metingen vergeleken, is een andere tijdsbasis gebruikt of zijn delen van de waarnemingen weggelaten. Zo is b.v. alleen naar het zandgebied gekeken en zijn de natte grondwatertrappen weggelaten (GHG < 40 cm). Vergelijking met eerdere toetsen wordt verder bemoeilijkt doordat er verschillende modelversies en historische bemestingsreeksen toegepast zijn (tabel 4). Bovendien is de voorspelde GLG in de verschillende modelversies anders. Zie voor meer details over de gevolgde procedure bijlage 1.

Tabel 4. Vergelijking van de uitgangspunten bij de in dit rapport beschreven en eerder uitgevoerde toetsing van modelresultaten aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

Rapport	Stone versie	Scenario	Tijd	Diepte	Gebied	GT
MV5 achtergrond ^a	1.3	MV5	Jaar gem.	GLG + 0,5 m, GLG – 0,5 m	Zandgebied	Alle
Plausibiliteit ^b	2.0	MV5	Jaar gem.	GLG, GLG-1	Zandgebied	IV, VI, VII
Schoumans ^c	2.0a	EMW	Jaar gem.	GLG	Zandgebied	IV, VI, VII
Dit rapport	2.0	MV5 & HIST	Synchroon met metingen	GWS,GWS-1 ^d	Rond bedrijf	Alle

a) Overbeek *et al.* (2001b)

b) Overbeek *et al.* (2001a, 2002)

c) Schoumans *et al.* (2002)

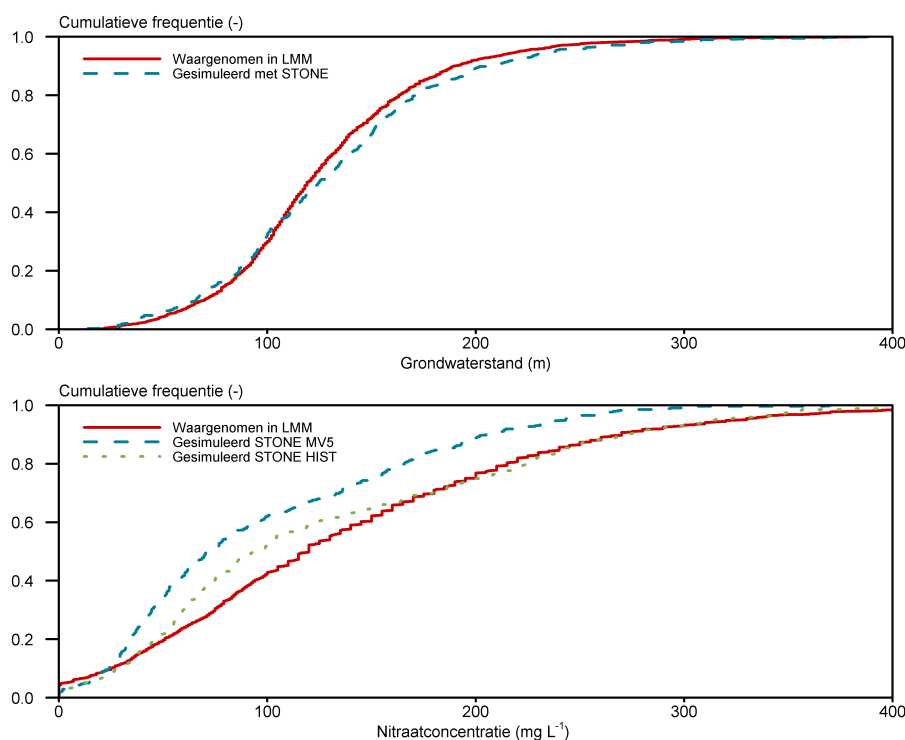
d) GWS = Actuele grondwaterstand

Landelijke frequentiediagrammen

De verdeling van de bedrijfsgemiddelde dieptes van het grondwater wordt in het algemeen goed voorspeld (figuur 14), maar de correlatie met de metingen is laag ($R^2 = 0,253$). De onzekerheid in de hydrologie is van belang voor de berekeningen van de nitraatconcentratie. Deze is namelijk vanwege diverse processen (met name denitrificatie) sterk afhankelijk van de gesimuleerde grondwaterstand. STONE simuleert een lagere mediane nitraatconcentratie dan gemeten. Bij gebruik van het MV5 scenario is de berekende mediane concentratie 78 mg L⁻¹, terwijl 120 mg L⁻¹ gemeten werd. Bij gebruik van het (verbeterde) HIST scenario is

de onderschatting geringer (95 mg L^{-1}), maar nog steeds aanwezig. Het areaal land onder de EU norm ($50 \text{ mg}^{-1} \text{ L}^{-1}$) wordt door het HIST scenario wel goed gereproduceerd. Nadere analyse van de modelresultaten wijst uit dat de gesimuleerde nitraatconcentratie direct onder de gesimuleerde grondwaterspiegel al lager is dan de concentratie zoals waargenomen in het meetnet (denitrificatie). Dit wijst erop dat er volgens STONE minder uitspoelt, wat veroorzaakt kan worden door een lagere aanvoer vanuit de onverzadigde zone. Dit zou in lijn kunnen zijn met de te geringe bemesting volgens CLEAN (paragraaf 3.2), maar kan ook veroorzaakt worden door ander processen, zoals een te hoge gesimuleerde gewasopname of overschatte denitrificatie verliezen.

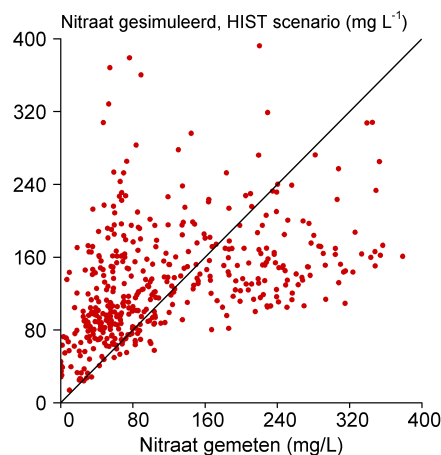
De mediane nitraatconcentratie wordt door STONE onderschat; het areaal land onder de drinkwaternorm wordt wel goed gereproduceerd.



Figuur 14. Cumulatieve frequentieverdelingen van de met STONE gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden (boven) en nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (onder). Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van STONE 2.0 in combinatie met zowel het MV5 als het HIST scenario.

Vergelijking op lagere schaalniveaus

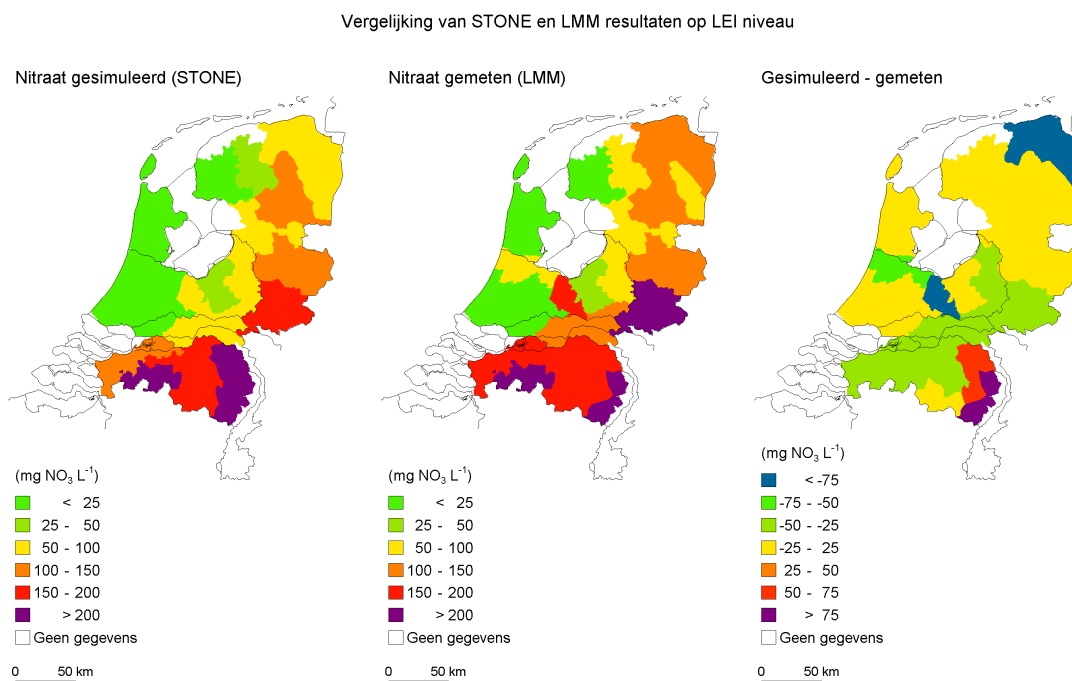
Een goede overeenkomst tussen een cumulatieve frequentieverdeling van modelresultaten en waarnemingen geeft slechts beperkt inzicht in de betrouwbaarheid van de resultaten. Er wordt b.v. nog géén inzicht verschaft in verschillen tussen de regio's. Om deze redenen is in dit rapport ook een vergelijking rechtstreeks op bedrijfsniveau en op LEI niveau opgenomen. Bij een rechtstreekse vergelijking tussen de metingen en de berekeningen blijkt dat de correlatie



Figuur 15. Vergelijking van de met STONE gesimuleerde en gemeten nitraatconcentratie in het grondwater. Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van STONE 2.0 en het HIST scenario.

(R^2) tussen de metingen en de berekeningen laag is (figuur 15). De correlaties zijn laag doordat de ligging van de bedrijven niet nauwkeurig genoeg bekend is. Bovendien zijn er fouten in de schatting van bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties, grondwaterstanden en stikstofoverschotten, die veroorzaakt worden door variabiliteit op bedrijfsniveau.

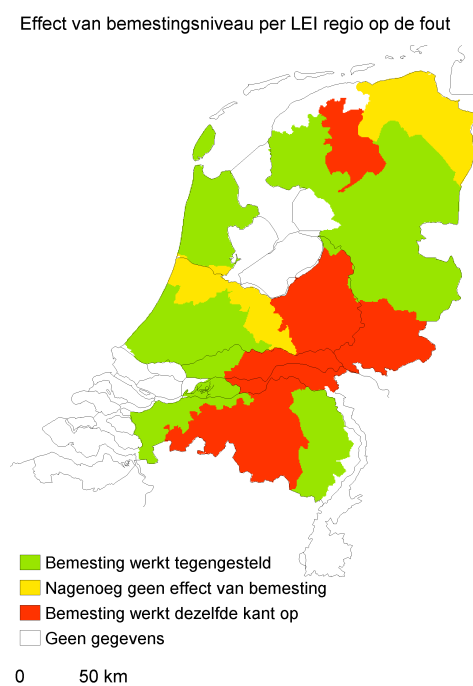
Figuur 16 laat de gemiddelde gemeten en gesimuleerde nitraatconcentratie per LEI gebied zien (periode 1992-2000). In de figuur zijn de getallen van het HIST scenario gebruikt. De



Figuur 16. Vergelijking van de gemiddelde gemeten en gesimuleerde nitraatconcentraties per LEI gebied. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het HIST scenario. Houdt er bij het interpreteren van de kaartjes rekening mee dat in een aantal gevallen het aantal waarnemingen gering is – het gemiddelde is dus niet altijd representatief.

figuur laat zien dat ondanks de redelijk goede overeenstemming van de frequentieverdelingen op landelijk niveau, er grote en statistisch significante verschillen per mestregio bestaan. Zo

wordt in LEI regio 1 (Groningen) de concentratie met 81 mg L^{-1} onderschat, terwijl in LEI regio 27 (West Noord Limburg) de concentratie met 105 mg L^{-1} wordt overschat. Het is verleidelijk om de verschillen aan één aspect van de totale STONE modelketen toe te kennen, b.v. aan de afwijking die gevonden werd tussen de CLEAN bemestingsniveaus en de door het CBS opgegeven bemestingsniveaus (hoofdstuk 3.2). In figuur 17 is de ratio tussen de afwijking ($\text{mestgift}_{\text{CLEAN}} - \text{mestgift}_{\text{CBS}}$) / ($\text{nitraatconcentratie}_{\text{STONE}} - \text{nitraatconcentratie}_{\text{LMM}}$) weergegeven. Rode kleuren geven een onderschatting in zowel de mestgift als de gesimuleerde nitraatconcentratie; groene kleuren geven aan dat het effect tegengesteld is. Het feit dat in de figuur beide kleuren voorkomen duidt erop dat de verklaring niet eenduidig is.



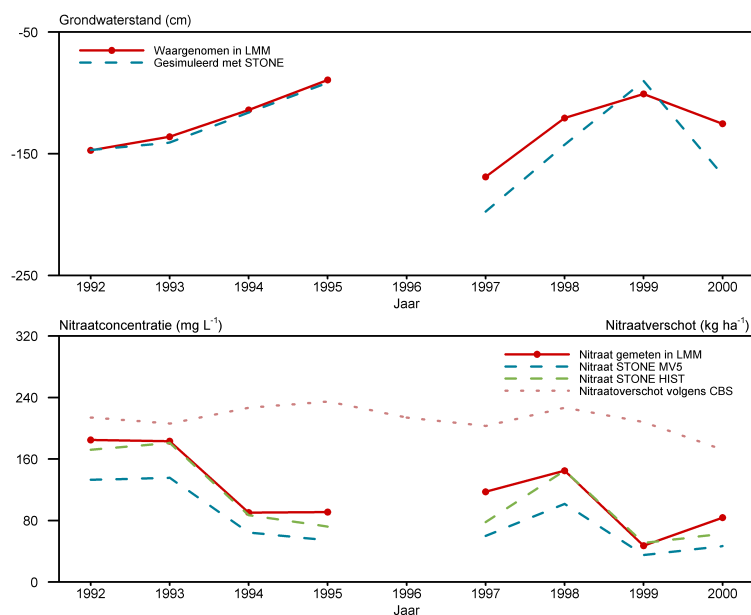
Figuur 17. Effect van de afwijking in de met CLEAN gesimuleerde bemestingsniveaus op de fout in de gemiddelde nitraatconcentratie per LEI gebied.

STONE is door verschillende oorzaken op dit moment (nog) niet geschikt voor uitspraken op regionale schaal. De in het statusrapport (Rötter *et al.*, 2002) genoemde minimale schaal van $16 \times 16 \text{ km}^2$ dient in twijfel te worden getrokken.

Temporele dynamiek

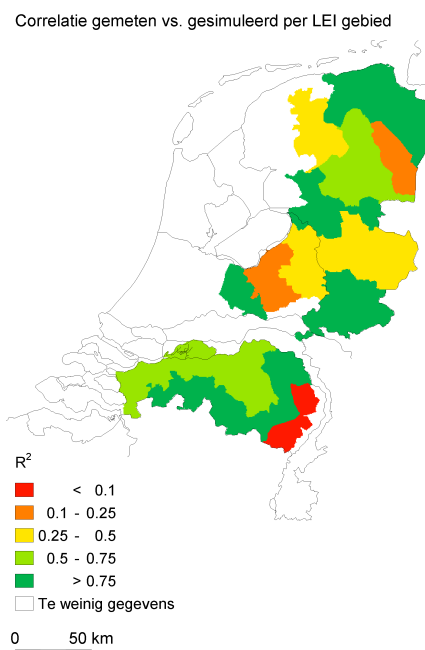
Naast de bovenbeschreven analyse van de actuele meetgegevens is ook onderzocht of de langjarige variatie van jaar tot jaar in de meetdata correct wordt gesimuleerd. We vergeleken hiertoe de jaargemiddelde concentratie in de bovenste meter van het grondwater in het zandgebied (LMM) met de berekende jaargemiddelde concentratie (MV5 en HIST scenario). Figuur 18 geeft de resultaten weer. De berekeningen simuleren het verloop van de meetresultaten (jaargemiddelde waarden) correct ($R^2 = 0,944$, $N=8$), zij het dat er van jaar tot jaar verschillen zijn. Conform de uitkomst van het boven beschreven onderzoek geeft het MV5 scenario consequent lagere concentraties dan het meetnet. Het HIST scenario ligt veel dichterbij de waarnemingen.

De effecten van het beleid hebben een gestage afname van de bemesting tot gevolg gehad (figuur 18); het MV5 scenario gaat uit van een gemiddelde stikstofbemesting van 450 kg ha^{-1} in 1990 en van 390 kg ha^{-1} in het jaar 2000. De druk op het milieu wordt weergegeven door het stikstofoverschot, d.w.z. het verschil tussen de stikstofhoeveelheid in de belasting en in het afgevoerd product. Het landelijk stikstofoverschot is in de periode 1992-2000 relatief minder afgenomen (CBS). Het is duidelijk te zien dat de grondwaterstanden een grote invloed hebben op de jaargemiddelde gemeten nitraatconcentraties.



Figuur 18. Verloop van de jaargemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater van landbouwbedrijven op zandgrond (1992-2000) gebaseerd op metingen en op modelberekeningen. Ter vergelijking is ook het landelijk N-overschot volgens het CBS in de figuur opgenomen.

Naast de landelijke trends hebben we ook gekeken of de trend op LEI niveau goed wordt gesimuleerd. Hiertoe hebben we per LEI gebied de correlatie tussen de jaargemiddelde concentratie in de bovenste meter van het grondwater en de berekende jaargemiddelde concentratie (HIST scenario) berekend. De resultaten staan in figuur 19. Uit deze figuur blijkt dat de correlaties in sommige LEI gebieden bijzonder laag zijn.



Figuur 19. Correlatie tussen de met STONE (HIST scenario) gesimuleerde jaargemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en de gemeten nitraatconcentratie per LEI gebied. Voor de berekening van de correlaties zijn de individuele jaren als invoer gebruikt.

Op landelijke schaal wordt het tijdsverloop van de gemeten nitraatconcentratie in het zandgebied goed gereproduceerd door STONE ($R^2 > 0,9$; $n=8$). Per LEI bemestingsregio is de overeenkomst een stuk slechter. Dit duidt er weer op dat STONE (nog) niet geschikt is voor het doen van regionale uitspraken.

Vergelijking met eerdere studies

Uit de eerdere studies (Overbeek *et al.*, 2001, 2002; Groenendijk, 2002) is gebleken dat de frequentieverdeling van de met STONE berekende nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ligt tussen de frequentieverdeling van de per bedrijf gemiddelde metingen en die van de individuele metingen op alle bedrijven. Dit suggereerde dat de STONE resultaten goed overeenstemden met de meetresultaten. Het model werd om deze reden operationeel verklaard voor landelijke toepassingen (Overbeek *et al.*, 2001). De resultaten van deze eerdere toetsen zijn echter niet goed vergelijkbaar met de waarnemingen. In de eerdere studies werden de modelresultaten als jaargemiddelde waarde op een vaste diepte vergeleken met de waarnemingen, terwijl in werkelijkheid de grondwaterstand fluctueert (tabel 4). Overbeek *et al.* (2001a, 2002) vergeleken zowel de gemiddelde nitraatconcentratie in het 1 meter diepe profiel rond de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG+0,5m – GLG-0,5m) als onder GLG (GLG – GLG-1m). De gemiddelde nitraatconcentratie nam over deze halve meter 25 tot 40 mg L⁻¹ af. Groenendijk gebruikte een jaargemiddelde fluxgewogen concentratie, hetgeen ver-

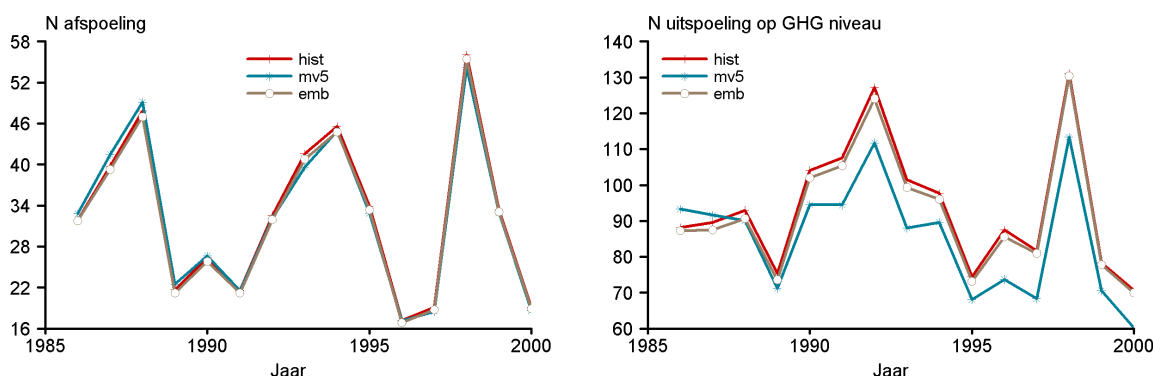
gelijkbaar is met de eerstgenoemde keuze. Deze keuzes leiden tot hogere concentraties dan de in dit rapport beschreven procedure. Een fysische onderbouwing om een vast referentievlak te kiezen, ontbreekt echter. De jaarlijkse schommeling in de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door de hoogste (winter-) en laagste (zomer-) stand. Een bodem met een hoogste stand (GHG) van 60 cm en een laagste stand (GLG) van 100 cm valt in categorie Gt IV. In dit geval, als de metingen willekeurig in het jaar zijn, is de verwachting van de grondwaterstand ten tijde van de monsterneming 80 cm. Dus het monster wordt genomen op een diepte van 80 tot 180 cm onder het maaiveld en het is representatief voor de concentratie op 130 cm diepte. De GLG bedraagt, zoals gezegd, daarentegen 100 cm. Berekende nitraatconcentraties dalen snel met de diepte en een verschil van 30 cm in het bodemprofiel verklaart een afname van 20% tot 30% van de nitraatconcentratie.

STONE simuleert een sterke afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Dit komt doordat de denitrificatie vochtafhankelijk is beschreven; aëroob grondwater bestaat niet in STONE. Door de sterke afname met de diepte heeft de keuze van het referentievlak een grote invloed op de vergelijking tussen de metingen en de simulaties. De procedure in dit rapport probeert zo goed als mogelijk de meetdiepte te benaderen.

5. Discussie, conclusies en aanbevelingen

5.1 Invloed van de historische bemestingsreeksen

Allereerst dient een kanttekening bij de conclusies van de huidige STONE toets geplaatst te worden. De toets heeft immers plaatsgevonden met verschillende versies van historische bemestingsreeksen, die bovendien niet overeenkomen met CBS schattingen. Tussen de reeksen bestaan aanzienlijke verschillen (paragraaf 3.2). In het MV5 scenario bleek een verkeerde uitrijvolgorde te zijn gebruikt. Het EMW scenario gebruikte wel een correcte uitrijvolgorde voor de toekomst, maar de consequentie hiervan was dat het historisch scenario niet geheel klopte. Figuur 20 laat de consequenties voor de conclusies van de STONE toets op de landelijke schaal zien. De figuur geeft de gemiddelde uit- en afspoeling in Nederland (standaard STONE uitvoervariabelen). In de figuur is één STONE versie (STONE 2.0) gebruikt in combinatie met de drie scenario's, zodat het effect van de scenario's onafhankelijk beoordeeld kan worden. Uit de figuur blijkt dat (landelijk gezien!!) de consequenties van de verschillende resultaten voor nitraatuitspoeling naar het grondwater groter lijken te zijn dan voor afspoeling naar het oppervlaktewater.



Figuur 20. Totale stikstofafspoeling naar het oppervlaktewater (links) en stikstofuitspoeling naar het grondwater (rechts) in kg ha^{-1} als functie van de tijd voor de in paragraaf 3.2 beschreven drie historische bemestingsreeksen bij gebruik van één STONE versie, namelijk STONE 2.0.

5.2 Tekortkomingen van de gevolgde procedure

STONE is zowel getoetst op de lokale als op de regionale schaal (figuur 2). Er gaapt echter een groot gat tussen de lokale en de landelijke toepassing. Hierdoor zijn de resultaten van de lokale en regionale toets niet onderling consistent:

1. Bij de toepassing van het model op de lokale schaal zijn andere (soms gecalibreerde) parameterwaarden gebruikt dan bij de landelijke toepassing. Hierdoor kunnen deze studies niet gebruikt worden voor een landelijke evaluatie van de toepasbaarheid van STONE.
2. Bij de toepassing van het model op de landelijke en regionale schaal is vooral gekeken naar de einduitkomsten (nitraatconcentraties, etc.). Tussenresultaten konden niet getoetst worden aan vergelijkbare meetreeksen, waardoor het zeer beperkt mogelijk was om b.v.

de in STONE gebruikte historische bemestingsreeksen te toetsen. Hierdoor kon wel geconstateerd worden dat het model de concentraties onderschat, maar was het lastig om naar verklaringen te zoeken.

3. De meetnetten zijn in het algemeen beperkt geschikt voor toetsing van STONE. Zo wordt in het LMM op bedrijfsschaal gemeten en berekent STONE waarden per unieke combinaties van bodem, gewas, etc. Bovendien zijn de belangrijkste balansposten (N- en P in aanvoer (bemesting) en afvoer (via oogst) niet gegeven. Tenslotte zijn er vraagtekens te plaatsen bij de representativiteit van de gegevens in de CIW enquête.

5.3 De belangrijkste conclusies op een rij

1. Voor het leveren van belangrijke MNP producten is ook gebruik gemaakt van niet door de SG STONE geaccordeerde versies (paragraaf 3.1).
2. In géén van de toepassingen van het STONE model (Vijfde Milieuverkenning en EMW) zijn correcte historische bemestingsreeksen gebruikt. In de historie van het MV5 scenario bleek een verkeerde uitrijvolgorde te zijn gebruikt. Het EMW scenario gebruikte wel een correcte uitrijvolgorde voor de toekomst, maar de consequentie hiervan was dat de historische bemestingsreeksen niet klopten. Daarnaast zijn er verschillen tussen de best beschikbare schattingen over het mestgebruik in Nederland (CBS statistieken) en de CLEAN berekeningen; CLEAN onderschat de CBS cijfers met circa 20%. Dit wordt veroorzaakt door de (optimistische) aanname dat de gebruiksnormen niet overschreden worden en de mest netjes over Nederland verdeeld wordt. Zie verder paragraaf 3.2.
3. De verschillen tussen de historische bemestingsreeksen hebben een gering effect op de met STONE 2.0 berekende nitraatafspoeling naar het oppervlaktewater, maar een aanzienlijk effect op de berekende nitraatuitspoeling naar het grondwater en de resulterende nitraatconcentratie (paragraaf 5.1). De oorzaak hiervan wordt nog niet begrepen.
4. Om inzicht te verkrijgen in de onderliggende processen (zie hoofdstuk 2), is STONE toegepast op een aantal lokale veldstudies. Uit de toepassing op proefvelden blijkt dat de via QUADMOD opgelegde gewasopname grote gevolgen heeft voor de simulaties. Bijvoorbeeld, de jaar tot jaar variatie in de stikstofopname door gewassen wordt niet goed gesimuleerd en de nitraatconcentraties kunnen dan ook niet goed met STONE berekend worden. Zie verder paragraaf 4.2.
5. STONE is vergeleken met de uitkomsten van de CIW waterenquête t.b.v. de nationale toets en ook toegepast op een aantal stroomgebieden. STONE simuleert in het algemeen hogere concentraties in het afspoelend water dan gemeten wordt in het kleine oppervlaktewater (paragraaf 4.3 en 4.4). Dit verschil kan veroorzaakt worden door retentie in de oeverzone en het kleine oppervlaktewater. De orde grootte van deze verliezen is echter groter dan de retentie die met onafhankelijke modelberekeningen met het model PCDitch zijn verkregen. Op dit moment zijn nog géén aanvullende metingen beschikbaar om de grootte van de verliezen en de retentie te kwantificeren. Alleen in het zeekleigebied gaat de regel dat de STONE concentraties hoger zijn dan de gemeten concentraties niet op. Dit

wordt vermoedelijk veroorzaakt door de grote bijdrage van glastuinbouw in dit gebied die niet in STONE is meegenomen, en een lokale beïnvloeding door kwel.

6. De dalende trends in gemeten fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater worden niet gereproduceerd door STONE. Dit heeft ondermeer te maken met de introductie van fosfaatvrije wasmiddelen (zie paragraaf 4.4).
7. STONE is vergeleken met gegevens uit het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (paragraaf 4.5). Aangezien STONE een sterke afname van de nitraatconcentratie met de diepte simuleert, heeft de keuze van het referentievlak een grote invloed op de vergelijking tussen de metingen en de simulaties.
8. Uit de vergelijking tussen het LMM en STONE blijkt dat de mediane nitraatconcentratie door STONE wordt onderschat, zowel bij gebruik van het MV5 scenario als bij gebruik van de beste historische bemestingsreeksen (HIST scenario). Bij gebruik van het HIST scenario wordt het areaal land met een concentratie onder de drinkwaternorm wel goed geschat (paragraaf 4.5).
9. Op het niveau van LEI mestgebieden zijn er grote afwijkingen tussen de met STONE gesimuleerde nitraatconcentratie en de gemeten nitraatconcentratie. De oorzaken dienen naast fouten in de mestverdeling gezocht te worden in andere factoren (paragraaf 4.5). STONE is hierdoor (nog) niet geschikt voor uitspraken op regionale schaal. De in het statusrapport (Rötter *et al.*, 2002) genoemde minimale schaalniveau voor STONE toepassingen van 15x15 km² dient in twijfel te worden getrokken.
10. Op landelijke schaal wordt het tijdsverloop van de gemeten nitraatconcentratie goed gereproduceerd door STONE ($R^2 > 0,9$, $n=8$). Per LEI bemestingsregio is de overeenkomst een stuk slechter (figuur 19). Ook dit duidt erop dat STONE (nog) niet geschikt is voor het doen van regionale uitspraken (paragraaf 4.5).
11. Zowel uit de CIW toets als de toets op de LMM gegevens blijkt dat de neerslaghoeveelheid een grote invloed heeft op de gesimuleerde (en berekende) concentraties. Zie ook Boumans *et al.*, 1997. Dit betekent dat bij het vergelijken van metingen en modellen gebruik gemaakt moet worden van werkelijke weerjaren.

5.4 Aanbevelingen

De korte termijn

Voordat een volgende belangrijke STONE toepassing wordt gestart, dienen de volgende zaken op orde te zijn:

1. De afspraak binnen het STONE consortium dat er slechts één centraal beheerde STONE versie bestaat dient strikt nagekomen te worden. Het verdient aanbeveling voor de 'grote' MNP producten (EMW en Verkenningen) uitsluitend van deze centraal beheerde versie gebruik te maken. De huidige praktijk, waarbij naast de centraal beheerde versie gebruik gemaakt wordt van zogenaamde specials (b.v. STONE 2.0a) leidt tot verwarring. Bovendien is de validatiestatus van deze versies niet altijd beschreven.

2. Op korte termijn moet er een gevalideerde versie van de historische bemestingsreeksen beschikbaar komen. De historische bemestingsreeksen moeten zo goed mogelijk vergelijkbaar zijn met de CBS cijfers, zowel qua trend als qua ruimtelijke verdeling (LEI mestgebieden). De bemestingsreeksen moeten een vast onderdeel van het STONE instrumentarium worden; m.a.w. aannames over toekomstige mestgiften en verdelingen mogen géén invloed hebben op het verleden. Zonodig moet hiertoe het CLEAN model worden aangepast;
3. Als het voor een toepassing noodzakelijk is wijzigingen in het STONE instrumentarium aan te brengen, dan dient de gewijzigde versie eerst op een aantal aspecten getoetst te worden. Dit voorkomt verrassingen achteraf. De toetsing moet in ieder geval omvatten:
 - a. Vergelijking van de berekende historische mestgiften met CBS cijfers, zowel totaal Nederland als per LEI gebied (b.v. conform figuur 5);
 - b. Vergelijking van de met STONE gesimuleerde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater en de gemeten nitraatconcentraties. Zowel landelijk (conform figuur 14), per LEI regio (figuur 16) als per jaar (figuur 18);
 - c. Vergelijking van de met STONE gesimuleerde afspoeling naar het kleine oppervlaktewater per landschapsregio (conform figuren 12 en 13);
 - d. Vergelijking van de met STONE gesimuleerde hoeveelheid fosfaat in de bodem met de totale bemesting per LEI regio;
 - e. Vergelijking met voorgaande versies (conform figuur 20).

Het verdient aanbeveling de voor de vergelijking noodzakelijk gegevens in de STONE dataset op te nemen, zodat een ieder (desnoods vanuit de GUI) de controle kan maken. Van de wijzigingen en de toets dient een heldere rapportage gemaakt te worden, die aan de Stuurgroep STONE ter goedkeuring *voor de toepassing* wordt aangeboden.

De middellange termijn

Op middellange termijn, b.v. medio 2004, dient een oplossing gevonden te worden voor de volgende twee punten:

1. Gebrek aan overeenstemming tussen de gemeten en gesimuleerde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater op regionale schaal (paragraaf 4.5). Aangezien een oplossing voor dit probleem niet eenduidig is (zie b.v. figuur 19) moet eerst de reden van de onderschatting systematisch worden uitgezocht. Dit inzicht kan deels verkregen worden door de LMM dataset uit te breiden met getallen over bemesting en overschotten. Hierdoor wordt het mogelijk het bodemdeel van STONE 2.0, ANIMO – QUADM0D, te gebruiken in combinatie met bemestingsreeksen die geldig zijn op dezelfde bedrijven als waar de nitraatconcentraties gemeten worden. Het wordt hierdoor beter mogelijk inzicht te verkrijgen in het bodemdeel van STONE. Op dit moment wordt binnen het DLO programma 398 een project opgestart waarin deze toepassing voorzien is. Het verdient aanbeveling dit project op te nemen in het toetstraject. Daarnaast is het aan te bevelen STONE 2.0 toe te passen op intermediare datasets, m.a.w. datasets die inzicht geven in de belangrijkste deelprocessen (bemesting, gewasafvoer, denitrificatie) en een goede ruimtelijke dekking bieden. Op dit moment zijn drie datasets beschikbaar, die alle gegevens bevatten over

overschotten, grondwaterkwaliteitsgegevens en gegevens over mineraal N bevatten, namelijk:

- a. Sturen op nitraat. 120 percelen verspreid over 34 bedrijven;
 - b. Telen met toekomst. 33 bedrijven in het zandgebied;
 - c. Koeien en Kansen. 17 bedrijven, waarvan 4 op klei-, 10 op zand-, één op löss- en 2 veengrond.
 - d. De datasets uit de studie van Meinardi (1994) kunnen gebruikt worden om het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte te toetsen.
2. De grote verschillen tussen de met STONE berekende concentratie in het afgespoelde water en de concentratie in het oppervlaktewater worden vermoedelijk veroorzaakt door retentie in de oeverzone en het oppervlaktewater. Het verdient aanbeveling de combinatie van STONE met een model voor het kleine oppervlaktewater (b.v. PCDitch) te toetsen en te beoordelen of de aldus berekende en gemeten verschillen verklaarbaar zijn.

Literatuur

- Berge, H.F.M. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meer. 2000. Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMED parameterisation and extensions for STONE application. Report 24, Plant Research International, Wageningen, the Netherlands.
- Bouma, J., P.A. Finke, M.R. Hoosbeek & A. Breeuwsma. 1998. Soil and water quality at different scales: concepts, challenges, conclusions and recommendations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (50):5-11.
- Boumans, L.J.M., G. van Drecht, B. Fraters, T. de Haan & W. de Hoop. 1997. Effect van neerslag op nitraat in het bovenste grondwater onder landbouwbedrijven in de zandgebieden: Gevolgen voor de inrichting van het monitoringnetwerk effecten mestbeleid op landbouwgronden (MOL). RIVM rapport 714831002, RIVM, Bilthoven, the Netherlands.
- Bril, J., H.G. van Faassen & H. Klein Gunnewiek. 1994. Modelling N₂O emission from grazed grassland. Report 24, Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Haren.
- De Vries, W. 1994. Soil response to acid deposition at different regional scales. Ph.D. thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, pp. 487.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter & R. Visschers. 2001. Status 2001 Landelijke Steekproef Kaarteenheden en toepassing. Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodems. Alterra rapport 389, Alterra, Wageningen, the Netherlands, pp. 64.
- Finke, P.A., W.P.C. Zeeman, G. Schouten, J. Runhaar, P. van der Molen, W. van der Meer, J.J. de Gruijter, M.F.P. Bierkens, P.J.T. van Bakel, J. Hoeks, 2001. Beter werken met Waterlood. Een proeftoepassing in het herinrichtingsgebied 'De Leijen'. Alterra-rapport 267. Alterra, Research Institute, Wageningen, the Netherlands.
- Fraters, B., L.J.M. Boumans, G. van Drecht, T. de Haan and W. de Hoop, 1999. Nitrogen monitoring in groundwater in the sandy regions of the Netherlands. *Environmental Pollution* (102):479-485
- Groenendijk, P. and J.G. Kroes. 1999. Modelling the nitrogen and phosphorous leaching to groundwater and surface water. ANIMO 3.5. Technical Document 144, Alterra Research Institute, Wageningen, the Netherlands.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., Aarts, H.F.M. (eds.), 1996. Integrale monitoring van stikstofstromen in bodem en gewas. Resultaten van proefbedrijf De Marke. PR rapport no. 14 & AB-DLO rapport 57, PR, Lelystad, AB-DLO, Wageningen.
- Jaarsveld, J.A. van. 1995. Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. Ph.D. thesis, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands.
- Janse, J.H. & P.J.T.M. van Puijenbroek. 1997. PCDitch, een model voor eutrofiëring en vegetatieontwikkeling in sloten. RIVM rapport 703715004, RIVM, Bilthoven, the Netherlands.
- Kroes, J.G., W.J.M. de Groot, J. Pankow & A. van den Toon. 1996. Resultaten van onderzoek naar de kwantificering van de nitraatuitspoeling bij landbouwgronden. Alterra rapport 440, Alterra, Wageningen, the Netherlands.
- Kroes, J.G., J.G. Wesseling & J.C. van Dam. 2000. Integrated modelling of the Soil, Water, Atmosphere Plant System using the model SWAP 2.0. Overview of theory and an application. *Hydrological Processes* (14):1993-2002.
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, H.Th.L. Massop & R. Pastoors. Regional validation of a comprehensive 1D hydrological model. *In: G.J. Hunter and K. Lowell (Eds.). Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment (Accuracy 2002), Melbourne, July 2002, pp. 83-93.*

- Kroon, T., P.A. Finke, I. Peereboom & A.H.W. Beusen. 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE. De ruimtelijke indeling en toekenning van de hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA rapport 2001.017, RIZA, Lelystad, the Netherlands, pp. 100.
- Leopold, U., G.B.M. Heuvelink, A. Tiktak, P.F. Finke & O.F. Schoumans. 2003. Spatial accuracy assessment of predicted (oxalate-extractable) phosphorus in soil on a national scale. *In prep.*
- Meinardi, C.R. 1994. Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands. RIVM report 715501004, RIVM, Bilthoven, the Netherlands, pp. 211.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 1989. Derde Nota Waterhuishouding. Water voor nu en later. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21250, nr. 1-2. Den Haag, the Netherlands.
- Oenema, O.F., E. van Liere, G.J. Stam, C.J. de Blois & T.C. Prins. 2002. Effecten van verliesnormen op de kwaliteit van het oppervlaktewater in Nederland. Rapportage cluster 4. Evaluatie van de meststoffenwet, deel 2. RIVM rapport 718201006, RIVM, Bilthoven, the Netherlands, pp. 110.
- Overbeek, G.B.J. (ed.). 2001a. Plausibiliteitdocument STONE 2.0. RIVM rapport 718501001, RIVM, Bilthoven, the Netherlands.
- Overbeek, G.B.J., J.J.M. Van Grinsven, J. Roelsma, P. Groenendijk, P.M. van Egmond & A.H.W. Beusen. 2001b. Achtergronden bij de berekening van vermisting van bodem en grondwater voor de 5^e Milieuverkenning met het model STONE. RIVM rapport 408129020. RIVM, Bilthoven, the Netherlands, pp. 85.
- Overbeek, G.B.J., A. Tiktak, A.H.W. Beusen & P.J.T.M. van Puijenbroek. 2002. Partial validation of the Dutch Model for Emission and Transport of Nutrients (STONE). *The Scientific World* 1:194-199.
- Portielje, R.P., P. Groenendijk & H.P. Oosterom. 2003. Toetsing van STONE 2.0: Toetsing aan de landelijke waterkwaliteitsenquête. Alterra rapport, in voorbereiding.
- RIVM, 2000. Nationale Milieuverkenning 2000-2030. Samson uitgevers b.v., Alphen aan den Rijn, the Netherlands, pp. 271.
- RIVM, 2002a. Minas en Milieu. RIVM rapport 718201005. RIVM, Bilthoven, the Netherlands, pp. 205.
- RIVM, 2002b. Nationale natuurverkenning 2. 2000-2030. Kluwer uitgevers b.v., Alphen aan den Rijn, the Netherlands, pp. 224.
- Rötter, R., J.J.M. Van Grinsven, P. Boers, A.H.W. Beusen & O.F. Oenema. 2001. De status van het rekeninstrumentarium STONE 2.0. Alterra rapport 378. Reeks Milieuplanbureau nr. 17. Alterra, Wageningen, the Netherlands, pp. 40.
- Salm, van der C. & O.F. Schoumans. 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Report 083, Alterra, Wageningen, the Netherlands.
- Schoumans, O.F., J. Roelsma, H.P. Oosterom, P. Groenendijk, J. Wolf, H. van Zeijts, G.J. van den Born, S. Van Tol, A.H.W. Beusen, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer, F.K. van Evert. 2002. Nutriëntenemissie vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0. Rapportage cluster 4, deel 1, Alterra, Wageningen, the Netherlands.
- Ter Horst, M.M.S. & J. Wolf, 2003. Vergelijking van simulatieresultaten van STONE en ANIMO met meetgegevens van veldexperimenten. Alterra rapport in voorbereiding.
- Tiktak, A. 1999. Modelling non-point source pollutants in soils. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, pp. 224.
- Tiktak, A., Boesten, J.J.T.I. and A.M.A. van der Linden, 2002. Nationwide assessments of non-point source pollution with field-scale developed models: The pesticide case. *In*: G.J. Hunter and K. Lowell (Eds.). Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment (Accuracy 2002), Melbourne, July 2002, pp. 17-30.

- Tol, S. van, G.J. van den Born, P.M. van Egmond, K.W. van der Hoek, N.J.P. Hoogervorst & O.M. Knol. 2002. CLEAN 2.0, model voor berekening van stikstof- en fosfaatemissies uit de landbouw. Modelbeschrijving. RIVM rapport 773004010, RIVM, Bilthoven, pp. 75.
- Velthof, G. red. (2000). Rapport Adviescommissie Prioritering Onderzoek en Monitoring Fosfaat en Stikstof. Commissie onder voorzitterschap van Prof. Spiertz Wageningen-UR. Advies van november 2000.

Bijlage 1 Procedure vergelijking van LMM met STONE

Inleiding

Het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid, LMM (Figuur A1; Fraters *et al.*, 1999) en STONE zijn ingericht en worden gebruikt voor resp. de ex-post en de ex-ante evaluatie van het mestbeleid. De dataverzameling in het LMM is niet gericht op de validatie van modellen. Nochtans is het voor de beleidsontwikkeling van belang te weten hoe model en meetnet zich tot elkaar verhouden. LMM registreert bodemgebruik, bodemsoort en Gt volgens kaarten. Op het bedrijf wordt op alle bemonsterde percelen de grondwaterstand en de nitraatconcentratie gemeten. Deze metingen worden per bedrijf gemiddeld. De STONE schematisatie daarentegen definieert geen bedrijven maar zogenaamde plots met als eigenschap hydrotype, grondwatertrap (berekend met model SWAP), kwelklasse, drainageklasse, bodemsoort, bodemtype, landgebruik, meteo, fosfaatbindend vermogen, mineralisatiecapaciteit, CEC (Kroon *et al.*, 2001). Het model berekent op deze plots de grondwaterstand en het profiel van de nitraatconcentratie. De plots zijn vrijwel altijd veel groter dan de bedrijven en variëren van 25 ha – 50.000 ha (gem. 1600 ha). De STONE plots zijn dus veel specifiekere dan de registraties op de bedrijven (binnen bedrijven zijn er verschillen qua gewas, bodemtype en Gt). Dit heeft tot gevolg dat er vaak meerdere plots aan één bedrijf kunnen worden gekoppeld. Het grootste probleem geeft het verschil in resolutie: bedrijf ten opzichte van plot. Om deze reden is een procedure ontwikkeld om de LMM resultaten te kunnen vergelijken met de STONE resultaten. De procedure simuleert op bedrijfslocaties (i) de bedrijfsgemiddelde grondwaterstand en (ii) de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater.

Ligging punten LMM
gebruikt bij LMM–stone vergelijking



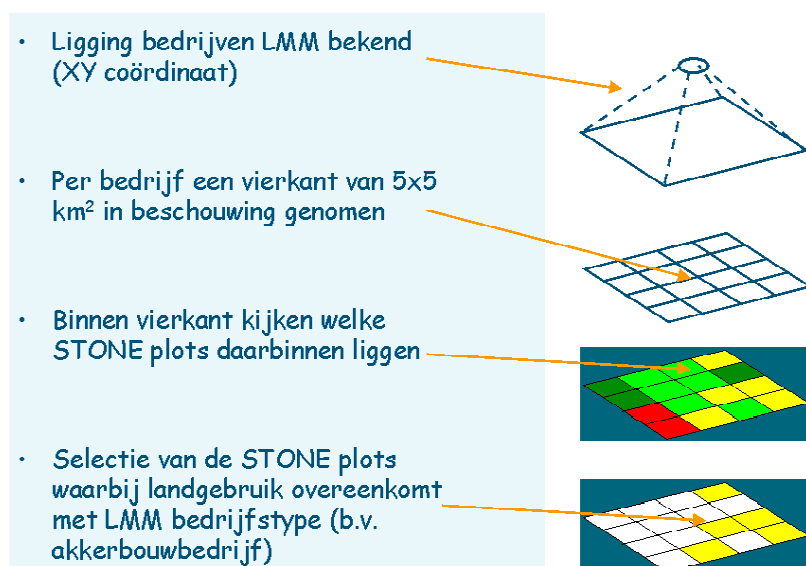
Figuur A1. Ligging van de meetpunten in het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (Fraters *et al.*, 1999).

Het ligt voor de hand de bedrijfslocatie – coördinaten in km; figuur A1 – te gebruiken om meetnet en modelresultaten ruimtelijk te koppelen. Dit leidt tot een één op één koppeling. De op deze wijze geselecteerde plots hebben echter vaak een ander bodemgebruik of andere bodemeigenschappen dan we volgens de specificaties van het meetnet moeten verwachten. Toepassing van deze directe procedure geeft weinig overeenkomst tussen meetnet- en modelresultaten. Beter resultaat wordt bereikt als er koppeling met de geschikte plots in een ruim vierkant rond de bedrijfslocatie wordt gemaakt. Resultaten van plots, die weliswaar binnen dit verruimde gebied rond de locatie liggen, maar niet overeenkomend bodemgebruik of bodemeigenschappen hebben, worden niet meegewogen in het simuleren van het bedrijfsgeïmittle. De procedure komt valt uiteen in de volgende drie stappen (figuur A2):

1. De berekende grondwaterstand ten tijde van de monsterneming wordt opgezocht in de STONE uitvoer. De STONE uitvoer is beschikbaar met een resolutie van 10 dagen (decades). Dit wordt gedaan voor alle plots;
2. De gesimuleerde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater wordt bepaald door de concentraties in de bovenste meter van het grondwater ten tijde van de meting te middelen. De diepte van het grondwater wordt bepaald volgens de procedure onder punt 1. Ook dit wordt gedaan voor alle plots;
3. In een vierkant rond het bedrijf (waarvan de coördinaten bekend zijn) worden alle STONE plots opgezocht die voldoen aan de registraties op het bedrijf. De grootte van het vierkant (zoekvenster) is proefondervindelijk vastgesteld door te kijken naar de afhankelijkheid van de correlatie tussen de gemeten grondwaterstanden en de berekende grondwaterstanden van de grootte van het zoekvenster. Bij een zoekgebied van 5 x 5 km² zijn de berekende en de gemeten grondwaterstanden het best gecorreleerd. De grootte van dit zoekvenster kwam overeen met de opgegeven waarde voor de validiteit van de gebruikte hydrologische benadering (Kroes *et al.*, 2002).

Tabel A1. Afhankelijkheid van de correlatie tussen de gemeten en berekende grondwaterstand op bedrijfsniveau van de grootte van het zoekvenster. Een zoekvenster van 25 km² bleek optimaal.

	1 x 1 km ²	2 x 2 km ²	5 x 5 km ²	7 x 7 km ²
$R^2_{LMM/STONE}$	0,12	0,18	0,241	0,236



Figuur A2. Schematisch overzicht van de procedure om LMM resultaten met STONE resultaten te vergelijken.

De definitie van de diepte van het bovenste grondwater blijkt uitermate relevant. Dit komt doordat het model berekent dat de nitraatconcentraties sterk met de diepte afnemen (denitrificatie). De fout in de berekening van de grondwaterstand werkt daardoor sterk door in het resultaat voor de concentratie. In de hier beschreven procedure is niet geselecteerd op plots met een overeenkomende stijghoogte. Selectie op basis van Gt levert slechte resultaten, omdat de kaart Gt, gebruikt in de meetnetregistratie, vaak niet overeenkomt met model Gt, berekend met het model SWAP (Overbeek, 2001a). Dit wordt deels veroorzaakt doordat de Gt kaart verouderd is.

Bijlage 2 Gebruikte afkortingen

ANIMO	Agriculture Nutrient Model. Model voor nutriënten en koolstof in de bodem.
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CIW	Commissie Integraal Waterbeheer
CLEAN	Crops, Livestock and Emissions from Agriculture in the Netherlands. Model dat de mestproductie- en verdeling berekent.
DLO	Dienst Landbouwkundig Onderzoek
EMW	Evaluatie van de Meststoffenwet
FARMMIN	Model dat voor de melkveehouderij de bemesting van gras- en maïsland berekent.
	GLG Gemiddeld Laagste Grondwaterstand
GHG	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
GWS	Grondwaterstand ten tijde van de monsterneming
HIST	De, volgens huidige inzichten, beste historische bemestingsreeks.
LEI	Landbouw Economisch Instituut
LMM	Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid
LSK	Landelijke Steekproef Kaarteenheden
MNP	Milieu- en Natuurplanbureau
MV5	Vijfde Milieuverkenning
OPS	Atmosferisch depositiemodel. In STONE wordt een afgeleide versie, SRM, gebruikt.
PRI	Plant Research International
QUADMOD	Empirisch model voor de berekening van gewasafvoer
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RIZA	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
SRM	Source Receptor Matrix. Model voor de berekening van de stikstofdepositie.
STONE	Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel

Bijlage 3 Verzendlijst

1. H.G. von Meijenfeldt
2. M. Hofstra – RIZA, Lelystad
3. O.F. Oenema – Alterra, Wageningen
4. K.B. Zwart – Alterra, Wageningen
5. J. Van Bakel – Alterra, Wageningen
6. H.F.M. Ten Berge – PRI, Wageningen
7. P.C.M. Boers – RIZA, Lelystad
8. M. Van Gijssel – Alterra, Wageningen
9. P. Groenendijk – Alterra, Wageningen (auteur)
10. M.J.D. Hack-ten Broeke – Alterra, Wageningen
11. H. Hamers – Alterra, Wageningen
12. G.B.M. Heuvelink – Universiteit van Amsterdam, Amsterdam
13. M.M.S. ter Horst – Alterra, Wageningen
14. T. Kroon – RIZA, Lelystad
15. J.G. Kroes – Alterra, Wageningen
16. J. Kros – Alterra, Wageningen
17. A. Leijnse – TNO-NITG, Utrecht
18. F. Leus – RIZA, Lelystad
19. U. Leopold – Universiteit van Amsterdam, Amsterdam
20. H.G. Van der Meer – PRI, Wageningen
21. H.P. Van Oosterom – Alterra, Wageningen
22. R. Portielje – RIZA, Lelystad
23. J. Roelsma – Alterra, Wageningen
24. C.W.J. Roest – Alterra, Wageningen
25. R. Rötter – Alterra, Wageningen
26. C. Van der Salm – Alterra, Wageningen
27. O.F. Schoumans – Alterra, Wageningen
28. G. Velthof – Alterra, Wageningen
29. F. Van der Bolt – Alterra, Wageningen
30. A.J. de Vos – Alterra, Wageningen
31. W. De Vries – Alterra, Wageningen
32. P. De Willigen – Alterra, Wageningen
33. J. Wolf – Alterra, Wageningen
34. Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
35. H.A.P.M. Pont
36. N.D. van Egmond
37. F. Langeweg
38. R. Van den Berg
39. R.A. Alkemade
40. A.H.W. Beusen (auteur)
41. G.J. Van den Born
42. A.H.M. Bresser
43. P. Cleij
44. B. Fraters
45. A. Van der Giessen
46. J.J.M. Van Grinsven
47. B.J. De Haan (auteur)
48. A. Van Hinsberg

49.	O.M. Knol
50.	F. Kragt
51.	E. van Liere
52.	C.R. Meinardi
53.	P.J.T.M. Van Puijenbroek
54.	C.G.J. Schotten (auteur)
55.	A. Tiktak (auteur)
56.	S. Van Tol
57.	H. Westhoek
58.	A.P. van Wezel
59.	W.J. Willems
60.	H. van Zeijts
61.	SBC/Communicatie
62.	Bureau Rapportenregistratie
63.	Bibliotheek RIVM
64-75	Bureau Rapportenbeheer
75-100	Reserve exemplaren