



Vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO-STONE model

Berekende en gesimuleerde nitraatconcentraties in de zandgebieden

Piet Groenendijk, Leo Renaud, Oscar Schoumans, Jaap Schröder, Tanja de Koeijer en Harry Luesink

Vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO-STONE model

Berekende en gesimuleerde nitraatconcentraties in de zandgebieden

Piet Groenendijk, Leo Renaud, Oscar Schoumans, Jaap Schröder, Tanja de Koeijer en Harry Luesink

1 Alterra

2 Plant Research International

3 Landbouw Economisch Instituut

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Mest en Milieu' (projectnummer BO-20-004-063).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, juli 2014

Alterra-rapport 2549

ISSN 1566-7197

Piet Groenendijk, Leo Renaud, Oscar Schoumans, Jaap Schröder, Tanja de Koeijer en Harry Luesink, 2014. *Vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO-STONE model; Berekende en gesimuleerde nitraatconcentraties in de zandgebieden*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2549. 58 blz.; 6 fig.; 15 tab.; 22 ref.

In een verkenning van de gevolgen van het 5^{de} Nitraat Actieprogramma, volgens inzichten van medio 2013, bleken de modellen WOG-WOD en MAMBO-STONE verschillende resultaten te geven voor de nitraatconcentraties in het Zuidelijke zandgebied. In dit rapport is nagegaan wat de overeenkomsten en de verschillen tussen de modellen en de aannames zijn. In beide modellen wordt de nitraatconcentratie in het grondwater berekend uit het N-overschot. De verschillende berekeningswijzen leiden bij gelijke modelinvoer tot vergelijkbare resultaten. Echter, in de studie met het WOG-WOD model is verondersteld dat op akkerbouwpercelen uitsluitend varkensmest en kunstmest wordt toegepast, terwijl in MAMBO-STONE een belangrijk deel van de dierlijke mest op akkerbouw van graasdieren afkomstig is. Verder is in het WOG-WOD model verondersteld dat op alle melkveebedrijven maximaal bemest wordt volgens gebruiksnormen die gelden voor derogatiebedrijven, terwijl in MAMBO-STONE een deel van deze bedrijven derogatie heeft verkregen. Dit leidt tot hogere mestgiften op gras en snijmaïs in WOG-WOD. Verder zijn in STONE gemiddeld de grondwaterstanden dieper dan in WOG-WOD. Bij een toepassing van het WOG-WOD model met de invoer volgens MAMBO en STONE wordt voor het Zuidelijke zandgebied een hogere nitraatconcentratie berekend. Aanbevolen wordt om in toekomstige studies de invoer en de uitgangspunten van de modellen te harmoniseren.

In a recent exploration of the consequences of the 5th Nitrate Action programme, according to insights from mid-2013, WOG-WOD and MAMBO-STONE yielded different results for the nitrate concentrations in the southern sand area. In this report the similarities and the differences between the models and the assumptions are examined. The methods used to calculate nitrate concentrations in groundwater from the nitrogen excesses yields similar results in both models. However, in the study with the WOG-WOD model it is assumed that only pig slurry and mineral fertilizer is applied on arable plots, while in MAMBO-STONE an important part of the animal manure on arable land consists of cattle slurry. In the WOG-WOD model it is assumed that on all dairy farms fertilizer use is maximized to levels permitted by the anticipated derogation rules, with higher manure-N rates on grassland and forage maize as a result. Moreover, the average groundwater levels in STONE are deeper than in WOG-WOD. An application of the WOG-WOD model with the input according to MAMBO and STONE resulted in a higher nitrate concentration in the southern sand area. It is recommended that in future studies the model input data and the principles of the models should be harmonized.

Trefwoorden: nitraat, zandgebieden, 5^{de} Nitraat Actieprogramma, WOG-WOD, MAMBO, STONE.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
2	Doel van de modellen en uitgangspunten van de berekeningen	13
	2.1 Opbouw en werkwijze van het WOG-WOD model	13
	2.2 Opbouw en werkwijze van het MAMBO model en het STONE model	14
3	Vergelijking van N-balansen	16
	3.1 N-balansen	16
	3.2 Gewasaandelen	18
	3.3 Bemesting	20
	3.3.1 Vergelijking van de mestsoorten	20
	3.3.2 Versleuteling van MAMBO output naar STONE input	21
	3.4 Werkzame N-gift en gewasopname	22
	3.5 Uitspoeling	24
	3.5.1 Hydrologisch concept	24
	3.5.2 Variatie van het weer	27
4	Vergelijking van oppervlakten en grondwaterdiepteklassen	29
5	Gevoeligheid nitraatconcentratie voor de verschillen	31
6	Conclusies en aanbevelingen	36
	Literatuur	39
	Bijlage 1 Beschrijving MAMBO	41
	Bijlage 2 Beschrijving STONE	44
	Bijlage 3 Arealen akkerbouwgewassen in MAMBO (na conversie) en STONE	48
	Bijlage 4 Effect bemesting in STONE door toewijzingsprocedure van plots bij P-differentiatie	50
	Bijlage 5 Resultaten WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor grasland en snijmaïs	54

Woord vooraf

Het WOG-WOD model is veelvuldig toegepast voor het verkrijgen van inzicht bij welke gebruiksnormen de nitraatdoelstelling te realiseren is. De modellen MAMBO en STONE worden toegepast om de consequenties van beleidsaanpassingen voor de nitraatuitspoeling en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater door te rekenen. In een verkenning van het 5^{de} Nitraat Actieprogramma, volgens inzichten van medio 2013, bleken de modellen tot enigszins verschillende resultaten te komen. Voor het beleidsproces van de Nitraat richtlijn is het nuttig inzicht in de oorzaken deze verschillen te hebben. Het Ministerie van EZ heeft eind 2013 opdracht gegeven om de genoemde verschillen in resultaten van de modellen te duiden. Verder levert deze inventarisatie nuttige informatie voor het project Harmonisatie van Modellen die worden gebruikt voor beleidsondersteuning.

Dit rapport is gereviewd door dr.ir. Gerard Velthof.

Wageningen, April 2014.

De auteurs

Samenvatting

Voor het mestbeleid worden rekenmodellen toegepast om bemestingsnormen te onderbouwen en evalueren. Deze modellen voorspellen de nitraatconcentratie in het grondwater en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Voor de evaluatie van het mestbeleid in 2012 en de verkennende berekeningen voor het 5^{de} Nitraat Actieprogramma (met inzichten van medio 2013) zijn zowel het WOG-WOD model en het MAMBO – STONE model toegepast. Resultaten zijn gerapporteerd voor (zand-) regio's en voor de landelijke schaal. Het WOG-WOD model berekent op basis van mestgift, grondsoort, bouwplan, mestsamenstelling, oogstwijze en aan de bemesting gerelateerde maatregelen (toedieningswijze en -tijdstip, vanggewassen), de N-uitspoeling en de N-concentratie in het bovenste grondwater. Voor de berekening van de nitraatconcentratie gebruikt het model behalve het N-overschot in de bouwvoor/wortelzone en het neerslagoverschot ook uitspoelingsfactoren. Deze factoren zijn afgeleid uit de resultaten van de nitraatmonitoring in het LMM (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid). Het MAMBO-STONE model bestaat uit twee deelmodellen. MAMBO berekent de bemesting aan de hand van gegevens over de productie, aanwending en transport van mest door middel van economische micro-simulatie en ruimtelijk evenwichtsmodellering. STONE voorspelt vervolgens op basis van deze bemestingen de effecten op de bodemvruchtbaarheid, nitraatconcentraties in het grondwater en de stikstof- fosforbelasting van het oppervlaktewater. De toepassingen hadden verschillende doelstellingen. De WOG-WOD toepassing verschaft inzicht in de niveaus van gebruiksnormen die de nitraatdoelstelling kunnen realiseren. MAMBO-STONE is geschikt voor ex-ante analyses van het effect van beleidsaanpassingen op de nitraatconcentratie in het grondwater en de N- en P-uitspoeling naar het oppervlaktewater.

Vanuit de verschillende doelen van de studies en de verschillende uitgangspunten en concepten van de modellen is het te begrijpen dat de modellen geen identieke resultaten leveren. Omdat met de beide modellen studies zijn uitgevoerd naar de ontwikkeling van de nitraatconcentraties in de zandgebieden, en de modellen geen identieke resultaten gaven, is het nodig om na te gaan wat de oorzaak is van het verschil in voorspelde nitraatconcentratie. In deze studie is nagegaan:

- wat de overeenkomsten zijn,
- welke aannames en modelonderdelen leiden tot verschillende waarden voor de nitraatconcentraties in de zandgebieden,
- wat de meest gevoelige model invoertermen zijn.

Hiertoe is allereerst een vergelijking gemaakt van de gemiddelde N-balans per gewas voor de zandgebieden en het Zuidelijk zand- en lössgebied.

Een overeenkomst tussen de modellen is dat ze beiden de gemeten nitraatconcentraties van het LMM hebben verwerkt in hun berekeningsmethode. Het WOG-WOD model gebruikt de van het LMM afgeleide uitspoelingsfactoren en het MAMBO-STONE model is voor en deel geijkt aan de gemeten concentraties. De resultaten van de modellen liggen dan ook in dezelfde range.

Eén van de verschillen betreft het mestgebruik. In de berekening met het WOG-WOD model is voor grasland en snijmaïs een hoger gebruik van dierlijke mest verondersteld dan het door MAMBO gesimuleerde gebruik. In het WOG-WOD model wordt aangenomen dat op alle melkveebedrijven (lees: gras- en maïsland) maximaal bemest wordt met wat aan mest-N bij derogatie kan worden toegediend (met voorbijgaan aan eventuele P-begrenzingsen). MAMBO maakt onderscheid tussen bedrijven met en zonder derogatie. Alleen de bedrijven die derogatie hebben aangevraagd en die voldoen aan de voorwaarden voor derogatie krijgen in MAMBO de bemesting die voor deze bedrijven geldt.

Voor akkerbouwgewassen berekent WOG-WOD een lager gebruik van dierlijke mest dan MAMBO-STONE. Het WOG-WOD model gaat uit van het gebruik van enkel varkensmest. MAMBO gaat uit van de economische besluitvorming van de ondernemer. Op basis van economische optimalisatie van

mestafzet en bemesting berekent MAMBO dat het grootste deel van de (toekomstige) dierlijke mestgift op akkerbouw in de zandgebieden wordt gegeven in de vorm van graasveemest. Hoewel MAMBO, anders dan WOG-WOD, rekening houdt met een beperkter gebruik van fosfaat op percelen met een hoge fosfaattoestand, is de stikstofgift in de dierlijke mest in MAMBO toch groter dan in WOG-WOD. Dit komt doordat de N/P verhouding van graasveemest groter is dan die van varkensmest.

Behalve verschillen in de berekende bemesting zijn er ook andere verschillen tussen de twee modelsystemen. Doordat de schematisering van STONE niet 1:1 aansluit op die van MAMBO treden verschillen op in bemesting en arealen van akkerbouwgewassen. Nagegaan is of dit tot een gedeeltelijke verklaring zou kunnen zijn voor het verschil in voorspelde nitraatconcentraties. De onderlinge verhouding akkerbouwgewassen is in STONE van belang voor de berekening van de gewasopname. In de gegevens van RVO.nl van de fosfaattoestand van de bodem is van een groot oppervlak geen fosfaatmeting beschikbaar. Het areaal van de klasse "onbekend" is aanzienlijk. Daardoor is ook in MAMBO de klasse "onbekend" groot. STONE berekent de fosfaattoestand van de bodem en kent geen klasse "onbekend". Bij de omrekening van het MAMBO-resultaat naar modelinvoer voor STONE worden de arealen van de gewassen die het meest voorkomen (consumptieaardappelen, granen) groter ten koste van de arealen van gewassen die minder voorkomen. Voor de berekening van de gemiddelde nitraatconcentratie heeft deze omrekening een gering effect.

WOG-WOD en STONE gaan uit van verschillende hydrologische concepten en van verschillende informatie over de grondwaterstandsdiepte. De diepte van de grondwaterstand is mede bepalend voor de nitraatconcentratie. In droge gronden met diepe grondstanden wordt minder nitraat afgebroken met denitrificatie dan in natte gronden met ondiepe grondwaterstanden. Voor het totale zandgebied is het belangrijkste verschil het aandeel van matig droge gronden. In STONE bedraagt dit 32% en in WOG-WOD bedraagt dit 7% waarbij het overige deel als "nat" wordt gekenmerkt. In het Zuidelijke zandgebied is in STONE het aandeel droge gronden groter dan in WOG-WOD. Ook hier doet zich het verschijnsel voor dat in WOG-WOD de matig droge gronden een kleiner oppervlak hebben dan het oppervlak van deze gronden in STONE. Gemiddeld zijn de gronden in het totale zandgebied in STONE droger dan in WOG-WOD.

De gevoeligheid van de nitraatconcentratie voor de verschillen in informatiebronnen, aannames en modelconcepten is nagegaan aan de hand van rekenexperimenten met WOG-WOD waarbij stapsgewijs de modelinvoer van STONE werd opgelegd. Hieruit bleek dat:

- het verschil in areaalverdeling van landbouwgewassen in de modellen niet leidt tot een duidelijk verschil in nitraatconcentratie. Met het WOG-WOD model zijn berekeningen uitgevoerd met het bouwplan volgens STONE. In enkele gevallen worden dan lagere nitraatconcentraties berekend dan de waarde met het bouwplan van het WOG-WOD model,
- de verdeling van grondwaterdieptenklassen van STONE in het WOG-WOD model tot duidelijk hogere nitraatconcentraties leidt,
- het opleggen van bemesting volgens MAMBO-STONE aan WOG-WOD zou tot een hogere concentratie leiden dan het aanpassen van de verdeling van grondwaterdieptenklassen. De combinatie van de bemesting en de grondwaterklasse van het STONE model is doorgerekend met het WOG-WOD model. Het WOG-WOD model berekende met deze modelinvoer nitraatconcentraties hoger dan 80 mg L^{-1} onder akkerbouw in het Zuidelijke zandgebied.

Geconcludeerd wordt dan ook dat de modelbenaderingen en concepten voor de relatie tussen N-overschot en nitraat in het grondwater, bij gebruik van dezelfde modelinvoer, op hoofdlijnen tot dezelfde resultaten leiden. Verschillen in de berekende nitraatconcentraties met de beide modellen zijn in het kader van het vijfde nitraatactieprogramma uit wetenschappelijk oogpunt niet significant, maar omdat de concentraties in de buurt van de nitraatnorm liggen zijn ze beleidsmatig wel relevant. De verschillen die zich voordoen zijn toe te schrijven aan de doelen waarvoor de modellen zijn ontwikkeld. Dit komt met name tot uitdrukking in de wijze waarop de bemesting is gemodelleerd. In de verkenning van het 5^{de} Actieprogramma volgens inzichten van medio 2013 voorspelde MAMBO-STONE hogere nitraatconcentraties onder akkerbouw dan WOG-WOD. Deze systematisch afwijking werd veroorzaakt door:

-
1. Hogere aanwending van N uit dierlijke mest in de akkerbouw in MAMBO-STONE (ook aanwending graasdiermest) dan in WOG-WOD (uitsluitend varkensmest).
 2. De grondwaterklassenverdeling in WOG-WOD die gemiddeld een nattere situatie aangeeft dan waar STONE vanuit gaat.

Aanbevolen wordt om:

1. In studies waarin zowel gebruiksnormen worden afgeleid als beleidsaanpassingen naar milieubelasting worden vertaald, de modellering van de bemesting vooraf af te stemmen en de gebruikers van de modellen dezelfde en referabele uitgangspunten te laten delen.
2. De werkwijze ter bepaling van de nitraatconcentraties zoals gemonitord in de praktijk en de berekening en voorspelling van de nitraatconcentraties door modellen, op elkaar af te stemmen. Zonder een dergelijke afstemming kunnen onnodig tegenstrijdige geluiden gecommuniceerd worden.

1 Inleiding

Onlangs is het PlanMer voor het 5e Actieprogramma Nitraatrichtlijn (5de AP) opgesteld. Tijdens de voorbereiding daarvan bleek dat de resultaten van berekeningen van de nitraatuitspoeling met de modellen WOG-WOD en MAMBO-STONE onderling zodanig verschilden dat het Ministerie van Economische Zaken (EZ) het nodig acht via een aparte studie duidelijk te krijgen waardoor deze verschillen zich voordoen.

Voor het vaststellen van stikstofgebruiksnormen conform eisen van de Europese Nitraatrichtlijn, gebruikt het ministerie van EZ, onder meer, resultaten van het WOG-WOD model. Dit model beschrijft relaties tussen (kunst)mestgebruik, stikstofbodemoverschot en nitraatconcentraties in grondwater in een evenwichtssituatie waarbij de jaarlijkse aanvoer van organische stof in evenwicht is geraakt met de jaarlijkse afbraak (Schröder et al., 2011; Schröder et al., 2009; Schröder et al., 2007). Voor de doorrekening van de effecten van mestscenario's op de ontwikkeling van nitraatconcentraties in het grondwater en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater in de tijd is in de ex-ante EMW2012 gebruik gemaakt van MAMBO en STONE (Groenendijk et al., 2012). MAMBO (Kruseman et al., 2012) berekent de mestaanwending op de landgebruik-bodem-hydrologiecombinaties van STONE (Groenendijk et al., 2013; Wolf et al., 2003) op basis van de mestproductie op landbouwbedrijven, informatie over gewassen en bodem, de statistieken van het kunstmestgebruik, de gebruiksnormen, informatie over de fosfaattoestand van de bodem en de eventuele nawerking van eerder gegeven organische bemesting, en informatie over mesttransporten. STONE berekent op basis van de met MAMBO berekende mestgiften, de nutriëntenomzettingen in de bodem, de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheidsparameters, het transport van mineralen, de nitraatconcentraties in het grondwater en de N- en P- af- en uitspoeling naar het oppervlaktewater. Met het WOG-WOD-model worden beoogde nitraatconcentraties teruggerekend naar de daarbij toelaatbare combinaties van mest en kunstmest ter onderbouwing van de gebruiksnormen (althans in de berekeningen van Schoumans et al 2013, want het kan ook andersom), en in STONE worden de berekende (kunst)mestgiften omgerekend naar, onder meer, nitraatconcentraties in het grondwater.

De verschillende modelsystemen hebben alle hun eigen doel en hun eigen ontwikkelingsgeschiedenis. Voor enkele aspecten is er overlap tussen de modellen. Voorbeelden van verschillen zijn de verkregen of opgelegde organische mestgiften in WOG-WOD en de berekende organische mestgiften in MAMBO. Daarnaast verschillen ook de modelconcepten en gehanteerde aannames waarmee elk van beide modellen de nitraatconcentraties berekenen. Tevens is er onderscheid in gehanteerde schematiseringen zoals het landgebruik, bodem en grondwatertrappen

In 2006 is door de CDM-werkgroep "Harmonisatie modellen" een advies uitgebracht over de inzet van modellen voor de evaluatie van de meststoffenwet (Velthof en Van Grinsven, 2006). Uit een vergelijking bleek dat STONE bij gelijke N-bemestingen en gewasarealen voor zandgronden met Gt VI een lagere nitraatconcentratie voorspelt dan het WOG-WOD-model. Voor zandgronden met Gt VII en VII* voorspelt STONE een hogere nitraatconcentratie dan het WOG-WOD model. Dit had betrekking op de uitkomsten van STONE versie 2.2 die voor de "Verkenning van de gevolgen van het nieuwe mestbeleid (Willems et al, 2005)" is ingezet. Een van de oorzaken was de hoge nalevering van stikstof uit de bodem van zowel grasland als maïsland in het STONE-model.

Sinds het WOT-werkdocument uit 2006 zijn in STONE diverse verbeteringen doorgevoerd en zijn kalibratie- en validatiestudies uitgevoerd (Groenendijk et al 2008; Van der Salm et al 2009; Van der Salm et al, 2011; Groenendijk et al 2013).

In een verkennende studie naar de effecten van voornamelijk voorgestelde gebruiksnormen in het 5^{de} Nitraat Actieprogramma berekende STONE voor het Zuidelijk zandgebied een gemiddelde nitraatconcentratie van 63 mg/L terwijl het WOG-WOD model uitkwam op 50 mg/L. Het is op zich logisch dat verschillen in gehanteerde data, uitgangspunten/aannames en methodiek tot verschillen in

voorspelde nitraatconcentraties leiden. De mogelijke oorzaken van verschillen zijn wel te duiden, maar tot op heden nog niet systematisch verklaard.

Uit wetenschappelijk oogpunt zijn de berekende verschillen in nitraatconcentratie mogelijk niet significant. Voor het beleid is het echter van belang met voldoende zekerheid te weten of de doelstelling voor nitraatconcentraties in het bovenste grondwater bereikt kan worden met de doorgerekende maatregelen. Het is daarom relevant om inzicht te hebben in de oorzaken van verschillen tussen modellen, schematiseringen en modelinvoer, om zo de verschillende uitkomsten te kunnen wegen en inzicht te hebben in het toepassingsbereik van de verschillende modellen en de bruikbaarheid van de uitkomsten gelet op de toepassing.

In de opdrachtverlening van de vergelijking van beide modellen is gesteld dat een aantal eigenschappen van en gegevens in de modellen en de manier waarop zij doorwerken in de uitkomsten met elkaar worden vergeleken. Daarbij gaat het om:

- Schematisering van de regio bodem, grondgebruik en voorkomende grondwatertrappen,
- Voor groepen combinaties van bodem, grondgebruik en grondwatertrappen informatie over
 - N-bemesting van de bodem (dierlijke mesttypen en kunstmest)
 - N-gewasafvoer
 - Netto neerslagoverschot
 - Denitrificatie/uitspoelingsfractie
 - Netto neerslagoverschot
 - Nitraatconcentratie,
 - Concepten en aannamen in de modellen,
- Onzekerheden,
- Meta-informatie ten aanzien van de validatiestatus, de publicatiestatus en de borging van beheer en onderhoud,
- De tijdschaal en de ruimtelijke schaal, en herkomst van de ruimtelijke gegevens,
- De arealen, de N- en P₂O₅-bemesting met dierlijke mest en kunstmest op verschillende gewas-grondsoort combinaties van twee scenario's zoals doorgerekend,
- De N- en P₂O₅-overschotten van de verschillende gewas-grondsoortcombinaties van twee scenario's zoals doorgerekend,
- De verdeling van de (dierlijke) mestsoorten zoals berekend voor de twee scenario's zoals doorgerekend voor de verkenning Mestvarianten 5^{de} NAP,
- De neerslagoverschotten en de nitraatconcentraties die resulteren uit de twee scenario's zoals doorgerekend voor de verkenning Mestvarianten 5^{de} NAP.

Na de inventarisatie zijn conclusies te trekken ten aanzien van de belangrijkste oorzaken van de verschillen tussen de nitraatconcentraties berekend met WOG-WOD en de nitraatconcentraties berekend met MAMBO-STONE en in welke mate de verschillende factoren invloed hebben op het resultaat van de beide modellen en of er daarmee een systematische afwijking naar onder of boven optreedt.

Aanbevelingen worden gedaan ten aanzien van het gebruik van de modellen in toekomstige studies waarin de consequenties van beleidsopties voor de nitraatconcentratie en de emissies naar lucht en oppervlaktewater worden doorgerekend. Dergelijke uitkomsten leveren ook bruikbare informatie op voor het project Harmonisatie Modellen.

2 Doel van de modellen en uitgangspunten van de berekeningen

2.1 Opbouw en werkwijze van het WOG-WOD model

Voor het berekenen van N-gebruiksnormen heeft de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG)/ Werkgroep Onderbouwing Derogatie (WOD) in 2004 een begin gemaakt met het bouwen van een model. Daarvoor leverden RIVM en Wageningen UR (PRI, PPO, LR, LEI en Alterra) de bouwstenen. Overigens beperkte de WOD zich niet tot de onderbouwing van de derogatie voor melkveebedrijven, maar richtte zich ook op het onderbouwen van de bijbehorende N-gebruiksnormen voor gras en maïs. Dit WOG-WOD model berekent op basis van grondsoort, bouwplan, mestsamenstelling, oogstwijze en aan de bemesting gerelateerde maatregelen (toedieningswijze en -tijdstip, vanggewassen), de N-uitspoeling en de N-concentratie in het bovenste grondwater (zandgrond) of nabij oppervlaktewater (klei- en veengrond). Ook kan het model gebruikt worden om vanuit een gegeven N-concentratiedoelstelling terug te rekenen wat een toelaatbare combinatie van mest en kunstmest bij een gegeven bouwplan zou kunnen zijn.

De relaties tussen N-bemesting en N-afvoer in dat model zijn ontleend aan veldproeven van het praktijkonderzoek (Van Dijk et al., 2007). De opgenomen aan- en afvoertermen van de N-balans zijn daarbij afgestemd op de eisen van de Europese Commissie. De relatie tussen het N-bodemoverschot en de N-uitspoeling is gebaseerd op de gegevens van het LMM. Op basis van de waargenomen N-concentraties en het berekende N-bodemoverschot van deelnemende bedrijven laat zich namelijk een relatie tussen overschot en concentratie berekenen (Fraters et al., 2012; Baumann et al., 2012). De factor die beide verbindt laat zich beschrijven als het quotiënt van de uitspoelfractie UF en het neerslagoverschot NO: UF/NO . Beide termen worden binnen LMM niet afzonderlijk gemeten, het quotiënt wel. Door echter een grondsoort- en gewassoortspecifiek NO op te leggen, kan ook een UF berekend worden. Een andere NO zou vanzelfsprekend in een andere UF resulteren maar aan het quotiënt, en dus ook de relatie tussen overschot en concentratie, verandert op die manier niets.

Het WOG-WOD model is uitgebreid gedocumenteerd en intensief gebruikt bij het onderbouwen van Nitraatrichtlijn Actieprogramma's en derogaties (Schroder et al., 2007, 2009, 2011). Uitgangspunt bij de berekening is de veronderstelling dat er evenwicht bestaat tussen de jaarlijkse aanvoer van organische stof in de vorm van gewasresten en eventuele mest en de jaarlijkse afbraak hiervan. Alleen in geval van veengrond wordt een jaarlijkse constante netto N-mineralisatie verondersteld. Het WOG-WOD model geeft vanuit die optiek een gemiddeld, weersonafhankelijk beeld van de gevolgen van bepaalde N-gebruiksnormen op de langere termijn: gewasopbrengsten profiteren daarbij niet van de nawerking van bodemvruchtbaarheid die in het verleden is opgebouwd en emissies worden evenmin beïnvloed door nawerking van voordien hogere bemestingsniveaus.

Vanuit de overweging dat berekeningen doorgaans gericht zijn geweest op het verkennen van de consequenties van een maximale benutting van de toegelaten N-gebruiksnormen ('worst case'), is de input van mest en kunstmest bij de berekeningen niet gericht geweest op het feitelijke of voorspelde toekomstige (kunst)mestgebruik, maar op maximaal gebruik. Vanuit dezelfde gedachte is ook aangenomen dat, naast snijmaïs, niet meer gras geteeld wordt dan nodig om net aan de (op dat moment geldende) eisen voor derogatie te voldoen. Daarnaast is tot dusver aangenomen dat de melkveehouderij uitsluitend gebruik maakt van rundermesten en de akkerbouw uitsluitend van varkensmesten (ter grootte van 60 kg P_2O_5 per ha per jaar). Daarbij zijn wel varianten doorgerekend met verschillende Ntotaal/ P_2O_5 en Nm/Ntotaal verhoudingen in de mest. Mede hierom is gemakshalve voorbijgegaan aan het feit dat, met de invoering van P-toestand afhankelijke P-gebruiksnormen, op een aantal bedrijven minder mest toegediend kan worden dan becijferd: N-concentratiedoelstellingen zijn leidend. In de praktijk van de uitgevoerde verkenningen kwam het er meestal op neer dat berekend werd in welke mate aanvullende kunstmest-N giften aanpassing behoeften om met diverse mestgiften alsnog aan nitraatdoelstellingen te kunnen voldoen. Bij akkerbouwscenario's (WOG) werd de consequentie van gekorte N-giften op de onderbenutting van mest-P (en bijbehorende P-

overschotten) wel in beeld gebracht maar niet verrekend in de vorm van een aangepaste mestgift. Bij melkveehouderijsenario's (WOD) was dat wel het geval. Het WOG-WOD model berekent overigens in alle gevallen wel P-overschotten maar becijfert niet de invloed hiervan op de ontwikkeling van de P-toestand van de bodem.

Het WOG-WOD model heeft informatie nodig over de arealen gras, maïs en akkerbouwgewassen, en data van de verdeling van zandgronden over de ontwateringsklassen droog ('Gt VII'), matig droog ('Gt VI') en nat ('Gt IV'), en wel beide binnen de te onderscheiden zandregio's (Noord, Midden, Zuid, Lössgebied). Deze gegevens zijn steeds van RVO.nl, door bemiddeling van het Ministerie van Economische Zaken (voorheen ELI; LNV) en opgenomen in de gerapporteerde berekeningen van het WOG-WOD model. De originele bronnen van deze gegevens zijn niet gepubliceerd in rapporten en daarmee niet referabel.

2.2 Opbouw en werkwijze van het MAMBO model en het STONE model

MAMBO is een modelraamwerk om analyses uit te voeren rondom de productie, aanwending en transport van mest door middel van economische micro-simulatie en ruimtelijk evenwichtsmodellering. Het doel van MAMBO is om op basis van uitgebreide databestanden afkomstig uit onder andere de landbouwtelling (CBS), berekeningen uit het Bedrijven Informatie Netwerk (BIN), monitoringgegevens t.b.v. beleid (RVO.nl, Zuivelschap) en technische coëfficiënten (PBL, CDM, WUM, WUR) met betrekking tot diverse soorten emissies, de mestproducties en aanwending op diverse schaalniveaus in kaart te brengen. Daarbij wordt het gedrag van boeren gesimuleerd met betrekking tot keuzes voor aanwending van geproduceerde mest. Naast de keuzes van de ondernemer op bedrijfsniveau simuleert MAMBO ook de werking van de mestmarkt en de verdeling van mest tussen overschot en tekort gebieden. Een meer uitgebreide beschrijving van MAMBO is te vinden in bijlage 1.

STONE voorspelt vervolgens op basis van deze bemestingen de effecten op de bodemvruchtbaarheid, nitraatconcentraties in het grondwater en de stikstof- fosforbelasting van het oppervlaktewater. Het model is ontwikkeld om op nationale schaal effecten van mestbeleid (rekenvarianten van dierlijke mest- en kunstmestgiften) zichtbaar te maken voor verschillende combinaties aan bodemgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden. Hiervoor is Nederland opgedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden of plots. Elke plot kan beschouwd worden als een unieke eenheid die volledig homogeen is wat betreft hydrologie, bodemtype en bodemgebruiksvorm. De grootte van de plots varieert van 25 tot circa 21.500 ha (met een mediaanwaarde van 288 ha). Plots bestaan meestal niet uit één aaneengesloten gebied. Van iedere plot wordt de water- en nutriëntenbalans en de emissie naar grond- en oppervlaktewater berekend. Een meer uitgebreide beschrijving van STONE is te vinden in bijlage 2.

Het vertrekpunt bij de Stone berekeningen zijn de met MAMBO berekende te verwachten dierlijke mestgiften gegeven de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen en de gebruiksnorm voor dierlijke mest. Daarbij gaat MAMBO er van uit dat mestproducenten binnen de gebruiksnormen zoveel mogelijk mest op het eigen bedrijf afzetten en de overgebleven mest tegen de laagste kosten elders afzetten. Op basis van economische principes en de wettelijke randvoorwaarden wordt berekend hoeveel rundveemest en varkensmest er waar wordt aangewend. Voor toekomstverkenningen wordt aangenomen dat de omvang van de huidige veestapel, de samenstelling van de mest en de prijsverhouding niet verandert, tenzij dit specifiek in de rekenvariant wordt gespecificeerd. Voor de 5^e NAP verkenning is uitgegaan van een 'worst case' scenario wat inhoudt dat de berekende dierlijke mestgiften aangevuld worden met kunstmest tot aan de fosfaat- en stikstofgebruiksnormen. De op basis van economisch gedrag berekende bemestingen van kunstmest, rundvee en varkensmest zijn vervolgens omgerekend naar hoeveelheden werkzame stikstof per gewas per Stone-plot.

De databronnen waar MAMBO en STONE gebruik van maken zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1*Samenvatting van in MAMBO en STONE gebruikte informatiebronnen.*

	MAMBO	STONE
Landgebruik	In verkenning voor 5 ^{de} AP volgens de gegevens van medio 2013: Landbouwtelling In toekomst verkenningen met veranderend landgebruik: volgens DRAM (Helming, 2005)	Schematisering beschreven in Kroon et al (2000) op basis van LGN3+ (1998); 3 typen landbouwgewassen voor berekening van uitspoeling; 20 typen landbouwgewassen voor berekening gewasopname Constant landgebruik, in verleden en toekomst
Bemesting	Berekend op basis van economisch gedrag van de ondernemer gegeven de wettelijke randvoorwaarden; data aantallen dieren en arealen gewas per bedrijf (Landbouwtelling); aanvoer mest, export en verwerking (RVO.nl)	MAMBO uitvoer versleuteld naar schematisering van STONE; Interpolatie in de tijd voor jaren waarvoor geen MAMBO-run beschikbaar is
Bodem	Bodemkaart Alterra, in combinatie met Basis registratie percelen en data over de fosfaattoestand (RVO.nl)	Schematisering op basis van 1:250.000 bodemkaart (Wösten et al, 1988)
Gewasopname	Nvt	Voor gras en snijmaïs berekend met QUADMOD-model voor AT-gewassen berekend met MEBOT-module, Versleuteld MAMBO-resultaat t.a.v. N-werkzaam als invoer
Hydrologie	Nvt	Berekend met SWAP / NAGROM, getoetst aan grondwatertrappenkaart. Van Bakel et al, 2008 en Groenendijk et al, 2013.

3 Vergelijking van N-balansen

3.1 N-balansen

Inzicht in de gevolgen van de in hoofdstuk 2 beschreven overeenkomsten en verschillen tussen de modellen is te krijgen door balansen en balansposten onderling te vergelijken. Deze vergelijking is uitgevoerd per onderscheiden landbouwgewas in het STONE-model voor het totale zandgebied (Tabel 2) en voor het Zuidelijke zandgebied (Tabel 3).

Tabel 2

Balans termen van water en stikstof voor de zand- en lössgronden in het zandgebied.

	gras			snijmaïs			akkerbouw			cultuurgrond		
	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30	WOG WOD	MAMBO	STONE 16-30	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30
Dierlijke mest	284	214		170	135		100	141		210	180	
NH ₃ vervluchtiging	25	18		11	5		9	7		18	12	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	262	196	227	160	130	119	92	134	128	195	166	176
kunstmest	133	163	148	27	41	44	65	73	82	92	116	107
depositie	33		28	34		30	31		25	33		28
netto input	428		403	221		193	188		236	320		311
gewasopname	295		283	151		146	117		143	216		215
N-bodemoversch	130		119	70		47	71		93	102		96
Denitrificatie m.v.-GLG			54			36			50			49
Afv. naar opp.w. m.v.-GLG			12			9			11			11
Levering bodem			-24			33			19			0
Uitspoelfractie.	0.24 ¹		0.25 ²	0.52		0.69	0.58		0.53	0.34		0.37
NvrachtGLG			31			34			52			37
NO ₃ Nvracht GLG	31		29	36		32	41		50	35		35
Drainflux GLG			110			94			82			99
Neerslagoverschot	280		333	348		356	345		368	312		347
Neerslagoverschot - Drainflux GLG			223			263			286			248
NO ₃ concentratie ³	49		39	46		40	53		60	49		45
NO ₃ 1m in g.w.			45 ⁴			45			65			50
balansafwijking			-2			0			0			-1
areaalfractie	0.52	0.57	0.51	0.21	0.20	0.23	0.27	0.23	0.26	1.00	1.00	1.00
Werkzame N gift	337	251 ⁵	254	153	123	119	143	166	167	246	200	201

¹ Areaal gewogen gemiddelde van verschillende uitspoelfracties per grondwatertrap

² Berekend als ratio van NettoNO₃NvrachtGLG en N-bodemoverschot

³ Berekend als NO₃Nvracht op GLG / (Neerslagoverschot) x 100 x 62/14

⁴ Vanwege de vergelijking met WOG-WOD zijn de cijfers voor zand- en lössgrond als uitgangspunt genomen. De cijfers kunnen afwijken van de berekende cijfers voor de verkenning van het 5^{de} NAP met MAMBO STONE in juni – augustus 2013.

⁵ Nwdose van MAMBO is areaalgewogen NWDOSE van de 4 P-classes van de MAMBO conversietool naar STONE

Tabel 3

Balanstermen van water en stikstof voor de zand- en lössgronden in het Zuidelijke zandgebied.

	gras			snijmaïs			akkerbouw			cultuurgrond		
	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30	WOG- WOD	MAMBO	STONE '16-'30	WOG- WOD	MAMBO	STONE 16-30
Dierlijke mest	284	207		170	137		100	140		190	165	
NH ₃ vervluchtiging	25	15		10	4		9	6		16	9	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	262	192	230	160	132	120	92	134	132	176	156	168
kunstmest	133	167	150	10	23	30	44	64	73	70	94	91
depositie	38		31	38		32	38		29	38		31
netto input	433		411	208		182	174		234	284		290
gewasopname	296		282	145		138	105		143	190		198
N-bodemoversch	133		128	62		44	72		91	93		92
Denitrificatie m.v.-GLG			55			31			33			41
Afv. naar opp.w. m.v.-GLG			12			7			13			11
Levering bodem			-20			33			16			7
Uitspoelfractie.	0.25		0.36	0.53		0.85	0.58		0.65	0.39		0.52
NvrachtGLG			47			39			61			49
NO ₃ Nvracht GLG	33		46	33		37	42		60	36		48
Drainflux GLG			77			67			82			76
Neerslagoverschot	282		294	348		317	345		334	320		313
Neerslagoverschot - Drainflux GLG			217			250			252			237
NO ₃ concentratie ⁶	52		70	42		52	54		79	50		67
NO ₃ 1m in g.w.			70			52			84			69
balansafwijking			-6			0			0			-2
areaalfraction	0.39	0.42	0.40	0.26	0.23	0.30	0.35	0.35	0.30	1.00	1.00	1.00
Werkzame N gift	337	246	250	136	109	105	122	151	151	210	176	177

In een verkenning van de gevolgen van het 5^{de} Nitraat Actie programma volgens inzichten van medio 2013 werd voor het Zuidelijke zandgebied een gemiddelde concentratie berekend van 63 mg L⁻¹. De nitraatconcentratie in tabel 3 is hoger omdat de balansen in tabel 2 en 3 zijn opgesteld voor de landbouwgewassen op zand- en lössgronden in de zandgebieden omwille van de vergelijking met WOG-WOD. Voor andere rapportages (Groenendijk et al, 2012 en Schoumans et al, 2013), en de genoemde verkenning, zijn de gemiddelde balansen en nitraatconcentraties berekend voor het totale landbouwareaal in de zandgebieden. Hierin zijn ook de resultaten van het landbouwareaal op de klei- en de veengronden in de zandgebieden meegenomen.

STONE gebruikt resultaten van MAMBO voor de dierlijke mestgiften waar de aanwendingsemissie al vanaf is getrokken. Door een verschil in uitgangspunten worden met WOG-WOD hogere N-giften met dierlijke mest op grasland en snijmaïs berekend dan met MAMBO.

- Aan MAMBO is het uitgangspunt opgelegd dat de bemesting moet voldoen aan de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat en de gebruiksnorm dierlijke mest,
- In de berekeningen met WOG-WOD is verondersteld dat op het gehele areaal grasland en het gehele areaal snijmaïs derogatie van toepassing is. MAMBO gaat uit van de arealen op basis van de bedrijven waarvoor derogatie is aangevraagd (RVO.nl).

De hogere N-giften met dierlijke mest op grasland en snijmaïs in WOG-WOD in vergelijking met MAMBO worden gedeeltelijk gecompenseerd door lagere kunstmestgiften op grasland en snijmaïs in WOG-WOD. De hogere giften in WOG-WOD zijn het gevolg van het feit dat voorbijgegaan is aan de omstandigheid dat bedrijven in werkelijkheid, gegeven hun hoge P-toestand, soms minder mest kunnen toedienen dan de hoeveelheid behorend bij de P-toestand 'neutraal'. Daarnaast speelt een rol dat de berekeningen met WOG-WOD expliciet beoogden om een beeld te schetsen van de effecten van maximale benutting van toegestane N-gebruiksnormen ('worst case').

⁶ Berekend als NO₃N-vracht op GLG-diepte / (Neerslagoverschot) x 100 x 62/14

Met MAMBO zijn hogere dierlijke mestgiften en kunstmestgiften voor akkerbouwgewassen berekend dan met WOG-WOD. Een belangrijke verklaring voor het verschil in dierlijke mestgiften is de door MAMBO berekende aanwending van overwegend rundveemest op de akkerbouwgewassen en dat WOG-WOD uitgaat van varkensmest. De hoeveelheid stikstof in dierlijke mest die verbonden is met een hoeveelheid fosfor overeenkomstig de P-gebruiksnorm bij de fosfaattoestand 'neutraal' is namelijk bij rundveedrijfmest bijna twee maal zo hoog als bij varkensdrijfmest. Hoewel met MAMBO, anders dan met WOG-WOD, lagere maximale mestgiften zijn opgelegd bij hogere P-toestanden, leidt één en ander bij de MAMBO berekeningen tot hogere stikstofgiften met dierlijke mest op akkerbouwgewassen.

Het bodemoverschot wordt berekend als de som van dierlijke mest, kunstmest en depositie, verminderd met de ammoniakvervluchtiging bij aanwending en de gewasafvoer. Voor grasland en snijmaïs berekent het WOG-WOD model hogere N-overschotten dan STONE. Dit is het gevolg van de in WOG-WOD hoger aangenomen N-bemesting uit dierlijke mest op deze gewassen. Voor akkerbouw berekent het WOG-WOD model juist een lager N-bodemoverschot doordat hier WOG-WOD juist uitgaat van een zowel lagere dierlijke- als kunstmestgift dan de door MAMBO berekende giften. De uiteindelijke verschillen tussen de gebiedsgemiddelde N-bodemoverschotten zijn klein, 6 en 1 kg/ha voor resp. het totale zandgebied en het Zuidelijke zandgebied.

Voor zand-, löss en kleigronden gaat het WOG-WOD model uit van een stabiele toestand van de N- en P-bodem voorraad in de wortelzone. Aangenomen wordt namelijk dat de N-levering vanuit de bodem gelijk is aan de jaarlijkse opslag in de bodem. Onder de wortelzone worden alle omzettingsprocessen beschreven met één factor: de uitspoelingsfactor. In het STONE-model wordt expliciet netto nalevering en opslag in de bodem berekend. Daarnaast treden in STONE ook verliezen op door denitrificatie in de bodem en uitspoeling naar het oppervlaktewater voordat het nitraat de meetdiepte in het bovenste grondwater bereikt.

STONE simuleert een verloop van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater binnen een jaar en over de jaren heen. Hierbij wordt per rekentijdstap de grondwaterstand vastgesteld en de gemiddelde nitraatconcentraties bepaald over de bovenste meter van het grondwater, gerekend vanaf de op dat moment geldende grondwaterstand. Om tot een jaargemiddelde nitraatconcentratie te komen wordt vervolgens het rekenkundige gemiddelde van alle concentraties per tijdstap bepaald. Ter vergelijking is in de tabellen 1 en 2 ook de nitraatconcentratie weergegeven die op basis van een balansbenadering is te berekenen. Op de diepte van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand is de nitraatconcentratie berekend als het quotiënt van de nitraat-N vracht en het neerslagoverschot vermenigvuldigd met 442,86 voor een omrekening naar mg nitraat per liter. Dit neerslagoverschot is niet gecorrigeerd voor de laterale afvoer naar het oppervlaktewater, omdat bij de afleiding van de uitspoelfactoren voor het WOG-model ook niet is gerekend met een dergelijke correctie. (Fraters et al, 2007). De volgens deze methode berekende nitraatconcentraties vallen voor de verschillende gewassen in het gehele zandgebied 5 mg/L hoger uit dan de gemiddelde nitraatconcentraties in de bovenste meter van het grondwater. In het Zuidelijke zandgebied valt alleen de uit de nitraatvracht berekende nitraatconcentratie onder akkerbouw hoger uit dan direct berekende concentraties in de bovenste meter van het grondwater.

Geconcludeerd wordt dat, ondanks de geringe verschillen in bodemoverschot in de twee zandregio's (1 en 6 kg N per ha in, respectievelijk, het Zuidelijk zandgebied en het totale zandgebied), er toch aanzienlijke verschillen in nitraatconcentraties worden berekend. In de navolgende paragrafen wordt nagegaan of dit wordt veroorzaakt door het verschil in modelinvoer t.a.v. gewasarealen, bemesting, grondwatertrappen en het hydrologische concept en/of door een verschil in de beschrijving van de relatie tussen N-overschot en nitraatconcentratie.

3.2 Gewasaandelen

Verschillen in gewasarealen zouden mogelijk kunnen bijdragen aan de verschillen in nitraatconcentraties berekend met het WOG-WOD model en met STONE. Tabel 4 geeft een overzicht

van arealen van de hoofdgewassen en in tabel 5 zijn de percentages van de akkerbouwgewassen weergegeven.

Tabel 4

Oppervlakten (ha) en verdeling van de gewassen in WOG-WOD, MAMBO en STONE.

	Zand- en lössgrond in het Zuidelijk zandgebied			Zand- en lössgrond in het totaal van de zandgebieden		
	WOG-WOD	MAMBO	STONE	WOG-WOD	MAMBO	STONE
Totaal Oppervlak (ha)	240890	277424	281119	785563	818780	745244
Grasland	39%	42%	40%	52%	57%	51%
Snijmaïs	26%	23%	30%	21%	20%	23%
Akker en tuinbouw	35%	35%	30%	27%	23%	26%

De totale arealen landbouwgrond in WOG-WOD, MAMBO en STONE verschillen. Deze verschillen hoeven nog niet te leiden tot verschillen in nitraatconcentraties, omdat de concentraties als areaal gemiddelde worden berekend.

Wat opvalt is dat STONE uitgaat van een veel hoger aandeel aardappelen dan WOG-WOD. Het aandeel in WOG-WOD sluit min of meer aan bij het aandeel op basis van de Landbouwtelling. In STONE bedraagt het aandeel aardappelen ca. 40% voor zand- en lössgronden van zowel het totale zandgebied als van het Zuidelijke zandgebied (Tabel 5). De oorzaak hiervan is dat bij versleuteling van MAMBO-resultaat naar STONE-invoer aan de gewassen met het grootste areaal een nog groter areaal wordt toegekend ten koste van gewassen met kleine arealen. Dit is verder uitgelegd in Par. 3.3.2.

Tabel 5

Oppervlakte aandeel (%) van de verschillende akkerbouwgewassen in WOG-WOD en STONE.

Gewas	Uitspoelings-gevoelig	Zand + lössgronden in de zandgebieden		Zand + lössgronden in het zuidelijk Zandgebied	
		WOG-WOD	STONE	WOG-WOD	STONE
Wintertarwe		6	8	8	11
Triticale	X	2		2	
Rogge		1		0	
Wintergerst		1		1	
Groep wintertarwe			4		9
Zomertarwe		4	4	2	2
Zomergerst		13	10	4	2
Haver		1		0	
Groep zomergerst			5		6
Maïs, korrel-	X	9	4	18	8
Bieten, suiker-	X	16	16	16	14
Groep suikerbieten	X		1		1
Consumpieaardappel	X	9	20	17	39
Zetmeelaardappel	X	21	23	0	1
Pootaardappel		2	1	0	0
Aardappelachtig	X	6		12	
Prei	X	1		2	
Groep prei	X		0		0
Stamslaboon	X	1		2	
Groep stamslaboon	X		2		4
Zaaiui		0	0	0	0
Wortelen		1		2	
Lelie	X	1		1	
Graszaad	X	2	1	2	2
Braak		4		4	
Overig		3		6	
Totaal		100	100	100	100

3.3 Bemesting

3.3.1 Vergelijking van de mestsoorten

In tabel 2 en 3 is aangegeven dat de door WOG-WOD aangenomen en de door MAMBO berekende bemesting verschillen vertoont, ondanks het feit dat van dezelfde N-gebruiksnormen en wettelijke N-werkingscoëfficiënten is uitgegaan. Verklaringen voor de verschillen zijn:

- in het WOG-WOD model is verondersteld dat op grasland en snijmaïs alleen graasdiermest wordt toegepast en op akkerbouwpercelen (waaronder ook een deel maïsland) alleen varkensmest, zoals in Par. 2.1 nader is toegelicht. MAMBO gaat uit van bedrijfsgegevens, gegevens over mesttransporten en kunstmeststatistieken en berekent op basis van de laagst mogelijke kosten of hoogst mogelijke opbrengsten waar welke mestsoort economisch gezien het beste aangewend kan worden. Dat betekent dat MAMBO ook, afhankelijk van de situatie op de mestmarkt, graasveemest toekent aan akkerbouwpercelen,
- In tegenstelling tot het WOG-WOD model wordt in MAMBO ook gerekend met de gebruiksnormen voor fosfaat. Juist de gebruiksnormen voor fosfaat zijn beperkend voor de hoeveelheid dierlijke mest die aangewend kan worden. In het WOG-WOD model worden de gebruiksnormen voor fosfaat overschreden. De berekeningen met WOG-WOD beoogden expliciet om een beeld te schetsen van de effecten van maximale benutting van toegestane N-gebruiksnormen. De reden voor deze aanname is aangeduid in Par. 3.1. De overschrijding heeft als gevolg dat de aangenomen dierlijke mestgiften bij grasland en maïsland in WOG-WOD groter zijn dan de berekende dierlijke mestgiften in MAMBO,
- In WOG-WOD wordt aangenomen dat het gehele grasland en snijmaïsareaal derogatie heeft. In MAMBO wordt derogatie meegenomen voor de bedrijven die derogatie hebben aangevraagd en die voldoen aan de voorwaarden voor derogatie. Ook hierdoor zijn de dierlijke mestgiften in het WOG-WOD model op grasland en snijmaïs hoger dan in MAMBO,
- Het belangrijkste verschil treedt op bij akkerbouw. Het WOG-WOD model gaat uit van het gebruik van alleen varkensmest terwijl door MAMBO wordt berekend dat het grootste deel van de (toekomstige) dierlijke mestgift op akkerbouw in de zandgebieden in de vorm van graasveemest plaatsvindt (Tabel 6). Hoewel in MAMBO, anders dan in WOG-WOD, rekening gehouden wordt met een beperkter gebruik van P in de vorm van mest bij hoge fosfaattoestand, is het mestgebruik in de vorm van N bij MAMBO toch groter dan bij WOG-WOD. Dit komt door de lagere werkingscoëfficiënt van rundermest dan van varkensmest en pluimveemest en omdat graasveemest per kg P meer N bevat dan varkensmest.

Tabel 6

N-bemesting na aftrek van ammoniakvervluchtiging (kg/ha).

Land-gebruik	Mestsoort	Zand- en lössgrond in alle zandgebieden			Zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied		
		WOG-WOD	MAMBO	Stone 2016-2030	WOG-WOD	MAMBO	Stone 2016-2030
Grasland	Graasdiermest uit opslag	197	113.7	148.9	197	89.8	136.5
	Graasdiermest tijdens beweiding	65	73.3	74.7	65	86.9	90.4
	Varkensmest		9.4	3.0		15.5	2.7
	Pluimveemest		0.1	0.0		0.2	0.0
	Kunstmest	133.0	163.0	148.2	133.0	166.8	150.1
Snijmaïs	Graasdiermest uit opslag	160	114.6	116.8	160.0	110.2	118.3
	Varkensmest		15.2	1.9		21.4	1.4
	Pluimveemest		0.7	0.3		0.7	0.6
	Kunstmest	38.0	40.8	43.8	10.0	23.1	29.6
Akkerbouw	Graasdiermest uit opslag		106.2	94.5		105.1	118.2
	Varkensmest	92.0	25.4	32.1	92	27.5	13.3
	Pluimveemest		2.7	1.7		1.2	0.1
	Kunstmest	72.0	73.4	82.3	44.0	63.8	72.6

De mestgiften in STONE zoals vermeld in tabel 3 en tabel 6 zijn berekend als het gemiddelde voor de periode 2016-2030. Doordat in het STONE-model Pw en P-AL getallen kunnen dalen en stijgen en de

mestgift volgens de regels van de fosfaatdifferentiatie wordt gegeven, kunnen veranderingen in de tijd optreden. Gemiddeld op gebiedsniveau zijn deze veranderingen in de tijd bijzonder klein. Door de versleuteling van MAMBO resultaten naar STONE-invoer treden verschillen op. Hierop wordt in par. 3.3.2 nader ingegaan.

3.3.2 Versleuteling van MAMBO output naar STONE input

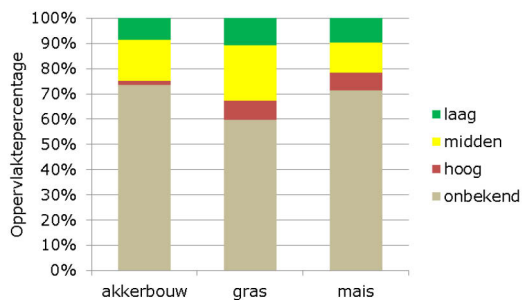
In tabel 2 en tabel 3 is te zien dat in STONE de dierlijke mestgiften op grasland na aftrek van de ammoniakvervluchtiging hoger zijn dan door MAMBO is berekend. Op snijmaïs en op akkerbouw zijn de dierlijke mestgiften in STONE lager dan door MAMBO is berekend. Dit verschil wordt veroorzaakt door de versleuteling van MAMBO resultaten naar modelinvoer voor STONE. Hierbij zijn vier aspecten te onderscheiden:

1. De versleuteling van door MAMBO berekende mestgiften voor de hoofdgewassen.
2. De toewijzing van de arealen akkerbouwgewassen in MAMBO aan akkerbouwplots in STONE.
3. De berekeningswijze van MAMBO voor de fosfaatklassen.
4. In STONE wordt geen rekening gehouden met de dynamiek van het landgebruik.

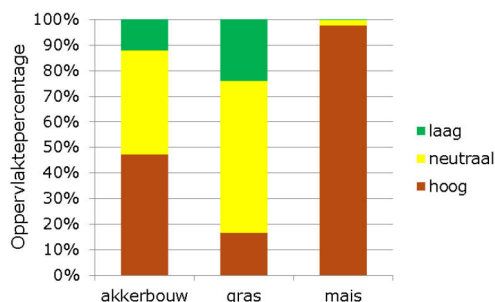
Versleuteling van MAMBO uitvoer per fosfaatklasse naar STONE invoer

Om met P-differentiatie te kunnen rekenen hanteert MAMBO een andere methode dan STONE.

- MAMBO berekent op basis van de door RVO.nl aangeleverde informatie over de verdeling van fosfaattoestanden per bedrijf per fosfaatklasse een maximale fosfaatfosfaatgift en vervolgens de mestgift. Een groot deel van het oppervlak behoort tot de klasse "onbekend" (Fig. 1),
- In STONE wordt de P-toestand van de bodem gesimuleerd als resultaat van bemestingen en overschotten. Iedere plot heeft een waarde en de klasse "onbekend" komt in STONE niet voor. De resultaten klassenverdeling in 2010 per gewas is weergegeven in Fig. 2



Figuur 1 Oppervlaktepercentages van de fosfaattoestand van de bodem in 2010 in MAMBO ,na omrekening naar ruimtelijke indeling van STONE (bron: Groenendijk et al 2012).



Figuur 2 Oppervlaktepercentages van de fosfaattoestand van de bodem in 2010 per gewas, berekend met STONE op basis van bodemkenmerken en historische overschotten. (bron: Groenendijk et al 2012).

Voor grotere gebieden komt het resultaat van MAMBO en het resultaat van STONE in grote lijnen overeen, maar voor kleinere gebieden en individuele plots treden verschillen op. In de resultaten van de rekenvarianten berekend met MAMBO en STONE voor de Evaluatie Mestwetgeving 2012

(Groenendijk et al 2012) werd geconstateerd dat bij aanscherping van de gebruiksnormen een verschuiving plaatsvindt van mestsoorten. De trend dat bij aanscherping het gebruik van rundermest in de akkerbouw toeneemt ten koste van varkensmest, en de trend van het sterker wordende verschil tussen fosfaatklassen t.a.v. de N-giften is in zowel de MAMBO uitvoer als in de STONE-invoer zichtbaar. Echter, door de toewijzingsprocedure in STONE wordt de trend wel versterkt en ontstaat wel een verschil in het gemiddelde bemestingsniveau per grondgebruiksvorm. Vooral grasland wordt in STONE meer bemest dan in MAMBO, omdat 60% van het graslandareaal een "onbekende" fosfaatklasse heeft en deze gronden in STONE voor het grootste deel zijn toegewezen aan de fosfaatklasse "neutraal".

Toewijzing van de arealen akkerbouwgewassen in MAMBO aan akkerbouwplots in STONE

Doordat MAMBO en STONE verschillen vertonen in de arealen van de akkerbouwgewassen kunnen verschillen in bemesting ontstaan. Voor iedere STONE-plot berekent MAMBO een areaalverdeling van gewassen en een areaalverdeling van de P-klassen. Omdat een STONE-plot een unieke P-toestand heeft wordt de areaalverdeling van de gewassen die behoort bij deze P-toestand aan STONE opgelegd. Dit heeft tot gevolg dat bepaalde gewassen die niet in deze P-klasse voorkomen buiten beschouwing worden gelaten. Een meer gedetailleerde toelichting hierop is gegeven in bijlage 5.

De berekeningswijze van MAMBO voor de fosfaatklassen

Conform de mestwetgeving krijgen in MAMBO de gronden met de P-toestand "onbekend" de fosfaatgebruiksnorm opgelegd die hoort bij de P-toestand "hoog". Desondanks kunnen verschillen optreden tussen gronden met P-toestand "hoog" en "onbekend". Dit heeft diverse oorzaken:

- Verschillen in toegediende mestsoort,
- Verschillen in aandeel oppervlakte met derogatie,
- De getransporteerde hoeveelheid mest wordt op mestregio niveau geijkt met de transportdata van DR. Wanneer de oppervlakte cultuurgrond met P-toestand "hoog" en "onbekend" niet in gelijke mate over de onderliggende regio's is verdeeld geeft dat verschillen,
- Het aandeel mest dat van het eigen bedrijf afkomstig is en het aandeel mest dat van andere bedrijven aangevoerd wordt kan verschillen. Doordat eigen mest een andere acceptatiegraad heeft dan aangevoerde mest krijg je daardoor ook verschillen in bemesting tussen gronden met P-toestand "hoog" en P-toestand "onbekend",
- De verhouding tussen weidemest en stalresten kan verschillen. Weidemest heeft andere N en P gehalten dan stalresten.

Geen dynamiek in landgebruik van STONE

In STONE hebben bijna alle maïsplots een hoge fosfaattoestand. Ook wanneer de klasse "onbekend" geheel tot de klasse "hoog" gerekend zou worden, leidt dit tot een overschatting t.o.v. de praktijkgegevens. De gegevens van RVO.nl geven aan dat van het bemonsterde maïsareaal 25% een klasse "laag" of "neutraal" heeft.

Deze overschatting wordt veroorzaakt doordat in STONE het landgebruik statisch is. Een maïsplot blijft altijd met snijmaïs bedekt en heeft de historische mestgiften gekregen die in het verleden bij werden gegeven. In de praktijk is het landgebruik dynamisch en wordt voor een deel van de gronden met snijmaïs rotatie toegepast. De historische mestgiften zijn daarbij ook terecht gekomen op de gronden waarvoor in STONE wordt aangenomen dat ze gebruikt worden als grasland.

3.4 Werkzame N-gift en gewasopname

In tabel 3 is te zien dat voor gras in het Zuidelijke zandgebied een hogere N-bemesting leidt tot een evenzo grote toename van de gewasopname waardoor het bodemoverschot gelijk is. Om de rol van gewasopname in de N-balans goed te beoordelen is het nodig om ook naar de totale bemesting en de werkzame N-giften te kijken. Voor akkerbouw en het gemiddelde van de landbouwgewassen in het gehele zandgebied en het Zuidelijke zandgebied zijn de gemiddelde mestgiften en gewasopnames samengevat in tabel 7 en tabel 8.

Tabel 7

Bemesting en gewasopname van landbouwgrond (gras, snijmaïs, akkerbouw) op de zand- en lössgronden in het zandgebied en het Zuidelijke zandgebied.

	zandgebied		Zuidelijke zandgebied	
	WOG-WOD	STONE 2016-30	WOG-WOD	STONE 2016-2030
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	195	176	176	168
<i>Graasdiermest uit opslag en beweiding</i>	170		170	
<i>Graasdiermest uit opslag</i>		127		126
<i>Graasdiermest tijdens beweiding</i>		38		36
<i>Varkensmest</i>	25	10	24	5
<i>Pluimveemest</i>	0	1	0	0
Werkzaam deel van dierlijke mest	154	94	140	86
Kunstmest	97	107	70	91
Werkzame N gift	250	201	210	177
Gewasopname	218	215	190	198

In STONE is de gewasopname van grasland en snijmaïs groter dan de werkzame N-gift. Tabel 7 toont de cijfers voor de zand- en lössgronden binnen de zandgebieden. De grotere gewasopname van grasland en snijmaïs t.o.v. de werkzame N-gift komt ook tot uitdrukking in de gebiedsgemiddelde cijfers voor het zandgebied en het Zuidelijke zandgebied.

Tabel 8

Bemesting en gewasopname van akkerbouw op de zand- en lössgronden in het zandgebied en het Zuidelijke zandgebied.

	zandgebied		Zuidelijke zandgebied	
	WOG-WOD	STONE 2016-30	WOG-WOD	STONE 2016-2030
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	92	128	92	132
<i>Graasdiermest uit opslag</i>		94.5		118.2
<i>Varkensmest</i>	92	32.1	92	13.3
<i>Pluimveemest</i>		1.7		0.1
Werkzaam deel van dierlijke mest	78	85	78	78
Kunstmest	72	82	44	73
Werkzame N gift	150	167	122	151
Gewasopname	120	143	105	143

In WOG-WOD wordt de gewasopname berekend op basis van de efficiëntie van de meststof, gedefinieerd als de beschikbaarheid van stikstof uit de meststof voor gewasopname ten opzichte van de beschikbaarheid van kunstmest-N voor gewasopname, een reductie van de efficiëntie die optreedt bij hogere stikstofniveaus en gewasverliezen bij oogsten of begrazen. Het stikstofleverend vermogen van de bodem wordt berekend op basis van de opgelegde regio-specifieke depositie, de opgelegde aard en omvang van de dierlijke mestgift ('N-nawerking') en bouwplan-afhankelijke aard en omvang van de gewasresten en groenbemester (Schröder et al, 2007).

In STONE wordt voor de grasland en snijmaïs de gewasopname berekend met de QUAMOD-module (Ten Berge et al, 2000) en voor akkerbouw met de MEBOT-module. De MEBOT-module gaat uit van dezelfde principes als het gewasopname-deel van WOG-WOD. De QUAMOD-module gaat ook uit van deze principes, maar houdt daarnaast nog rekening met het stikstofleverend vermogen van de bodem en de fosfaattoestand van de bodem (De Ruijter en Conijn, 2010).

In Par. 3.2 is aangegeven dat door de toewijzing van STONE-plots met akkerbouw op basis de fosfaattoestand aan een bemestingsresultaat van MAMBO, gedifferentieerd naar de fosfaattoestand er een verschuiving is opgetreden in de onderlinge verhouding van arealen van akkerbouwgewassen. Hierdoor is het areaal consumptieaardappelen in STONE groter dan in MAMBO en WOG-WOD. Deze verschuiving zou er toe kunnen leiden dat het areaal uitspoelingsgevoelige gewassen relatief groter wordt en dat daarmee de nitraatuitspoeling toeneemt. Om hier zicht op te krijgen zijn voor de

verschillende akkerbouwgewassen areaal gewogen gemiddelden berekend van de werkzame stikstofgiften en de gewasopnames in STONE (tabel 9).

Tabel 9

Werkzame N-giften en gewasafvoercijfers in STONE voor akkerbouwgewassen gemiddeld voor het zandgebied en het Zuidelijke zandgebied.

	zandgebied		Zuidelijke zandgebied	
	Werkzame N gift	Gewasafvoer	Werkzame N gift	Gewasafvoer
Gemiddeld	167	137	154	138
Consumptieaardappelen	181	153	178	152
Graszaad	116	69	109	68
Groep_Prei	172	86	172	86
Groep_Stamslaboon	118	45	116	45
Groep_Suikerbieten	180	139	176	139
Groep_Wintertarwe	131	178	131	179
Groep_Zomergerst	135	108	134	108
Korrelmais	121	87	118	86
Pootaardappelen	148	95	146	97
Suikerbieten	147	117	136	116
Wintertarwe	187	189	178	191
Zaaiuien	132	152	129	147
Zetmeelaardappelen	213	147	211	146
Zomergerst	132	109	109	109
Zomertarwe	145	156	133	153

Gemiddeld voor het zandgebied is het verschil tussen de werkzame N-gift en de gewasafvoer 30 kg ha⁻¹. In het Zuidelijk zandgebied is dit verschil 16 kg ha⁻¹. In tabel 5 is aangegeven dat dat het areaal consumptieaardappelen in STONE duidelijk groter is dan in WOG-WOD. Voor dit gewas is het verschil in werkzame N-gift en de gewasafvoer 28 kg ha⁻¹ voor het zandgebied en 26 kg ha⁻¹ voor het Zuidelijke zandgebied. De grootste verschillen tussen werkzame N-gift en de gewasafvoer worden berekend voor graszaad, groep prei, groep stamslabonen, groep suikerbieten en zetmeelaardappelen. Na verrekening met de gewasarealen (tabel 5) levert zetmeelaardappel de grootste bijdrage aan het gemiddelde verschil tussen werkzame N-gift en gewasafvoer in het gehele zandgebied. Voor het Zuidelijke zandgebied levert consumptieaardappel de grootste bijdrage aan het gemiddelde verschil. Voor groep wintertarwe, wintertarwe en zomertarwe is de gewasafvoer groter dan de werkzame N-gift. In het Zuidelijke zandgebied is het areaal van de granen in STONE duidelijk groter dan in WOG-WOD (30% t.o.v. 17%; tabel 5). Het verhogend effect op het verschil van werkzame N-gift en gewasafvoer als gevolg van het grotere areaal consumptieaardappel in STONE in het Zuidelijke zandgebied wordt gecompenseerd door het grotere areaal granen dat een verlagend effect heeft op het verschil van werkzame N-gift en gewasafvoer. Het uiteindelijk effect op de nitraatuitspoeling zal daarom gering zijn.

3.5 Uitspoeling

3.5.1 Hydrologisch concept

Eén van de verschillen tussen WOG-WOD STONE heeft betrekking op de manier waarop de nitraatconcentratie wordt berekend. In WOG-WOD wordt de nitraatconcentratie berekend aan de hand van het N-bodemoverschot, een uitspoelfactor en het neerslagoverschot volgens:

$$C_{NO_3} = \text{N-bodemoverschot (kg/ha)} \times \text{uitspoelfractie} / \text{neerslagoverschot (mm/jr)} \times 62/14 \times 100$$

waarin de uitspoelfractie getabelleerde waarden zijn van grondsoort, gewas en Gt. Deze uitspoelfractie is vastgesteld door de gemeten concentraties in het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM) te vermenigvuldigen met een berekend neerslagoverschot en verder om te rekenen naar cijfers op gewas- en grondsoortniveau. Het LMM bestaat uit verschillende onderdelen. Het onderdeel

Basismeetnet (Evaluerende Monitoring) is het reguliere trendmeetnet voor waterkwaliteit op landbouwbedrijven. Het onderdeel Derogatiemeetnet omvat 300 graslandbedrijven die zich hebben aangemeld voor derogatie en waarvoor RIVM en LEI jaarlijks rapporteren over de bedrijfsvoering en de waterkwaliteit.

Voor de bepaling van de uitspoelfractie van zandgronden wordt de nitraatstikstofconcentratie gebruikt, gemeten in de bovenste meter van het grondwater en bemonsterd in het zomerhalfjaar. De uitspoelfractie wordt dan berekend door de berekende stikstofuitspoeling (in kg/ha per jaar) te delen door het berekende stikstofoverschot (in kg/ha per jaar). Vervolgens worden de individuele resultaten van bedrijven gegroepeerd naar grondsoorten, grondwatertrappen en gewassen. De informatie over grondsoorten en grondwatertrappen wordt ontleend aan een door het RIVM gegeneraliseerde bodemkaart die is gebaseerd op de 1:50000 en 1:250000 bodemkaart van Stiboka / Alterra (Van Drecht en Scheper, 1998). De informatie in het LMM over bodem en grondwatertrap verschilt daarmee van de informatie in STONE en ook van de informatie zoals gebruikt in WOG-WOD.

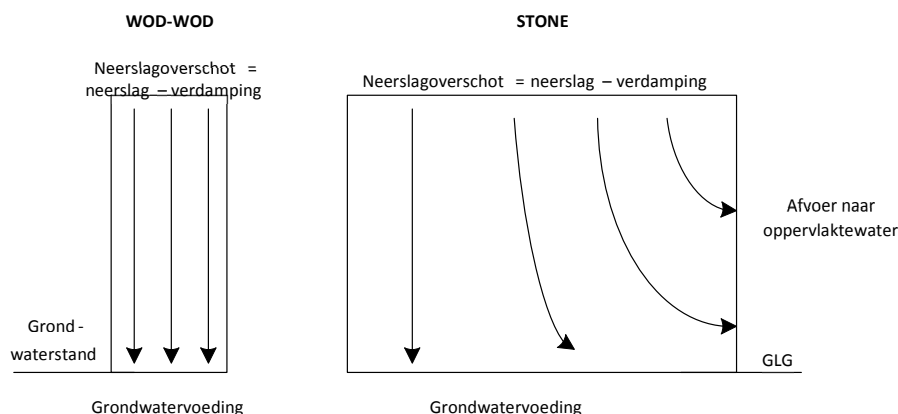
Recente waarden voor de uitspoelfractie zijn weergegeven in tabel 10. De stikstofuitspoeling wordt gekoppeld aan het stikstofoverschot in het landbouwpraktijkjaar voorafgaand aan het meetjaar (Fraters et al, 2007; Fraters et al, 2012).

Tabel 10

Uitspoelfracties van het stikstofoverschot van bouwland en grasland op zandgrond volgens Fraters et al (2007) en Fraters et al (2012).

Grondwatertrap	Fraters et al (2007)		Fraters et al (2012)	
	Bouwland	Grasland	Bouwland	Grasland
VIII	0.89	0.46	0.90	0.44
VII	0.74	0.38	0.75	0.37
VI	0.58	0.30	0.59	0.29
V*	0.43	0.22	0.43	0.21
V	0.45	0.23	0.45	0.22
IV	0.38	0.20	0.39	0.19
III*	0.28	0.14	0.28	0.14
III	0.07	0.04	0.07	0.04
I/II/II*	0.04	0.02	0.05	0.02

STONE simuleert een nitraatconcentratie in het bovenste grondwater. Hierbij wordt per rekestijdstap de grondwaterstand vastgesteld en de gemiddelde nitraatconcentraties bepaald over de bovenste meter van het grondwater, gerekend vanaf de op dat moment geldende grondwaterstand. Om tot een jaargemiddelde nitraatconcentratie te komen wordt vervolgens het rekenkundige gemiddelde van alle concentraties per tijdstap bepaald. Het verschil tussen de twee benaderingen wordt aangeduid in figuur 3.



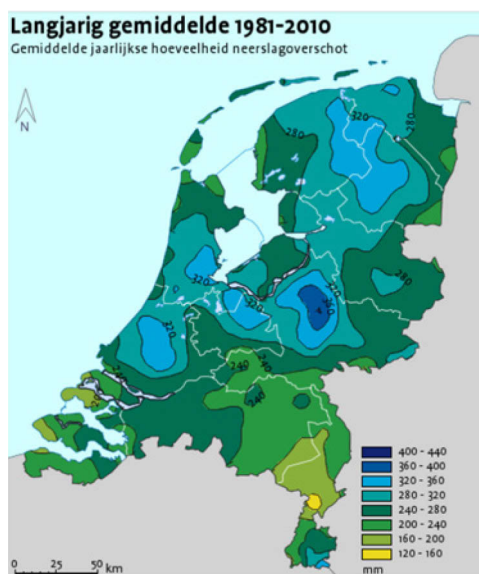
Figuur 3 Schematische weergave van hydrologische concepten in het WOGWOD-model en in STONE.

De verschillen nader aangeduid:

- WOG-WOD veronderstelt alleen verticale waterstroming, het neerslagoverschot plant zich voort in het grondwater en de verticale waterflux in het bovenste grondwater is gelijk aan het neerslagoverschot,
- STONE veronderstelt behalve verticale waterstroming ook een laterale stroming naar oppervlaktewatervlakken. Tussen maaiveld en GLG is een substantieel deel van het neerslagoverschot al afgestroomd naar het oppervlaktewater. In tabel 1 is voor het landbouwareaal op zand- en lössgrond in de zandgebieden een netto neerslagoverschot gegeven van 347 mm jr^{-1} . Hiervan wordt 99 mm jr^{-1} (ca. 25%) afgevoerd in de zone tussen maaiveld en GLG zodat de waterflux op GLG diepte 248 mm jr^{-1} bedraagt. Met het lateraal uit- en afgespoelde water spoelt ook nitraat mee ($11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$), maar dat is niet proportioneel. De laterale waterafvoer vindt plaats in de winter bij hogere grondwaterstanden, in de periode dat nitraatconcentraties lager zijn.

Deze verschillen in de wijze van berekening, te weten relatief veel neerslagoverschot afvoer naar het oppervlaktewater met weinig stikstof, kunnen mede verklarend zijn voor het feit dat STONE hogere nitraatconcentraties voorspelt dan het WOG-WOD model, zodat de resterende stikstof in een kleine waterhoeveelheid uitspoelt naar het bovenste grondwater. Het valt vooralsnog niet aan te geven of de tijd-gewogen nitraatconcentratie volgens STONE, een betere weerspiegeling van de werkelijke nitraatconcentratie in het bovenste grondwater geeft, dan de 'snap shot' concentratie volgens WOG-WOD. De 'snap shot' concentratie van WOG-WOD sluit per definitie precies aan op de totstandkoming van de, eveneens op LMM gebaseerde, cijfers die naar de Europese Commissie gerapporteerd worden. Echter, dit is niet noodzakelijkerwijs onder iedere omstandigheid de concentratie die gemiddeld over het jaar representatief is voor het bovenste grondwater. De met STONE voorspelde nitraatconcentraties voor 2030 of als het gemiddelde van de periode 2016 – 2030 hebben een andere definitie van tijd dan in het WOG-wod model (jaargemiddeld versus eenmalige bemonstering). Dit geldt eveneens voor de definitie van plaats (plotgemiddelde versus puntwaarnemingen).

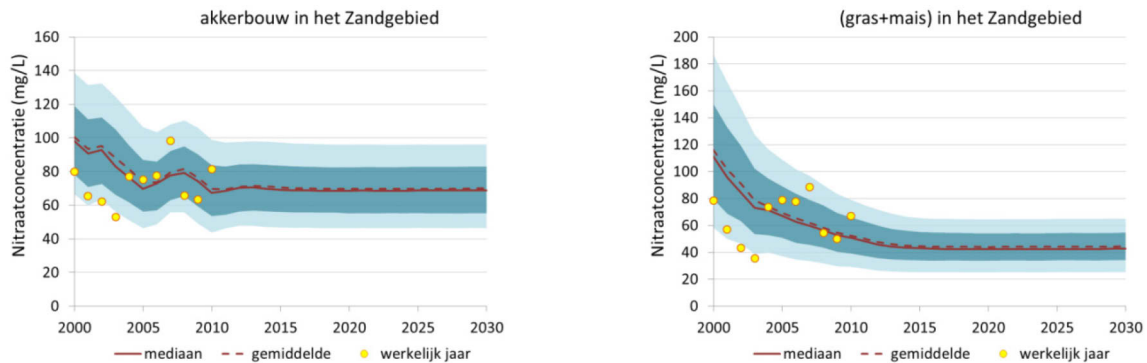
In het Zuidelijke zandgebied valt minder neerslag dan gemiddeld in Nederland. Dit komt tot uitdrukking in een lager netto neerslagoverschot voor het gemiddelde van de landbouwgronden (313 mm jr^{-1}) in vergelijking met het cijfer voor het gemiddelde van alle zandgebieden (347 mm jr^{-1}). Deze regionale verschillen worden in STONE meegenomen, maar worden niet verrekend in het WOG-WOD model. Dat betekent dat het WOG-WOD model mogelijk een te lage nitraatconcentratie berekent voor gebieden met een lager dan gemiddelde neerslag (zuiden) en een te hoge nitraatconcentratie voor gebieden met een hoger dan gemiddelde neerslag (noorden).



Figuur 4 Langjarig gemiddelde van de jaarlijkse hoeveelheid neerslagoverschot (bron: <http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php>).

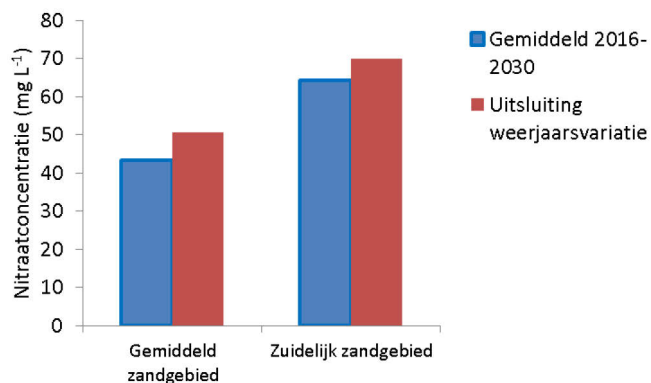
3.5.2 Variatie van het weer

De cijfers voor het neerslagoverschot en de nitraatconcentraties in tabel 1 en 2 hebben voor het STONE-model betrekking op het gemiddelde van de periode 2016 – 2030. Het is bekend dat door de variatie van het weer ook de nitraatconcentraties kunnen variëren bij overige gelijke omstandigheden. In rapport van Groenendijk et al (2012) staat een methode aangegeven hoe de effecten van variatie van weersomstandigheden op de nitraatconcentratie uitgesloten kunnen worden. In de studie met rekenvarianten voor EMW2012 (Groenendijk et al, 2012) zijn hiervan de resultaten gegeven. Een voorbeeld van de uitvoer van een dergelijke berekening is gegeven in Figuur 5. Met de methode kan per jaar een gemiddelde en een bandbreedte worden afgeleid.



Figuur 5 Bandbreedte door variatie van het weer van de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater in de zandgebieden bij eventuele continuering van het 4^{de} NAP (bron: Groenendijk et al, 2012).

Deze methode geeft hogere nitraatconcentraties dan de methode waarbij de gesimuleerde concentraties voor de periode 2016 – 2030 worden gemiddeld. Dit is aangegeven voor hetzelfde mestscenario (*eventuele continuering van het 4^{de} NAP*) voor het totale zandgebied en het Zuidelijke zandgebied (alle gronden) in Fig. 6.



Figuur 6 Gemiddelde nitraatconcentraties in het totale zandgebied en het Zuidelijke zandgebied bij middeling van de periode 2016 – 2030 en bij uitsluiting van weerjaarvariatie door middeling van 30 rekenruns van een dertigjarige klimaatreeks (bron: Groenendijk et al, 2012).

De hogere gemiddelde nitraatconcentraties bij de dertigjarige reeks worden veroorzaakt doordat is uitgegaan van de weerreeks 1971 – 2000. In de berekening van het gemiddelde voor 2016 – 2030 is de reeks 1986 – 2000 gebruikt. Een nadere analyse geeft aan dat de gemiddelde berekende grondwaterstanden in periode 1986 – 2000 relatief goed overeenkomen met de gemiddelde grondwaterstanden van de periode 1981 – 2010. Deze periode geldt vanaf 2011/2012 als definitie

voor het "huidige klimaat". De periode 1971 – 2000 werd voor 2011 gebruikt als definitie van het klimaat. De keuze voor de periode 1986 - 2000 blijkt achteraf een gelukkige keuze omdat het tot vergelijkbare grondwaterstanden leidt als de gemiddelde grondwaterstanden voor het huidige klimaat.

4 Vergelijking van oppervlakten en grondwaterdiepteklassen

In het STONE-model komt een groter deel van het N-bodemoverschot als nitraat in het grondwater terecht dan in het WOG-WOD model. Gemiddeld voor het Zuidelijke zandgebied spoelt in het WOG-WOD model 39% van het N-bodemoverschot uit als nitraat en in het STONE model is dit 52%. Voor het totale zandgebied liggen deze percentages lager: 34% en 37% voor resp. het WOG-WOD en het STONE model. Gemiddeld voor het zuidelijke zandgebied is in het STONE-model de denitrificatie 8 kg ha⁻¹ lager en de levering (netto mineralisatie) uit de bodem 7 kg ha⁻¹ hoger t.o.v. het totale zandgebied. Uiteindelijk leidt het gemiddeld voor het Zuidelijk zandgebied tot een nitraat-N -vracht die 13 kg ha⁻¹ hoger ligt t.o.v. het totale zandgebied. De grotere nalevering uit de bodem en de kleinere denitrificatie is te verklaren doordat in het STONE-model de zandgronden in het Zuidelijk zandgebied droger zijn dan de zandgronden van het totale zandgebied (Tabel 11).

Bijlage 3 van het rapport van Velthof en Van Grinsven (2006) bevat een bespreking over aannames van de Gt-verdeling in de verschillende modellen. Voor de verdeling van grondwaterdiepteklassen gaat WOG-WOD uit van door DR verstrekte kaarten waarvan de originele bron niet bekend is. STONE gaat uit van de resultaten van een hydrologische simulatie van de bodemvocht- en grondwaterstroming met de modellen NAGROM en SWAP (Van Bakel et al, 2008). Deze versie van de hydrologische simulatie is een actualisatie t.o.v. de resultaten die werden besproken in het rapport van Velthof en Van Grinsven (2006). De vergelijking in het rapport van Van Bakel et al (2008) van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand met metingen van grondwaterstanden in peilbuizen leverde over het algemeen een goede overeenkomst op. De te nat en te droog berekende STONE-plots zijn ongeveer gelijk in aantal en vertonen geen regionale tendensen, met uitzondering van de delen van het Drents Plateau (te droog berekend) en Zuid-Limburg (te nat berekend). In het kader van de voorbereiding van STONE2.4 op de Evaluatie Mestwetgeving 2012 zijn hierin nog enkele kleine verbeteringen aangebracht (Groenendijk et al, 2013).

Van Kekem et al (2005) geven aan dat bij een keuze voor GHG dieper dan 70 cm en GLG dieper dan 120 cm het areaal uitspoelingsgevoelige zandgronden 36% bedraagt.

Tabel 11

Procentuele verdeling over grondwaterstandsdiepteklassen.

Gebied	Grondgebruik	Nat		Matig droog		Droog	
		WOG-WOD	STONE	WOG-WOD	STONE	WOG-WOD	STONE
Zand + lössgrond in alle zandgebieden	Gras	72	37	1	36	27	27
	Snijmais	60	25	1	34	39	42
	Akker- en tuinb	31	20	18	22	51	57
	Totaal	55	30	7	32	38	38
Zand + lössgrond in het Zuidelijke zandgebied	Gras	64	30	4	33	32	37
	Snijmais	62	22	2	36	36	42
	Akker- en tuinb	20	17	30	24	50	58
	Totaal	40	24	18	31	42	45

In tabel 11 is te zien dat:

- Voor het totale zandgebied hebben WOG-WOD en STONE ongeveer gelijke oppervlaktepercentages voor gras en snijmais op droge zand- en lössgrond. Akker- en tuinbouw op droge zand- en lössgrond heeft in STONE een iets hoger aandeel (57% t.o.v. 51%) van het oppervlak,
- Voor het totale zandgebied is het belangrijkste verschil het relatief grote aandeel van matig droge gronden in STONE (32% voor de landbouwgewassen), terwijl dit aandeel in WOG-WOD slechts 7% bedraagt en het overige deel als "nat" wordt gekenmerkt,

-
- In het zuidelijke zandgebied is in STONE het aandeel droge gronden groter dan in WOG-WOD. Ook hier doet zich het verschijnsel voor dat in WOG-WOD de klasse "matig droog" een kleiner aandeel heeft in het areaal en dat dit aandeel in STONE wel aanzienlijk is,
 - Gemiddeld zijn de gronden in het totale zandgebied in STONE droger dan dat wat WOG-WOD hiervoor aanneemt.

De modellering van de hydrologie heeft de laatste jaren grote vorderingen gemaakt. Met groot ruimtelijk detail kan de waterbeweging in de onverzadigde zone en het verzadigde grondwater integraal worden beschreven. Hoogewoud et al (2013) geven de resultaten van de toetsing van NHII3.0 aan metingen. In vergelijking tot de landelijk steekproefkaartenheden berekent NHII3.0 in het Zuidelijke zandgebied nog te diepe GHG-waarden. Voor de geschiktheid van de gemodelleerde grondwaterstanden voor nitraatberekeningen worden geen uitspraken gedaan.

5 Gevoeligheid nitraatconcentratie voor de verschillen

In de vorige hoofdstukken zijn een aantal verschillen tussen de modellen benoemd en gekwantificeerd. De vraag doet zich voor welke invloed de geconstateerde verschillen hebben op de berekening van de nitraatconcentratie. Om dit verder te onderzoeken zijn vijf extra rekensessies met het WOG-WOD model uitgevoerd waarin de areaalverdeling, de grondwaterklassenverdeling, het bouwplan en de (kunst)mestgiften volgens STONE aan het WOG-WOD model stapsgewijs werden opgelegd. Het verschil in uitkomsten van de verschillende rekensessies geeft inzicht in het belang van de factoren voor de berekening van de nitraatconcentratie.

Om de rekenexperimenten hanteerbaar te maken binnen de beschikbare tijd is voor de rekenvariant 'WOG-WOD runnen met STONE data' een kleine concessie gedaan aan de zuiverheid van de vergelijking. Het WOG-WOD model wordt per regio toegepast (noord zand, midden zand, zuid zand, deze drie zand tezamen, en tenslotte löss). Om uitspraken te doen voor zuid zand + löss, of alle zand tezamen + löss, wordt het areaalgewogen gemiddelde van de bijdragende regio's bepaald. Voor uitkomsten voor alle zandgrond incl. lössgrond waarbij uitgegaan wordt van de arealen, de grondwaterklassenverdeling en het bouwplan volgens STONE, gecombineerd met de mestgiften van WOG-WOD, zou dit berekend moeten worden uit de resultaten van de regio's **met** 20% korting van de N-gebruiksnorm voor uitspoelingsgevoelige gewassen (zuid zand en löss) en de regio's **zonder** deze korting (overige regio's). Binnen het bestek van deze studie bleek dit niet mogelijk en is voor dit rekenexperiment de 20% korting achterwege gelaten bij het berekenen van het gemiddelde voor het 'gehele zandgebied + löss'. Deze specifieke rekenvariant gaat om die reden uit van iets hogere bemestingen dan feitelijk zijn toegestaan met iets te hoge nitraatconcentraties als gevolg. Dat betekent dat de resultaten van WOG-WOD en STONE van de desbetreffende rekenexperimenten nog iets meer uiteen gaan lopen dan het geval is voor de basis vergelijking zoals vermeld in Tabel 2. Desondanks verschaffen de rekenexperimenten veel inzicht in de oorzaken van de verschillen in voorspelde nitraatconcentraties.

De volledige resultaten van rekensessies zijn opgenomen in bijlage 5. In deze paragraaf beperken we de presentatie tot akkerbouw en cultuurgrond op zand- en lössgrond in de zandgebieden en in het Zuidelijk zandgebied (tabellen 12 t/m 15).

De meest opvallende resultaten voor akkerbouw op zand- en lössgrond in de zandgebieden (tabel 12):

- De dierlijke mestgiften verminderd met ammoniakvervluchtiging zijn gemiddeld in STONE 36 kg N ha⁻¹ hoger dan in WOG-WOD en de kunstmestgiften zijn gemiddeld 10 kg N ha⁻¹ hoger. Bij de hogere mestgiften wordt ook een hogere gewasopname berekend. Uiteindelijk leidt dit tot een bodemoverschot dat in STONE 15 kg N ha⁻¹ hoger ligt dan in het WOG-WOD model. Door een lagere uitspoelfractie en een hoger neerslagoverschot komt STONE tot ongeveer dezelfde nitraatconcentraties als berekend met WOG-WOD. Dit is te begrijpen uit het feit dat de uitspoelfactoren van het WOG-WOD model zijn afgeleid van metingen in het LMM en het STONE model is gekoppeld aan het LMM,
- Het bouwplan van STONE (areaalverdeling akkerbouwgewassen) leidt in het WOG-WOD model tot lagere nitraatconcentraties vanwege een lagere aanvoer en een hogere gewasopname,
- De totale dierlijke- en kunstmestgiften in STONE zijn hoger dan in het WOG-WOD model en met hogere bodemoverschotten en uitspoelingsvrachten als gevolg,
- In STONE zijn de zand- en lössgronden met akkerbouw gemiddeld droger dan in WOG-WOD. De toepassing van de grondwaterklassenverdeling volgens STONE op de bodemoverschotten van WOG-WOD leidt tot een verhoging van de nitraatconcentratie met 7 – 10 mg L⁻¹,
- De simulatie van de nitraatconcentratie in de eerste meter van het grondwater met STONE leidt tot gemiddeld 5 mg L⁻¹ hogere waarde dan de concentratie berekend door deling van de nitraatvracht en het netto neerslagoverschot.

Tabel 12

Resultaten voor akkerbouw op zand- en lössgrond in het gehele zandgebied van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer .

	WOG-WOD Referentie; zonder 20% korting	Met areaal- verdeling volgens STONEI	Met Gt- verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Arealen- en, Gt- verdeling; bouwplan en mestgiften van STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 2)
Dierlijke mest (kg ha ⁻¹)	100	100	100	100	138	138	
NH ₃ vervluchtiging (kg ha ⁻¹)	9	9	9	9	9	9	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl (kg ha ⁻¹)	92	92	92	92	130	130	128
Kunstmest (kg ha ⁻¹)	72	72	72	67	82	82	82
Depositie (kg ha ⁻¹)	32	32	32	32	32	32	25
Vlinderbloemigen (kg ha ⁻¹)	2	2	2	0	0	0	0
netto input (kg ha ⁻¹)	199	199	199	191	244	244	236
Gewasopname (kg ha ⁻¹)	120	120	120	129	127	127	143
N-bodemoverschot (kg ha ⁻¹)	78	77	78	61	115	115	93
Uitspoel fractie (-)	0.58	0.58	0.64	0.58	0.58	0.64	0.53
Neerslagoverschot (mm jr ⁻¹)	345	345	341	345	345	341	368
NO ₃ -concentratie (mg L ⁻¹)	58	58	65	45	86	96	60 ⁷ 65 ⁸
Areaalfractie (-)	0.27	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26
Werkzame N gift (kg ha ⁻¹)	150	150	150	145	184	184	167

⁷ Berekend door deling van nitraatvrucht en netto neerslagoverschot

⁸ Gesimuleerde concentratie in eerste meter grondwater

Tabel 13

Resultaten voor cultuurgrond (gras+snijmaïs+akkerbouw) op zand- en lössgrond in het gehele zandgebied van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer.

	WOG-WOD Referentie; zonder 20% korting	Met areaal-verdeling volgens STONEI	Met Gt-verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Arealen- en Gt-verdeling; bouwplan en mestgiften van STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 2)
Dierlijke mest (kg ha ⁻¹)	211	210	211	211	192	191	
NH ₃ vervluchtiging (kg ha ⁻¹)	18	18	18	18	15	15	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl (kg ha ⁻¹)	195	194	195	195	179	178	176
Kunstmest (kg ha ⁻¹)	97	95	97	95	108	107	107
Depositie (kg ha ⁻¹)	32	32	32	32	32	32	28
Vlinderbloemigen (kg ha ⁻¹)	1	1	1	0	0	0	0
netto input (kg ha ⁻¹)	324	322	324	322	319	317	311
Gewasopname (kg ha ⁻¹)	218	217	219	221	216	215	215
N-bodemoverschot (kg ha ⁻¹)	104	103	103	99	102	99	96
Uitspoel fractie (-)	0.39	0.40	0.44	0.39	0.39	0.45	0.37
Neerslagoverschot (mm jr ⁻¹)	312	313	310	312	312	310	347
NO ₃ -concentratie (mg L ⁻¹)	52	52	58	48	53	59	45 50
Areaalfactie (-)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Werkzame N gift (kg ha ⁻¹)							201

De meest opvallende resultaten voor het gemiddelde van de landbouwgewassen (gras+snijmaïs+akkerbouw) in de zandgebieden (tabel 13) betreffen:

- Gemiddeld voor alle cultuurgrond is in STONE de dierlijke mestgift verminderd met ammoniakvervluchtiging ca. 20 kg N ha⁻¹ lager dan in WOG-WOD. Gecombineerd met een iets lagere gewasopname resulteert dit in STONE tot een N-bodemoverschot dat 8 kg ha⁻¹ lager is dan in WOG-WOD,
- Gecombineerd met een iets lagere uitspoelfractie en een hoger neerslagoverschot leidt dit tot een iets lagere nitraatconcentratie in STONE dan berekend met WOG-WOD,
- De zand- en lössgronden in STONE zijn iets droger dan in WOG-WOD. De toepassing van de grondwaterklassenverdeling van STONE op de bodemoverschotten van WOG-WOD zou leiden tot gemiddelde nitraatconcentraties van ca. 58 mg L⁻¹,
- Evenals in tabel 13 leidt het verschil in de berekeningsmethode van de nitraatconcentratie in STONE tot een verschil in nitraatconcentratie van 5 mg L⁻¹.

Tabel 14

Resultaten voor akkerbouw op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer

	WOG-WOD Referentie; met 20% korting	met areaal- verdeling volgens STONEI	Met Gt- verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Arealen- en, Gt-verdeling; bouwplan en mestgiften van STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 3)
Dierlijke mest (kg ha ⁻¹)	100	100	100	100	141	141	
NH ₃ vervluchtiging (kg ha ⁻¹)	9	9	9	9	9	9	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl (kg ha ⁻¹)	92	92	92	92	133	133	132
Kunstmest (kg ha ⁻¹)	44	45	44	70	72	72	73
Depositie (kg ha ⁻¹)	38	38	38	38	38	38	29
Vlinderbloemigen (kg ha ⁻¹)	4	4	4	0	0	0	0
netto input (kg ha ⁻¹)	178	179	178	200	243	243	234
Gewasopname (kg ha ⁻¹)	105	106	105	127	134	134	143
N- bodemoverschot (kg ha ⁻¹)	72	72	72	72	107	107	91
Uitspoel fractie (-)	0.58	0.59	0.65	0.58	0.58	0.65	0.65
Neerslagoverschot (mm jr ⁻¹)	344	344	340	344	344	340	334
NO ₃ -concentratie (mg L ⁻¹)	54	54	60	54	81	91	79 84
Areaalfactie (-)	0.35	0.30	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30
Werkzame N gift (kg ha ⁻¹)	122	123	122	148	177	177	151

Voor de akkerbouw op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied vallen de volgende resultaten op (tabel 14):

- De stikstofgiften met dierlijke mest, verminderd met de ammoniakvervluchtiging, liggen in STONE 40 kg ha⁻¹ hoger dan in WOG-WOD. De kunstmestgiften liggen in STONE 29 kg ha⁻¹ hoger dan in WOG-WOD. Deze hogere mestgiften gaan gepaard met een hogere gewasopname en het resultaat in de vorm van het bodemoverschot ligt in STONE ca. 20 kg ha⁻¹ hoger dan in WOG-WOD,
- Gecombineerd met een hogere uitspoelfractie en een neerslagoverschot in dezelfde orde van grootte leidt het bodemoverschot van STONE tot een nitraatconcentratie in het grondwater dat 30 mg L⁻¹ hoger ligt dan berekend met WOG-WOD,
- Het opleggen van het bouwplan volgens STONE aan het WOG-WOD model leidt tot hogere kunstmestgiften en tot een evenzo grotere toename van de gewasopname zodat het bodemoverschot gelijk blijft,
- De belangrijkste verklaring voor de hogere nitraatconcentratie op basis van STONE ten opzichte van WOG-WOD is de hogere dierlijke mestgift volgens STONE en de gemiddeld diepere grondwaterstanden.

Voor het gemiddelde van de landbouwgewassen op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied zijn de resultaten weergegeven in tabel 15.

Tabel 15

Resultaten voor cultuurgrond op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer.

	WOG-WOD Referentie; met 20% korting	Met areaal- verdeling volgens STONEI	Met Gt- verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Arealen- en, Gt- verdeling; bouwplan en mestgiften van STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 3)
Dierlijke mest (kg ha ⁻¹)	190	195	190	190	180	180	
NH ₃ vervluchtiging (kg ha ⁻¹)	15	16	15	16	13	13	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl (kg ha ⁻¹)	176	180	176	176	168	169	168
Kunstmest (kg ha ⁻¹)	70	70	70	79	91	90	91
Depositie (kg ha ⁻¹)	38	38	38	38	38	38	31
Vlinderbloemigen (kg ha ⁻¹)	1	1	1	0	0	0	0
netto input (kg ha ⁻¹)	285	289	285	293	297	297	290
Gewasopname (kg ha ⁻¹)	190	194	191	198	197	200	198
N-bodemoverschot (kg ha ⁻¹)	93	93	92	93	98	95	92
Uitspoel fractie (-)	0.44	0.43	0.50	0.44	0.44	0.50	0.52
Neerslagoverschot (mm jr ⁻¹)	321	320	319	321	321	318	313
NO ₃ -concentratie (mg L ⁻¹)	50	50	57	50	56	60	67 69
Areaalfractie (-)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Werkzame N gift (kg ha ⁻¹)							177

Bij de vergelijking van de resultaten van de rekensessies in tabel 16 valt op dat:

- Het verschil in de gemiddelde N-gift met dierlijke mest berekend als input voor STONE en berekend met WOG-WOD is relatief klein. Na aftrek van de ammoniakvervluchtiging is de bemesting in WOG-WOD 8 kg ha⁻¹ hoger dan in STONE,
- Het verschil in de gemiddelde N-gift met kunstmest berekend als input voor STONE en berekend met WOG-WOD bedraagt ca. 20 kg ha⁻¹. Dit gaat gepaard met een iets hogere gewasopname. Het uiteindelijke bodemoverschot is in STONE ongeveer gelijk aan het bodemoverschot in WOG-WOD,
- Door de andere verdeling in grondwaterklassen is de uitspoelfractie in STONE hoger dan in WOG-WOD,
- De nitraatconcentratie die volgt uit de verschillende rekensessies met WOG-WOD is altijd kleiner dan de door STONE gesimuleerde nitraatconcentratie. Het neerslagoverschot in STONE is kleiner en de uitspoelfractie is groter dan de waarden van de verschillende rekensessies.

6 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is nagegaan wat de overeenkomsten zijn van de modellen WOG-WOD en MAMBO-STONE en welke aannames en verschillen in wat gemodelleerd wordt, kunnen leiden tot systematische verschillen in nitraatconcentraties in het zand- en lössgebied.

Vanuit de verschillende doelen van de studies en de verschillende uitgangspunten en concepten van de modellen is het te begrijpen dat de modellen geen identieke resultaten leveren. Uit de resultaten van dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de modelbenaderingen en concepten voor de relatie tussen N-overschot en nitraat in het grondwater op hoofdlijnen overeenstemmen. Dit is te verklaren doordat in beide modelbenaderingen de ijking en toetsing aan monitoringsgegevens van het LMM een belangrijke basis is voor de relatie tussen N-overschot en nitraat in het grondwater. De verschillen die zich desondanks toch voordoen zijn toe te schrijven aan de doelstellingen waarvoor de modellen zijn toegepast en de gebruikte data.

Voor de voorspelling van gevolgen van mestbeleidsvarianten in het kader van de EMW2012 en de verkennende berekeningen voor het 5^{de} Nitraat Actieprogramma zijn het WOG-WOD model (Schröder et al, 2011) en de modellen MAMBO en STONE (Groenendijk et al, 2012) met verschillende doelstellingen toegepast.

- De toepassingen van het WOG-WOD model hadden als doel om stikstofgebruiksnormen en eventuele kortingen op het gebruik van stikstofkunstmest aan te geven waarmee de nitraatdoelstelling gerealiseerd zou kunnen worden,
- De toepassingen van MAMBO en STONE hadden als doel om bij een gegeven set van normen voor stikstof en fosfaatbemesting en uitgaande van de mestproductie op bedrijven, de fosfaat toestand van de bodem, de economisch optimale aanwending van dierlijke mest op de mestproducerende en mestafnemende bedrijven te berekenen evenals de bijbehorende kunstmestgiften. Op basis van de op basis van economisch principes berekende mestgiften zijn vervolgens de bijbehorende nitraatconcentraties in het grondwater en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater gesimuleerd.

De modellen hanteren dus verschillende gegevensbronnen en uitgangspunten en zijn gebaseerd op verschillende concepten en verschillen dan ook in hun toepassingsbereik.

Bij de toepassing bleek MAMBO-STONE voor het Zuidelijke zandgebied hogere nitraatconcentraties te simuleren dan door het WOG-WOD model werd berekend.

Geconcludeerd wordt dat deze hogere voorspelde nitraatconcentraties worden veroorzaakt door:

1. Hogere aanwending van N uit dierlijke mest in de akkerbouw in MAMBO-STONE dan in WOG-WOD. In het WOG-WOD model wordt namelijk verondersteld dat op akkerbouwpercelen uitsluitend varkensmest wordt toegepast. Bij de MAMBO berekeningen worden, op basis van economische afwegingen en fosfaattoestand van de bodem, gemiddeld verschillende mestsoorten toegepast. Omdat deze mestsoorten, gemiddeld, minder P per kg N bevatten dan in pure varkensmest, wordt hiervan meer toegepast dan gehanteerd in het WOG-WOD model. Omdat, anderzijds, in het WOG-WOD model wordt aangenomen dat alle melkveebedrijven (lees: gras- en maïsland) maximaal bemest wordt met wat aan mest-N bij derogatie kan worden toegediend (met voorbijgaan aan eventuele P-begrenzingsen), zijn de mestgiften op gras- en maïsland volgens WOG-WOD berekeningen juist hoger dan wat is berekend met MAMBO-STONE.
2. De grondwaterklassenverdeling in WOG-WOD is anders dan in STONE. Voor het totale zandgebied is het belangrijkste verschil het aandeel van matig droge gronden in STONE (32% voor de landbouwgewassen), terwijl dit aandeel in WOG-WOD 7% bedraagt en het overige deel als "nat" wordt gekenmerkt. Gemiddeld zijn de zandgronden in STONE droger en zijn daardoor bij gelijke N-overschotten hogere nitraatconcentraties te verwachten dan in WOG-WOD.

Andere factoren die eveneens bijdragen, maar een minder sterke invloed hebben:

1. Hogere N-kunstmestgiften in MAMBO-STONE dan in WOG-WOD.
2. De areaalverdeling van gewassen. Door de versleuteling van MAMBO-output naar STONE-input wordt binnen de categorie akkerbouw het oppervlak consumptieaardappelen in STONE groter. Aardappelen zijn relatief inefficiënt t.a.v. het gebruik van stikstof en hebben relatief grote verliezen. Dit effect wordt (gedeeltelijk) gecompenseerd doordat bij de versleuteling ook het areaal granen een groter oppervlak hebben gekregen.
3. Verschillen in neerslagoverschot en de regionale verdeling van het neerslagoverschot.
4. Het verschil in modelconcept. Voor zandgronden met snijmais en akkerbouw simuleert STONE een geringe nalevering uit bodemvoorraden en in grasland een ophoping van de organische stofvoorraden over de komende 15 jaar gemiddeld. Dit is volgens verwachting, maar is in de praktijk moeilijk aantoonbaar. WOG-WOD gaat uit van een evenwichtsbenadering, namelijk dat er netto geen verandering optreedt.
5. STONE hanteert een andere berekeningswijze voor het vaststellen van de jaargemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (middeling van de variatie in nitraatconcentraties) dan het WOG-WOD model hanteert, gebaseerd op het jaarlijkse N-overschot en het jaarlijkse neerslagoverschot. De uitspoelfracties in het WOG-WOD model zijn direct uit de resultaten van het LMM afgeleid en in STONE worden LMM-resultaten gebruikt om procesconstanten te ijken en valideren. De relatie tussen STONE en LMM is daarmee minder direct dan de relatie tussen WOG-WOD en LMM.

Indien het WOG-WOD-model wordt toegepast met de MAMBO-STONE invoer, wordt door WOG-WOD een hogere nitraatconcentratie dan met de eigen invoer berekend. De verschillen zijn het grootst bij de akkerbouw, zowel in het totale zandgebied als het Zuidelijke zandgebied. De resultaten geven aan dat de verschillen in de berekende nitraatconcentraties uit wetenschappelijk oogpunt waarschijnlijk niet significant zijn. Ook als uitgangspunten en de invoer van WOG-WOD en MAMBO-STONE voor 100% op elkaar afgestemd zouden zijn, zouden de verschillen tussen de voorspelde nitraatconcentraties nog kleiner zijn, maar is er nog geen perfecte match te verwachten. Dit is normaliter ook niet nodig, maar omdat de concentraties in de buurt van de nitraatnorm liggen zijn de verschillen beleidsmatig wel relevant.

Aanbevolen wordt dat:

1. Het beoogde modelgebruik af te stemmen op het doel en de uitgangspunten van de studie. Voor het verkrijgen van inzicht in niveaus van gebruiksnormen die de nitraatdoelstelling kunnen realiseren is WOG-WOD de aangewezen methode. Voor een ex-ante analyse van het effect van beleidsaanpassingen op de nitraatconcentratie in het grondwater en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater is het van belang om eerst na te gaan hoe de bemesting door ondernemers wordt aangepast en op basis daarvan de nitraatconcentratie te berekenen. Hiervoor is MAMBO-STONE de aangewezen methode.
2. Indien in het kader van een AP Nitraatrichtlijn zowel WOG-WOD (onderbouwing gebruiksnormen) als MAMBO-STONE (EMW, PlanMER en ER ten aanzien van milieubelasting grond- en oppervlaktewater) ingezet worden, wordt aanbevolen om uitgangspunten ten aanzien van gebruik van meststoffen vooraf af te stemmen.
3. De gebruikers van beide modellen dezelfde en referabele uitgangspunten delen ten aanzien van:
 - a. de regionale aandelen grasland, maïsland en akker- en tuinbouwgewassen,
 - b. de verdeling van elk van bovengenoemde wijzen van grondgebruik over grondsoorten en grondwaterdieptenklassen,
 - c. de aandelen van afzonderlijke gewassen (inclusief groenten, bollen, bomen) binnen de categorie akker- en tuinbouw, op basis van recente Landgebruiksopnamen en/of de Landbouwtelling,
 - d. Regionale verdeling van het neerslagoverschot.
4. Bij de versleuteling van MAMBO-uitvoer naar STONE invoer de fosfaatklassen "onbekend" en "hoog" samen te voegen. Verwacht wordt dat hierdoor minder informatie verloren gaat dan de in STONE2.4 geïmplementeerde methode.
5. Na te gaan of het mogelijk is om uit het LMM een regio-specifiek verband tussen N-bodemoverschot en nitraatconcentratie te bepalen, om zo meer recht te doen aan regionale verschillen in neerslagoverschot in het WOG-WOD model. Hierbij is het van belang dat uitgegaan

wordt van actuele kaartinformatie ten aanzien de bodemkundige gesteldheid en de grondwaterstandsdiepte.

6. Omdat nitraatconcentraties op verschillende dieptes en tijdstippen gemeten kunnen worden en bovendien ontleend kunnen worden aan verschillend samengestelde populaties van bedrijven, is het belangrijk om de werkwijze ter bepaling van nitraatconcentraties zoals gemonitord in de praktijk en de berekening en voorspelling van nitraatconcentraties door modellen, op elkaar af te stemmen. Zonder een dergelijke afstemming kunnen onnodig tegenstrijdige geluiden gecommuniceerd worden.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, H.T.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon (2008). Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 57. <http://edepot.wur.nl/20745>
- Drecht, van en Scheper, E. (1998). Actualisering van model NLOAD voor de nitraatuitspoeling van landbouwgronden; beschrijving van model en GIS-omgeving. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 711501002.
- Fraters, B, L.J.M. Boumans, T.C. van Leeuwen en J.W. Reijs (2007). De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. RIVM, RIVM Rapport 680716002/2007. <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/16418/1/680716002.pdf>
- De Ruijter, F.J. en J.G. Conijn, 2010. Quadmod parametrisatie van de P respons van grasland, akkerbouw- en groentegewassen in Nederland. Wageningen, Plant Research International, rapport 370. <http://edepot.wur.nl/175654>
- Fraters, B.J., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans en J.W. Reijs (2012). De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. Herberekening van uitspoelfracties. RIVM, RIVM Rapport 680716006/2012. http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:184997&type=org&disposition=inline&ns_nc=1
- Groenendijk P., R.F.A Hendriks, F.J.E. van der Bolt en H.M. Mulder (2013). Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Alterra, Alterra-rapport 2328, Wageningen. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport2328.pdf>
- Groenendijk P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. De Koeijer en G. Kruseman (2012). MAMBO en STONE-resultaten van rekenvarianten van gebruiksnormen. Evaluatie meststoffenwet 2012: eindrapport ex ante, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Alterra, Alterra-rapport 2317, Wageningen. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport2317.pdf>
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, J. Roelsma, G.M.C.M. Janssen, S. Jansen, R. Heerdink, J. Griffioen en B. van der Grift (2008). A new compliance checking level for nitrate in groundwater. Modelling nitrate leaching and the fate of nitrogen in the upper 5 meter of the groundwater system. Wageningen, Alterra, Alterra report 1820. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1820.pdf>
- Helming, J.F.M. (2005). A model of Dutch agriculture based on Positive Mathematical Programming with regional and environmental applications, LEI, The Hague, Report PS.05.02.
- Hoogewoud, J.C., G.F. Prinsen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, F.J.E. van der Bolt en W.J. de Lange, 2013. Toetsingsrapportage NHI 3.0. Deltares, Rapport 1206107-000, Utrecht. <http://www.nhi.nu/documenten/1206107-000-BGS-0011-DEF-Toetsingsrapportage%20NHI%203.0.pdf>
- Kekem, A.J. van, T. Hoogland en J.B.F ter Horst, 2005. Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten. Wageningen, Alterra, Alterra report 1080. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1080.pdf>
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2000. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. Lelystad, RIZA, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Rapport 2001.017. <http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/5276/2001-017.pdf>.
- Kruseman G., H.H. Luesink, P.W. Blokland, M.W. Hoogeveen, M.W. De Koeijer (2012). MAMBO 2.x Design principles, model structure and data use, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, Werkdocument 307. <http://edepot.wur.nl/251877>.
- Schoumans, O.F., J.J. Schröder, P. Groenendijk, T.J. de Koeijer, L.V. Renaud, H.H. Luesink en G. Kruseman, 2013. Beknopte milieueffectrapportage op planniveau; In het kader van het Vijfde Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research

-
- centre), Alterra-rapport 2461.
<http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport2461.pdf>
- Schreuder, R, W. van Dijk, P. van Asperen, J. de Boer van der Schoot (2008). MEBOT versie 1. Geïntegreerde bedrijfssimulatie in open teelten. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. PPO Publicatienr. 373. <http://documents.plant.wur.nl/ppo/agv/mebot-2008.pdf>.
- Schröder J.J., W. van Dijk en H. Hoek (2011). Modelmatige verkenningen naar de relaties tussen stikstofgebruiksnormen en de waterkwaliteit van landbouwbedrijven. Onderzoek in het kader van de Evaluatie van de Meststoffenwet 2011, Wageningen, Plant Research International, Rapport 415. <http://edepot.wur.nl/187033>.
- Schröder J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, G.L. Velthof, J.W. Reijs en B. Fraters (2009). Nitrates Directive requires limited inputs of manure and mineral fertilizer in dairy farming systems. , Plant Research International, report 222, Wageningen, The Netherlands. pp. 37. https://www.wageningenur.nl/upload_mm/f/9/3/ec93277a-0cc6-4b1a-8030-2becd58b7b42_5350.pdf.
- Schröder J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters en W.J. Willems (2007). Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. European Journal of Agronomy 27 27:102-114. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030107000251>.
- Velthof, G.L. en J.J.M. van Grinsven (eds) (2006) Inzet van modellen voor evaluatie van de meststoffenwet. Advies van de CDM-werkgroep Harmonisatie modellen. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Werkdocument 29. https://www.wageningenur.nl/upload_mm/5/6/f/e1cc3641-8fde-4c93-bf76-b0a75e65d952_1808293.pdf.
- Wolf J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rotter en H. van Zeijts (2003). The integrated modelling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environ. Modell. Softw.:597-617. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815203000367>.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Rapport 2055.

Bijlage 1 Beschrijving MAMBO

MAMBO is een modelraamwerk (Figuur 1.1) om analyses uit te voeren rondom de productie, aanwending en transport van mest door middel van micro-simulatie en ruimtelijk evenwichtsmodellering. Het doel van MAMBO is om op basis van uitgebreide databestanden afkomstig uit onder andere de landbouwtelling (CBS), berekeningen uit het Bedrijven Informatie Netwerk (BIN), monitoringgegevens t.b.v. beleid (RVO.nl, Zuivelschap) en technische coëfficiënten (PBL, CDM, WUM, WUR) met betrekking tot diverse soorten emissies, de mestproducties en aanwending op diverse schaalniveaus in kaart te brengen. Daarbij wordt het gedrag van boeren gesimuleerd met betrekking tot keuzes voor aanwending van geproduceerde mest. Naast de keuzes op bedrijfsniveau simuleert MAMBO ook de werking van de mestmarkt en de verdeling van mest tussen overschot en tekort gebieden. Om dit te realiseren zijn in MAMBO de rekenregels onafhankelijk van de data. Wanneer er nieuwe data beschikbaar komen kunnen die direct in MAMBO worden ingevoerd. Daardoor wordt elk jaar met de meest recent beschikbare gegevens gerekend en geschematiseerd naar de gegevens van het jaar waarmee wordt gerekend. Om berekeningen uit het verleden te kunnen reproduceren is er variant en versiebeheer. Vanaf 2009 wordt variant en versiebeheer automatisch geregeld met Quality Based Generic GAMS modeling (QBGM). Sinds 2010 heeft MAMBO de WOT N&M status A voor modellen.

Een uitgebreide beschrijving van het model is te vinden in Vrolijk et al (2009). Voor een korte beschrijving van het model zie Luesink et al (2009; bijlage 5). Voor internationale rapportages over het model zie Kruseman et al (2008a en 2008b) en Reidy et al (2009). De basis voor dit onderhavige onderzoek is de toepassing van het model voor de Monitoring Mestmarkt (Luesink et al, 2011).

In MAMBO worden vijf belangrijke processen onderscheiden. Deze vijf processen zijn:

1. De productie van mest door dieren (mestproductie);
2. De ruimte voor het gebruik van mest (mestruimte);
3. Het saldo van de productie en ruimte (mestoverschot);
4. Het transport van mest voor gebruik of opslag elders (mesttransport);
5. De mineraalbelasting van de bodem (bodembelasting).

De processen worden op drie aggregatieniveaus berekend. De thema's mestproductie, mestruimte en mestoverschot spelen zich af op bedrijfsniveau. Mesttransport is gebaseerd op 31 mestgebieden (regio's). Het vaststellen van de bodembelasting vindt op gemeenteniveau plaats. Figuur 2.1 is een schema van de samenhang tussen de processen.

In MAMBO wordt onderscheid gemaakt in de mineralenstromen volgens:

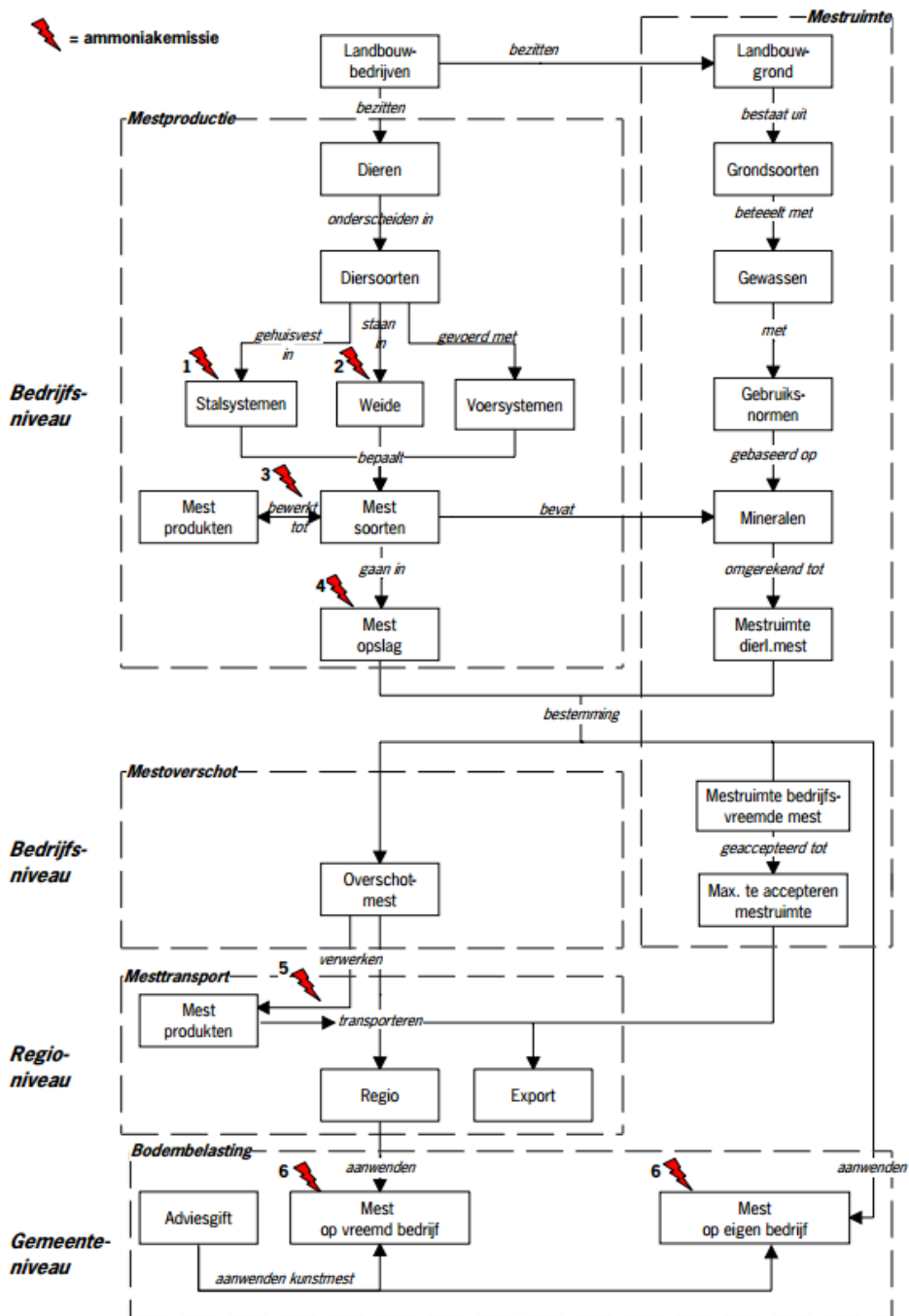
1. de normeringen in de mestwetgeving. Het zogenaamde wettelijke spoor. De mestproductie van graasdieren wordt daarbij berekend met de productieforfaits uit de mestwetgeving. De mestproductie van hokdieren wordt daarbij berekend door de WUM-excreties (Van Bruggen, 2010) te verminderen met de N-correcties.
2. het tweede spoor is het zogenaamde 'werkelijke spoor' waarbij wordt de mestproductie berekend door de WUM-excreties te verminderen met de gasvormige verliezen zoals die door de NEMA werkgroep van de CDM zijn vastgesteld (Velthof et al., 2009).

In MAMBO zit dus een zogenaamde dubbele boekhouding. Bij dit onderzoek wordt de hoeveelheid mest die binnen de gebruiksnormen aangewend mag worden berekend volgens het wettelijke spoor. Daarnaast wordt bijgehouden hoeveel mineralen dat zijn volgens het 'werkelijke spoor'. De bemestingsgegevens op basis van het 'werkelijke spoor' zijn aan het STONE model geleverd.

Mestproductie

De basis voor de berekening van de mestproductie zijn de landbouwbedrijven waar mest geproduceerd wordt. Op bedrijven waar landbouwhuisdieren worden gehouden, wordt mest geproduceerd. De mest wordt onderscheiden in verschillende mestsoorten. De geproduceerde mestsoorten worden onder andere onderscheiden naar diersoort. De excreties zijn afhankelijk van het

type dier en het rantsoen. Door de combinatie van diersoorten, standplaatsen en voersysteem worden de mestsoorten gedefinieerd.



Figuur 1.1 Structuur van het MAMBO model (bron: Kruseman et al., 2008).

Mestruimte

De mest of een deel van de geproduceerde mest kan op het eigen bedrijf worden aangewend. Het aanwezige landbouwareaal op het bedrijf, gebruiksnormen en de gewassen die op dit areaal worden verbouwd, bepalen de hoeveelheid mest die op het eigen bedrijf kan worden gebruikt. De gebruiksnormen geven per gewas, grondsoort en mestregio de hoeveelheden mineralen (Bijv. fosfaat en stikstof) die maximaal aan een hectare mogen worden toegediend.

Mestoverschot of mestruimte bedrijfsvreemde mest

Een vergelijking van de mestproductie op een bedrijf en de hoeveelheid mest die op het eigen bedrijf kan worden gebruikt, bepaalt of een bedrijf een mestoverschot of plaatsingsruimte voor bedrijfsvreemde mest heeft. Is er op bedrijfsniveau een mestoverschot, dan wordt de af te voeren

mesthoeveelheid geminimaliseerd door vast te stellen welke mestsoorten het best op eigen bedrijf kunnen worden aangewend.

Mest die niet direct wordt aangewend kan worden verwerkt tot mestproducten via mestverwerkingsinstallaties. Verwerkte mestproducten zijn bijvoorbeeld mestkorrels van varkens- en pluimveemest en slib van gezuiverde vleeskalverenmest. Indien de mestruimte niet volledig is benut, dan kan er op dat bedrijf nog mest (en/of mestproducten) van andere bedrijven worden gebruikt, de zogenaamde mestruimte voor bedrijfsvreemde mest. De hoeveelheid bedrijfsvreemde mest dat op dat bedrijf daadwerkelijk wordt afgezet, is afhankelijk van de acceptatiegraad. De acceptatiegraad wordt bepaald per gewas en per regio en is onder andere afhankelijk van de benodigde hoeveelheid mineralen voor de gewassen en de prijs van mest.

Mesttransport

Uit de acceptatiegraad of bij monitoring de transportgegevens van RVO.nl volgt de maximale mestruimte waarop overschotmest van andere bedrijven kan worden aangewend. Een andere aanwending van overschotmest is export. De uiteindelijke hoeveelheid bedrijfsvreemde mest die wordt gebruikt is afhankelijk van de hoeveelheid overschotmest, en de mogelijkheden voor het exporteren (van zowel bewerkte, verwerkte als onverwerkte mest). De meststromen worden daarbij zo gestuurd dat de kosten van transport, opslag, aanwending, verwerking en export op nationaal niveau geminimaliseerd worden. Afhankelijk van de kosten van distributie van mest en de kwaliteit van de mest wordt de mest binnen of buiten de regio getransporteerd, geëxporteerd of er blijft een niet-plaatsbare hoeveelheid over. Na het mesttransport wordt de mest als bedrijfsvreemde mest aangewend.

Kunstmest

Na het aanwenden van mest kan een aanvulling met kunstmest worden gegeven. Deze aanvulling is afhankelijk van het toedieningstijdstip van mest, de werkingscoëfficiënten van de mineralen, de hoeveelheid toegediende mineralen uit dierlijke mest, de adviesgiften per gewas en grondsoort en statistische gegevens over het kunstmestgebruik

Rapportage van de resultaten

De resultaten van MAMBO kunnen op diverse niveaus gerapporteerd worden. De laagste niveaus zijn grids van 500x500 meter en gemeenten. Daarnaast kan MAMBO de resultaten leveren op alle hogere aggregatie niveaus van grids en gemeenten. Voorbeelden daarvan zijn de 31 mestgebieden (tabel 3.3), STONE-plots, provincies, stroomgebieden, beleidsregio's (tabel 3.7), nationale resultaten (tabel 3.6), enz.

Aanpassingen

De CDM-werkgroep Harmonisatie ammoniakemissie heeft een methodiek beschreven voor de berekening van de ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland (Velthof et al., 2009). De methodiek wijkt op onderdelen af van de tot 2009 gebruikte methodiek voor berekening van de ammoniakemissie uit de landbouw binnen de Emissie Registratie (ER). De belangrijkste verandering is het gebruik van TAN (total ammoniacal nitrogen) in het model bij de berekening van de ammoniakemissie. De Emissie Registratie is van mening dat de nieuwe methodiek een duidelijke verbetering is ten opzichte van de tot dan toe gehanteerde methodiek en heeft deze methode overgenomen voor de berekening van de nationale ammoniakemissie uit de land- en tuinbouw. De reeks van nationale ammoniakemissie van 1990 – 2009 is herzien met behulp van het NEMA-model. Het NEMA-model maakt gebruik van TAN in de berekening. In 2010 is rekenen met TAN in MAMBO geïmplementeerd (Kruseman et al, 2011).

Vanaf het jaar 2010 zijn door het beleid de fosfaatgebruiksnormen afhankelijk gemaakt van de fosfaattoestand van de bodem. MAMBO is daarom in 2011 aangepast om te kunnen rekenen met fosfaatgebruiksnormen die afhankelijk zijn van de fosfaattoestand (Luesink et al, 2011). De versie van MAMBO die rekent met TAN en fosfaatdifferentiatie is versie 2.0. Dat is de versie die ingezet is bij dit onderzoek.

Bijlage 2 Beschrijving STONE

De milieugevolgen van de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat zijn verkend met behulp van het modelinstrumentarium STONE. STONE staat voor 'Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel'. Voor nadere toelichting op het instrumentarium wordt verwezen naar Beusen *et al.* (2004), Overbeek *et al.* (2000) en Wolf *et al.* (2003).

STONE is ontwikkeld om op nationale schaal effecten van mestbeleid (rekenvarianten van dierlijke mest- en kunstmestgiften) zichtbaar te maken voor verschillende combinaties aan bodemgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden. Hiervoor is Nederland opgedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden of plots. Elke plot kan beschouwd worden als een unieke eenheid die volledig homogeen is wat betreft hydrologie, bodemtype en bodemgebruiksvorm. De diepte van het bodemprofiel in de modelsimulaties bedraagt 13 meter. De grootte van de plots varieert van 25 tot circa 21.500 ha (met een mediaanwaarde van 288 ha). Plots bestaan meestal niet uit één aaneengesloten gebied.

Van iedere plot wordt de water- en nutriëntenbalans en de emissie naar grond- en oppervlaktewater berekend.

Modelschematisering en herkomst modelinvoer

Het landgebruik in STONE is gebaseerd op LGN 3+ met opnamen tussen 1995 en 1999 (De Wit *et al.*, 1999). In STONE wordt met de volgende arealen landbouwgrond gerekend. Deze blijven voor de toekomst ongewijzigd (Tabel 2.1).

Tabel 2.1

Arealen landbouwgrond die in STONE worden onderscheiden (1000 ha)

	Zand	Klei	Veen	Löss	Totaal
Akker- en tuinbouw	234	463	35	14	746
Gras	430	318	227	10	984
Snijmaïs	177	33	9	3	221
Totaal	841	814	271	27	1952

Het STONE instrumentarium bestaat uit een aantal afzonderlijke modelcomponenten. De modellen QUADMOT en MEBOT zijn gebruikt om de nutriëntenafvoer door gewasopbrengsten te berekenen als functie van de aanvoer en het ANIMO model berekent de af- en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Voor toepassing van ANIMO binnen STONE is informatie van data en van andere modellen nodig. De structuur van STONE met aanleverende modellen en databestanden is weergegeven in Figuur 2.2.

De hydrologische modelberekeningen (neerslag en verdamping) gebeuren met de gekoppelde modellen SWAP (topsysteem) en NAGROM (diepe grondwater) en vinden buiten STONE plaats (Van Bakel *et al.*, 2008). Er is geen terugkoppeling als bijvoorbeeld door een afnemende N-gift de gewasproductie en daarmee de gewasverdamping terugloopt.

De mestgiften zijn berekend met het MAM modelinstrumentarium van het LEI voor de periode 1986 tot en met 2005 en met MAMBO model voor de jaren 2006 en daarna. Deze uitkomsten worden na conversie (in verband met de ruimtelijke schematisering), direct als invoer voor STONE gebruikt. Het model MAMBO is de opvolger is van het MAM model (Vrolijk *et al.*, 2009).

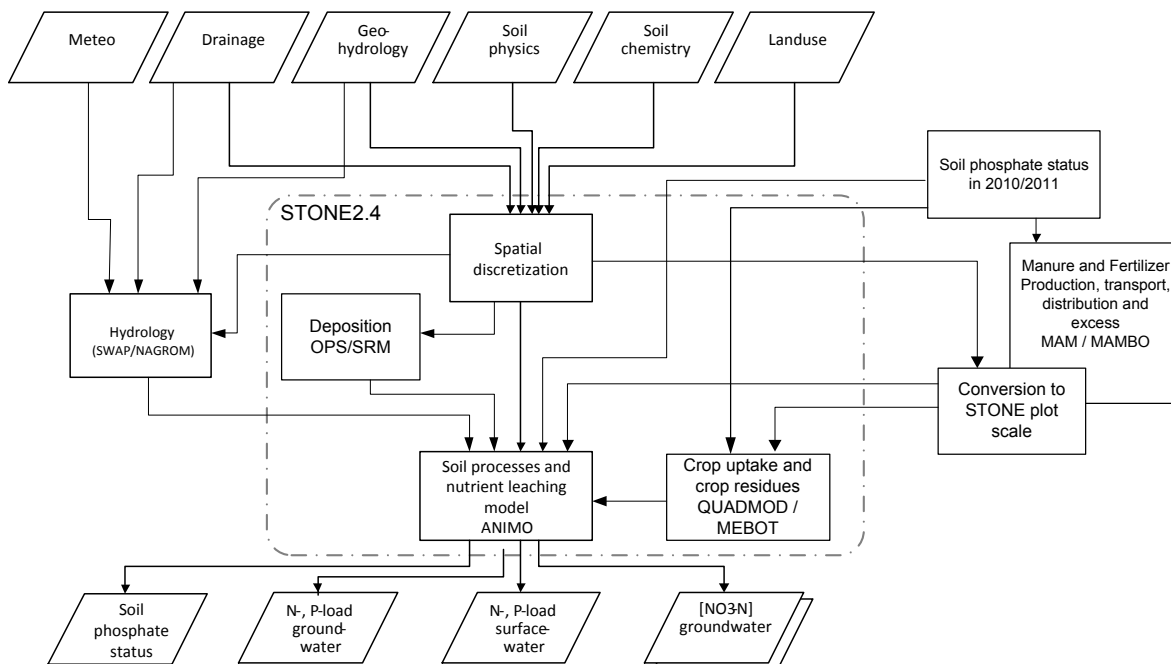


Fig. 2.2 Schematische weergave van het STONE instrumentarium (blauwe gebied) met aanleverende modellen en databestanden.

De mestgiften uit MAM/MAMBO worden per gewas-bodemcombinatie aangeleverd in kilogrammen mest, stikstof en fosfaat. De mestgiften (in kilogram) worden per gewas-bodemcombinatie per gemeente geconverteerd naar giften in kilogram per hectare op de STONE plots. De mestgift wordt zo goed mogelijk doorgegeven, maar door verschil in ruimtelijke schematisering tussen de gemeenten in MAMBO en de plots in STONE, kan er verschil optreden per cluster van plots met een gelijke mineraal- en grondgebruikscombinatie. Voor 90 van de bijna 100 combinaties is de afwijking enkele procenten. Voor een enkele combinatie is de procentuele afwijking groter, dit betreft dan veelal giften van maar enkele kilo's per ha.

Binnen STONE worden drie groepen landbouwgewassen gehanteerd namelijk gras, snijmaïs en akker- en tuinbouw. Grasland en snijmaïs zijn unieke grondgebruiksvormen maar de grondgebruiksvorm akker- en tuinbouw is samengesteld uit een reeks gewassen en gewasgroepen. De procentuele verdeling van de gewassen binnen de grondgebruiksvorm akker- en tuinbouw wordt voor het verleden afgeleid uit de Meitellingen en CBS-statistieken. Voor toekomstvoorspellingen wordt verondersteld dat de verdeling constant blijft vanaf het laatste jaar dat het heden karakteriseert. Echter, door de differentiatie van de gebruiksnormen aan de hand van de fosfaattoestand van de bodem wordt per fosfaatklasse voor een STONE-plot een andere verdeling van akker- en tuinbouwgewassen berekend door MAMBO. Bij de eventuele overgang van een akker- en tuinbouwplot naar een hogere of lagere fosfaatklasse verandert daarmee ook het gemiddelde bouwplan van de betreffende akker- en tuinbouwplot.

Modelversie, modelaanpassingen en modeltoetsing

In de voorliggende studie is gerekend met STONE versie 2.4. Deze wijkt op een aantal onderdelen af van de versie (STONE 2.3) waarmee berekeningen zijn uitgevoerd voor EMW2007 (Willems *et al.*, 2008) en de studie naar de Toetsdiepte van nitraat (Groenendijk *et al.*, 2009). Uit deze studies vloeiden een aantal aanbevelingen voort die, samen met al eerder geformuleerde verbeterpunten van het STONE-instrumentarium, nader zijn uitgewerkt (Groenendijk *et al.*, 2012).

Belangrijkste wijzigingen betroffen:

- De koppeling aan het MAMBO-model
- De update van de gewasopnameberekening in de QUADMOD- en MEBOTmodule (De Ruijter en Conijn, 2010)
- De inbouw van P-gedifferentieerde mestgiften vanaf 2010
- De aanpassing van de potentiële denitrificatiecapaciteit in het grondwater aan de hand van ervaringen in de Toetsdieptestudie
- De update van de geo-chemische informatie voor de bodem dieper dan 1 meter.

Daarnaast hebben kleine updates en bug-fixes plaatsgevonden.

In het STONE-model is een eenvoudige beschrijving opgenomen van koppelingen en terugkoppelingen van gewasproductie en bodemvruchtbaarheid. Deze relatie is uitgewerkt voor fosfaat, maar niet voor stikstof. Door een sterke aanscherping van stikstofgebruiksnormen zou het N-leverendvermogen van bepaalde gronden achteruit kunnen gaan. Door de wijze waarop het QUADMOD-model gekoppeld is met het ANIMO-model wordt in het STONE-model hier geen rekening mee gehouden. Een eventuele teruggang in de fosfaattoestand is wel in het model beschreven, omdat dit element belangrijk is voor het evalueren van fosfaatgebruiksnormen in het kader van het P-gedifferentieerde mestbeleid vanaf 2010. Vanaf 2010 zijn opgeschaalde gegevens bekend van de fosfaattoestand van de bodem. Het dekkingspercentage van deze gegevens is echter beperkt, omdat voor het merendeel van de landbouwpercelen (nog) geen bemonstering is uitgevoerd. Het STONE model is ingeregeld op deze gegevens, maar kent door het relatief geringe dekkingspercentage een aanzienlijke onzekerheid t.a.v. de simulatie van het Pw- en PAL-getal.

Door de veranderingen was het noodzakelijk het STONE-model opnieuw te kalibreren. Dit is gedaan aan de hand van een vergelijking van in het LMM gemeten nitraat in grondwater en drainwater. Aanvullend zijn voor het lössgebied ook de belangrijkste lössplots vergeleken met gerapporteerde bodemvochtconcentraties in het LMM.

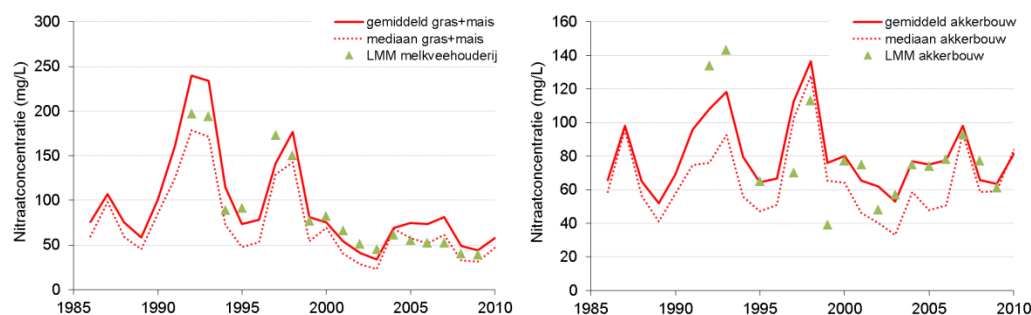


Fig. 2.3 Berekende en gemeten nitraatconcentraties in het zandgebied.

Op landelijke schaal is STONE in staat om de trends als gevolg van weerjaren en als gevolg van bemesting adequaat te simuleren. Voor de categorie gras+snijmaïs op zandgronden bestaat een goede overeenstemming tussen de gesimuleerde mediane nitraatconcentratie en de nitraatconcentratie zoals waargenomen in LMM. Voor akkerbouw op zand bestaat een goede overeenstemming tussen de gesimuleerde gemiddelde nitraatconcentratie en de waargenomen concentraties in LMM.

In een vorige versie van STONE is de werking van een vanggewas na snijmaïs op zandgrond verondersteld. Aan de hand van toen geldende inzichten is verondersteld dat een vanggewas 40 kg ha^{-1} aan stikstof opneemt. Deze stikstof komt na het onderploegen geleidelijk vrij door afbraak en mineralisatie van de gewasresten. Vanuit de beleidsvragen voor EMW2012 was er geen aanleiding deze veronderstelling aan te passen. In de praktijk blijkt echter het getal van 40 kg ha^{-1} optimistisch te zijn geschat en is in de berekeningen voor ex-ante EMW2012 op basis van informatie van Verhoeven en Schröder (2011) een getal van 10 kg ha^{-1} aangenomen.

Het effect van de modelaanpassing is dat de nitraatconcentratie onder snijmaïs in 2010 op de droge zandgronden 25 mg L⁻¹ hoger wordt berekend en voor het gemiddeld van snijmaïs op alle zandgronden 19.4 mg L⁻¹ hoger wordt berekend. Een vanggewas met een onttrekking van 10 kg ha⁻¹ groeit bij een andere teelt van snijmaïs dan een vanggewas met een onttrekking van 40 kg ha⁻¹. In Stone versie 2.3 werd, in combinatie met de onttrekking van 40 kg ha⁻¹, mogelijk van een te hoge maïs N-onttrekking uitgegaan. Verhoeven en Schröder (2011) geven aan dat het verschil tussen beide onttrekkingsniveaus resulteert in ca. 8 mg L⁻¹. In STONE2.3 werd het effect overschat door een te gunstige N-opname in combinatie met een vanggewas dat nog 40 kg ha⁻¹ kan onttrekken.

De resultaten van STONE2.4 zijn in Fig.2.4 vergeleken met nog niet gepubliceerde nitraatmetingen in percelen van het LMM met een voorgeschiedenis van tenminste drie jaar maïsteelt. De vergelijking is uitgevoerd voor zowel snijmaïs op droge zandgrond als voor het totale areaal snijmaïs op zand in STONE2.4.

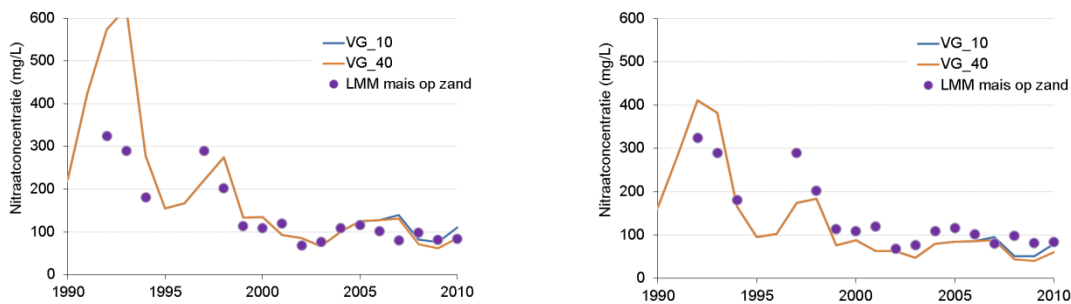


Fig. 2.4 Met STONE2.4 berekende en in LMM gemeten nitraatconcentraties onder snijmaïs op droge zandgrond (links) en het totale areaal snijmaïs op zandgrond (rechts) voor twee N-opnameniveaus van het vanggewas (VG_10 en VG_40).

Bij de vergelijking van STONE-resultaten met metingen in het LMM doet zich het verschijnsel voor dat de grondwaterstand tijdens de metingen gemiddeld 15 – 40 cm dieper is dan de grondwaterstand op hetzelfde tijdstip in de berekeningen. Mogelijk sluit de categorie droge gronden in STONE2.4 beter aan bij de LMM-metingen dan het gemiddelde van alle zandgronden.

Bijlage 3 Arealen akkerbouwgewassen in MAMBO (na conversie) en STONE

Tabel 3.1

Arealen akkerbouwgewassen op zand- en lössgrond in de zandgebieden.

Gewas	MAMBO				STONE
	P-klasse Onbekend	Hoog	Midden	Laag	Hoog
Consumptieaardappelen	16091.7	310.3	1604.3	393.2	38204.5
Groep Prei	790.0	22.3	95.0	20.4	1675.2
Groep Stamslaboon	4122.2		0.5		3.6
Groep Suikerbieten	2210.7	34.5	173.8	26.7	3689.5
	2232.1	19.3	93.1	15.1	1584.6
	738.6				
GroepTulp	15994.7	82.3	287.4	65.7	8336.4
Groep Wintertarwe	17667.5	214.7	970.8	192.2	10281.6
Groep Zomergerst	565.7				
Kool	10565.0	116.1	494.0	223.2	8683.4
Korrelmaïs	2492.8				
Lelie	1599.5				
Peen	1724.3	17.8	280.2	155.6	1180.0
Pootaardappelen	2506.7				
Prei	800.4				
Stamslaboon	19447.9	762.7	4884.1	562.7	31857.8
Suikerbieten	281.5				
Tulp	10275.9	275.9	2061.6	442.7	15847.1
Wintertarwe	538.4	18.2	62.0	23.3	586.3
Zetmeelaardappelen	28918.6	1182.7	10155.5	1366.6	44520.9
Zomergerst	14878.2	631.8	3115.0	398.2	19188.1
Zomertarwe	5520.0	217.0	1447.5	222.0	8060.9
Totaal	159962.3	3905.6	25724.6	4107.5	193700.0

Tabel 3.2

Arealen akkerbouwgewassen op zand- en lössgrond in het Zuidelijk zandgebied.

Gewas	MAMBO P-klasse			STONE	
	Onbekend	Hoog	Midden	Laag	Hoog
Consumptieaardappelen	12417.6	168.7	738.9	144.0	33078.5
Groep Prei	391.5	9.5	18.1	1.3	1279.0
Groep Stamslaboon	3623.7		0.5		3.6
Groep Suikerbieten	2012.4	14.7	149.3	26.1	3363.2
	1744.7	5.0	44.3	5.0	1134.0
	562.0				
Groep Tulp	12661.1	57.6	194.4	19.9	7484.2
Groep Wintertarwe	11894.5	29.3	191.7	23.5	5274.6
Groep Zomergerst	514.0				
Kool	7948.2	72.0	207.7	104.1	7094.2
Korrelmaïs	995.6				
Lelie	1354.6				
Peen	377.0	2.0	53.7	16.8	286.1
Pootaardappelen	2434.2				
Prei	778.7				
Stamslaboon	8218.4	125.4	767.7	209.0	11632.7
Suikerbieten	112.8				
Tulp	6425.6	62.5	760.6	244.2	9140.7
Wintertarwe	437.7	10.1	24.5	20.1	356.4
Zetmeelaardappelen	420.2	11.6	102.8	18.5	784.5
Zomergerst	2843.5	26.6	77.2	16.6	1885.8
Zomertarwe	1013.0	15.2	55.1	35.6	1265.0
Totaal	79181.1	610.3	3386.4	884.7	84062.5

Bijlage 4 Effect bemesting in STONE door toewijzingsprocedure van plots bij P-differentiatie

Een extreem voorbeeld van het effect van de toewijzingsprocedure is gegeven voor plot 6356 in het Zuidelijke zandgebied (Tabel 4.1).

Van plot 6356 is slechts 2,5% van het areaal bemonsterd op fosfaat en behoort 97,5% tot de klasse onbekend. In de klasse "onbekend" komen 20 gewassen voor, maar in de klasse "hoog" komen slechts drie gewassen voor. STONE heeft berekend dat de bodem van deze plot zich in de fosfaatklasse "hoog" bevindt en gaat er vanuit dat alleen de gewassen voorkomen waarvoor MAMBO heeft aangegeven een hoge fosfaatklasse te hebben. De arealen van deze drie gewassen worden berekend in evenredigheid met het aandeel van het oppervlak van de klasse "hoog". Het oppervlak aan consumptieaardappelen worden dus berekend als: $1.38 / (1.38 + 0.67 + 0.16) \times 231.25 = 144.41$ ha.

Tabel 4.1

Oppervlakten in MAMBO (na conversie) en STONE van plot 6356 in 2015.

Gewas	MAMBO P-klasse				STONE
	Onbekend	Hoog	Midden	Laag	Hoog
Consumptieaardappelen	22.87	1.38	0.63		144.41
Groep Prei	5.95				
Groep Stamslaboon	6.71		1.07		
Groep Suikerbieten	16.25		0.63		
Groep Tulp	2.43				
Groep Wintertarwe	23.41	0.67	0.16		70.28
Groep Zomergerst	35.56		0.11		
Kool	0.51				
Korrelmais	35.95		0.51		
Lelie	0.51				
Peen	0.96				
Pootaardappelen	0.58				
Prei	6.99				
Stamslaboon	7.44				
Suikerbieten	33.90	0.16	0.18	0.03	16.56
Tulp	1.73				
Wintertarwe	11.22			0.21	
Zetmeelaardappelen	0.94				
Zomergerst	8.56				
Zomertarwe	3.07				
Totaal	225.52	2.21	3.28	0.24	231.25

Behalve de areaalverdeling van de akkerbouwgewassen ontleent STONE ook de werkzame stikstofgiften, bedoeld voor de berekening van de gewasopname, aan de bij de fosfaatklasse horende giften. In Tabel 8 is het resultaat voor plot 6356 van door MAMBO berekende werkzame stikstofgiften weergegeven. Voor deze plot rekent STONE de gewasopname uit voor consumptieaardappelen, groep wintertarwe en suikerbieten met werkzame stikstofgiften voor deze gewassen behorend bij de P-klasse hoog.

Tabel 4.2

Werkzame stikstofgiften (kg N/ha) in MAMBO (na conversie) en STONE van plot 6356 in 2015.

Gewas	MAMBO P-klasse				STONE	
	Onbekend	Hoog	Midden	Laag	Gewogen gemiddelde	Hoog
Consumptieaardappelen	236.3	178.0	199.2		232.1	178.0
Groep Prei	154.7				154.7	
Groep Stamslaboon	67.2		95.0		71.0	
Groep Suikerbieten	234.5		171.9		232.2	
Groep Tulp	134.0				134.0	
Groep Wintertarwe	113.4	135.9	118.6		114.0	135.9
Groep Zomergerst	113.9		125.7		114.0	
Kool	243.9				243.9	
Korrelmais	108.8		117.4		108.9	
Lelie	241.6				241.6	
Peen	223.4				223.4	
Pootaardappelen	112.6				112.6	
Prei	252.9				252.9	
Stamslaboon	228.9				228.9	
Suikerbieten	126.7	138.7	144.2	148.6	126.8	138.7
Tulp	238.7				238.7	
Wintertarwe	163.8			173.1	164.0	
Zetmeelaardappelen	249.2				249.2	
Zomergerst	72.7				72.7	
Zomertarwe	113.7				113.7	
Gemiddeld					147.6	162.4

Door de toewijzingsprocedure valt voor plot 6356 de voor STONE gehanteerde gemiddelde werkzame stikstofgift ca. 15 kg/ha hoger uit dan berekend is met MAMBO. Gemiddeld voor het totale zandgebied en voor het Zuidelijke zandgebied zijn de verschillen veel kleiner (tabel 2 en tabel 3) en zijn in MAMBO en STONE de werkzame N-giften voor akkerbouw ongeveer gelijk. Behalve het vergelijken van de gemiddelde werkzame stikstofgift op de groep van alle akkerbouwgewassen is een vergelijking per akkerbouwgewas ook zinvol om te beoordelen of door de versleuteling aan de uitspoelingsgevoelige gewassen hogere mestgiften worden toegekend. Deze vergelijking is weergegeven in tabel 9 en tabel 10.

Tabel 4.3

Met MAMBO (na conversie) en STONE berekende werkzame stikstofgiften (kg N/ha) aan akkerbouwgewassen op zand- en lössgrond in het zandgebied.

Gewas	MAMBO	STONE			Gewogen gemiddelde	STONE
	P-klasse Onbekend	Hoog	Midden	Laag		
Consumptieaardappelen	241.3	192.3	207.9	204.0	236.8	180.8
Graszaad	108.2	129.7	128.6	130.8	111.3	116.2
Groep Prei	162.7		172.7		162.7	172.6
Groep Stamslaboon	69.3	128.3	94.7	99.4	72.2	117.9
Groep Suikerbieten	231.7	182.7	185.2	173.1	229.1	179.8
Groep Tulp	141.0				141.0	
Groep Wintertarwe	128.2	128.8	141.3	138.2	128.5	130.6
Groep Zomergerst	119.9	135.3	132.3	135.3	120.9	134.5
Kool	253.8				253.8	
Korrelmais	109.1	124.3	131.3	124.4	110.5	121.0
Lelie	221.0				221.0	
Peen	224.2				224.2	
Pootaardappelen	137.5	154.7	140.8	131.4	137.6	148.0
Prei	251.5				251.5	
Stamslaboon	230.0				230.0	
Suikerbieten	139.2	151.5	149.6	144.1	141.6	146.5
Tulp	234.6				234.6	
Wintertarwe	182.6	203.9	190.2	179.0	184.1	187.3
Zaaiuien	112.0	143.3	122.8	140.2	114.9	133.3
Zetmeelaardappelen	217.3	213.3	212.7	211.1	215.9	213.2
Zomergerst	117.0	135.6	132.5	138.4	120.6	131.8
Zomertarwe	132.3	148.9	145.1	137.4	135.5	145.1
Gemiddeld	164.5	172.1	177.5	172.6	166.5	167.4

De arealen van de akkerbouwgewassen in MAMBO en in STONE staan vermeld in Bijlage 4. Voor consumptieaardappelen is in tabel 9 de in STONE toegekende werkzame N-gift lager dan de laagste waarde van de in MAMBO per fosfaatklasse berekende werkzame N-gift. Bedacht moet worden in tabel 9 dat de werkzame N-giften per fosfaatklasse zijn berekend als het areaalgewogen gemiddelde per klasse. In de groep akkerbouwplots op zand- en lössgrond bestaat per fosfaatklasse een spreiding aan werkzame N-giften. Bij de toekenning van werkzame N-giften in STONE is door de versleuteling voor consumptieaardappelen vaak een lage werkzame N-gift gekozen waardoor het gemiddelde van de giften in STONE lager kan uitkomen dan het gemiddelde van de afzonderlijke P-klassen in MAMBO.

Door de versleuteling worden gemiddeld voor de zandgebieden in STONE op consumptieaardappelen (20% van akkerbouwareaal in STONE) en de groep zetmeelaardappelen (23% van akkerbouwareaal in STONE) veel lagere werkzame N-giften toegekend dan met MAMBO is berekend. Voor de groep stamslabonen (2% van het areaal in STONE) worden in STONE veel hogere werkzame N-giften toegekend. Voor de overige gewassen is het verschil tussen het gewogen gemiddelde van de werkzame N-giften per gewas in MAMBO en de toegekende werkzame N-gift in STONE beperkt.

Tabel 4.4

Met MAMBO (na conversie) en STONE berekende werkzame stikstofgiften (kg N/ha) aan akkerbouwgewassen op zand- en lössgrond in het Zuidelijk zandgebied.

Gewas	MAMBO P-klasse				STONE	
	Onbekend	Hoog	Midden	Laag	Gewogen gemiddelde	
Consumptieaardappelen	246.7	184.9	206.3	200.3	243.2	177.7
Graszaad	94.0	109.9	117.9	109.3	95.5	108.9
Groep Prei	154.5		172.7		154.5	172.6
Groep Stamslaboon	66.0	115.7	89.3	99.2	68.3	116.1
Groep Suikerbieten	238.2	175.1	175.9	155.7	236.3	176.2
Groep Tulp	139.2				139.2	
Groep Wintertarwe	121.8	128.5	145.6	157.4	122.2	130.8
Groep Zomergerst	112.5	132.0	125.6	134.5	112.8	134.0
Kool	255.9				255.9	
Korrelmais	103.1	117.0	122.7	117.0	103.9	117.6
Lelie	232.5				232.5	
Peen	227.0				227.0	
Pootaardappelen	111.8	146.6	140.4	114.7	115.5	146.8
Prei	251.8				251.8	
Stamslaboon	230.1				230.1	
Suikerbieten	125.5	134.1	136.8	135.5	126.8	135.8
Tulp	243.9				243.9	
Wintertarwe	179.1	192.3	185.4	175.0	179.7	178.4
Zaaiuien	109.7	142.2	116.9	141.1	112.0	131.3
Zetmeelaardappelen	227.9	208.7	207.0	203.4	222.8	211.2
Zomergerst	79.6	117.9	102.9	103.4	80.7	108.6
Zomertarwe	110.0	131.6	131.2	135.3	112.2	133.0
Gemiddeld	153.8	151.8	161.4	154.8	154.1	154.2

Evenals voor het totale zandgebied is voor consumptieaardappelen in tabel 10 de in STONE toegekende werkzame N-gift lager dan de laagste waarde van de met MAMBO per fosfaatklasse berekende werkzame N-gift. De oorzaak is aangeduid bij de bespreking van tabel 9. De middeling over fosfaatklassen in tabel 10 leidt er ook toe dat in STONE voor groep suikerbieten (4% van het akkerbouwareaal in STONE) en peen (0.3% van het akkerbouwareaal in STONE) de toegekende werkzame N-gift hoger is dan het maximum van de per fosfaatklasse gemiddelde waarden van MAMBO (na conversie)-resultaten.

Door de versleuteling wordt ook in het Zuidelijk zandgebied aan consumptieaardappelen (39% van akkerbouwareaal in STONE) en groep suikerbieten (1% van akkerbouwareaal in STONE) een veel lagere werkzame N-gift toegekend dan het gewogen gemiddelde van MAMBO. Voor de groep suikerbieten, peen, zomergerst en zomertarwe (totaal 8% van akkerbouwareaal in STONE) worden in STONE veel hogere werkzame N-giften toegekend. Voor de overige gewassen is het verschil tussen het gewogen gemiddelde van de werkzame N-giften per gewas in MAMBO en de toegekende werkzame N-gift in STONE beperkt.

Bijlage 5 Resultaten WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor grasland en snijmaïs

Tabel 5.1

Resultaten van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor grasland op zand- en lössgrond in de zandgebieden.

	WOG-WOD Referentie;	Met areaal- verdeling volgens STONEI	Met Gt- verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Met areaal- en, Gt- verdeling; bouwplan en mestgiften volgens STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 2)
Dierlijke mest	284	284	284	284	246	246	
NH ₃ vervluchtiging	25	25	25	25	21	21	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	262	262	262	262	228	228	227
kunstmest	133	133	133	133	148	148	148
depositie	32	32	32	32	32	32	28
vlinderbloemigen	0	0	0	0	0	0	0
netto input	427	427	427	427	408	408	403
gewasopname	295	295	297	295	290	292	283
N-bodemoverschot	129	129	127	129	115	113	119
Uitspoel fractie.	0.24	0.24	0.27	0.24	0.24	0.27	0.25
Neerslagoverschot	281	281	282	281	281	282	333
NO ₃ -concentratie	49	49	54	49	44	48	39 45
areaalfractie	0.52	0.51	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51
Werkzame N gift	338	338	338	338	313	313	254

Tabel 5.2

Resultaten van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor snijmaïs op zand- en lössgrond in de zandgebieden.

	WOG-WOD Referentie;	met areaal-verdeling volgens STONEI	Met Gt-verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Met areaal- en, Gt-verdeling; bouwplan en mestgiften volgens STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 2)
Dierlijke mest	170	170	170	170	127	127	
NH ₃ vervluchting	11	11	11	11	8	8	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	160	160	160	160	120	120	119
kunstmest	38	38	38	38	44	44	44
depositie	32	32	32	32	32	32	30
Vlinderbloemigen	0	0	0	0	0	0	0
netto input	229	230	229	229	195	195	193
gewasopname	154	154	154	154	144	144	146
N-bodemoverschot	75	75	75	75	50	50	47
Uitspoel fractie.	0.53	0.53	0.61	0.53	0.53	0.61	0.69
Neerslagoverschot	348	348	338	348	348	338	356
NO ₃ -concentratie	51	51	59	51	34	40	40 45
areaalfractie	0.21	0.23	0.21	0.21	0.21	0.23	0.23
Werkzame N gift	163	163	163	163	138	138	119

Tabel 5.3

Resultaten van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor grasland op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied.

	WOG-WOD Referentie;	Met areaal-verdeling volgens STONEI	Met Gt-verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Met areaal- en, Gt-verdeling; bouwplan en mestgiften volgens STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 3)
Dierlijke mest	284	284	284	284	248	248	
NH ₃ vervluchting	25	25	25	25	20	20	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	262	262	262	262	231	231	230
kunstmest	133	133	133	133	150	150	150
depositie	38	38	38	38	38	38	31
Vlinderbloemigen	0	0	0	0	0	0	0
netto input	433	433	433	433	419	419	411
gewasopname	297	297	300	297	292	294	282
N-bodemoverschot	133	133	131	133	124	122	128
Uitspoel fractie.	0.25	0.25	0.29	0.25	0.25	0.29	0.36
Neerslagoverschot	282	282	285	282	282	285	294
NO ₃ -concentratie	52	53	59	52	49	55	70 70
areaalfractie	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40
Werkzame N gift	338	338	338	338	316	316	250

Tabel 5.4

Resultaten van rekensessies met WOG-WOD met stapsgewijze toepassing van STONE-invoer voor snijmaïs op zand- en lössgrond in het Zuidelijke zandgebied.

	WOG-WOD Referentie;	met areaal- verdeling volgens STONEI	Met Gt- verdeling volgens STONE	Met bouwplan volgens STONE	Met bouwplan + mestgiften volgens STONE	Met areaal- en, Gt-verdeling; bouwplan en mestgiften volgens STONE	STONE 2016 – 2030 (tabel 3)
Dierlijke mest	170	170	170	170	129	129	
NH ₃ vervluch- ting	10	10	10	10	8	8	
Dierlijke mest - NH ₃ vervl	160	160	160	160	121	121	120
kunstmest	10	10	10	10	28	28	30
depositie	38	38	38	38	38	38	32
Vlinder- bloemigen	0	0	0	0	0	0	0
netto input	208	208	208	208	188	188	182
gewasopname	145	145	145	145	140	140	138
N-bodem- overschot	62	62	62	62	47	47	44
Uitspoel fractie.	0.52	0.52	0.62	0.52	0.52	0.62	0.85
Neersla- goverschot	348	348	341	348	348	341	317
NO ₃ - concentratie	42	41	50	42	31	38	52 52
areaalfactie	0.26	0.30	0.26	0.26	0.26	0.30	0.30
Werkzame N gift	136	136	136	136	124	124	105



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2549
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2549
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

