

Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument (besteknr 2000/1)

N-(eco)²

Eindrapport Deel 4

Scenarioanalyses

Afleiding van de normen

Aanbevelingen aan de landbouwers

aangeboden door het consortium bestaande uit

- **Bodemkundige Dienst van België**
- **Instituut voor Land- en Waterbeheer (K.U.Leuven)**
- **Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en -biologie (K.U.Leuven)**
- **Bodemkunde en fertiliteit (R.U.Gent)**
- **SADL (K.U.Leuven)**

**Studie uitgevoerd in opdracht van de
Vlaamse Landmaatschappij**

Inhoud

1	PROCESFACTOR	7
1.1	PROBLEEMSTELLING	7
1.2	PROCESFACTOR VOOR HET OPPERVLAKTEWATER	9
1.2.1	<i>Relatie tussen nitraatstikstofresidumetingen en nitraatmetingen in het MAP-meetnet</i>	9
1.2.2	<i>Afleiding van een procesfactor voor het bekken van de Witte Nete, Mark en Molenbeek</i> ...	17
1.2.3	<i>Afleiding van een procesfactor voor het bekken van de Wijlegemse beek</i>	20
1.3	PROCESFACTOR VOOR HET GRONDWATER	22
1.3.1	<i>Probleemstelling</i>	22
1.3.2	<i>Relatie tussen nitraatstikstofresidumetingen en nitraatmetingen van het grondwatermeetnet</i> 23	23
1.3.3	<i>Toekomstige aanpak voor onderbouwing van een procesfactor voor het grondwater</i>	24
1.4	BESLUIT	26
2	SCENARIOANALYSE TER BEPALING VAN DE RELATIE TUSSEN NITRAATSTIKSTOFRESIDU EN NITRAAUITSPOELING	27
2.1	INLEIDING	27
2.2	DOELSTELLING EN AANPAK	27
2.3	DATAINVOER VOOR SA1A	28
2.4	DATAINVOER VOOR SA1B	29
2.4.1	<i>Karakterisering van de meest voorkomende combinaties met bodemeigenschappen, gewas en gesimuleerd grondwaterverloop</i>	30
2.4.2	<i>Invoer voor het stikstofbalansmodel WAVE</i>	40
2.5	WERKWIJZE	43
2.6	RESULTATEN	44
2.6.1	<i>Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu</i>	44
2.6.2	<i>Nitraatconcentratie in het oppervlakkige grondwater</i>	52
2.6.3	<i>Bespreking resultaten SA1a</i>	54
2.6.4	<i>Bespreking resultaten SA1b</i>	54
2.6.5	<i>Afleiding van de nitraatstikstofresidunormen</i>	56
2.6.5.1	<i>Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel</i>	56
2.6.5.2	<i>Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu in functie van teelt en textuur</i>	60
2.6.5.3	<i>Verantwoording van de nitraatstikstofresidunormen</i>	62
2.6.5.4	<i>Schatting van nitraatstikstofresidu's in functie van de teelt</i>	69
2.6.5.5	<i>Aanpassing van de nitraatstikstofresidunormen in functie van het staalnametijdstip</i>	72
2.6.5.6	<i>Opmerking</i>	72
2.7	GEVOELIGHEIDS- EN ONZEKERHEIDSANALYSE WAVE	73
2.7.1	<i>Onzekerheid en betrouwbaarheid bij deterministische modellen</i>	73
2.7.1.1	<i>Inleiding</i>	73
2.7.1.2	<i>Onzekerheid op processen</i>	73
2.7.1.3	<i>Onzekerheid op modelinvoer</i>	74
2.7.2	<i>Foutenanalyse</i>	75
2.7.3	<i>Werkwijze en resultaten van de foutenanalyse</i>	75
2.7.3.1	<i>Overzicht</i>	75
2.7.3.2	<i>Bepalen van de invoerparameters en hun onzekerheid</i>	76
2.7.3.3	<i>Scenario's gevoeligheidsanalyse</i>	78
2.7.3.4	<i>Resultaten gevoeligheidsanalyse</i>	79
2.7.3.5	<i>Scenario's onzekerheidsanalyse</i>	82
2.7.3.6	<i>Resultaten onzekerheidsanalyse</i>	82
2.7.4	<i>Besluit</i>	88
2.8	CARTOGRAFISCHE VOORSTELLING EN (RUIMTELIJKE) ANALYSE VAN DE OUTPUT VAN SA1B	89
2.8.1	<i>Cartografische voorstelling van de output van SA1b</i>	89
2.8.2	<i>(Ruimtelijke) analyse van de output van SA1b</i>	94
2.9	BESLUIT	127

3	SCENARIOANALYSE TER BEPALING VAN HET PERCEELSMANAGEMENT.....	130
3.1	INLEIDING	130
3.2	GESELECTEERDE STROOMBEKKENS	130
3.2.1	<i>Algemene situering en karakterisatie van de stroombekkens.....</i>	<i>130</i>
3.2.2	<i>Werkwijze geografische bevraging.....</i>	<i>132</i>
3.3	AANPAK SCENARIOANALYSE	134
3.3.1	<i>Werkwijze.....</i>	<i>134</i>
3.3.2	<i>Bemestingsstrategieën.....</i>	<i>135</i>
3.3.2.1	<i>Algemeen</i>	<i>135</i>
3.3.2.2	<i>Akkerbouw</i>	<i>136</i>
3.3.2.3	<i>Grasland.....</i>	<i>137</i>
3.4	RESULTATEN EN BESPREKING	139
3.4.1	<i>Permanente gewassen.....</i>	<i>139</i>
3.4.2	<i>Teeltrotaties.....</i>	<i>145</i>
3.5	(RUIMTELIJKE) ANALYSE VAN DE OUTPUT VAN SA2 EN CARTOGRAFISCHE VOORSTELLING.....	150
3.5.1	<i>Output van SA2 en elementaire cartografische voorstelling.....</i>	<i>150</i>
3.5.1.1	<i>Varendonkse Loop</i>	<i>152</i>
3.5.1.2	<i>Molenbeek/Markebeek</i>	<i>153</i>
3.5.1.3	<i>MAP-meetpunt 445250.....</i>	<i>156</i>
3.5.1.4	<i>Ijzerbeek.....</i>	<i>158</i>
3.5.1.5	<i>MAP-meetpunt 137500.....</i>	<i>159</i>
3.5.1.6	<i>MAP-meetpunt 19000.....</i>	<i>162</i>
3.5.2	<i>(Ruimtelijke) analyse van de output van SA2.....</i>	<i>164</i>
3.5.3	<i>Besluit</i>	<i>186</i>
3.6	BESLUIT	187
4	AANBEVELINGEN AAN DE LANDBOUWERS.....	188
4.1	INLEIDING	188
4.2	BEREDENEERDE BEMESTING.....	188
4.2.1	<i>Inleiding.....</i>	<i>188</i>
4.2.2	<i>Standaardgrondontleding.....</i>	<i>188</i>
4.2.3	<i>Mestanalyse.....</i>	<i>188</i>
4.2.4	<i>Perceelsspecifiek stikstofbemestingsadvies.....</i>	<i>192</i>
4.2.5	<i>Toedieningstijdstip</i>	<i>196</i>
4.2.6	<i>Chemische bodemvruchtbaarheid.....</i>	<i>198</i>
4.2.7	<i>Besluit</i>	<i>200</i>
4.3	AANBEVELINGEN AKKERLAND.....	201
4.3.1	<i>Inleiding.....</i>	<i>201</i>
4.3.2	<i>Maïs.....</i>	<i>201</i>
4.3.3	<i>Graangewassen: wintertarwe.....</i>	<i>209</i>
4.3.4	<i>Suikerbieten</i>	<i>213</i>
4.3.5	<i>Aardappelen.....</i>	<i>219</i>
4.4	AANBEVELINGEN GRASLAND	226
4.5	AANBEVELINGEN GROENTEN.....	236
4.5.1	<i>Inleiding.....</i>	<i>236</i>
4.5.2	<i>Het stikstofbijmestsysteem</i>	<i>237</i>
4.5.2.1	<i>Inleiding.....</i>	<i>237</i>
4.5.2.2	<i>Het stikstofbijmestsysteem voor groenten.....</i>	<i>237</i>
4.5.3	<i>Indeling groenten</i>	<i>238</i>
4.5.4	<i>Categorie I.....</i>	<i>239</i>
4.5.4.1	<i>Bladgroenten spinazie en sla</i>	<i>239</i>
4.5.4.2	<i>Erwten en bonen.....</i>	<i>240</i>
4.5.5	<i>Categorie II.....</i>	<i>241</i>
4.5.5.1	<i>Bloemkool en broccoli.....</i>	<i>241</i>
4.5.5.2	<i>Rode kool en savooikolen.....</i>	<i>241</i>

4.5.5.3 Selder	242
4.5.5.4 Prei	244
4.5.5.5 Wortelen.....	245
4.5.5.6 Andijvie	245
4.5.6 <i>Categorie III</i>	246
4.5.6.1 Spruitkolen.....	246
4.5.6.2 Witte kolen.....	247
4.5.7 <i>Specifieke aanbevelingen groenten</i>	248
4.6 BESLUIT	249
5 ALGEMEEN BESLUIT	250
6 LITERATUUR.....	252
7 BIJLAGEN	260
7.1 BIJLAGE 1: GEBRUIKTE SYMBOLEN.....	260
7.2 BIJLAGE 2: OUTPUT SA1B	261
7.3 BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VAN DE ONZEKERHEIDSANALYSE.....	265
7.4 BIJLAGE 4: RESULTATEN VAN SA2	270

Voorwoord

De hoofddoelstelling van het onderzoek is meer inzicht verwerven (zowel kwantitatief als kwalitatief) in de stikstofcyclus en de bewegingen van stikstof in de bodem naar het ondiepe grondwater onder landbouwgronden, en dit voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties in Vlaanderen. Dit inzicht moet leiden tot een technische vertaling van de EG-norm van $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ of $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ in grond- en oppervlaktewater in een perceelsgewijze controleerbare nitraatstikstofresidunorm voor cultuurgronden. Voor de realisatie van de beperking van de nitraatverontreiniging van grond- en oppervlaktewater werd wettelijk vastgelegd dat het nitraatstikstofresidu, uitgedrukt in $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ in de bodem tot op een diepte van 90 cm in de periode van 1 oktober tot 15 november, niet hoger mag zijn dan $90 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. Deze norm werd in dit project wetenschappelijk geëvalueerd.

De opzet van dit onderzoeksproject is zodanig dat het eindresultaat van het project, nl. de aanlevering van de nitraatstikstofresidunormen in het bodemprofiel, in de laag 0 tot 90 cm, in de periode van 1 oktober tot 15 november, evenwichtig gebaseerd is op terreingegevens (20 percelen), simulatieresultaten en expertkennis.

In Hoofdstuk 1 van het voorliggende rapport wordt het belang van een zogenaamde ‘procesfactor’ aangegeven. Deze factor is noodzakelijk om de door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie in de waterflux op 90 cm diepte te vertalen naar een nitraatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater.

Nadat het WAVE-model verfijnd werd en uitvoerig getest werd voor uiteenlopende ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties, werd het aangewend in scenarioanalyses zodat voor de meest voorkomende situaties in Vlaanderen voorspellingen gedaan konden worden inzake nitraatuitspoeling. In Hoofdstuk 2 worden de resultaten van de scenarioanalyse ter bepaling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu uitvoerig besproken. De resultaten van de scenarioanalyse, samen met de informatie van de proefvelden en de aanwezige expertkennis binnen het consortium, vormden de basis waarop de nitraatstikstofresidunormen in functie van textuur en gewas werden afgeleid. De resultaten van de scenarioanalyses werden cartografisch weergegeven.

Uiteraard moet er rekening worden gehouden met een bepaalde foutenmarge op de modelresultaten aangezien er onzekerheid bestaat rond de waarde van bepaalde modelparameters. De resultaten van de gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse worden getoond in Hoofdstuk 2.

In Hoofdstuk 3 werd nagegaan hoe de nitraatstikstofresidunormen in de praktijk gerealiseerd kunnen worden. Voor 6 kleine stroombekkens werd een scenarioanalyse uitgevoerd ter bepaling van de relatie tussen het nitraatstikstofresidu en het perceelsmanagement. De simulatieresultaten werden eveneens cartografisch weergegeven.

Op basis van literatuurgegevens en proefveldonderzoek, werden in Hoofdstuk 4 tenslotte aanbevelingen geformuleerd inzake het perceelsmanagement en bemestingsstrategieën.

Dit rapport is het vierde deel van het eindrapport dat in totaal uit 4 delen bestaat.

In het eerste deelrapport wordt de kennis inzake N-transformatieprocessen uit literatuur en eerder uitgevoerde modelsimulaties en proefveldonderzoek overzichtelijk samengebracht en wordt de achtergrond van de wiskundige modellen verduidelijkt. In het tweede deelrapport worden de resultaten van het mineralisatie- en denitrificatieonderzoek voorgesteld. Tevens worden de metingen op de 20 proefvelden besproken. De modellen werden gekalibreerd en gevalideerd op basis van deze proefveldmetingen. Tenslotte komen ook de resultaten van de afbakening en de karakterisering van de simulatieëenheden aan bod in het tweede deel van het eindrapport.

Het vastleggen van de bemonsterings- en controleprocedures vormt het onderwerp van het derde deelrapport.

De resultaten van de scenarioanalyses en van de foutenanalyse, de cartografische voorstelling van de simulatieresultaten en de aanbevelingen aan de landbouwers komen tenslotte aan bod in dit vierde en laatste deelrapport.

De volgende personen en onderzoeksinstituten hebben aan dit project hun medewerking verleend:

- Bodemkundige Dienst van België: projectcoördinatie
E. Herelixka, N. Vogels, L. Vanongeval Promotor: Prof. M. Geypens
- Instituut voor Land- en waterbeheer, K.U.Leuven
K. Oorts, S. Rombauts, L. Sammels, Promotor: Prof. J. Feyen
W. W. Verstraeten, A. El-Sadek
- Laboratorium van Bodemvruchtbaarheid en –biologie, K.U.Leuven
F. Coppens Promotor: Prof. R. Merckx
- Bodemkunde en fertiliteit, R.U.Gent
K. D’Haene, E. Moreels, S. De Neve, Promotor: Prof. G. Hofman,
J. Salomez, P. Boeckx Prof. O. Van Cleemput
- SADL, K.U.Leuven
I. Librecht, J. Wellens Promotor: Prof. J. Van Orshoven

Het projectconsortium werd bijgestaan door de Stuurgroep bestaande uit:

- J. Decrop (VLM, Mestbank)
- A. Dobbelaere (VLM, Mestbank)
- S. Ducheyne (VLM, Mestbank)
- P. Gabriëls (ALT)
- J. Lermytte (AIMNAL)
- H. Neven (AMINAL, Afd. Land)
- S. Overloop (VMM, MIRA)
- F. Stuyckens (VLM, Mestbank)
- L. Van Craen (AMINAL, Afd. Water)
- H. Vandendriessche (Kabinet van de Vlaamse Minister van Leefmilieu en Landbouw, Adviseur)
- D. Van Gijseghem (ALT-VOLT)
- K. Van Hoof (VMM)

1 Procesfactor

1.1 Probleemstelling

In tegenstelling tot de overeenkomst tussen de door WAVE gesimuleerde en de op de proefvelden gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie in de waterflux op 90 cm onder maaiveld, blijkt er een discrepantie te bestaan tussen de door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en de gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het oppervlaktewater. Op basis van de simulaties met het WAVE-model zou, zonder procesfactor, zelfs een nitraatstikstofresidu van $40 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ op 1 oktober aanleiding geven tot het overschrijden van de grenswaarde in het oppervlaktewater, opgelegd door de nitraatrichtlijn ($11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ of $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$), hetgeen door verschillende bronnen tegengesproken kan worden.

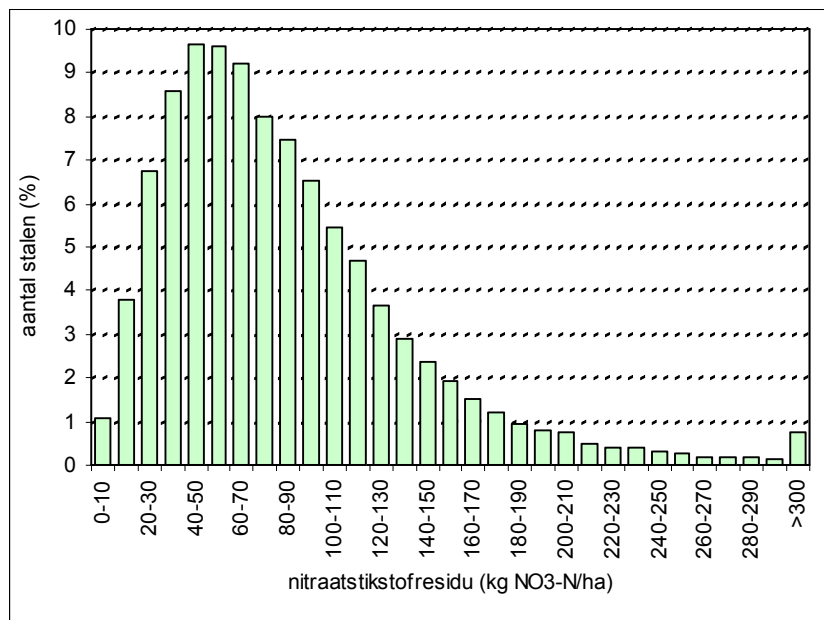
MAP-meetnet

Er werd in Vlaanderen een oppervlaktewatermeetnet geïnstalleerd waarbij de meeste meetpunten een 12-tal keer per jaar bemonsterd en geanalyseerd worden. Vanaf 1 juli 1999 werd het oppervlaktewatermeetnet met voor de landbouw specifieke meetpunten uitgebreid (MAP-meetpunten). Voor ieder van de 266 weerhouden MAP-meetpunten geldt:

- het stroomgebied is hoofdzakelijk agrarisch;
- geen invloed van industriële afvalwaterbronnen;
- er is geen invloed van overstorten of effluentlozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties;
- de hoeveelheid stikstof afkomstig van huishoudelijk afvalwater heeft een beperkte invloed en is berekenbaar.

Uit de resultaten van het MAP-meetnet oppervlaktewater blijkt dat er een gevoelige vooruitgang geboekt werd door de landbouwsector: waar in de winter '99 - '00 nog 60 % van de MAP-punten slecht scoorden (minstens één meting boven de 50 mg nitraat per liter), is dit percentage gezakt tot 38,5 % in de winter '01 - '02. Vooral in West-Vlaanderen (Leie- en IJzerbekken) blijft de toestand evenwel zorgwekkend. Twee op 3 punten scoren er slecht.

Het feit dat meer dan de helft van de MAP-meetpunten voldeed aan de nitraatrichtlijn ondanks dat het nitraatstikstofresidu in de praktijk vaak duidelijk hoger was dan $40 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$, doet vermoeden dat de door WAVE gesimuleerde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodemwater niet rechtstreeks kan overgenomen worden voor concentraties in het oppervlaktewater. Deze stelling wordt ondersteund door de nitraatstikstofresidumetingen in de bodem in het najaar (1 oktober – 15 november 2001): op de percelen die in de kwetsbare zones 'water' gelegen zijn en waarvoor een beheersovereenkomst werd afgesloten tussen de landbouwer en de overheid moet jaarlijks verplicht een nitraatstikstofresidumeting uitgevoerd worden door een hiervoor erkend laboratorium. De uitgebreide dataset van analyseresultaten van de Bodemkundige Dienst van België (totaal ongeveer 18 000 percelen in 2001) toont aan dat de nitraatstikstofresidumetingen in de bodem over het algemeen aanzienlijk hoger zijn dan het door WAVE gesimuleerde maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu van $40 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (Figuur 1.1).



Figuur 1.1: Spreiding van het nitraatstikstofresidu gemeten door de Bodemkundige Dienst van België tussen 1 oktober en 15 november 2001 in het kader van de beheersovereenkomsten (0-90 cm)

Doctoraat Alaa El-Sadek

Deze tegenstelling was ook een onderwerp van onderzoek in de doctoraatsthesis van El-Sadek (2002), waar het DRAINMOD-model (Brevé *et al.*, 1997) uitvoerig getest werd. Er wordt gesteld dat de verhouding tussen de gemiddelde gesimuleerde NO₃-N-concentratie in het drainwater (C_g) en de geobserveerde NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater (C_s) kan beschouwd worden als maat voor de afname van de NO₃-N-concentratie tussen het drain- en het oppervlaktewater. De verhouding van beide concentraties wordt de "procesfactor" genoemd. Voor drie kleine stroombekkens werd in dit doctoraat aangetoond dat de gesimuleerde nitraatconcentratie in het drainagewater globaal gedeeld diende te worden door 2.4 om de gemeten nitraatconcentratie in het oppervlaktewater te bekomen:

$$W = \frac{C_g}{C_s} \approx 2.4$$

Uit voorgaande bronnen kan afgeleid worden dat er een factor dient in rekening gebracht te worden om de nitraatconcentratie die de wortelzone verlaat (zoals gesimuleerd wordt door het WAVE-model) te relateren aan de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater. Hiertoe kan men gebruik maken van een factor die allerlei N-transformaties en processen (zoals verdunning met opstijgend grondwater, denitrificatie,...) in rekening brengt.

Het gaat hier over verdunnings- en transformatieprocessen die plaatsvinden tijdens de laterale beweging van het water dat vanuit de wortelzone (op 90 cm) naar het oppervlaktewater stroomt. In het kader van dit project werden bijkomende studies uitgevoerd om deze procesfactor voor het oppervlaktewater wetenschappelijk te onderbouwen.

Voor het grondwater doen zich dezelfde fenomenen voor. Ook voor grondwater werd daarom getracht een procesfactor af te leiden, hetgeen niet evident bleek te zijn. De problemen en

bepkeringen die hiermee gepaard gingen, worden in dit hoofdstuk beschreven, evenals een mogelijke aanpak om de procesfactor voor het grondwater in de nabije toekomst verder te onderbouwen.

1.2 Procesfactor voor het oppervlaktewater

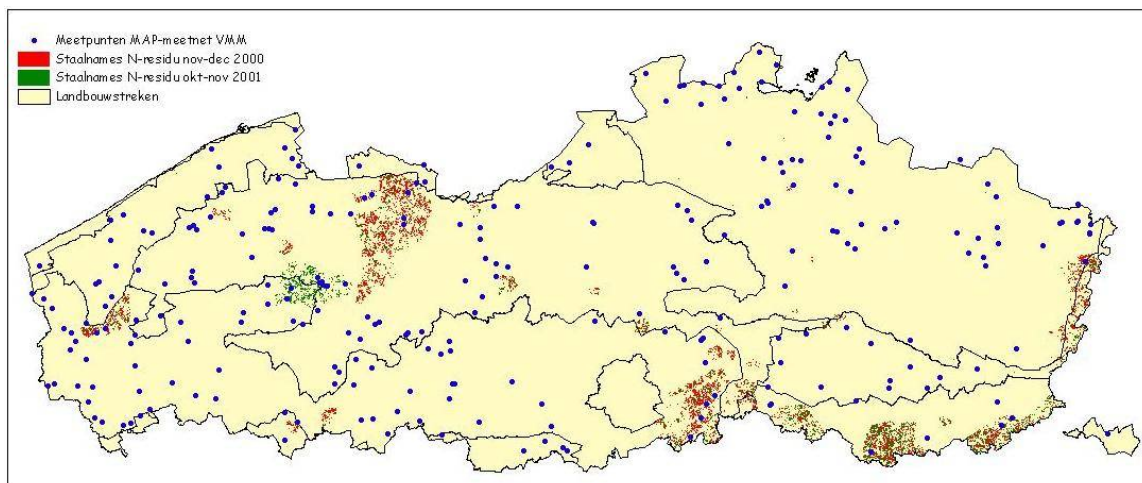
1.2.1 Relatie tussen nitraatstikstofresidumetingen en nitraatmetingen in het MAP-meetnet

Rekening houdend met de beschikbare gegevens, werd in een eerste geografische exploratieve benadering geprobeerd om de procesfactor te schatten door de gemeten nitraatstikstofresidu's in het najaar te vergelijken met de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het oppervlaktewater.

Beschikbare gegevens

- nitraatstikstofresidumetingen in de bodem in het najaar (voor november – december 2000 en oktober – november 2001) voor de percelen in kwetsbare zones, die een beheersovereenkomst hebben afgesloten (totaal ongeveer 23 000 percelen);
- nitraatconcentraties in het oppervlaktewater (MAP-meetnet). De percelen die in het toestroomgebied van het MAP-meetpunt liggen, worden verondersteld de nitraatconcentratie die gemeten wordt in dit bepaalde MAP-meetpunt te beïnvloeden.

Er zijn in Vlaanderen 8 toestroomgebieden van MAP-meetpunten, waarin ook N-residumetingen gebeurd zijn (Figuur 1.2). Voor deze 8 stroomgebieden is het mogelijk om de gemeten N-residu's op (een deel van) de velden en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het oppervlaktewater aan de outlet van het stroomgebiedje met elkaar te confronteren. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de ligging en de kenmerken van deze 8 stroomgebieden.

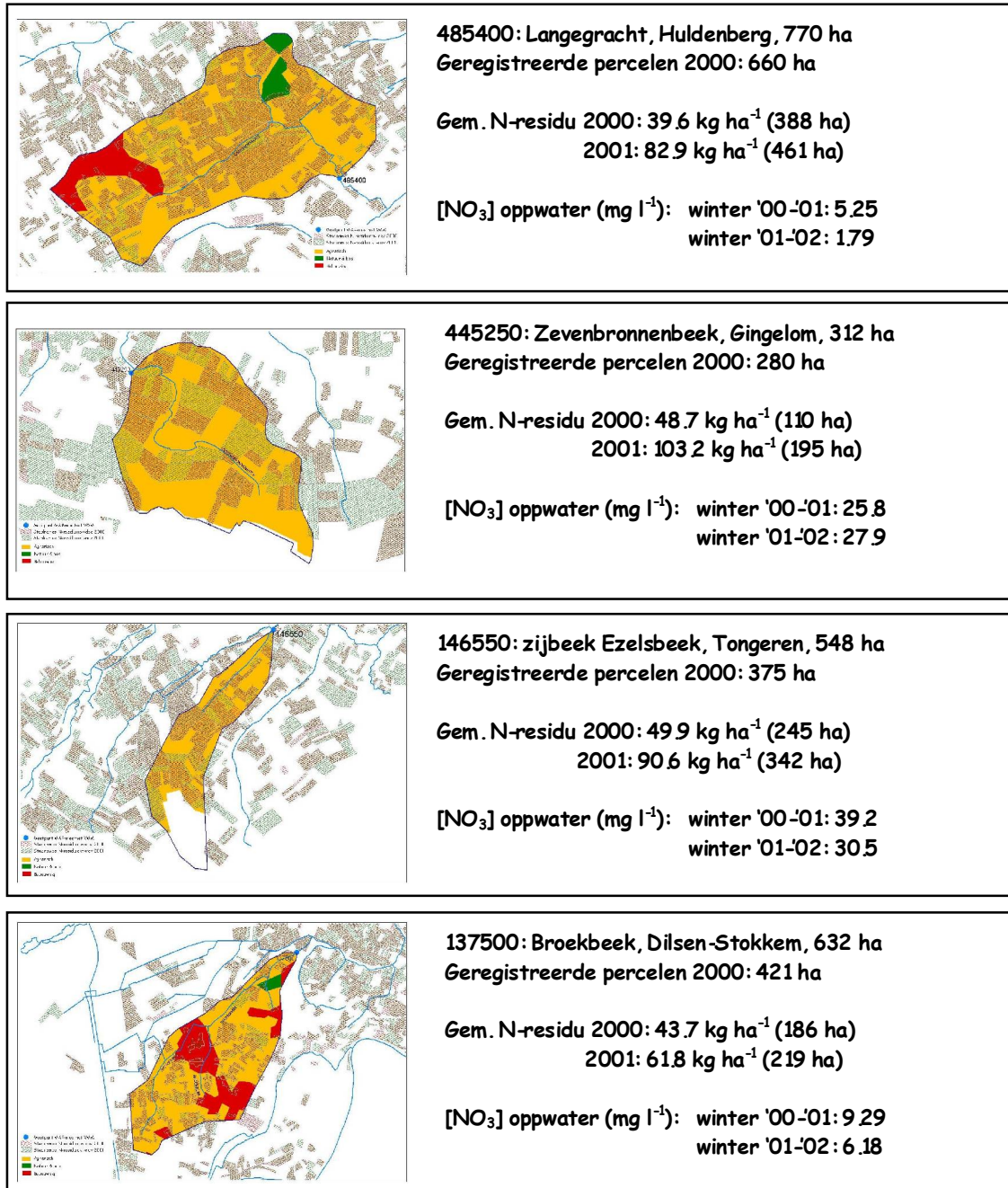


Figuur 1.2: Spreiding van de MAP-meetpunten (VMM) en de percelen waarop N-residumetingen werden uitgevoerd in 2000 en 2001 (VLM, Mestbank) in Vlaanderen

Tabel 1.1: Kenmerken van de stroomgebieden waarvoor zowel NO₃-N-residumetingen als NO₃-concentraties beschikbaar zijn

MAP-meetpunt aan de outlet van het stroomgebiedje	Totale opp. stroomgebied (ha)	Totale opp. v/d percelen in het stroomgebied waarvoor nitraatstikstofresidu metingen beschikbaar zijn in 2000 (ha)	Totale opp. v/d percelen in het stroomgebied waarvoor nitraatstikstofresidu metingen beschikbaar zijn in 2001 (ha)	Totale opp. van de geregistreerde landbouwgebruikspcelen in 2000 (ha)	Meest voorkomende combinatie 'bodem-gewas' (2000)	Gemeente	Landbouwstreek
489600	658	103 (39 %)	184 (70 %)	263	Aba – wintergerst	Overijse	Zandleemstreek
485400	770	388 (58 %)	461 (69 %)	660	Aba – wintertarwe	Huldenberg – Tervuren – Bertem	Zandleemstreek
445250	312	110 (39 %)	195 (69 %)	280	Aba – wintertarwe	Gingelom – Landen	Leemstreek
146550	548	245 (45 %)	342 (62 %)	375	Aba – wintertarwe	Tongeren	Leemstreek
137500	632	186 (44 %)	219 (52 %)	421	Lbp – maïs	Dilsen-Stokkem	Kempen
658730	343	105 (32 %)	116 (36 %)	324	Ada – wintertarwe	Zwevegem	Leemstreek
19000	755	208 (31 %)	241 (36 %)	674	Zcg – maïs	Assenede	Vlaamse Zandstreek
969012	4420	46 (1 %)	54 (1,3 %)	4186	Lca – maïs	Lo-Reninge	Zandleemstreek

Rekening houdend met het aandeel landbouwpercelen in het stroomgebied waarvoor een N-residumeting beschikbaar is (voorwaarde = minstens 50 %), werden 4 stroomgebieden geselecteerd om het verband tussen NO₃-N-residu en NO₃-concentraties in het oppervlaktewater te exploreren. De kenmerken van deze 4 stroomgebieden worden weergegeven in Figuur 1.3.



Figuur 1.3: Kenmerken van de 4 stroomgebieden waar voor meer dan de helft van de aangegeven landbouwgebruikspercelen N-residumetingen beschikbaar zijn

Vervolgens werd het verband tussen het gemeten nitraatstikstofresidu op de velden en NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater (MAP-meetpunt) onderzocht. De verhouding van deze 2 gegevens is echter NIET gelijk aan de hierboven gedefiniëerde procesfactor.

Tabel 1.2 geeft voor de 4 studiegebieden het (naar oppervlakte gewogen) gemiddeld N-residu en de gemiddelde nitraatconcentratie in het oppervlaktewater. Het verloop van de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater is weergegeven in Figuren 1.4 tot en met 1.7.

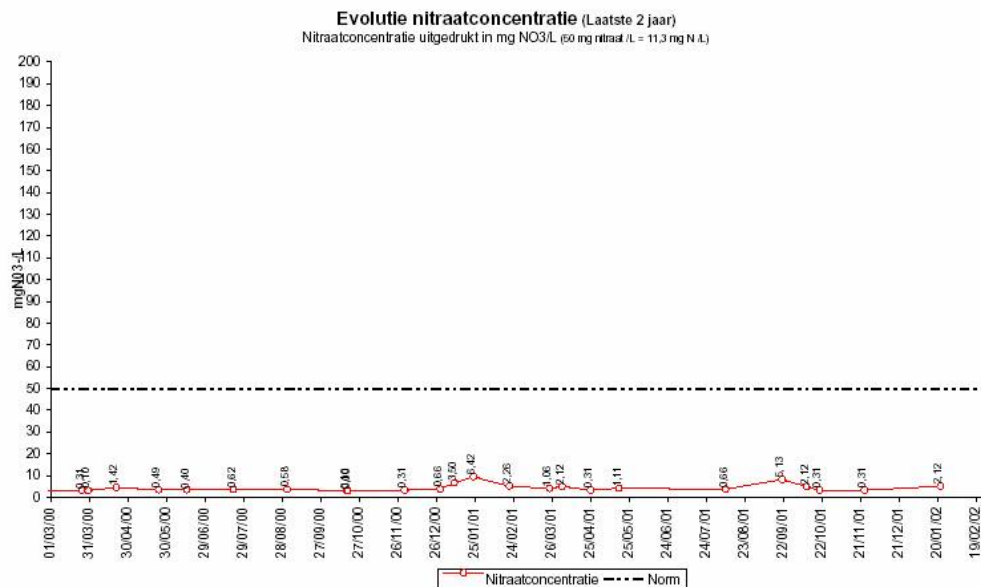
Tabel 1.2: Gewogen gemiddeld nitraatstikstofresidu op de akkers en gemiddelde NO₃-concentratie in het oppervlaktewater voor de 4 stroomgebieden

MAP-meetpunt	Aantal percelen met N-residumeting		Gemiddeld gemeten N-residu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹)		Gewogen gemiddeld N-residu (ifv perceelsopp.) (kg NO ₃ -N ha ⁻¹)		Gemiddelde NO ₃ -concentratie in het oppervlaktewater (mg NO ₃ l ⁻¹)	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	10/2000 - 03/2001	10/2001 - 03/2002
485400	299	361	38.7	81.3	39.6	82.9	5.25	1.79
445250	66	122	47.9	101.4	48.7	103.2	25.81	27.9
146550	141	201	50.5	90.3	49.9	90.6	39.24	30.5
137500	156	188	44.4	65.4	43.7	61.8	9.29	6.18

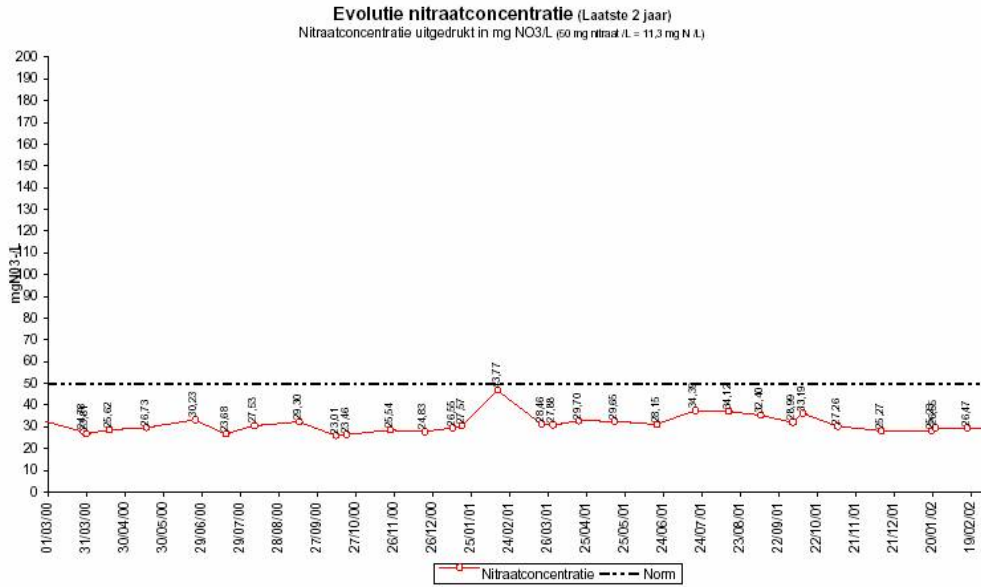


Vlaamse Milieumaatschappij
Afdeling Meetnetten en Onderzoek
Gasthuisstraat 42 - 9300 Aalst
Tel. 053/726.510 - Fax 053/706.344

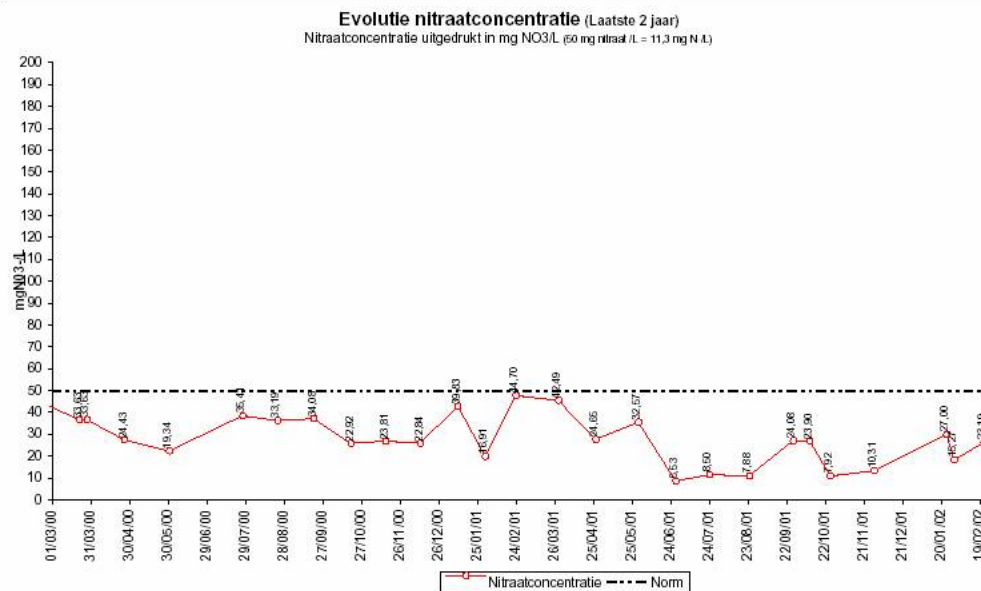
Meetplaatsnummer : 485400 (Slapend)
Waterloop : LANGEGRACHT - VLOETGROUBBE
Gemeente - Provincie : HULDENBERG (Vlaams Brabant)
Straat/Toponiem : Loonbeek, Ganzemanstraat, zandweg op linkerkant, opw weg



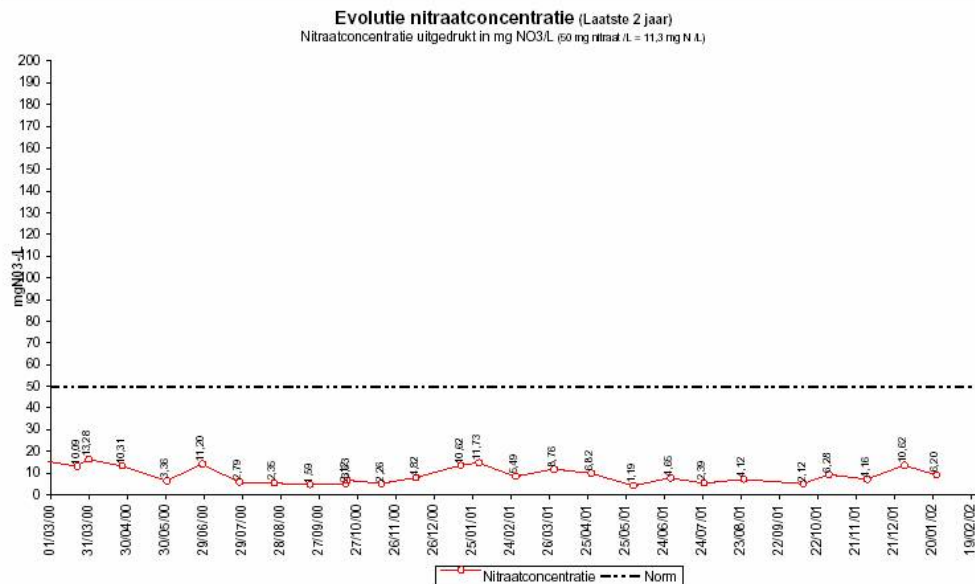
Figuur 1.4: Verloop van de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ter hoogte van MAP-meetpunt 485400



Figuur 1.5: Verloop van de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ter hoogte van MAP-meetpunt 445250



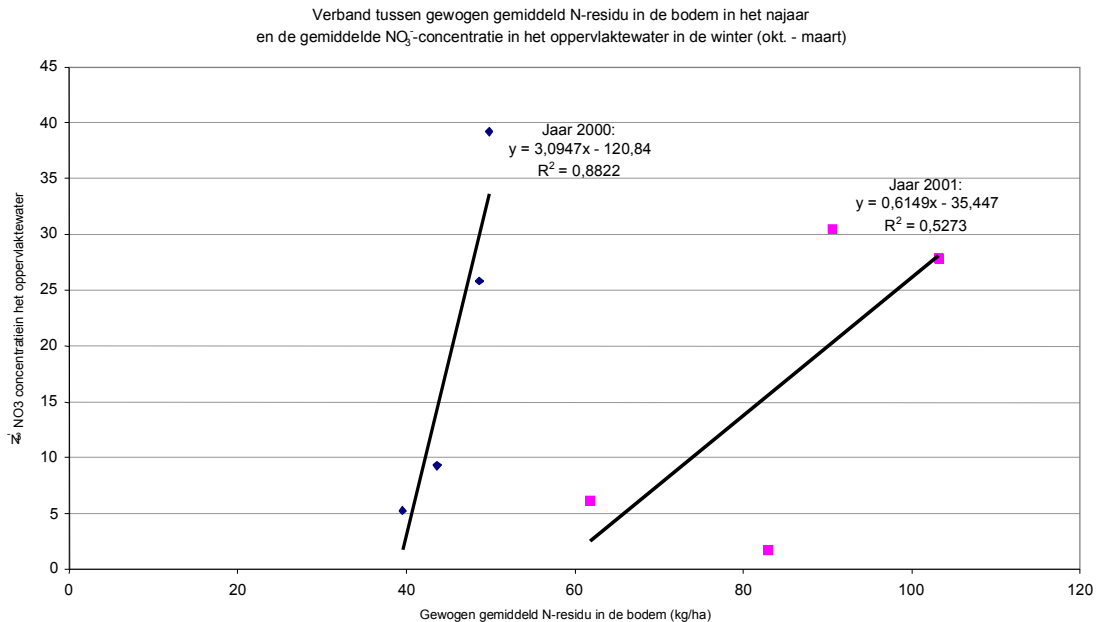
Figuur 1.6: Verloop van de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ter hoogte van MAP-meetpunt 146550



Figuur 1.7: Verloop van de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ter hoogte van MAP-meetpunt 137500

Verband tussen nitraatstikstofresidu en nitraatconcentratie in het oppervlaktewater

Figuur 1.8 geeft het verband weer tussen het gewogen gemiddeld N-residu in de bodem en de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater voor de 4 stroomgebieden waarvan hier sprake is. In 2000 gebeurden de N-residumetingen laat op het jaar, toen al heel wat stikstof was uitgespoeld. Het gemiddeld N-residu varieerde in 2000 in de 4 stroomgebieden tussen de 40 en de 50 kg ha⁻¹. In het jaar 2001 gebeurden de N-residumetingen vroeger op het jaar, waardoor het residu gemiddeld veel hoger is, en de spreiding veel groter (60-100 kg ha⁻¹). Er blijkt hier slechts een zwak verband te zijn tussen N-residu en NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ($R^2 = 0.5$).



Figuur 1.8: Verband tussen gewogen gemiddeld N-residu in de bodem en NO₃-concentratie in het oppervlaktewater in 2000 en in 2001 voor de 4 betrokken stroomgebieden.

Om na te gaan of en in welke mate de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater bepaald wordt door het bodemgebruik in het stroomgebiedje, werden een aantal regressieanalyses uitgevoerd met als afhankelijke variabele de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater, en als onafhankelijke variabelen verschillende combinaties van het oppervlakteaandeel landbouw in het stroomgebiedje, het oppervlakteaandeel bos, het oppervlakteaandeel van percelen waarvoor N-residumetingen beschikbaar zijn, het oppervlakteaandeel van geregistreerde landbouwpercelen waarvoor geen N-residumetingen beschikbaar zijn, het oppervlakteaandeel niet aangegeven landbouwpercelen en een combinatie van het N-residu en het oppervlakteaandeel percelen waarvoor N-residumetingen beschikbaar zijn.

De regressies gebeurden onafhankelijk voor het jaar 2000 en het jaar 2001. Beide staalnamereeksen zijn immers niet vergelijkbaar omdat de staalnames in 2000 later op het jaar gebeurden dan in 2001 (15/11 tot 31/12 in 2000 versus 1/10 tot 15/11 in 2001), waardoor de gemeten residu's in 2000 veel lager zijn dan in 2001.

Uit de regressieanalyses blijkt dat er, op basis van deze gegevens, geen significant verband bestaat tussen het gemiddeld N-residu in de bodem in het najaar, het landgebruik in het bekken, en de gemiddelde NO₃-concentratie in het oppervlaktewater aan de outlet van het stroomgebiedje in de winterperiode (oktober-maart). De verschillende regressies hebben een R-square tussen 0.45 en 0.48 en zijn niet significant ($F > 0.05$). In één van de regressies komt het oppervlakteaandeel bos naar voor als significante beïnvloedende factor voor de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater ($P\text{-value} < 0.05$) (positief verband).

Een gebiedsdekkende bepaling van het N-residu in het bekken, zou de waarde van de gegevens echter sterk kunnen verbeteren. Er wordt een beter verband bekomen wanneer de N-uitspoeling modelmatig benaderd wordt, zodat klimaatsfactoren ook in rekening worden gebracht (zie verder).

Wanneer we niet enkel de 4 hierboven besproken stroomgebieden beschouwen, maar wel alle beschikbare gegevens over N-residu en NO₃-concentratie in het oppervlaktewater in Vlaanderen, kunnen we een “streekgerichte” vergelijking maken van N-residu’s en NO₃-concentratie in het oppervlaktewater. Hiermee wordt bedoeld dat, per landbouwstreek, het gemiddeld N-residu (van alle percelen uit die landbouwstreek waarvan metingen beschikbaar zijn) vergeleken wordt met de gemiddelde NO₃-concentratie in het oppervlaktewater (in alle MAP-meetpunten van die landbouwstreek). Hierbij wordt dus niet meer per stroomgebied gewerkt, maar wel streekgericht. Wanneer we, per landbouwstreek, het gemiddeld N-residu vergelijken met de gemiddelde NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater, dan varieert hun verhouding in het jaar 2000 tussen 0.9 en 1.5, en in het jaar 2001 tussen 1.9 en 2.9 (zie Tabel 1.3). D.w.z. dat de gemiddelde NO₃-concentratie in het oppervlaktewater kan geschat worden door het gemiddeld N-residu (gemeten voor 15/11) te delen door ongeveer 2.5. Opgelet! Deze waarde is niet de zogenaamde “procesfactor”, want die geeft de verhouding weer tussen de gesimuleerde NO₃-concentratie in de waterflux op 90 cm diepte en de NO₃-concentratie in het oppervlaktewater, terwijl het in Tabel 1.3 gaat het over de verhouding N-residu in de bodem / NO₃-concentratie in het oppervlaktewater.

Tabel 1.3: Vergelijking van gemiddeld N-residu en gemiddelde NO₃-concentratie in het oppervlaktewater (gemeten in het kader van het MAP-meetnet) per landbouwstreek

Landbouwstreek	Jaar	N _{res} 0-30cm	N _{res} 30-60cm	N _{res} 60-90cm	N _{res} totaal	Gem. [NO ₃] oppwater	N _{res} / [NO ₃]
Leemstreek	2000	21.9	15.9	11.8	49.6	33.9	1.5
	2001	40.8	28.9	20.4	90.2	30.4	2.9
Zandleemstreek	2000	18.2	13.4	11.4	43.0	47.33	0.9
	2001	36.4	25.0	18.2	79.6	39.5	2.1
Zandstreek	2000	15.6	11.2	11.6	38.4	42.0	0.9
	2001	31.7	23.0	17.9	72.5	37.0	1.9
Kempen	2000	15.5	12.1	11.4	39.0	32.2	1.2
	2001	27.7	20.6	15.8	64.1	30.1	2.1

1.2.2 Afleiding van een procesfactor voor het bekken van de Witte Nete, Mark en Molenbeek

Het bestaan en de grootteorde van een procesfactor werden reeds onderzocht in het doctoraat van El-Sadek (2002). Hierin werd de nitraatconcentratie van het drainagewater gecorreleerd met de nitraatconcentratie van het rivierwater, gemeten in de monding van het bekken. De methode die in volgende paragraaf in het kort wordt toegelicht, berust op het berekenen van de nitraatconcentratie van het drainagewater m.b.v. het model DRAINMOD-N.

Voor de reconstructie op dagbasis van de nitraatconcentratie in het drainagewater werd verondersteld dat elk perceel met een drainagesysteem is uitgerust, waarbij de drains gelegen zijn op een diepte van 1.20 m beneden maaiveld en een tussenafstand van 25 m. De totale diepte van het bodemprofiel werd beperkt tot 2.00 m. Op dagbasis werden per perceel het drainagegebied en de nitraatconcentratie van het drainagewater, respectievelijk uitgedrukt in liter per dag en mg NO₃-N per liter, berekend. Het drainagegebied wordt berekend als de restterm van de waterbalans en uitgedrukt in mm per dag, en op basis van de oppervlakte van het perceel omgezet naar liter per dag. De som van het drainagegebied van alle percelen zal, indien geen andere lozingen in het bekken voorkomen, gelijk zijn aan het debiet dat gemeten wordt in de monding van het bekken. Vervolgens werd de gemiddelde NO₃-N-concentratie van het bekken op dagbasis berekend door de concentraties op perceelsniveau te vermenigvuldigen met de oppervlakte van het perceel, dit getal te sommeren over alle percelen en vervolgens te delen door de oppervlakte van het bekken. Tot slot werd de op vorige wijze berekende NO₃-N-concentratie in de monding vergeleken met de gemeten concentratie. De verhouding tussen beiden wordt aanzien als de procesfactor.

De bemestingsdosissen in kg N per ha, die voor de analyse werden toegepast, zijn voor grasland: 150 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest en 200 kg N ha⁻¹ scheikundige mest; maïs: 125 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest en 150 kg N ha⁻¹ uit scheikundige mest; aardappelen, voederbieten en wintertarwe: 125 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest en 150 kg N ha⁻¹ uit scheikundige mest; en gewassen met lage stikstofbehoefte: 55 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest en 70 kg N ha⁻¹ uit scheikundige mest. Teneinde het effect van de keuze van de NO₃-N-concentratie in het bodemprofiel op dag 1 van de simulatieperiode op de resultaten te beperken werden de berekening met het model opgestart één jaar voor het begin van de simulatieperiode. Deze periode wordt de opwarmingsperiode van het model genoemd. Daardoor mag aangenomen worden dat het hydrisch en stikstofprofiel van de bodems op dag 1 van de simulaties in evenwicht zijn en met vrij grote zekerheid met de werkelijkheid zullen overeenkomen.

De procedure werd toegepast op volgende bekkens en simulatieperiodes: Witte Nete (bekken met een oppervlakte van 40.7 km², gelegen in de Kempen), Mark (bekken met een oppervlakte van 93.62 km², gelegen in de Noorderkempen op de grens tussen Nederland en België), en Molenbeek (bekken met een oppervlakte van 57.44 km², zijrivier van het Denderbekken, gelegen ten westen van Brussel). De bodems in het stroombekken van de Witte Nete en de Mark zijn overwegend zandgrond, met kleiige bodems in de onmiddellijke omgeving van het rivierennetwerk. In het stroomgebied van de Molenbeek zijn het vooral zandleem- tot leembodems. De topografie in het bekken van de Witte Nete en de Mark is vrij vlak, terwijl vrij golvend in het bekken van de Molenbeek. Het aantal 'bodem-gewas' combinaties dat met het model DRAINMOD-N werd doorgerekend bedroeg 32 (8 bodems en 4 teelten) voor het bekken van de Witte Nete, 32 (8 bodems en 4 teelten) voor het bekken van de Marke en 25 (5 bodems en 5 teelten) voor het bekken van de Molenbeek.

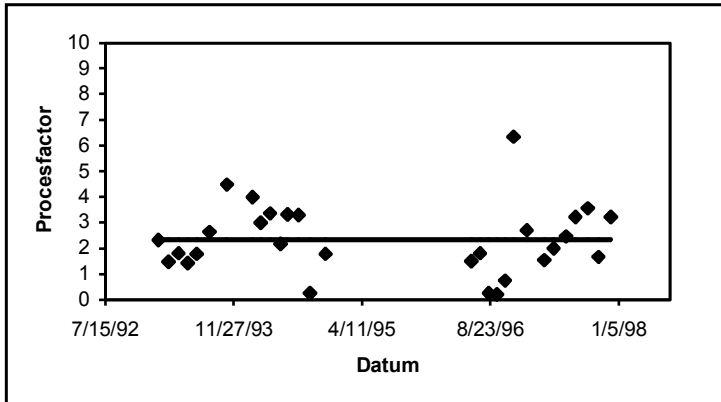
Aansluitend op de opwarmingsperiode van één jaar werd het model voor elke 'bodem-gewas' combinatie per bekken doorgerekend voor volgende perioden: 1 januari 1993 tot en met 31 december 1997 (1826 dagen) voor het bekken van de Witte Nete; 1 januari 1994 tot en met 31 december 1997 (1461 dagen) voor het bekken van de Mark; en 1 januari 1990 tot en met 31 december 1993 (1461 dagen) voor het bekken van de Molenbeek. De simulatieperiode werd in hoofdzaak bepaald door de beschikbaarheid aan debiet- en concentratiegegevens in de uitlaat van de verschillende bekkens.

Het aantal gemeten NO₃-N-concentratiewaarden van het rivierwater in de monding van de drie geanalyseerde bekkens is zeer beperkt. Zo waren voor het bekken van de Witte Nete slechts 29 gemeten dagwaarden van de NO₃-N-concentratie beschikbaar tegenover 1826 via simulatie gereconstrueerde waarden, voor het bekken van de Mark waren 55 meetwaarden en voor de Molenbeek slechts 23 meetwaarden t.o.v. 1461 berekende waarden beschikbaar.

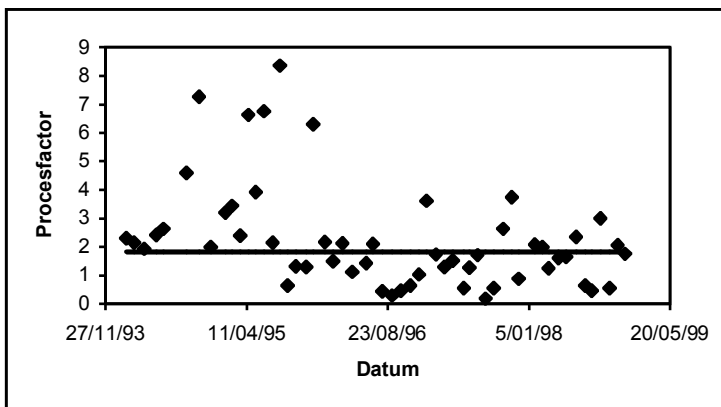
De analyse toonde aan dat:

- de gemiddelde procesfactor, zijnde de verhouding tussen de gemiddeld berekende NO₃-N-concentratie in de monding van het bekken en de gemeten concentratie voor de dagen dat meetwaarden beschikbaar zijn, voor de Witte Nete 2.34 bedroeg, 2.25 voor de Mark en 2.68 voor de Molenbeek;
- de procesfactor geen constante is maar fluctueert. Op basis van de beschikbare meetwaarden voor de procesfactor werd een vrij grote standaardafwijking berekend van respectievelijk 1.34 voor het bekken van de Witte Nete, 1.83 voor de Mark, en 1.10 voor de Molenbeek. M.a.w. de procesfactor voor de Witte Nete varieerde tussen 2.34 ± 1.34 , voor de Mark tussen 2.25 ± 1.83 en de Molenbeek tussen 2.68 ± 1.10 ;
- voor de drie geanalyseerde bekkens werd via optimalisatie een gemiddelde waarde voor de procesfactor afgeleid van 2.40.

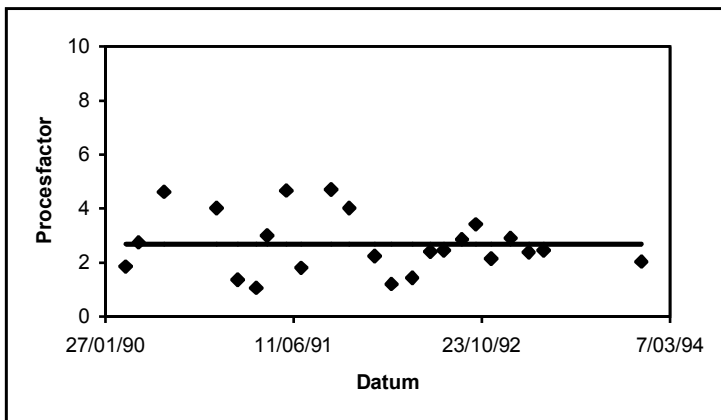
Figuur 1.9 geeft de fluctuatie van de procesfactor weer, respectievelijk voor het bekken van de Witte Nete (boven), Mark (midden) en Molenbeek (onder).



Bekken van de Witte Nete
 (gemiddelde + standaard-
 afwijking = $2.34 + 1.34$)



Bekken van de Mark
 (gemiddelde + standaard-
 afwijking = $2.25 + 1.83$)



Bekken van de Molenbeek
 (gemiddelde + standaard-
 afwijking = $2.68 + 1.10$)

Figuur 1.9: Fluctuatie van de procesfactor voor resp. het bekken van de Witte Nete, Mark en Molenbeek (Naar El-Sadek, 2002)

1.2.3 Afleiding van een procesfactor voor het bekken van de Wijlegemse beek

Inleiding

In het kader van dit onderzoeksproject werd de procesfactor berekend voor het stroomgebied van de Wijlegemse beek. Hierbij werd in tegenstelling met het hierboven vermelde doctoraat niet de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het drainwater gebruikt om C_g te berekenen, maar werd het gesimuleerde cumulatief nitraat- en waterverlies gebruikt om de gemiddelde waarde te berekenen van de nitraatconcentratie in het water dat uit het bodemprofiel draineert op 90 cm aangezien deze aanpak ook gevolgd wordt in de scenarioanalyses met het WAVE-model.

De simulaties werden uitgevoerd met het Burns α -model. De $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie aan de monding van de Wijlegemse beek werd gebruikt als C_s .

Het stroomgebied

Het stroomgebied van de Wijlegemse beek is een klein (230 ha), vnl. agrarisch stroomgebied ($\pm 90\%$) dat afwatert in de Zwalm. De textuur in dit stroomgebied is overwegend (licht) zandleem. In dit stroomgebied werden volgende metingen uitgevoerd:

- Inventarisatie van het $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu in het najaar. Hiervoor werd in oktober 1999 voor de meest voorkomende gewassen (suikerbieten, wintertarwe, maïs, aardappelen en gras) telkens een tiental percelen in het stroomgebied bemonsterd in lagen van 30 cm (tot een diepte van 90 cm) (Moreels *et al.*, 2001). Aan de hand van deze metingen kon een log-normale distributie opgesteld worden voor elk van deze gewassen. Van Meirvenne (1991) en Bogaert *et al.* (2000) vonden immers dat nitraatstikstof in de bodem lognormaal verdeeld was in het najaar en in de winter. Ook op de 3 proefvelden die in het kader van dit project intensief bemonsterd werden in het najaar van 2001 bleek het nitraatstikstofresidu lognormaal verdeeld te zijn (eindrapport deel 3).
- Meting van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie aan de monding van de Wijlegemse beek. Met behulp van een auto-sampler werd op regelmatige tijdstippen een staal genomen van het oppervlaktewater aan de monding van de Wijlegemse beek. Er zijn metingen beschikbaar van januari 1997 tot mei 2001.

Het Burns-model

Burns (1974) ontwikkelde een eenvoudig, 1-dimensionaal model om de verdeling te voorspellen van oplosbare zouten (zoals nitraat) die onderhevig zijn aan uitspoeling en capillaire opstijging. Het model verdeelt het bodemprofiel in een aantal lagen, elk gekenmerkt door hun soortelijk gewicht en het vochtgehalte bij veldcapaciteit en bij verwelkingspunt. De originele evaporatiemodule werd gewijzigd aan de hand van suggesties van Mary *et al.* (1999), zodat de evaporatie nu over verschillende lagen gespreid wordt, in tegenstelling tot Burns' oorspronkelijke implementatie waarbij een laag eerst werd uitgeput tot verwelkingspunt alvorens het bodemwater van de onderliggende laag te gebruiken. Alhoewel een aantal vereenvoudigende veronderstellingen worden gemaakt, heeft dit model het voordeel dat zowel op- als neerwaarts nitraatbewegingen kunnen gesimuleerd worden, zonder parameters te gebruiken die moeilijk kunnen bepaald worden of die moeten gekalibreerd worden.

Eén van de grote nadelen van het model is het feit dat er geen vochtgehalten boven veldcapaciteit kunnen gesimuleerd worden, zodat de toepassing van het model beperkt blijft tot bodems met een

lichte textuur. Daarom werd één parameter aan het model toegevoegd zodat ook vochtgehalten tussen veldcapaciteit en verzadiging konden gesimuleerd worden. Deze α -parameter bepaalt het deel van het mobiele water (d.i. het water dat zich tussen veldcapaciteit en verzadiging bevindt) dat naar de onderliggende bodemlaag zal uitspoelen. Toevoeging van deze parameter heeft echter tot gevolg dat deze parameter moet gekalibreerd worden aan de hand van een veldproef. Het gewijzigde Burns-model zal verder het Burns_ α -model genoemd worden.

Berekening van de procesfactor

De procesfactor kan berekend worden als de verhouding tussen de gemiddelde gesimuleerde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodemwater (op 90 cm) en de gemiddelde gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het oppervlaktewater:

- De **gemiddelde gesimuleerde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie C_g** wordt berekend als de verhouding van de cumulatieve hoeveelheid nitraatstikstof en de cumulatieve hoeveelheid water die het profiel verlaat gedurende de uitspoelingsperiode van 1 oktober tot 31 maart.
- De **gemiddelde gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie C_s** wordt berekend als het gemiddelde van de metingen van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie aan de monding van de Wijlegemse beek. Enkel de metingen tussen 1 oktober en 31 maart worden in beschouwing genomen.

Van elk perceel in het stroomgebied is de oppervlakte gekend, alsook het gewas dat in 1999 op dat perceel werd geteeld. Daar 4 winterperiodes gesimuleerd worden, is het noodzakelijk de gewassen jaarlijks aan te passen. Hiervoor werd uitgegaan van de veronderstelling dat maïs geteeld werd in monocultuur, dat weiden permanent zijn en dat aardappelen, suikerbieten en wintertarwe in een gewasrotatie voorkomen. Bedekking door groenbemesters werd niet gesimuleerd.

Elk perceel werd doorgerekend met het Burns_ α -model van 1 januari 1997 tot en met 31 mei 2001. Initialisatie van het $\text{NO}_3\text{-N}$ - en vochtgehalte gebeurde steeds op 1 oktober. Het $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte werd jaarlijks voor elke laag en voor elk perceel bepaald aan de hand van een willekeurige trekking uit de verdeling voor het desbetreffende gewas, opgesteld aan de hand van de inventarisatie (zie hoger) zodat elke winter gesimuleerd werd met een ander nitraatgehalte (dus een andere trekking uit de verdeling). Deze simulaties leverden het cumulatief $\text{NO}_3\text{-N}$ - en waternverlies voor elk perceel in het stroomgebied. Vervolgens werd het oppervlakte-gewogen gemiddelde van deze cumulatieve waarden berekend voor elk van de 4 uitspoelingsperiodes. Dit proces werd 100 maal herhaald (Monte Carlo benadering) en de gemiddelde gesimuleerde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie (C_g) werd gebruikt om de procesfactor te berekenen. Tabel 1.4 toont de waarden van deze gemiddelde gesimuleerde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties voor elk van de uitspoelingsperiodes, alsook de gemiddelde gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties van het oppervlaktewater.

Tabel 1.4: De gemiddelde gesimuleerde NO₃-N-concentratie in het bodemwater (C_g), de gemeten NO₃-N -concentratie in het oppervlaktewater (C_s) en de procesfactor (W) per uitspoelingsperiode

Winter	C _g mg NO ₃ -N l ⁻¹	C _s mg NO ₃ -N l ⁻¹	W -
1997-1998	23.8	8.9	2.7
1998-1999	21.2	10.1	2.1
1999-2000	25.4	10.7	2.4
2000-2001	21.6	9.5	2.3
Gemiddeld	23.0	9.8	2.4

De gemiddelde procesfactor over de 4 beschouwde winterperiodes bedraagt 2.4. Dit betekent dat de gemiddelde gesimuleerde NO₃-N-concentratie in het bodemwater op 90 cm onder het maaiveld 2.4 maal zo groot is als de gemiddelde gemeten NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater.

De procesfactor afgeleid voor het bekken van de Wijlegemse beek, komt zeer goed overeen met de gemiddelde procesfactor berekend door El-Sadek (2002) voor de bekkens van de Witte Nete, Mark en Molenbeek ondanks een aantal verschillen in modelconcepten en werkwijze. Opgemerkt wordt dat het Burns_α-model eenvoudiger van concept is dan het DRAINMOD-N model. In het Burns_α-model wordt het vochtgehalte en het nitraatgehalte in het bodemprofiel op eenvoudige wijze gereconstrueerd, daar waar in het DRAINMOD-N model gebruik wordt gemaakt van differentiaalvergelijkingen voor het berekenen van de verdeling van het bodemvocht- en nitraatprofiel. Bovendien wordt, in tegenstelling met het doctoraat van El-Sadek niet de NO₃-N-concentratie in het drainwater gebruikt om C_g te berekenen, maar werd hier het gesimuleerde cumulatief nitraat- en waterverlies gebruikt om de gemiddelde waarde te berekenen van de nitraatconcentratie in het water dat uit het bodemprofiel draineert op 90 cm.

1.3 Procesfactor voor het grondwater

1.3.1 Probleemstelling

Bij het verticaal transport van nitraat naar het diepe grondwater doen zich gelijkaardige fenomenen voor als bij het lateraal transport van nitraat naar het oppervlaktewater (verduunnings- en transformatieprocessen). Dit bevestigt dat er ook een zekere procesfactor zal bestaan voor grondwater, maar de grootte van die procesfactor is niet gekend en zal vermoedelijk verschillen van de hierboven afgeleide procesfactor voor het oppervlaktewater.

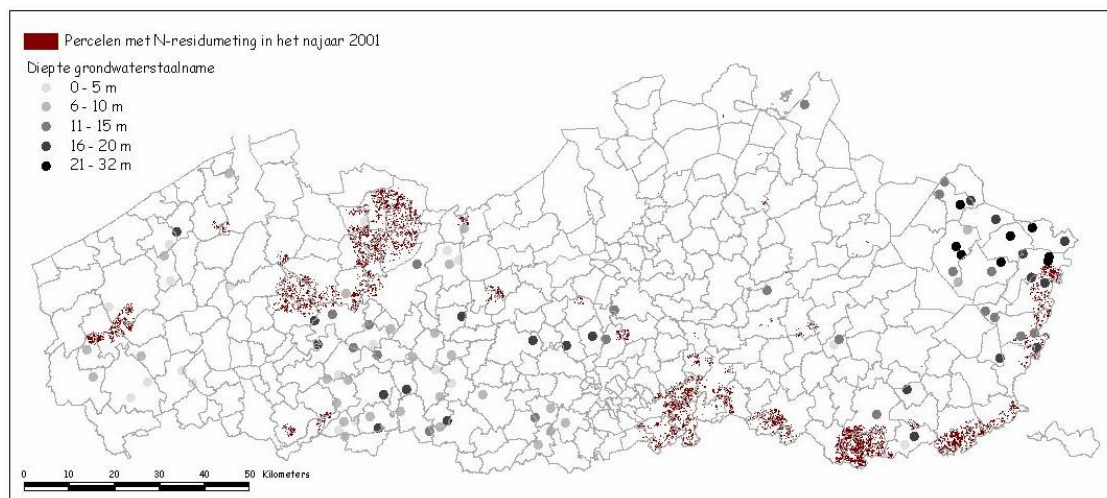
Algemeen kunnen we stellen dat er, net zoals voor oppervlaktewater, ook een procesfactor bestaat voor grondwater, die zou toelaten de NO₃-N-concentratie in het grondwater te voorspellen a.h.v. de NO₃-N-concentratie in het water dat de wortelzone verlaat op 90 cm. Het schatten van een procesfactor voor het grondwater, is echter niet zo evident.

1.3.2 Relatie tussen nitraatstikstofresidumetingen en nitraatmetingen van het grondwatermeetnet

Om de procesfactor voor het grondwater te kwantificeren, werd getracht om de resultaten van het grondwatermeetnet te correleren met de metingen van het nitraatstikstofresidu in het kader van de beheersovereenkomsten.

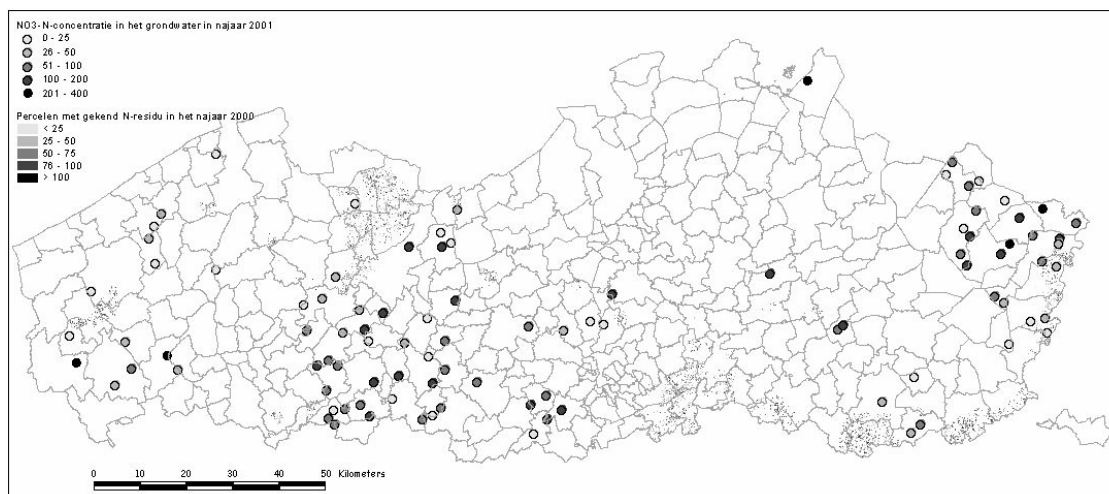
Beschikbare gegevens

- nitraatstikstofresidumetingen in de bodem in het najaar (voor nov. – dec. 2000 en okt. – nov. 2001) voor de percelen in kwetsbare zones, die een beheersovereenkomst hebben afgesloten (totaal ongeveer 23 000 percelen, cfr. supra);
- nitraatconcentraties in het grondwater (98 punten, uit de vergunningendatabank van AMINAL Afdeling Water). De spreiding en de diepte van de grondwaterstaalnames waar de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie werd gemeten, is weergegeven in Figuur 1.10.



Figuur 1.10: Ligging van de percelen met N-residumeting en van de grondwaterstaalnames (incl. staalnamediepte) waar $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie werd bepaald

De gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grondwater in Vlaanderen, zijn weergegeven op Figuur 1.11.



Figuur 1.11: Gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grondwater in Vlaanderen

Uit bovenstaande figuren blijkt dat de gegevens van het grondwatermeetnet beperkt zijn in de gebieden waar gegevens van het nitraatstikstofresidu beschikbaar zijn. Het is bovendien onmogelijk om een verband te zoeken tussen het nitraatstikstofresidu in de bodem en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het grondwater op basis van deze data aangezien het in deze dataset niet bekend is welke velden bijdragen tot de gemeten nitraatconcentratie in het betreffende meetpunt van het grondwatermeetnet en aangezien de nitraatconcentratie in het diepe grondwater de resultante is van meerdere jaren.

In de volgende paragraaf worden aanbevelingen geformuleerd om de procesfactor voor het grondwater in de toekomst wetenschappelijk te onderbouwen.

1.3.3 Toekomstige aanpak voor onderbouwing van een procesfactor voor het grondwater

Alvorens een procesfactor af te leiden voor het grondwater, dient men te definiëren wat men onder ‘grondwater’ verstaat. Men moet onderscheid maken tussen het ondiepe grondwater, zijnde de *freatische waterlaag*, en het diepe grondwater, zijnde de *artesische waterlagen*. Het percolatiewater aan de onderzijde van het bodemprofiel draineert vrij in de freatische waterlaag, maar niet in de artesische waterlagen. De hoeveelheid die in deze laatste percoleert hangt af van de dikte en de hydraulische eigenschappen van de afsluitende laag.

De verhouding van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie van het percolatiewater en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in de freatische waterlaag wordt bepaald door:

- de af te leggen weg tussen de onderzijde van het bodemprofiel en de diepte van het freatisch oppervlak (kan variëren tussen 0 tot meer dan 10 m, bv. in de leemstreek);
- de denitrificatie die plaatsgrijpt op de weg tussen de onderkant van het bodemprofiel en de bovenkant van het freatisch oppervlak;
- de verdunning die optreedt in de freatische waterlaag, welke zal afhangen van de concentratie en de dikte van de freatische waterlaag;
- de vernieuwing van de freatische waterlaag via hemelwater en laterale stroming; en
- de diepte waarop in de freatische waterlaag de concentratie wordt gemeten.

Daar deze factoren ruimtelijk zeer sterk kunnen variëren is het onmogelijk om zo maar een procesfactor voor het ondiepe grondwater af te leiden. Dit vergt op een aantal representatieve

plaatsen een gedetailleerd onderzoek. Dit onderzoek omvat het meten van tijdreeksen van het percolatievolume en de NO₃-N-concentratie van het percolatiewater, en het meten van de NO₃-N-concentratie van de freatische waterlaag op verschillende diepten beneden het freatisch oppervlak, en dit voor verschillende ‘gewas-bodem-bemesting’ combinaties en diepten van het freatisch oppervlak. De metingen, voor een correcte interpretatie, dienen te worden onderbouwd met modellering. Op basis van een voldoende aantal metingen op representatieve sites kan een procesfactor voor het ondiepe grondwater worden gereconstrueerd. Deze factor zal (a) kleiner zijn en (b) sterker variëren dan de procesfactor afgeleid voor het oppervlaktewater, omdat het reservoir van het oppervlaktewater voor een gegeven site [perceeloppervlakte (orde van grootte ha) maal de dikte van de onderliggende waterlaag] heel wat kleiner is dan het ondiepe reservoir van een bekken [oppervlakte bekken (orde van grootte km²) maal de dikte van de onderliggende waterlaag]. Het is echter onmogelijk met de gegevens die in Vlaanderen beschikbaar zijn een betrouwbare waarde voor deze procesfactor af te leiden.

Voor het diepe grondwater (artesische waterlagen) is het aanzienlijk moeilijker een procesfactor af te leiden. De NO₃-N-concentratie in een gegeven punt van een artesische waterlaag wordt bepaald door de geologische opbouw van het gebied, de influx van NO₃-N in het infiltratiegebied van de artesische waterlaag, de weg die door het insijpelend water dient te worden afgelegd tussen de intrekzone en de locatie waar gemeten wordt, de geo-chemische eigenschappen van de artesische waterlaag, de activiteiten aan de oppervlakte ter plaatse van het meetpunt en de doorsijpeling van nitraatgeladen percolatiewater in de artesische waterlaag (is de artesische waterlaag aan de bovenkant afgesloten door een ondoorlatende laag dan kan er natuurlijk geen percolatiewater insijpelen, en dus ook geen contaminatie met NO₃-N optreden).

Om te weten of een artesische waterlaag al dan niet bedreigd wordt met de infiltratie van nitraathoudend percolatiewater dienen studies te worden uitgevoerd van het type GAME-ws¹. In opdracht van het Studiecentrum voor Water (SVW) werd voor de drinkwaterwinning in Olen van PIDPA een regionale studie uitgevoerd om het risico op NO₃-N-contaminatie van de waterlaag waaruit het drinkwater wordt gewonnen te onderzoeken. Voor een aantal scenario's kon dit risico, een risico dat uitermate klein is, naar de toekomst toe worden begroot. De experimentele en modelexpertise opgebouwd in dit project kan worden aangewend voor andere sites van drinkwatervoorziening, gespreid over Vlaanderen. Op basis van dergelijke studies kan eventueel een procesfactor voor het diepe grondwater (artesische waterlagen) worden afgeleid.

Op basis van de bestaande schaarse gegevens en de beperkte interpretatie van deze gegevens met aangepaste modellen is het onmogelijk voor het diepe grondwater een betekenisvolle waarde voor de procesfactor af te leiden.

Met de toekomstige uitbreiding van het grondwatermeetnet zullen meer data beschikbaar komen wat een onderbouwing van de procesfactor voor het diepe grondwater in de toekomst zal vergemakkelijken.

¹ Experimentele en kwantitatieve analyse van het transport van stikstof in waterwinningsgebieden, 2002. Instituut voor Land- en Waterbeheer (K.U.Leuven), Expertisecentrum voor Milieudiagnostiek (VITO) en Danish Hydraulic Institute (DHI).

1.4 Besluit

In dit hoofdstuk werd aangetoond dat er voor de omzetting van de gesimuleerde nitraatconcentraties in de waterflux op 90 cm diepte naar nitraatconcentraties in het oppervlaktewater en grondwater een bepaalde omzettingsfactor gebruikt dient te worden. Deze 'procesfactor' brengt allerlei N-transformaties en processen (zoals verdunning, denitrificatie,...) in rekening.

2

De procesfactor voor het oppervlaktewater werd gekalibreerd en gevalideerd voor in totaal vier verschillende stroombekkens met verschillende textuur, voor verschillende jaren en met twee verschillende modellen (DRAINMOD en Burns _{α}). Hieruit bleek dat de procesfactor jaarsafhankelijk is. Gemiddeld over de verschillende jaren bekwam men een waarde van 2.4 voor zowel het Burns _{α} -model als het DRAINMOD-model. Voor het DRAINMOD-model was de afleiding van de procesfactor gebaseerd op het doctoraat van El-Sadek (2002). De simulaties met het Burns _{α} -model vonden plaats in het kader van het N-(eco)²-project.

De waarde 2.4 zal verder gehanteerd worden voor de interpretatie van de modeluitvoer en bij de afleiding van de nitraatstikstofresidunormen.

Voor het grondwater kan aangenomen worden dat zich dezelfde fenomenen voordoen, maar de kwantificering van een dergelijke procesfactor voor het grondwater is niet evident. Er werd evenwel door het consortium een mogelijke aanpak beschreven om de procesfactor voor het grondwater in de nabije toekomst af te leiden.

2 Scenarioanalyse ter bepaling van de relatie tussen nitraatstikstofresidu en nitraatuitspoeling

2.1 Inleiding

Nadat het WAVE-model gekalibreerd en gevalideerd werd aan de hand van de metingen op de 20 geselecteerde proefvelden (eindrapport 2), werd het aangewend in scenarioanalyses zodat voor de belangrijkste ‘bodem-gewas(rotatie)-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen voorspellingen inzake nitraatuitspoeling konden gedaan worden voor een tijdsreeks van 30 jaar. De resultaten van de scenarioanalyses, samen met expertkennis, leidden tot een technische vertaling van de Europese grenswaarde van 50 mg NO₃ l⁻¹ of 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ in grond- en oppervlaktewater in een perceelsgewijze controleerbare nitraatstikstofresidunorm in de bodem. Anderzijds werd ook de nodige aandacht besteed aan de vertaling van de Europese richtwaarde van 25 mg NO₃ l⁻¹ of 5.65 mg NO₃-N l⁻¹ in een richtwaarde voor het nitraatstikstofresidu.

De resultaten van de scenarioanalyses werden cartografisch weergegeven.

Uiteraard moet er rekening worden gehouden met een bepaalde foutenmarge op de modelresultaten aangezien er onzekerheid bestaat rond de waarde van bepaalde modelparameters. De resultaten van de gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse worden eveneens in dit hoofdstuk voorgesteld.

2.2 Doelstelling en aanpak

De scenarioanalyse ter bepaling van de relatie tussen nitraatstikstofresidu en nitraatuitspoeling heeft tot doel om het maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu op 1 oktober te bepalen waarbij voldaan wordt aan de nitraatrichtlijn, en dit voor een aantal combinaties van bodem, oogstrest, gewas, en verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel.

De scenarioanalyse bestaat uit twee delen. Het eerste deel (SA1a) is gebaseerd op de proefvelden die zijn gebruikt voor kalibratie en validatie van de modellen (eindrapport 2). Het tweede deel (SA1b) is uitgevoerd voor de 20 meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties per landbouwstreek. Om deze simulaties mogelijk te maken dienden de weerhouden ‘bodem-gewas’ combinaties gekarakteriseerd te worden met alle inputgegevens (bodemparameters, klimaatgegevens, grondwaterstandsverloop) die het WAVE-model in staat stellen de beoogde modeloutput te genereren. Hiertoe werd een databank opgesteld waaruit de voor het model vereiste inputgegevens automatisch opvraagbaar zijn voor het uitvoeren van scenarioanalyses. Voor de opbouw en beschrijving van deze N-(eco)²-GIS databank wordt verwezen naar eindrapport 2.

Voor beide scenarioanalyses werd enkel de periode van 1 oktober tot 31 maart beschouwd aangezien in deze periode het risico op nitraatuitspoeling reëel is. Uit de metingen van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater (MAP-meetnet van de VMM) komt immers duidelijk de seizoensgevoeligheid naar voor van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater. In de zomer nemen de gewassen meer stikstof op en is er minder neerslagoverschot (hogere temperaturen, meer evapotranspiratie). In de winter is de nitraatconcentratie vaak hoog. Dit is toe te schrijven aan de soms hoge nitraatstikstofresidu's, het grote neerslagoverschot en geen of zeer weinig opname van stikstof door een gewas.

2.3 Datainvoer voor SA1a

In SA1a werd voor elke combinatie van textuur, hydrologie en gebruik (akker of weide), indien mogelijk, het proefveld geselecteerd dat de beste resultaten gaf bij de kalibratie en validatie van de modellen (Tabel 2.1). Elk geselecteerd proefveld werd vervolgens gecombineerd met bepaalde oogstresten en/of gewassen, zodat 29 ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties ontstonden (Tabel 2.2). Als gewas (tijdens de winter) werden enkel wintertarwe, gras en groenbemesters (onderscheid tussen grasachtige en bladrijke groenbemesters) in beschouwing genomen. De invoerparameters voor WAVE werden overgenomen van de kalibratie- en validatiefase (zie eindrapport deel 2 bijlage 8).

Tabel 2.1: Overzicht van de gekalibreerde en gevalideerde proefvelden gebruikt in SA1a per ‘textuur-hydrologie-gebruik’ combinatie

veldnummer	plaats	textuur	hydrologie	gebruik
256	Kasterlee	zand	droog	akker
261	Lichtaart	zand	droog	weide
5	Assenede	zand	nat	akker
6	Sint-Laureins	zand	nat	weide
264	Bekkevoort	zandleem	droog	akker
8	Elverdinge	zandleem	nat	akker
266	Leefdaal	leem	droog	akker
3	Sint-Laureins	klei	droog	akker

Tabel 2.2: Overzicht van de '(textuur-hydrologie-gebruik)-oogstrest-gewas' combinaties gebruikt in SA1a

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas
zand	droog	akker	mais	geen
zand	droog	akker	aardappelen	geen
zand	droog	weide	geen	gras
zand	nat	akker	mais	geen
zand	nat	akker	aardappelen	geen
zand	nat	weide	geen	gras
zandleem	droog	akker	tarwe	geen
zandleem	droog	akker	tarwe	grasachtige gb
zandleem	droog	akker	tarwe	bladrijke gb
zandleem	droog	akker	mais	geen
zandleem	droog	akker	mais	tarwe
zandleem	droog	akker	aardappelen	geen
zandleem	droog	akker	bloemkool	geen
zandleem	nat	akker	tarwe	geen
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb
zandleem	nat	akker	mais	geen
zandleem	nat	akker	mais	tarwe
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen
leem	droog	akker	tarwe	geen
leem	droog	akker	tarwe	grasachtige gb
leem	droog	akker	tarwe	bladrijke gb
leem	droog	akker	suikerbieten	geen
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe
klei	droog	akker	tarwe	geen
klei	droog	akker	aardappelen	geen
klei	droog	akker	suikerbieten	geen
klei	droog	akker	suikerbieten	tarwe

* gb = groenbemester

2.4 Datainvoer voor SA1b

Deze scenarioanalyse werd uitgevoerd voor de in Vlaanderen meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek: de Kempen, de Vlaamse Zandstreek, de Polders, de Duinen, de Zandleemstreek, de Leemstreek en de Weidestreek. De afbakening van de verschillende landbouwstreken is terug te vinden in Hoofdstuk 1 van het eindrapport deel 2.

Om deze simulaties mogelijk te maken werden de weerhouden 'bodem-gewas' combinaties gekarakteriseerd met alle inputgegevens (bodemparemeters, klimaatgegevens, grondwaterstandsverloop) die het WAVE-model in staat stellen de beoogde modeloutput te genereren. Hiertoe werd een databank, N-(eco)²-GIS, opgesteld waaruit de voor het model vereiste inputgegevens automatisch opvraagbaar zijn voor het uitvoeren van scenarioanalyses.

De opbouw van deze databank werd uitvoerig beschreven in eindrapport deel 2. In wat volgt zal dieper ingegaan worden op de automatische databevraging.

Naast interactieve databevraging is ook batchverwerking mogelijk, zodat de gewenste gegevens geautomatiseerd kunnen worden opgevraagd en weggeschreven als DBASE-tabellen. Het wordt dus mogelijk om voor elk scenario de kaarteenheden te karakteriseren met de invoergegevens voor WAVE (programmatie op maat).

Een N-(eco)²-scenario kan worden gedefinieerd door een ruimtelijke begrenzing (gemeente, landbouwstreek,...), een teeltrotatie, een bemestingsregime.

Het N-(eco)²-GIS laat toe kaarteenheden te identificeren die binnen de geselecteerde begrenzing voorkomen, deze kaarteenheden te karakteriseren met de bodemgegevens en deze info in dbf-formaat aan te bieden voor modellering.

2.4.1 Karakterisering van de meest voorkomende combinaties met bodemeigenschappen, gewas en gesimuleerd grondwaterverloop

Voor het bepalen van de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties per landbouwstreek, werd gebruik gemaakt van de bodemkaart (bron: OC-GIS Vlaanderen, versie 1999) en de bij de Mestbank aangegeven landbouwgebruikspcelen van 1998 (bron: VLM, Mestbank). Per landbouwstreek werd met GIS-software (Arc/Info) een overlay gemaakt van beide datalagen, waarop vervolgens een oppervlakteanalyse werd gedaan van alle voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties.

Bij het extraheren van bodemgegevens uit de Aardewerk-BIS-tabellen, wordt gebruik gemaakt van de uitgebreide bodemserie (inclusief substraat, varianten en fase) i.p.v. de bodemkernserie (enkel textuur, drainageklasse en profielontwikkeling). Daarom werd voor elke landbouwstreek een oppervlakteanalyse uitgevoerd van de combinaties ‘*uitgebreide bodemserie-gewas*’. Uiteraard verschilt deze analyse in beperkte mate van de voorgaande oppervlakteanalyses van ‘bodemkernserie-gewas’ combinaties, zoals gerapporteerd in Hoofdstuk 1 van het tweede deel van het eindrapport.

Onderstaande tabellen (Tabel 2.3 tot en met Tabel 2.9) geven voor elke landbouwstreek de meest voorkomende combinaties van de uitgebreide bodemserie met gewas (1998). Naast de absolute en relatieve oppervlakte van elke combinatie, geeft de tabel ook aan welke invoergegevens voor WAVE dienen te worden gebruikt: ‘CodeA’ geeft aan welke de relevante bodemkenmerken zijn, ‘grondwater’ geeft aan welk grondwaterstandverloop relevant is. Grondwaterstandsverlopen gebaseerd op een AMINAL-meetreeks worden weergegeven met hun meetpuntnummer (bv. 1-0262), gevolgd door het weerstation waarvan de gegevens gebruikt werden voor het genereren van het grondwaterstandsverloop op dagbasis (kb = Kleine Brogel, u = Ukkel). De grondwaterstandsverlopen voor de polderbodems worden enkel door hun AMINAL-meetpuntnummer weergegeven, zonder indicatie van een weerstation, omdat de grondwaterstandsverlopen op basis van deze meetreeksen slechts met de gegevens van één weerstation (Koksijde) werden gegenereerd. Grondwaterstandsreeksen die gebaseerd zijn op de metingen op een proefveld dat gevolgd werd in het kader van het N-(eco)²-project, worden benoemd met “prv” + het nummer van het N-(eco)²-proefveld + een code voor de gebruikte klimaatsgegevens. ‘Bodem-gewas-klimaat’ combinaties waarvoor op basis van de beschikbare grondwaterstandsmeetreeksen, geen grondwaterstandsverloop op dagbasis kon gegenereerd worden, kregen code “?”. Deze scenario’s konden niet doorgerekend worden met WAVE. ‘Bodem-gewas-klimaat’ combinaties met een grondwaterstand dieper dan 2 meter, worden bij de scenarioanalyses beschouwd als bodems met vrije drainage. Zij kregen code “> 2m diep” in Tabellen 2.3 t.e.m. 2.9.

De ruimtelijke extrapolatie van de gesimuleerde grondwaterstandverlopen werd besproken in deel 2 van het eindrapport.

Voor een aantal 'bodem-gewas' combinaties is geen grondwaterstandverloop gegenereerd. Het betreft droge bodems, waarbij het grondwater steeds dieper dan 2 meter zit en 'bodem-gewas' combinaties waarvoor geen relevante grondwaterstandmeetreeks beschikbaar is (Efp onder gras, Lhc onder gras, P6 onder gras en OG1 onder gras). Vermits de profieldikte in de simulatie maar 2 meter bedraagt, werden de bodems met een grondwaterstand onder 2 meter beneden maaiveld beschouwd als profielen met vrije drainage.

Om te bepalen welke bodems gedraineerd zijn en welke niet, werd gebruik gemaakt van de bodemgeschiktheidstabellen voor Vlaanderen. In deze tabellen is voor heel wat 'bodem-gewas' combinaties aangegeven of de bodem zeer geschikt (code 1) of totaal ongeschikt is (code 5) voor de teelt van een bepaald gewas. Wanneer een natte bodem theoretisch weinig geschikt is voor een bepaald gewas (code 4 of 5), en het gewas komt toch voor op die bodem, dan wordt verondersteld dat de bodem kunstmatig gedraineerd wordt. De geschatte grondwaterstandreeksen werden gekalibreerd op basis van meetreeksen in gebieden waar grachten aanwezig zijn (de aanwezigheid van grachten wordt dus niet als 'drainage' beschouwd).

De scenarioanalyses werden enkel uitgevoerd met het WAVE-model en niet met DRAINMOD. DRAINMOD was oorspronkelijk bedoeld om berekeningen uit te voeren voor de gedraineerde bodems aangezien WAVE hiervoor niet geschikt is. De specifieke structuur van de invoer- en uitvoerbestanden van DRAINMOD maken de automatisatie van de scenarioanalyses m.b.v. Access echter onmogelijk.

Combinaties waarin de gewassen wintergerst, vlas of fruitbomen voorkwamen werden niet in rekening gebracht bij de 20 meest voorkomende combinaties omdat hiervoor geen gewasspecifieke modelinvoergegevens bestonden. Eveneens werd een beperkt aantal combinaties waarvoor onvoldoende gegevens voorhanden waren, weggelaten uit de lijst van 20 meest voorkomende combinaties. In Tabel 2.3 tot en met Tabel 2.9 zijn de niet weerhouden combinaties schuin gedrukt, terwijl de weerhouden combinaties genummerd zijn van 1 tot en met 20. Voor de landbouwstreek 'Duinen' konden maar 16 combinaties weerhouden worden waarvan combinatie 15 dezelfde is als combinatie 9 van de landbouwstreek 'Polders'. Daardoor werden maar 15 combinaties doorgerekend voor de landbouwstreek 'Duinen'. De bijdrage van de niet weerhouden velden werd weggelaten uit '% cumulatieve oppervlakte'. Vermits er slechts met zekerheid 3 gedraineerde bodems voorkwamen (op basis van de hogervermelde werkwijze) in de lijst met 136 weerhouden 'bodem-gewas' combinaties en DRAINMOD niet werd gebruikt voor de scenarioanalyse, werd toch verondersteld dat deze drie bodems niet zijn gedraineerd zodat ze met het WAVE model konden worden doorgerekend.

In de scenarioanalyse werd de in de tabellen weergegeven teelt in 1998 in het begin van elke winterperiode als oogstrest ingegeven. Enkel gras werd beschouwd als een permanente teelt zodat de grasgroei ook tijdens de winterperiode werd gemodelleerd. De wintergewassen wintertarwe en groenbemesters werden in tegenstelling tot SA1a niet opgenomen in SA1b.

Tabel 2.3: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Kempen

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grond-water</i>
1	Zdg	gras	4086,5	3,2	3,2	kempen_1722	7-0355kb
2	Zdg	maïs	3220,1	2,5	5,7	kempen_1722	7-0355kb
3	Zeg	gras	2612,4	2,0	7,7	kempen_1223	prv5kb
4	Zcm	gras	1531,9	1,2	8,9	kempen_683	4-0009kb
5	Zeg	maïs	1529,9	1,2	10,1	kempen_1223	prv5kb
6	Zcm	maïs	1521,9	1,2	11,3	kempen_683	4-0009kb
7	Zdm	gras	1209,7	0,9	12,2	kempen_1503	7-0355kb
8	Sdm	gras	1130,7	0,9	13,1	kempen_647	7-0355kb
9	w-Seg	gras	1083,2	0,8	13,9	kempen_1687	prv5kb
10	Zcg	gras	1021,4	0,8	14,7	kempen_490	4-0009kb
11	Sdg	gras	1019,3	0,8	15,5	kempen_1233	7-0355kb
12	Sepz	gras	1005,6	0,8	16,3	kempen_22502	prv5kb
13	Scm	gras	994,5	0,8	17,1	kempen_563	4-0009kb
14	Zcg	maïs	984,2	0,8	17,9	kempen_490	4-0009kb
15	Zdgb	gras	956,0	0,7	18,6	kempen_593	7-0355kb
16	Zdgy	gras	940,9	0,7	19,3	kempen_953	7-0355kb
17	Sdg	maïs	923,0	0,7	20,1	kempen_1233	7-0355kb
18	Scm	maïs	901,2	0,7	20,8	kempen_563	4-0009kb
19	Zdm	maïs	857,7	0,7	21,4	kempen_1503	7-0355kb
20	Sdm	maïs	840,9	0,7	22,1	kempen_647	7-0355kb

Tabel 2.4: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Leemstreek

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grondwater</i>
1	Aba1	wintertarwe	5560,4	9,4	9,4	leemstreek_3068	> 2m diep
2	Aba1	suikerbieten	3504,6	5,9	15,3	leemstreek_3068	> 2m diep
	<i>Aba1</i>	<i>fruit(bomen)</i>	<i>1855,8</i>	<i>3,1</i>		<i>leemstreek_3068</i>	<i>> 2m diep</i>
3	Aba1	gras	1749,7	3,0	18,3	leemstreek_3068	> 2m diep
4	Abp1	wintertarwe	1504,6	2,5	20,8	leemstreek_2871	> 2m diep
	<i>Aba1</i>	<i>wintergerst</i>	<i>1486,6</i>	<i>2,5</i>		<i>leemstreek_3068</i>	<i>> 2m diep</i>
5	Abp(c)	wintertarwe	1380,7	2,3	23,1	leemstreek_2870	> 2m diep
6	Aba1	mâis	1373,2	2,3	25,4	leemstreek_3068	> 2m diep
7	Abp1	suikerbieten	989,6	1,7	27,1	leemstreek_2871	> 2m diep
8	Abp(c)	suikerbieten	944,2	1,6	28,7	leemstreek_2870	> 2m diep
9	ADp	gras	839,1	1,4	30,1	leemstreek_8155	1-0262u
10	Abp	gras	804,1	1,4	31,5	leemstreek_2871	> 2m diep
11	Aba0	wintertarwe	731,0	1,2	32,7	leemstreek_2954	> 2m diep
12	Aba1	aardappelen	636,7	1,1	33,8	leemstreek_3068	> 2m diep
13	Aca1	gras	609,1	1,0	34,8	zale3_6974	3-0075 u
14	Ada	wintertarwe	578,4	1,0	35,8	leemstreek_2890	1-0262u
	<i>Aba0</i>	<i>fruit(bomen)</i>	<i>544,6</i>	<i>0,9</i>		<i>leemstreek_2954</i>	<i>> 2m diep</i>
15	Acp1	gras	530,2	0,9	36,7	leemstreek_2564	3-0075 u
16	Abp(c)	gras	525,8	0,9	37,6	leemstreek_2870	> 2m diep
17	Aca1	wintertarwe	521,5	0,9	38,5	zale3_6974	3-0075 u
	<i>Aba1</i>	<i>Vlas</i>	<i>469,6</i>	<i>0,8</i>		<i>leemstreek_3068</i>	<i>> 2m diep</i>
18	Ada	Gras	469,5	0,8	39,3	leemstreek_2890	1-0262u
19	ADp	Wintertarwe	458,5	0,8	40,1	leemstreek_8155	1-0262u
	<i>AbB</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>456,8</i>	<i>0,8</i>		<i>/</i>	
20	Ada	aardappelen	452,2	0,8	40,9	leemstreek_2890	1-0262u

Tabel 2.5: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Zandstreek

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>Code A</i>	<i>grond-water</i>
1	Zch	gras	4260,54	2,3	2,3	zandstreek_4394	4-0009u
2	Zch	maïs	3547,60	2,0	4,3	zandstreek_4394	4-0009u
3	Sdp1	gras	3299,12	1,8	6,1	zandstreek_4685	7-0355u
4	Zdh	gras	3076,39	1,7	7,8	zandstreek_5082	7-0355u
5	Zdp0	gras	2827,07	1,6	9,4	zandstreek_69042	7-0355u
6	Zcg	gras	2692,58	1,5	10,9	zandstreek_5779	4-0009u
7	Zcg	maïs	2608,22	1,4	12,3	zandstreek_5779	4-0009u
8	Zdp0	maïs	2391,35	1,3	13,6	zandstreek_69042	7-0355u
9	Zdh	maïs	2263,61	1,2	14,9	zandstreek_5082	7-0355u
10	Sep1	gras	2201,53	1,2	16,1	zandstreek_1645	7-0355u
11	Sdh	gras	2176,32	1,2	17,3	zandstreek_1938	7-0355u
12	Sdp1	maïs	2117,70	1,2	18,4	zandstreek_4685	7-0355u
13	Ldc1	gras	1812,41	1,0	19,4	zandstreek_76428	1-0262u
14	Lep1	gras	1811,97	1,0	20,4	zandstreek_520	prv5u
15	Sdb	gras	1707,96	0,9	21,4	zandstreek_21256	7-0355u
16	Pdc	gras	1606,98	0,9	22,3	zandstreek_18717	7-0355u
17	Sch	gras	1602,87	0,9	23,1	zandstreek_20728	4-0009u
18	Ldcz1	gras	1587,25	0,9	24,0	zandstreek_60606	1-0262u
	<i>Efp0</i>	<i>gras</i>	<i>1468,68</i>	<i>0,8</i>		<i>zandstreek_61666</i>	<i>/</i>
	<i>OB</i>	<i>gras</i>	<i>1462,13</i>	<i>0,8</i>		<i>/</i>	<i>/</i>
19	Sdh	maïs	1441,61	0,8	24,8	zandstreek_1938	7-0355u
20	Zdb	gras	1356,23	0,7	25,5	zandstreek_4594	7-0355u

Tabel 2.6: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Zandleemstreek

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grond-water</i>
1	Ldc	gras	4701,41	2,1	2,1	zale1_3951	1-0262u
2	Abal	wintertarwe	4178,80	1,9	3,9	zale2_23613	>2m diep
3	Abal	gras	3812,42	1,7	5,6	zale2_23613	>2m diep
4	Abal	maïs	3453,84	1,5	7,2	zale2_23613	>2m diep
5	Ldc	maïs	2802,02	1,2	8,4	zale1_3951	1-0262u
6	Ldc	wintertarwe	2680,06	1,2	9,6	zale1_3951	1-0262u
7	Ldp	gras	2522,43	1,1	10,7	zale1_3442	1-0262u
8	Ldc	aardappelen	2290,76	1,0	11,8	zale1_3951	1-0262u
9	Eep	gras	2260,48	1,0	12,8	zale1_38685	prv5u
10	Lca	gras	2227,45	1,0	13,8	zale1_3134	3-0075 u
11	Ldcz	gras	2113,04	0,9	14,7	zale4_6222	1-0262u
12	Lep	gras	2090,73	0,9	15,6	zale2_36350	prv5u
13	Lca	wintertarwe	2052,04	0,9	16,5	zale1_3134	3-0075 u
14	Pcc	gras	1793,44	0,8	17,3	zale1_42101	4-0009u
	Lhc	gras	1782,35	0,8		zale2_26570	?
15	Adp	gras	1760,69	0,8	18,1	zale2_4794	1-0262u
16	Pdc	gras	1729,06	0,8	18,9	zale1_7616	7-0355u
17	Acp	gras	1704,99	0,8	19,7	zale3_6303	3-0075 u
18	Lca	maïs	1610,77	0,7	20,4	zale1_3134	3-0075 u
19	Ldc	suikerbieten	1577,27	0,7	21,1	zale1_3951	1-0262u
20	Pcc	maïs	1558,57	0,7	21,8	zale1_42101	4-0009u

Tabel 2.7: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Weidestreek

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grondwater</i>
1	Aba1	gras	267,53	10,0	10,0	weidestreek_28	> 2m diep
	Gbbx1	gras	195,45	7,3		weidestreek_170	> 2m diep
2	nuGbbx	gras	157,53	5,9	15,9	weidestreek_251	> 2m diep
3	Abp	gras	136,89	5,1	21,0	weidestreek_235	> 2m diep
4	nEbbk	gras	123,27	4,6	25,6	weidestreek_188	> 2m diep
	Gbp	gras	104,82	3,9		weidestreek_228	> 2m diep
5	Gbax1	gras	103,44	3,9	29,5	weidestreek_332	> 2m diep
6	Aba1	maïs	93,32	3,5	33	weidestreek_28	> 2m diep
7	ADa1	gras	71,02	2,6	35,6	weidestreek_416	1-0262u
8	Aba0	gras	66,64	2,5	38,1	weidestreek_8	> 2m diep
9	Gbbx3	gras	60,89	2,3	40,4	weidestreek_473	> 2m diep
10	(x)Aba	gras	59,38	2,2	42,6	weidestreek_1026	> 2m diep
11	AbB	gras	53,61	2,0	44,6	weidestreek_14	> 2m diep
	Aba0	fruit(bomen)	36,93	1,4		weidestreek_8	> 2m diep
	Gbbx1	maïs	36,70	1,4		weidestreek_170	> 2m diep
12	Gbax3	gras	36,60	1,4	46,0	weidestreek_408	> 2m diep
13	Aba1	wintertarwe	34,62	1,3	47,3	weidestreek_28	> 2m diep
14	Aba0	maïs	33,35	1,2	48,5	weidestreek_8	> 2m diep
15	Abp	maïs	32,96	1,2	49,7	weidestreek_235	> 2m diep
16	AbB	gras	32,93	1,2	50,9	weidestreek_427	> 2m diep
17	nuGbbx	maïs	30,91	1,2	52,1	weidestreek_251	> 2m diep
18	Gbax1	maïs	30,87	1,2	53,3	weidestreek_332	> 2m diep
	Gbp	Maïs	30,11	1,1		/	> 2m diep
19	ADp1	gras	30,10	1,1	54,4	weidestreek_789	1-0262u
	Aba1	fruitbomen	27,40	1,0		/	> 2m diep
20	AFp	Gras	27,29	1,0	55,4	weidestreek_1835	prv5u

Tabel 2.8: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Polders

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grondwater</i>
1	OU2	gras	3235,97	4,9	4,9	polders_13841	3-0078
2	E1	wintertarwe	2061,65	3,1	8,0	polders_13796	4-0029
	A5	wintertarwe	2010,82	3,1		polders_13982	4-0029
	A5	gras	1835,37	2,8		polders_13982	3-0078
3	E1	gras	1715,83	2,6	10,6	polders_13796	3-0078
4	D5	wintertarwe	1399,39	2,1	12,7	polders_14031	4-0029
5	C2	gras	1146,62	1,7	14,4	polders_9485	3-0078
6	D5	gras	994,68	1,5	15,9	polders_14031	3-0078
7	F1	gras	960,70	1,5	17,4	polders_2172	3-0078
8	B1	gras	925,14	1,4	18,8	polders_4357	3-0078
9	OU2	wintertarwe	912,78	1,4	20,2	polders_13841	3-0078
10	C1	gras	859,08	1,3	21,5	polders_9487	4-0029
	OB	gras	718,32	1,1		/	/
11	C1	wintertarwe	682,69	1,0	22,5	polders_9487	3-0078
12	A4	wintertarwe	668,52	1,0	23,5	polders_4780	4-0029
13	E1	maïs	661,88	1,0	24,5	polders_13796	4-0029
14	F1	wintertarwe	656,37	1,0	25,5	polders_2172	4-0029
15	B2	gras	639,79	1,0	26,5	polders_4401	3-0078
	OUI	gras	614,65	0,9		polders_1995	prv1
	Bb2	wintertarwe	584,37	0,9		polders_466	3-0078
	A5	maïs	572,06	0,9		polders_13982	4-0029
	Bb2	gras	564,39	0,9		polders_466	3-0078
	P6	gras	531,16	0,8		zandstreek_33	/
16	E1	suikerbieten	526,65	0,8	27,3	polders_13796	4-0029
	OG1	gras	471,26	0,7		polders_3848	?
	A5	suikerbieten	405,424	0,6		polders_13982	4-0029
17	D5	maïs	389,465	0,6	27,9	polders_14031	4-0029
18	D5	suikerbieten	387,46	0,6	28,5	polders_14031	4-0029
19	Dk5	gras	386,62	0,6	29,1	polders_2718	3-0078
20	A4	gras	382,95	0,6	29,7	polders_4780	3-0078

Tabel 2.9: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Duinen

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grond-water</i>		
1	C2	gras	130,7	5,7	5,7	polders_4982	3-0078		
	Bc2	wintertarwe	80,4	3,5		polders_790	4-0029		
2	W1	wintertarwe	70,3	3,1	8,8	duinen_1029	4-0029		
3	E1	wintertarwe	63,9	2,8	11,6	polders_1829	4-0029		
4	W1	gras	61,3	2,7	14,3	duinen_1029	3-0078		
	A5	wintertarwe	59,6	2,6		polders_4178	4-0029		
5	A4	wintertarwe	57,0	2,5	16,8	polders_4206	4-0029		
	Db	gras	44,3	1,9		duinen_377	prv1		
	Da	gras	42,0	1,8		duinen_302	3-0078		
	B1	gras	40,3	1,8		polders_4611	3-0078		
	OB	gras	39,8	1,7		-	-		
	Bco	aardappelen	33,1	1,5		duinen_64	4-0029		
	G2	gras	31,0	1,4		duinen_72	3-0078		
	Em	wintertarwe	29,9	1,3		polders_16461	drainage		
	Bc3	wintertarwe	29,5	1,3		duinen_92	4-0029		
	6	E1	gras	28,6		1,3	18,1	polders_1829	3-0078 u
		B2	gras	28,5		1,2		duinen_1139	prv1
		A5	suikerbieten	27,0		1,2		polders_4178	4-0029
7	E1	suikerbieten	26,8	1,2	19,3	polders_1829	4-0029		
	B1	wintertarwe	26,8	1,2		polders_4611	3-0078		
	A5	gras	26,6	1,2		polders_4178	4-0029		
	C1	gras	25,5	1,1		duinen_1187	-		
8	W1	suikerbieten	25,4	1,1	20,4	duinen_1029	4-0029		
9	A4	gras	24,7	1,1	21,5	polders_4206	3-0078		
	G2	wintertarwe	24,5	1,1		duinen_72	3-0078		
	Bco	gras	23,8	1,0		duinen_64	4-0029		
	Bco	wintertarwe	23,4	1,0		duinen_64	4-0029		
	Pm	wintertarwe	22,0	1,0		duinen_1460	-		
	El	wintertarwe	21,1	0,9		duinen_1490	-		
	10	A2	wintertarwe	21,0		0,9	22,4	duinen_1178	4-0029

Tabel 2.9: Meest voorkomende combinaties uitgebreide bodemserie – gewas 1998 in de Duinen (vervolg)

	<i>Uitgebreide bodemserie</i>	<i>Teelt 98</i>	<i>Opp. (ha)</i>	<i>% van opp.</i>	<i>% Cumul. Opp.</i>	<i>CodeA</i>	<i>grond-water</i>
	<i>Bco</i>	<i>suikerbieten</i>	<i>19,0</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_64</i>	<i>4-0029</i>
	<i>Bco</i>	<i>maïs</i>	<i>19,0</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_64</i>	<i>4-0029</i>
	<i>B2</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>18,9</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_1139</i>	<i>prv1</i>
	<i>B3</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>18,3</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_1108</i>	<i>-</i>
	<i>Db</i>	<i>maïs</i>	<i>18,3</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_377</i>	<i>prv1</i>
11	<i>D5</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>17,7</i>	<i>0,8</i>	<i>23,2</i>	<i>duinen_251</i>	<i>4-0029</i>
	<i>Bc2</i>	<i>suikerbieten</i>	<i>17,1</i>	<i>0,8</i>		<i>duinen_77</i>	<i>-</i>
12	<i>A4</i>	<i>suikerbieten</i>	<i>16,7</i>	<i>0,7</i>	<i>23,9</i>	<i>polders_4206</i>	<i>4-0029</i>
	<i>B3</i>	<i>gras</i>	<i>16,3</i>	<i>0,7</i>		<i>duinen_1108</i>	<i>-</i>
	<i>Bc2</i>	<i>aardappelen</i>	<i>15,7</i>	<i>0,7</i>		<i>duinen_77</i>	<i>-</i>
	<i>W2z</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>14,7</i>	<i>0,6</i>		<i>duinen_1082</i>	<i>-</i>
	<i>El</i>	<i>gras</i>	<i>14,4</i>	<i>0,6</i>		<i>duinen_1490</i>	<i>-</i>
13	<i>W1</i>	<i>maïs</i>	<i>14,1</i>	<i>0,6</i>	<i>24,5</i>	<i>duinen_1029</i>	<i>4-0029</i>
	<i>Bc3</i>	<i>aardappelen</i>	<i>13,9</i>	<i>0,6</i>		<i>duinen_92</i>	<i>4-0029</i>
14	<i>A2</i>	<i>suikerbieten</i>	<i>13,0</i>	<i>0,6</i>	<i>25,1</i>	<i>duinen_1178</i>	<i>4-0029</i>
15	<i>OU2</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>12,6</i>	<i>0,6</i>	<i>25,7</i>	<i>polders_13841</i>	<i>3-0078</i>
	<i>Em</i>	<i>aardappelen</i>	<i>12,6</i>	<i>0,6</i>		<i>polders_16461</i>	<i>3-0078</i>
	<i>Db</i>	<i>wintertarwe</i>	<i>12,5</i>	<i>0,5</i>		<i>duinen_377</i>	<i>prv1</i>
16	<i>W1</i>	<i>aardappelen</i>	<i>12,2</i>	<i>0,5</i>	<i>26,2</i>	<i>duinen_1029</i>	<i>4-0029</i>
	<i>A5</i>	<i>aardappelen</i>	<i>11,5</i>	<i>0,5</i>		<i>polders_4178</i>	<i>4-0029</i>

2.4.2 Invoer voor het stikstofbalansmodel WAVE

De bodemparameters die als invoer nodig zijn voor het stikstofbalansmodel 'WAVE' worden vanuit Aardewerk-BIS geleverd in 3 dbf-tabellen: 'bodpar.dbf', 'layers.dbf' en 'veldpar.dbf' (Tabellen 2.10 tot en met 2.13). In elk van de drie tabellen wordt het scenario gekenmerkt door een unieke code: CodeA. Deze code komt overeen met een bepaalde bodem in een bepaalde landbouwstreek en laat toe de link met de bodemkaart te behouden (ruimtelijke component). Een voorbeeld van de 3 invoertabellen is hierna weergegeven. Bij elke tabel is tevens de betekenis en eventueel de berekeningswijze van de verschillende parameters vermeld. De 'CodeA' in elke tabel verwijst naar de CodeA in Tabel 2.3 tot en met Tabel 2.9.

Tabel 2.10: Invoer bodemparameters voor WAVE vanuit Aardewerk-BIS: bodpar.dbf

CodeA	Rho1	Rho2	Rho3	Rho4	%C1	%C2	%C3	%C4	Kj_N1	Kj_N2	Kj_N3	Kj_N4
kempen_1503	1,33	1,45	1,50	1,53	1,6	0,7	0,3	0,1	0,082	0,033	0,014	0,002
kempen_1722	1,31	1,45	1,50	1,53	1,8	0,7	0,3	0,1	0,092	0,033	0,014	0,002
kempen_1687	1,22	1,38	1,47	1,52	2,7	1,2	0,5	0,2	0,203	0,067	0,028	0,009
...

met rho1 = droog volumegewicht van bodemlaag 1 (bovenste horizont) (g/cm³) berekend met een transferfunctie volgens Rawls (Rawls, 1982):

$$\text{droog volumegewicht} = 100 / (((100 - o_s) / \text{bdm}) + o_s / 0.224)$$

waarbij o_s = koolstofgehalte * 1.724

o_s = organische stofgehalte

bdm = f(textuur):

Z/S:	bdm = 1.55
P/A/E	bdm = 1.41
L	bdm = 1.30
U	bdm = 1.35

bdm = bulk density van de minerale bodemfractie (g/cm³)

%C1, %C2,... = koolstofgehalte van bodemlaag 1, bodemlaag 2,...(%)

Kj_N1, Kj_N2,... = stikstofgehalte van bodemlaag 1, bodemlaag 2,...(%)

Het N-gehalte is niet rechtstreeks beschikbaar in de Aardewerk-BIS-tabellen. In de oorspronkelijke Aardewerk-tabellen is wel voor een aantal horizonten de C/N-verhouding aangegeven, zodat op basis van C-gehalte en C/N-verhouding het N-gehalte kan worden berekend. Op basis van deze gegevens (1563 observaties) werd de gemiddelde C/N + standaardafwijking, Min, Max, aantal observaties e.d. berekend per textuurklasse en per horizont (Ap, overige A, gegroepeerde B, gegroepeerde C, gegroepeerde D,...). Onderstaande tabel geeft de gemiddelde C/N-verhouding aan voor de A-horizonten in de verschillende texturen. Deze gemiddelden werden gebruikt om het N-gehalte te schatten op basis van het C-gehalte.

De gemiddelde C/N-verhoudingen zijn vrij hoog. Dit is te verklaren door het feit dat alle beschikbare C/N-verhoudingen uit de Aardewerk-databank gebruikt zijn (ook die van niet-landbouwbodems). Enkel de C/N-verhouding van de Ap-horizont wordt gebruikt voor de berekening van de mineralisatiesnelheid (zie verder).

Tabel 2.11: Schatting van de C/N-verhouding in de organische stof per horizont

Textuur	A	Ap	B	C	D	P	Q	R	V	Gem
A	9,1	9,9	7,4	8,3						8,7
E	9,7	9,5	7,9	10,3	15,2					10,5
L	12,3	9,9	19,9	20,4	18,9	9,4				15,1
P	11,0	12,3	18,7	16,6	14,5	25,6				16,4
S	13,1	13,3	17,9	20,0	21,1					17,1
U	8,0	9,0	11,8	9,2	9,7	6,8	10,1			9,2
Z	24,9	19,6	21,0	53,6	20,8	32,6		24,6	15,5	26,6
Gem	12,6	11,9	14,9	19,7	16,7	18,6	10,1	24,6	15,5	16,1

Tabel 2.12: Invoer bodemparameters voor WAVE vanuit Aardewerk-BIS: layers.dbf

CodeA	Layers	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Lijn1	Lijn2	Lijn3	Lijn4	Lijn5	Lijn6	Lijn7	Lijn8
kempen_1503	4	13	3	5	39	1	13	14	16	17	21	22	60
kempen_1722	4	7	3	7	43	1	7	8	10	11	17	18	60
kempen_1687	4	6	2	4	48	1	6	7	8	9	12	13	60
...

met Layers = aantal onderscheiden horizonten in het bodemprofiel
 Comp1 = dikte van bodemlaag 1, aangeduid in aantal compartimenten in bodemlaag 1 (1 compartiment = 5 cm, dus 7 compartimenten = 35 cm)
 Comp2 = aantal compartimenten in layer 2
 ...
 Lijn1 = 1
 Lijn2 = Comp1
 Lijn3 = Comp1 + 1
 Lijn4 = Comp1 + Comp2
 ...

Tabel 2.13: Invoer bodemparameters voor WAVE vanuit Aardewerk-BIS: veldpar.dbf

CodeA	LAYER	COMP	Rho	WCR	WCS	alfa	n	m	Ksat	b	N
kempen_1503	1	13	1.33	0.0472	0.4355	0.0128	1.5131	1.0000	251	0.1018	2.5705
kempen_1503	2	3	1.45	0.0297	0.4019	0.0167	1.8196	1.0000	256	0.0811	3.2740
kempen_1503	3	5	1.50	0.0292	0.3870	0.0150	1.6917	1.0000	123	0.0910	2.7123
kempen_1503	4	10	1.53	0.0264	0.3784	0.0142	1.6280	1.0000	160	0.0945	2.6454
kempen_1722	1	7	1.31	0.0450	0.4407	0.0130	1.5329	1.0000	561	0.0961	2.9253
kempen_1722	2	3	1.45	0.0297	0.4019	0.0144	1.6187	1.0000	267	0.0908	2.9768
kempen_1722	3	7	1.50	0.0242	0.3857	0.0150	1.6810	1.0000	240	0.0875	3.0262
kempen_1722	4	12	1.53	0.0214	0.3771	0.0141	1.6187	1.0000	312	0.0908	2.9768
...

met Layer = Volgnummer van de laag (horizont in het bodemprofiel)
 Comp = Dikte van de laag, uitgedrukt in aantal compartimenten (1 compartiment = 5cm)
 rho = droog volumegewicht van de desbetreffende laag (g/cm³)

De parameters van de vochtretentiecurve en de hydraulische conductiviteitscurve worden met behulp van pedotransferfuncties van Vereecken (1988) berekend op basis van het percentage zand (%zand), klei (%klei), leem (%leem) en koolstof (%C) en het droog volumegegewicht (rho). WCR, WCS, alfa, n en m zijn parameters van de van Genuchten vergelijking, terwijl Ksat, b en N parameters van de Gardner vergelijking zijn.

$$\begin{aligned}
 \text{WCR} &= \text{residueel vochtgehalte (\%)} \\
 &= 0.015 + (0.005 * \%klei) + (0.0139 * \%C) \\
 \text{WCS} &= \text{verzadigd vochtgehalte (\%)} \\
 &= 0.81 - (0.283 * \rho) + (0.0013 * \%klei) \\
 \text{alfa} &= \text{alfa-parameter van de vochtretentiecurve} \\
 \log\text{alfa} &= -2.486 + (0.025 * \%zand) - (2.617 * \rho) - (0.023 * \%klei) - (0.351 * \%C) \\
 \text{alfa} &= \exp(\log\text{alfa}) \\
 n &= \text{n-parameter van de vochtretentiecurve} \\
 \log n &= 0.053 - (0.009 * \%zand) - (0.013 * \%klei) + (0.00015 * \%zand^2) \\
 n &= \exp(\log n) \\
 m &= \text{m-parameter van de vochtretentiecurve} \\
 m &= 1 \\
 \text{Ksat} &= \text{conductiviteit bij verzadiging (cm/dag)} \\
 &= \exp(20.62 - (0.96 * \ln(\%klei)) - (0.66 * \ln(\%zand)) - (0.46 * \ln(\%C)) - (8.43 * \rho)) \\
 b &= \text{b-parameter voor de hydraulische conductiviteitscurve (Gardner)} \\
 &= \exp(-0.73 - (0.01877 * \%zand) + (0.058 * \%klei)) \\
 N &= \text{N-parameter voor de hydraulische conductiviteitscurve (Gardner)} \\
 &= \exp(1.186 - 0.194 * \ln(\%klei) - 0.0489 * \ln(\%leem))
 \end{aligned}$$

De afbraakconstante van de humus pool (k_{hum}) en de potentiële denitrificatieconstante ($k_{denit,pot}$) zijn afgeleid met behulp van de in dit project bekomen pedotransferfuncties (eindrapport deel 2). Indien het klei-gehalte kleiner is dan 3 %, wordt $k_{denit,pot}$ gelijkgesteld aan 0 omdat anders negatieve waarden worden bekomen.

$$k_{hum} = \frac{-0,0474 + 0,00025 \cdot N}{\%N \cdot 2.68 \cdot 10000} \quad (\text{met } k_{hum} [\text{dag}^{-1}] \text{ en } N [\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}])$$

$$k_{denit,pot} = \frac{0.175 * \%klei - 0.41}{0.89596 * 50 * 44} \quad (\text{met } k_{denit,pot} [\text{dag}^{-1}])$$

De overige invoerparameters werden per textuurklasse of per gewas- of oogstrestklasse overgenomen van de in de kalibratie- en validatiefase afgeleide invoerparameters (eindrapport deel 2 bijlage 8).

2.5 Werkwijze

De scenarioanalyses liepen over 31 jaar. Het eerste jaar (okt 1970 – sep 1971) diende enkel voor de initialisatie van de waterbalans. De overige 30 jaar (okt 1971 – sep 2001) werden gebruikt voor het bepalen van de relatie nitraatstikstofresidu – nitraatuitspoeling. Teneinde een representatieve gemiddelde nitraatuitspoeling op jaarbasis te berekenen, dient het WAVE-model voor een lange tijdreeks doorgerekend te worden. Om de invloed van de tijdsvariabiliteit in rekening te brengen, wordt het model voor een periode van 30 jaar doorgerekend. In elk van deze 30 jaren werd op 1 oktober het nitraatstikstof- en ammoniumstikstofresidu geherinitialiseerd en werd dezelfde oogstrest toegediend op 1 oktober. Wegens de latere oogst van suikerbieten werden de oogstresten van suikerbieten pas op 1 november ‘toegediend’. Vermits wintertarwe reeds voor 1 oktober wordt geoogst, dus voor het begin van de winterperiode, werd enkel de fractie N en C die gemiddeld overblijft op 1 oktober in rekening gebracht bij het begin van elke simulatie met oogstresten van wintertarwe.

Elk van de 29 weerhouden combinaties voor SA1a werd doorgerekend met 8 verschillende nitraatstikstofresiduniveaus (20, 30, 40, 50, 70, 90, 120 en 150 kg N ha⁻¹) die op drie verschillende manieren in het 0-90 cm bodemprofiel kunnen zijn verdeeld (Tabel 2.14), zodat in totaal 696 scenario's ontstonden. De klimaatsgegevens van Ukkel zijn voor alle proefvelden gebruikt zodat in deze scenarioanalyse het effect van klimaat wordt vermeden tussen de verschillende scenario's.

Voor SA1b zijn analoog aan SA1a per landbouwstreek de 20 weerhouden ‘bodem-gewas’ combinaties (voor de Duinen maar 15 combinaties) verbonden met dezelfde 8 verschillende nitraatstikstofresidu's die ook op drie verschillende manieren in het profiel verdeeld kunnen zijn zodat 3240 scenario's ontstonden. Naast de klimaatsgegevens van Ukkel zijn ook de gegevens van Koksijde (voor Duinen en Polders) en Kleine Brogel (voor Kempen) gebruikt (zie §1.5 eindrapport deel 2).

Voor beide scenarioanalyses werd ieder jaar enkel die fractie van de in het voorjaar toegediende organische stikstof in drijfmest in rekening gebracht die op 1 oktober (begin simulatieperiode) nog werkzaam is. Tijdens de simulatieperiode werden geen bemestingen toegediend. Het ammoniumstikstofresidu is gebaseerd op de metingen op de proefvelden: per textuur werd een gemiddelde ammoniumstikstofresidu op 1 oktober berekend.

Tabel 2.14: Verdeling van nitraatstikstofresidu over het bodemprofiel

Verdeling	Bodemlaag 0 - 30 cm	Bodemlaag 30 - 60 cm	Bodemlaag 60 - 90 cm
hoog	50%	25%	25%
gemiddeld	33%	33%	33%
laag	25%	25%	50%

Per winterperiode (1 oktober – 31 maart) werd een gemiddelde nitraatconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld berekend door de cumulatieve nitraatflux over de winterperiode te delen door de cumulatieve waterflux over de hele winterperiode. De modelberekeningen werden zowel met als zonder procesfactor uitgevoerd. Indien rekening werd gehouden met de procesfactor om de gesimuleerde nitraatconcentratie op 90 cm diepte te vertalen naar een nitraatconcentratie in het oppervlaktewater, werd de gemiddelde nitraatconcentratie gedeeld door 2.4.

De interpretatie van de modelresultaten moet leiden tot een technische vertaling van de Europese grenswaarde van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ in grond- en oppervlaktewater in een nitraatstikstofresidunorm voor cultuurgronden. Anderzijds dient de Europese richtwaarde van $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ vertaald te worden naar een nitraatstikstofresidu-richtwaarde.

Indien voldaan moet zijn aan de grenswaarde van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$, mag in 95 % van de 30 jaren (= 28.5 jaar afgerond naar 29 jaar) de per winterperiode gesimuleerde gemiddelde nitraatstikstofconcentratie niet hoger zijn dan $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ en mag in de resterende 5 % van de jaren de nitraatstikstofconcentratie met niet meer dan 50 % de norm van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ overschrijden. Wat betreft de richtwaarde van $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$, moet in 95 % van de jaren deze gesimuleerde gemiddelde nitraatstikstofconcentratie onder $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ liggen en in de resterende 5 % mag de concentratie niet meer dan 50 % hoger zijn dan $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$.

Om al de handelingen semi-automatisch te laten verlopen werden voor zowel SA1a als SA1b twee databanken aangemaakt. De eerste databank bewerkstelligt het aanmaken van invoerbestanden voor het programma WAVE, terwijl de tweede databank de uitvoer van het programma WAVE verwerkt tot de vereiste uitvoer voor het N-(eco)²-project.

2.6 Resultaten

2.6.1 Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu

Een aantal 'textuur-oogstrest-gewas' combinaties werden enkel in één van de twee scenarioanalyses doorgerekend (Tabel 2.15). De wintergewassen tarwe en groenbemesters werden niet in de scenarioanalyse op basis van de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek (SA1b) opgenomen omdat er enkel informatie beschikbaar was over het voorkomen van een gewas in het zomergroei seizoen. De combinatie 'zand-aardappelen' kwam niet voor in de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek. De combinaties 'zandleem-gras', 'zandleem-suikerbieten', 'leem-gras', 'leem-aardappelen', 'leem-maïs', 'klei-gras' en 'klei-maïs' werden niet doorgerekend in de scenarioanalyse op basis van de proefvelden (SA1a). Beide scenarioanalyses kunnen bijgevolg als complementair aanzien worden.

Tabel 2.15: Aantal doorgerekende situaties per ‘textuur-oogstrest-gewas’ combinaties voor SA1a en SA1b en totale oppervlakte van de doorgerekende percelen per ‘textuur-oogstrest-gewas’ voor SA1b

textuur	oogstrest	gewas	Aantal doorgerekende situaties		Totale oppervlakte (ha)
			SA1a	SA1b	SA1b
zand	aardappelen	geen	2	-	-
zand	geen	gras	2	22	42786
zand	mais	geen	2	14	25147
zandleem	aardappelen	geen	2	1	2291
zandleem	geen	gras	-	11	23994
zandleem	mais	geen	2	3	5971
zandleem	mais	tarwe	2	-	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	1	1577
zandleem	tarwe	geen	2	2	4732
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	2	-	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	2	-	-
zandleem	bloemkool	geen	2	-	-
leem	aardappelen	geen	-	2	1088
leem	geen	gras	-	23	13880
leem	mais	geen	-	7	5048
leem	suikerbieten	geen	1	3	5437
leem	suikerbieten	tarwe	1	-	-
leem	tarwe	geen	1	9	14948
leem	tarwe	grasachtige groenb	1	-	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	1	-	-
klei	aardappelen	geen	1	1	12
klei	geen	gras	-	16	13876
klei	mais	geen	-	3	1065
klei	suikerbieten	geen	1	6	996
klei	suikerbieten	tarwe	1	-	-
klei	tarwe	geen	1	12	6609

In Tabellen 2.16 tot en met 2.19 worden per scenario de maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu's op 1 oktober weergegeven die geen aanleiding geven tot overschrijding van de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹, resp. de richtwaarde van 5.65 mg NO₃-N l⁻¹ en dit met en zonder het in rekening brengen van de procesfactor van 2.4.

Voor alle ‘textuur-oogstrest-gewas’ combinaties liggen de hoogst toelaatbare residu's van SA1a in het bereik van hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's van SA1b (Tabel 2.16 tot en met 2.19), hetgeen erop wijst dat het gebruik van pedotransferfuncties en gegevens uit de databank voor scenarioanalyse SA1b de resultaten niet vertekent.

De gemiddelde hoogst toelaatbare residu's op basis van de twee verschillende scenarioanalyses zijn over het algemeen vergelijkbaar (Tabel 2.20 tot en met 2.22). De resultaten van SA1b zijn representatiever aangezien het hier gewogen gemiddelden betreft waar de verhouding van de oppervlakte van elk doorgerekende perceel ten opzichte van de totale oppervlakte van de ‘textuur-oogstrest-combinatie’ in rekening wordt gebracht, terwijl voor SA1a telkens maar 1 tot 2 proefvelden zijn doorgerekend per ‘bodem-gewas’ combinatie. Voor textuur klei liggen de gemiddeld hoogst toelaatbare residu's op basis van SA1b iets hoger in vergelijking met deze op basis van SA1a. Dit is in hoofdzaak te wijten aan een voor kleibodems verschillende pF-curve op basis van de pedotransferfuncties in SA1b tegenover de via metingen opgestelde pF-curve voor SA1a. Hierbij dient tevens opgemerkt te worden dat er bij textuur klei per gewas maar één ‘bodem-gewas’ combinatie beschikbaar was in SA1a zodat hier niet van een gemiddelde kan worden gesproken.

Een ‘?’ in Tabellen 2.20 tot en met 2.22 duidt erop dat er geen gemiddelde kon worden berekend omdat minstens voor één doorgerekende situatie het hoogst toelaatbare residu <20 kg NO₃-N ha⁻¹

bedraagt. Er is geen tabel met gemiddelde hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor 5.65 mg NO₃-N l⁻¹ weergegeven omdat in deze tabel enkel '?' zouden staan.

Tabel 2.16: Interval voor hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 11.3 mg NO₃-N mg l⁻¹ grenswaarde zonder gebruik van de procesfactor

textuur oogstrest gewas			11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ zonder procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	20	-	20	-	20	-
zand	geen	gras	30 - 40	20 - 50	30	20 - 40	20	<20 - 30
zand	mais	geen	20	20 - 30	20	20 - 30	20	<20 - 30
zandleem	aardappelen	geen	20 - 30	30	20 - 30	30	20	30
zandleem	geen	gras	-	30 - 50	-	30 - 40	-	20 - 30
zandleem	mais	geen	30	30 - 40	20 - 30	20 - 30	20	20 - 30
zandleem	mais	tarwe	20 - 30	-	20 - 30	-	20	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	30	-	30	-	20
zandleem	tarwe	geen	30	30 - 40	20 - 30	30	20	20 - 30
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	30 - 40	-	30	-	20 - 30	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	40	-	30	-	20	-
zandleem	bloemkool	geen	20	-	30	-	20	-
leem	aardappelen	geen	-	30	-	30	-	0
leem	geen	gras	-	20 - 50	-	<20 - 40	-	<20 - 30
leem	mais	geen	-	30	-	20 - 30	-	20
leem	suikerbieten	geen	20	20	20	20	20	20
leem	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
leem	tarwe	geen	30	30 - 40	30	30	20	20 - 30
leem	tarwe	grasachtige groenb	40	-	30	-	20	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	30	-	30	-	20	-
klei	aardappelen	geen	20	30	20	20	20	20
klei	geen	gras	-	30 - 50	-	20 - 50	-	<20 - 30
klei	mais	geen	-	30 - 40	-	30 - 40	-	20 - 30
klei	suikerbieten	geen	20	20 - 40	20	<20 - 40	20	<20 - 30
klei	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
klei	tarwe	geen	20	20 - 50	20	20 - 40	20	20 - 30

Tabel 2.17: Interval voor hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gelijk, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 11.3 mg NO₃-N mg l⁻¹ grenswaarde met gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ met procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	50 - 70	-	50	-	40 - 50	-
zand	geen	gras	90	50 - 120	70	50 - 90	50	40 - 70
zand	mais	geen	50 - 70	50 - 90	50	50 - 70	40 - 50	40 - 70
zandleem	aardappelen	geen	70 - 90	90	70	90	50 - 70	70
zandleem	geen	gras	-	90 - 120	-	70 - 120	-	50 - 90
zandleem	mais	geen	70 - 90	70 - 90	70	70 - 90	50 - 70	50 - 70
zandleem	mais	tarwe	70 - 90	-	70	-	50 - 70	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	90	-	70	-	70
zandleem	tarwe	geen	70 - 90	70 - 90	70	70 - 90	50 - 70	50 - 70
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	90 - 120	-	90	-	70	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	90	-	90	-	70	-
zandleem	bloemkool	geen	50 - 70	-	50	-	40 - 50	-
leem	aardappelen	geen	-	90	-	90	-	70
leem	geen	gras	-	50 - 120	-	50 - 120	-	30 - 90
leem	mais	geen	-	70 - 90	-	50 - 70	-	50 - 70
leem	suikerbieten	geen	70	70	70	70	50	50
leem	suikerbieten	tarwe	50	-	50	-	50	-
leem	tarwe	geen	70	70 - 90	70	70 - 90	50	50 - 70
leem	tarwe	grasachtige groenb	90	-	90	-	70	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	90	-	90	-	70	-
klei	aardappelen	geen	50	70	50	70	40	50
klei	geen	gras	-	70 - 150	-	50 - 120	-	50 - 90
klei	mais	geen	-	70 - 120	-	70 - 90	-	70 - 90
klei	suikerbieten	geen	50	50 - 90	50	50 - 90	40	40 - 70
klei	suikerbieten	tarwe	50	-	50	-	40	-
klei	tarwe	geen	50	50 - 120	50	50 - 90	40	50 - 90

Tabel 2.18: Interval voor hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H-hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 5.65 mg NO₃-N mg l⁻¹ richtwaarde zonder gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	5.65 mg NO ₃ -N l ⁻¹ zonder procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	<20	-	<20	-	<20	-
zand	geen	gras	<20	<20 - 20	<20	<20	<20	<20
zand	mais	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
zandleem	aardappelen	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
zandleem	geen	gras	-	<20 - 20	-	<20 - 20	-	<20
zandleem	mais	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
zandleem	mais	tarwe	<20	-	<20	-	<20	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	<20	-	<20	-	<20
zandleem	tarwe	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	<20	-	<20	-	<20	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	<20	-	<20	-	<20	-
zandleem	bloemkool	geen	<20	-	<20	-	<20	-
leem	aardappelen	geen	-	<20	-	<20	-	<20
leem	geen	gras	-	<20 - 20	-	<20	-	<20
leem	mais	geen	-	<20	-	<20	-	<20
leem	suikerbieten	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
leem	suikerbieten	tarwe	<20	-	<20	-	<20	-
leem	tarwe	geen	<20	<20 - 20	<20	<20	<20	<20
leem	tarwe	grasachtige groenb	<20	-	<20	-	<20	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	<20	-	<20	-	<20	-
klei	aardappelen	geen	<20	<20	0	<20	0	<20
klei	geen	gras	-	<20 - 20	-	<20 - 20	-	<20
klei	mais	geen	-	<20 - 20	-	<20 - 20	-	<20
klei	suikerbieten	geen	<20	<20	<20	<20	<20	<20
klei	suikerbieten	tarwe	<20	-	<20	-	<20	-
klei	tarwe	geen	<20	<20 - 20	<20	<20 - 20	<20	<20

Tabel 2.19: Interval voor hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 5.65 mg NO₃-N mg l⁻¹ richtwaarde met gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	5.65 mg NO ₃ -N l ⁻¹ met procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	20 - 30	-	20 - 30	-	20	-
zand	geen	gras	40	20 - 50	40	20 - 50	30	20 - 30
zand	mais	geen	20 - 30	20 - 40	20 - 30	20 - 40	20	20 - 30
zandleem	aardappelen	geen	30 - 40	40	30 - 40	40	20 - 30	30
zandleem	geen	gras	-	40 - 70	-	30 - 50	-	30 - 40
zandleem	mais	geen	30 - 40	30 - 40	30 - 40	30 - 40	30	20 - 30
zandleem	mais	tarwe	30 - 40	-	30 - 40	-	30	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	40	-	30	-	30
zandleem	tarwe	geen	30 - 40	40	30 - 40	30 - 40	30	30
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	40 - 50	-	40	-	30	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	50	-	40 - 50	-	30	-
zandleem	bloemkool	geen	<20 - 20	-	<20	-	<20	-
leem	aardappelen	geen	-	40	-	40	-	30
leem	geen	gras	-	20 - 70	-	20 - 50	-	20 - 40
leem	mais	geen	-	30 - 40	-	30 - 40	-	20 - 30
leem	suikerbieten	geen	30	30	20	30	20	20
leem	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
leem	tarwe	geen	40	40 - 50	30	30 - 40	30	30
leem	tarwe	grasachtige groenb	50	-	40	-	30	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	50	-	40	-	30	-
klei	aardappelen	geen	20	40	20	30	20	30
klei	geen	gras	-	30 - 70	-	30 - 50	-	20 - 40
klei	mais	geen	-	40 - 50	-	30 - 50	-	30 - 40
klei	suikerbieten	geen	20	20 - 50	20	20 - 50	<20	20 - 40
klei	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	<20	-
klei	tarwe	geen	30	30 - 50	20	20 - 50	20	20 - 40

Tabel 2.20: Gemiddelde hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 11.3 mg NO₃-N mg l⁻¹ grenswaarde zonder gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	11.3 mg NO ₃ -N l-1 zonder procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	20	-	20	-	20	-
zand	geen	gras	35	28	30	22	20	?
zand	mais	geen	20	21	20	22	20	?
zandleem	aardappelen	geen	25	30	25	30	20	30
zandleem	geen	gras	-	44	-	37	-	27
zandleem	mais	geen	30	35	25	27	20	25
zandleem	mais	tarwe	25	-	25	-	20	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	30	-	30	-	20
zandleem	tarwe	geen	30	36	25	30	20	26
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	35	-	30	-	25	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	40	-	30	-	20	-
zandleem	bloemkool	geen	20	-	30	-	20	-
leem	aardappelen	geen	-	30	-	24	-	24
leem	geen	gras	-	36	-	?	-	?
leem	mais	geen	-	30	-	30	-	20
leem	suikerbieten	geen	20	20	20	20	20	20
leem	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
leem	tarwe	geen	30	31	30	30	20	21
leem	tarwe	grasachtige groenb	40	-	30	-	20	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	30	-	30	-	20	-
klei	aardappelen	geen	20	30	20	20	20	20
klei	geen	gras	-	41	-	32	-	?
klei	mais	geen	-	36	-	36	-	26
klei	suikerbieten	geen	20	35	20	?	20	?
klei	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
klei	tarwe	geen	20	34	20	32	20	24

Tabel 2.21: Gemiddelde hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 11.3 mg NO₃-N mg l⁻¹ grenswaarde met gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	11.3 mg NO ₃ -N l-1 met procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	60	-	50	-	45	-
zand	geen	gras	90	71	70	64	50	52
zand	mais	geen	60	56	50	53	45	48
zandleem	aardappelen	geen	80	90	70	90	60	70
zandleem	geen	gras	-	111	-	89	-	72
zandleem	mais	geen	80	79	70	79	60	59
zandleem	mais	tarwe	80	-	70	-	60	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	90	-	70	-	70
zandleem	tarwe	geen	80	81	70	81	60	61
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	105	-	90	-	70	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	90	-	90	-	70	-
zandleem	bloemkool	geen	60	-	50	-	45	-
leem	aardappelen	geen	-	78	-	78	-	58
leem	geen	gras	-	96	-	78	-	58
leem	mais	geen	-	89	-	70	-	69
leem	suikerbieten	geen	70	70	70	70	50	50
leem	suikerbieten	tarwe	50	-	50	-	50	-
leem	tarwe	geen	70	86	70	71	50	68
leem	tarwe	grasachtige groenb	90	-	90	-	70	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	90	-	90	-	70	-
klei	aardappelen	geen	50	70	50	70	40	50
klei	geen	gras	-	103	-	85	-	65
klei	mais	geen	-	108	-	82	-	82
klei	suikerbieten	geen	50	88	50	81	40	69
klei	suikerbieten	tarwe	50	-	50	-	40	-
klei	tarwe	geen	50	97	50	73	40	73

Tabel 2.22: Gemiddelde hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's bij verschillende verdelingen van het nitraatstikstofresidu (H=hoog, G=gemiddeld, L=laag) in een 0-90 cm bodemprofiel op basis van zowel de scenarioanalyse met de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek als de scenarioanalyse op basis van de proefvelden die voldoen aan de 5.65 mg NO₃-N mg l⁻¹ richtwaarde met gebruik van de procesfactor

textuur	oogstrest	gewas	5.65 mg NO ₃ -N l ⁻¹ met procesfactor					
			H		G		L	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	25	-	25	-	20	-
zand	geen	gras	40	34	40	29	30	23
zand	mais	geen	25	26	25	26	20	21
zandleem	aardappelen	geen	35	40	35	40	25	30
zandleem	geen	gras	-	51	-	46	-	37
zandleem	mais	geen	35	37	35	35	30	27
zandleem	mais	tarwe	35	-	35	-	30	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	40	-	30	-	30
zandleem	tarwe	geen	35	40	35	36	30	30
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	45	-	40	-	30	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	50	-	45	-	30	-
zandleem	bloemkool	geen	?	-	?	-	?	-
leem	aardappelen	geen	-	40	-	34	-	30
leem	geen	gras	-	44	-	36	-	30
leem	mais	geen	-	40	-	37	-	30
leem	suikerbieten	geen	30	30	20	30	20	20
leem	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	20	-
leem	tarwe	geen	40	41	30	38	30	30
leem	tarwe	grasachtige groenb	50	-	40	-	30	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	50	-	40	-	30	-
klei	aardappelen	geen	20	40	20	30	20	30
klei	geen	gras	-	48	-	41	-	31
klei	mais	geen	-	46	-	46	-	36
klei	suikerbieten	geen	20	45	20	41	?	35
klei	suikerbieten	tarwe	20	-	20	-	?	-
klei	tarwe	geen	30	42	20	42	20	32

2.6.2 Nitraatconcentratie in het oppervlakkige grondwater

De percelen met een ondiepe grondwaterstand (minder dan 90 cm onder maaiveld) kunnen het best gebruikt worden om de hoogst toelaatbare residu's af te leiden die overeenstemmen met de grenswaarde in het ondiepe grondwater (11.3 mg NO₃-N l⁻¹). Bij SA1a hebben de proefvelden 5, 6, 256, 261 en 8 een grondwaterstand die zich tijdens de winterperiode boven 90 cm onder maaiveld bevindt. De doorgerekende situaties met grondwaterstandreksen prv5u, prv5kb, 1-0262u en 1-0262kb komen voor SA1b in aanmerking. Aangezien hier de nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater in beschouwing werd genomen, werd de procesfactor niet in rekening gebracht voor het afleiden van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu.

In Tabel 2.23 worden de intervallen van hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's van de weerhouden proefvelden en het aantal weerhouden proefvelden per 'textuur-oogstrest-gewas' combinatie weergegeven.

Het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu varieert tussen 20 en 50 kg NO₃-N ha⁻¹.

Tabel 2.23: Interval voor hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor een norm van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ van de proefvelden met een oppervlakkige grondwaterstand en het aantal weerhouden proefvelden per 'textuur-oogstrest-gewas'

textuur oogstrest gewas			11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ zonder procesfactor			
			Range van hoogst toelaatbare residu's		Aantal bodems	
			SA1a	SA1b	SA1a	SA1b
zand	aardappelen	geen	20	-	2	-
zand	geen	gras	30 - 40	40 - 50	2	3
zand	mais	geen	20	30	2	1
zandleem	aardappelen	geen	20	30	1	1
zandleem	geen	gras	-	40 - 50	-	7
zandleem	mais	geen	30	40	1	1
zandleem	mais	tarwe	20	-	1	-
zandleem	suikerbieten	geen	-	30	-	1
zandleem	tarwe	geen	30	40	1	1
zandleem	tarwe	grasachtige groenb	30	-	1	-
zandleem	tarwe	bladachtige groenb	40	-	1	-
zandleem	bloemkool	geen	20	-	1	-
leem	aardappelen	geen	-	30	-	1
leem	geen	gras	-	50	-	6
leem	mais	geen	-	-	-	-
leem	suikerbieten	geen	-	-	-	-
leem	suikerbieten	tarwe	-	-	-	-
leem	tarwe	geen	-	40	-	2
leem	tarwe	grasachtige groenb	-	-	-	-
leem	tarwe	bladachtige groenb	-	-	-	-
klei	aardappelen	geen	-	-	-	-
klei	geen	gras	-	50	-	1
klei	mais	geen	-	-	-	-
klei	suikerbieten	geen	-	-	-	-
klei	suikerbieten	tarwe	-	-	-	-
klei	tarwe	geen	-	-	-	-

2.6.3 Bespreking resultaten SA1a

Vermits in deze scenarioanalyse eenzelfde proefveld is doorgerekend met verschillende oogstresten en verschillende gewassen, kan het effect van deze oogstresten en gewassen worden onderzocht. In tegenstelling tot SA1b werd bovendien in deze scenarioanalyse buiten het gewas gras ook de groei en N-opname van andere wintergewassen opgenomen. De andere winterteelten waren wintertarwe voor alle texturen behalve zand, en grasachtige en bladachtige groenbemester voor de texturen zandleem en leem. Uitgezonderd voor het gewas wintertarwe liggen de toelaatbare nitraatstikstofresidu's van proefvelden met een winterteelt hoger dan bij de braakvelden met oogstresten. Uit de scenarioanalyse blijkt dat op onbegroeide percelen, in tegenstelling tot begroeide percelen, in de late herfst en winter relatief meer NO₃-N door uitspoeling verloren gaat. Zonder gewas treedt er immers geen vochtname en transpiratie op, waardoor de hoeveelheid effectieve neerslag groter is. Nitraten worden niet opgenomen (ontbreken van een gewas) en zullen dus, wegens hun goede wateroplosbaarheid, sneller naar diepere grondlagen meegevoerd worden. Daar komen ze terecht in het ondiepe grondwater en vandaar in het grond- en oppervlaktewater.

Het effect van een groenbemester op het toelaatbaar nitraatstikstofresidu is zeer duidelijk. De combinaties met groenbemers zijn steeds de combinaties met de hoogste toelaatbare nitraatstikstofresidu's. Wintertarwe is meestal nog onvoldoende ontwikkeld en heeft dus weinig effect op de nitraatconcentratie in de waterfluxen op 90 cm beneden maaiveld in de periode van 1 oktober tot en met 31 maart.

De braakvelden met oogstresten van bloemkool geven de laagst toelaatbare nitraatstikstofresidu's wat te wijten is aan de grote vrijzetting van stikstof uit de oogstresten. De andere oogstresten geven vergelijkbare resultaten, maar braakvelden met oogstresten van aardappelen en suikerbieten geven voor sommige proefvelden toch iets lagere toelaatbare nitraatstikstofresidu's dan de proefvelden met oogstresten van tarwe of maïs.

Deze scenarioanalyse werd slechts toegepast op enkele proefvelden zodat men voorzichtig dient te zijn met de veralgemening van de waargenomen trends.

2.6.4 Bespreking resultaten SA1b

De tabellen met resultaten van de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwtreek bevinden zich in Bijlage 2.

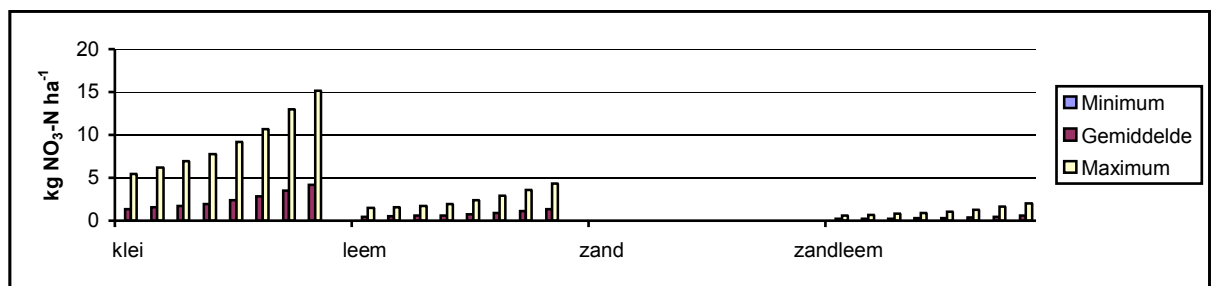
Het maximaal toelaatbaar residu is het hoogst op de percelen met een ondiepe grondwaterstand wat te verklaren is door een verhoogde denitrificatie en grotere waterfluxen (verdunning) waardoor de nitraatconcentratie verlaagd wordt.

Bij gelijkaardige grondwaterstanden kon de invloed van de teelt op de niraatuitspoeling nagegaan worden. In de Kempen en de Zandstreek geven percelen met gras in het algemeen een hoger toelaatbaar nitraatstikstofresidu dan braakpercelen met oogstresten van maïs. In de Leemstreek en Zandleemstreek daalt het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu van graslanden naar braakpercelen met oogstresten van tarwe, maïs of aardappelen en verder naar oogstresten van suikerbieten. Voor de zware kleibodems in de Polders is het effect van denitrificatie en van de bodemvocht karakteristieken duidelijk en kunnen over het algemeen iets hogere nitraatstikstofresidu's getolereerd worden.

In Figuur 2.1 worden in functie van de textuur en van het nitraatstikstofresiduniveau op 1 oktober de minimale, gemiddelde en maximale gesimuleerde denitrificatieverliezen weergegeven over een periode van 30 jaar en voor de periode 1 oktober-31 maart. De bestudeerde nitraatstikstofresiduniveaus zijn: 20, 30, 40, 50, 70, 90, 120 en 150 kg NO₃-N ha⁻¹.

Het effect van de textuur op de denitrificatieverliezen is uitgesproken: op zandbodems treedt vrijwel geen denitrificatie op in tegenstelling tot de fijnere texturen, zoals ook reeds bleek uit de literatuurstudie (eindrapport 1) en de resultaten van het denitrificatie-experiment (eindrapport 2). De gesimuleerde denitrificatieverliezen komen overeen met literatuurgegevens (eindrapport 1).

Uit de figuur blijkt tevens dat bodemprocessen sterk jaarsafhankelijk zijn (grote verschillen tussen het minimum, gemiddelde en maximum) en variëren naargelang de hoeveelheid neerslag en de temperatuur in de periode 1 oktober-31 maart. De temperatuur heeft een grote invloed op microbiële processen zoals mineralisatie en denitrificatie. De neerslag beïnvloedt het vochtgehalte van de bodem dat bepalend is voor denitrificatie en uitspoeling.

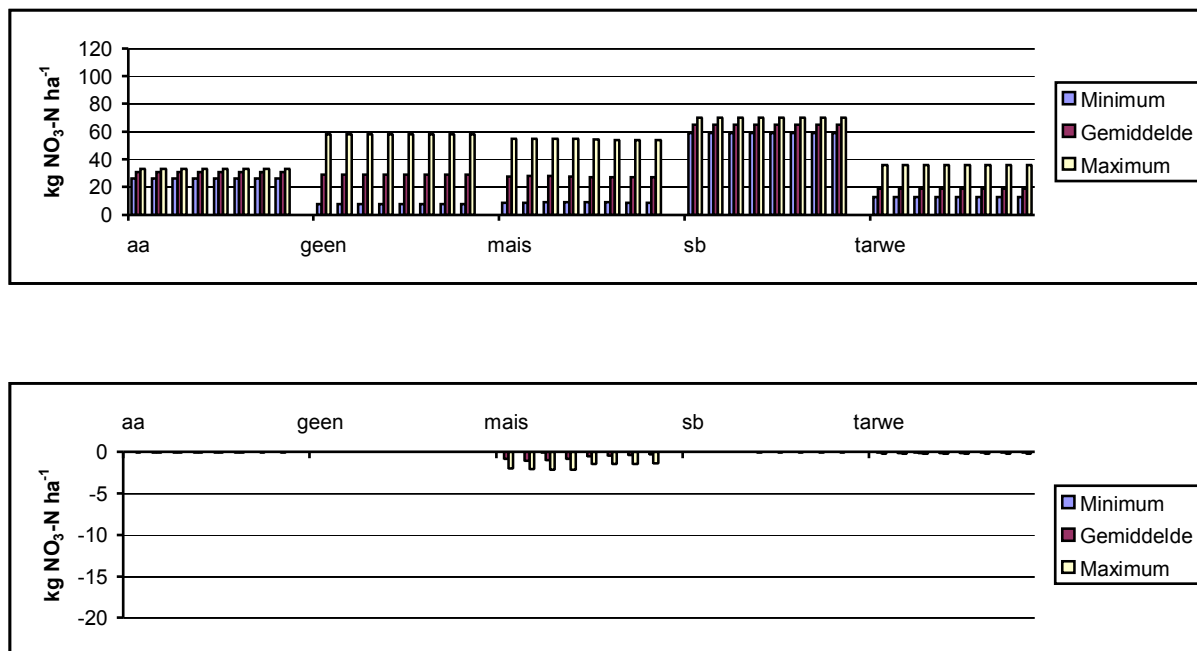


Figuur 2.1: Minimale, gemiddelde en maximale gesimuleerde denitrificatie tussen 1 oktober en 31 maart in functie van textuur en nitraatstikstofresidu (resp. 20, 30, 40, 50, 70, 90, 120, 150 kg NO₃-N ha⁻¹) over een periode van 30 jaar

In Figuur 2.2 wordt de gesimuleerde minimale, gemiddelde en maximale mineralisatie en immobilisatie in de periode 1 oktober tot 31 maart weergegeven per oogstrest en per nitraatstikstofresiduniveau (20, 30, 40, 50, 70, 90, 120 en 150 kg NO₃-N ha⁻¹). De mineralisatie omvat zowel de mineralisatie uit de oogstresten als de vrijzetting van stikstof uit bodemorganische stof en uit drijfmest in de beschouwde periode.

Enkel voor de oogstresten met hoge C/N-verhouding (wintertarwe, maïs) is er een netto-immobilisatie.

Suikerbieten benutten tijdens het groeiseizoen zeer efficiënt de beschikbare minerale stikstof. Bij een hoog stikstofaanbod aan de suikerbieten zal bij de oogst echter veel stikstof aanwezig zijn in het loof die kan mineraliseren. Dit verklaart de verhoogde mineralisatie bij suikerbieten in vergelijking met de andere teelten.



Figuur 2.2: Minimale, gemiddelde en maximale mineralisatie (boven) en immobilisatie (onder) tussen 1 oktober en 31 maart in functie van de oogstrest en nitraatstikstofresidu (20, 30, 40, 50, 70, 90, 120, 150 kg NO₃-N ha⁻¹) (met aa: aardappelen en sb: suikerbieten)

2.6.5 Afleiding van de nitraatstikstofresidunormen

2.6.5.1 Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel

Uit de resultaten van de scenarioanalyses blijkt dat de verdeling van het nitraatstikstofresidu op 1 oktober een belangrijke rol speelt in de bepaling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu. Bij de verdeling 'H' waarbij het nitraatstikstofresidu zich voor 50 % in de laag 0-30 cm bevindt en voor telkens 25 % in de lagen 30-60 cm en 60-90 cm (2:1:1-verhouding), is de kans op overschrijding van de grenswaarde het kleinst en kan er over het algemeen een iets hoger residu getolereerd worden. Voor de verdelingen 'G' (een gelijke verdeling van het nitraatstikstofresidu over de drie bodemlagen; 1:1:1-verhouding) en 'L' (het nitraatstikstofresidu bevindt zich voornamelijk in de onderste bodemlaag; 1:1:2-verhouding), is de overschrijdingskans groter en daarom is het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu dan ook kleiner dan voor verdeling 'H'.

Om na te gaan welke verdeling van het nitraatstikstofresidu onder normale omstandigheden het meest voorkomt in de periode 1 oktober-15 november, werd beroep gedaan op metingen van het nitraatstikstofresidu in deze periode.

Door Moreels *et al.* (2001) werden in het stroomgebied van de Wijlegemse beek in drie opeenvolgende herfstperiodes in totaal 135 percelen bemonsterd. Gemiddeld over de verschillende jaren bedroeg de verdeling van het nitraatstikstofresidu 38, 32 en 30 % in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm (Tabel 2.24).

Tabel 2.24: Verdeling van het nitraatstikstofresidu over het bodemprofiel in het stroomgebied van de Wijlegemse beek (1998-2000) (naar Moreels *et al.*, 2001)

Winterperiode	Periode staalname	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	Aantal velden
1998-1999	November	25 %	34 %	41 %	56
1999-2000	Begin oktober	53 %	29 %	18 %	53
2000-2001	Eind okt – begin nov	35 %	36 %	29 %	26
Samen		38 %	32 %	30 %	135

In november 2000 werden door Leroy *et al.* (2001) 47 percelen bemonsterd in de Polders. De gemiddelde verdeling van het nitraatstikstofresidu over de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm bedroeg respectievelijk 32, 39 en 29 %.

Het mestdecreet biedt bovendien aan landbouwers de mogelijkheid om op vrijwillige basis en voor percelen gelegen in de kwetsbare zones ‘water’ met de overheid een beheersovereenkomst af te sluiten. Voor deze percelen is de landbouwer verplicht om het nitraatstikstofresidu te laten bepalen tussen 1 oktober en 15 november. Door de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne (RUG) werden in 2001 243 velden bemonsterd in het kader van deze beheersovereenkomsten. De gemiddelde verdeling van het nitraatstikstofresidu bedroeg 33 % in de laag 0-30 cm, 36 % in de laag 30-60 cm en 31 % in de laag 60-90 cm.

Door de Bodemkundige Dienst van België werden in totaal meer dan 18.000 percelen bemonsterd tussen 1 oktober en 15 november 2001, hetgeen een uitgebreide databank opleverde voor het afleiden van een representatieve verdeling van het nitraatstikstofresidu in het najaar.

In Tabel 2.25 wordt per week de verdeling van het nitraatstikstofresidu weergegeven voor alle teelten samen. Globaal gezien blijft de verdeling van het nitraatstikstofresidu gedurende de volledige staalnameperiode vrijwel dezelfde: 50 % in de laag 0-30 cm, 25 % in de laag 30-60 cm en 25 % in de laag 60-90 cm.

In de beschouwde periode kan het nitraatstikstofresidu wijzigen door vrijzetting van stikstof door mineralisatie uit bodemorganische stof, oogstresten en organische mest. Deze mineralisatie doet zich voornamelijk voor in de bodemlaag 0-30 cm. Verder kunnen er stikstofverliezen optreden door denitrificatie, eveneens voornamelijk in de bovenste bodemlaag, en door uitspoeling. De invloed van deze processen op de temporele variabiliteit van het nitraatstikstofresidu wordt besproken in eindrapport 3. Uit Tabel 2.25 blijkt duidelijk dat de verdeling van het nitraatstikstofresidu in de periode van 1 oktober tot 15 november globaal gezien vrijwel constant bleef in het najaar 2001.

Tabel 2.25: Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel tussen 1 oktober en 15 november 2001, weergegeven per week (Bron: Bodemkundige Dienst van België)

Staalnameweek	Aantal stalen	Verdeling nitraatstikstofresidu (%)		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
1-7 oktober	2164	45.3 %	31.2 %	23.5 %
8-14 oktober	2753	45.9 %	31.1 %	23.0 %
15-21 oktober	3168	47.5 %	30.0 %	22.5 %
22-28 oktober	2976	47.6 %	30.5 %	21.9 %
29 oktober – 4 november	3006	50.1 %	29.7 %	20.2 %
5 -11 november	2999	51.7 %	28.9 %	19.4 %
12-15 november	1480	50.0 %	30.0 %	20.0 %
1 oktober-15 november	18546	48.4 %	30.2 %	21.4 %

Indien we een opsplitsing maken per teelt, zien we evenwel verschillen tussen de groenten en de andere teelten (Tabel 2.26). Bij de meeste teelten overweegt de verdeling 2:1:1. Hoewel het aantal stalen op groentepercelen beduidend kleiner is dan op akkerland- en graslandpercelen, kan toch afgeleid worden dat voor sommige groenten zoals bloemkool, prei, spinazie e.a. de 1:1:1-verdeling overweegt. Dit is te verklaren door het feit dat deze gewassen een lagere stikstofbenutting hebben, doordat ze geoogst worden als de groei in volle gang is (spinazie, bloemkool, broccoli) of door een eerder oppervlakkig wortelstelsel. Granen en suikerbieten hebben een lage stikstofvraag op het einde van de teelt, een diepe en intense beworteling en kunnen het ganse bodemprofiel tot op een diepte van 90 cm uitputten. Bladgroenten daarentegen hebben een grote hoeveelheid minerale stikstof nodig tot op het einde van de teelt en ontvangen doorgaans een hoge bemesting. Met hun ondiepe en beperkte verspreiding van de wortels is slechts een beperkte hoeveelheid stikstof uit het profiel bereikbaar (Hofman *et al.*, 1990).

Tabel 2.26: Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel tussen 1 oktober en 15 november 2001 in functie van de teelt (Bron: Bodemkundige Dienst van België)

Teelt	Verdeling van het nitraatstikstofresidu (%)			Aantal stalen
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
aardappelen	45.3	30.4	24.3	907
maïs	47.1	31.5	21.4	3945
suikercichorei	48.1	28.7	23.2	252
suikerbieten	50.3	28.5	21.1	1692
voederbiet	49.9	29.6	20.5	82
wintergranen	42.9	32.0	25.1	3916
zomergranen	40.6	31.9	27.4	167
grasland	55.0	27.6	17.3	62
maaiweide	55.9	27.2	16.9	361
tijdelijk grasland	51.9	29.7	18.4	189
weide	54.3	28.2	17.5	4733
bloemkool	28.8	37.6	33.5	31
groene kool	36.5	40.7	22.8	11
prei	27.4	36.2	36.4	21
spinazie	37.1	29.8	25.7	8
spruitkool	51.0	29.2	19.8	66
wortelen	43.3	30.9	25.8	48
erwten	42.1	31.7	26.2	68
struikbonen	41.2	32.2	26.6	143
witloofwortelen	50.5	27.9	21.6	91
vezelvlas	42.0	32.6	25.3	267
rapen	37.2	27.9	34.8	12
raaigras	46.0	30.8	23.3	153

Hierbij dient opgemerkt dat de staalnameperiode (1 oktober-15 november 2001) voorafgegaan werd door de natste septembermaand in Vlaanderen sinds 1833. Zelfs na zo een uitzonderlijk natte septembermaand overweegt de verdeling 'H' (50 % - 25 % - 25 %) voor de meeste teelten, zodat zeker onder 'normale' weersomstandigheden verwacht kan worden dat deze verdeling voor de meeste teelten representatief is in de periode van 1 oktober-15 november.

Voor groenten wordt, op basis van voorgaande metingen, de 1:1:1-verdeling van het nitraatstikstofresidu representatief bevonden, terwijl voor de andere gewassen geopteerd wordt voor een 2:1:1-verdeling.

2.6.5.2 Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu in functie van teelt en textuur

Nu per teelt de meest voorkomende verdeling van het nitraatstikstofresidu tussen 1 oktober en 15 november is vastgelegd, kunnen de nitraatstikstofresidunormen worden vastgelegd op basis van de resultaten van de scenarioanalyses, aangevuld met expertkennis.

Uit de scenarioanalyse blijkt dat bij onbegroeide percelen, in tegenstelling tot begroeide percelen, in de late herfst en winter relatief meer $\text{NO}_3\text{-N}$ door uitspoeling verloren gaat. Zonder gewas treedt er immers geen N-opname, vochtopname en transpiratie op, waardoor het neerslagoverschot en de nitraatuitspoeling groter zullen zijn.

Voor begroeide percelen dient het maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu nog gediversifieerd te worden in functie van het soort gewas. Voor gras werden brede intervallen voor het toelaatbare nitraatstikstofresidu bekomen. De bovenste grenzen van deze intervallen zijn hoog in vergelijking met scenario's met andere gewassen en scenario's zonder begroeiing, dit voor een zelfde textuur. De simulaties met groenbemesters geven voor de texturen zandleem en leem eveneens hogere toelaatbare nitraatstikstofresidu's. Het effect van groenbemesters in proefvelden met zand- of kleitextuur is niet onderzocht, daar deze scenario's niet voorkwamen in SA1a en SA1b. Wintertarwe is meestal nog onvoldoende ontwikkeld en heeft dus weinig invloed op het nitraatstikstofresidu. De braakvelden met oogstresten van maïs, tarwe, aardappelen en suikerbieten geven vergelijkbare toegelaten nitraatstikstofresidu's, terwijl de laagste toegelaten nitraatstikstofresidu's aangehouden dienen te worden in het geval van bloemkool en soortgelijke groenten met stikstofrijke oogstresten, indien deze oogstresten op het veld achterblijven.

Op basis van de resultaten van de scenarioanalyses, kan een vereenvoudigde overzichtstabel worden opgesteld. In Tabel 2.27 wordt zowel voor de grenswaarde ($11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) als voor de richtwaarde ($5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) een interval gegeven voor het maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu, al dan niet rekening houdend met de procesfactor.

Tabel 2.27: Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu in functie van de beschouwde norm en met of zonder het in rekening brengen van de procesfactor op 1 oktober

Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$)				
grenswaarde ($11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$)			richtwaarde ($5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$)	
oppervlakkig grondwater zonder procesfactor	oppervlaktewater		oppervlaktewater	
	zonder procesfactor	met procesfactor	zonder procesfactor	met procesfactor
20 –50	20 - 40	40-110	<20	20-50

In de eerste kolom van Tabel 2.27 ('grondwater'), wordt het interval voor het maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu weergegeven opdat voldaan zou zijn aan de grenswaarde in het ondiepe grondwater. Enkel de proefvelden met een oppervlakkige grondwaterstand (minder dan 90 cm onder maaiveld) (voor SA1a) en de situaties met ondiepe grondwaterstandsreeksen (voor SA1b) werden gebruikt voor de berekening van dit interval. Aangezien het hier gaat over de nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater, werd de procesfactor niet in rekening gebracht.

Voor het oppervlaktewater werd het interval bepaald zonder en met gebruik van de procesfactor. Voor alle doorgerekende situaties samen variëren de toelaatbare nitraatstikstofresidu's op 1 oktober tussen 20 en 40 kg NO₃-N ha⁻¹ indien de procesfactor niet in rekening wordt gebracht en indien voldaan moet zijn aan de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹. Indien voldaan moet zijn aan de richtwaarde van 5.65 mg NO₃-N l⁻¹, moet het nitraatstikstofresidu zonder gebruik van de procesfactor kleiner zijn dan 20 kg NO₃-N ha⁻¹. Mèt procesfactor varieert het toelaatbaar nitraatstikstofresidu tussen 40 en 110 kg NO₃-N ha⁻¹ in het geval van de grenswaarde en tussen 20 en 50 kg NO₃-N ha⁻¹ in het geval van de richtwaarde.

In Tabel 2.28 wordt een verdere opsplitsing gemaakt van het toelaatbaar nitraatstikstofresidu indien voldaan moet zijn aan de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ mèt gebruik van de procesfactor. Deze overzichtstabel is een vereenvoudigde samenvatting van Tabel 2.21 en is gebaseerd op de gemiddelde hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's in functie van teelt en textuur zoals gesimuleerd door WAVE.

De '*' geven aan welke situaties niet werden doorgerekend met het WAVE-model omdat ze niet voorkwamen in de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek (SA1b).

Tabel 2.28: Maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu in functie van textuur en oogstrest, rekening houdend met de procesfactor en met de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ op 1 oktober

Gewas/oogstrest	Nateelt	Zand	Zandleem	Leem	Klei
Maïs	-	60	80	90	100
Suikerbiet	-	*	90	70	80
Groenten (oogstresten)	-	*	50	*	*
Gras	-	70	110	100	100
Tarwe	-	*	80	80	90
Tarwe	groenbemester	*	100	90	*
Aardappel	-	50	80	80	70

Uit Tabel 2.28 blijkt dat er onderscheid gemaakt kan worden tussen twee bodemtypes, namelijk de zand (Z en S texturen) en de niet-zand bodems (zandleem, leem, klei). Op de niet-zandbodems zijn de maximaal toelaatbare nitraatstikstofresidu's gelijkaardig terwijl deze voor de zandbodems beduidend lager liggen.

De gewassen kunnen ingedeeld worden in 6 groepen: maïs, suiker- en voederbieten, gras, groenten zonder afvoer van oogstresten, tarwe gevolgd door een groenbemester en alle andere gewassen (waaronder aardappelen, tarwe zonder groenbemester, groenten met afvoer van gewasresten, groenten gevolgd door een groenbemester,...).

De uiteindelijke nitraatstikstofresidunormen per gewasgroep en bodemtype worden voorgesteld in Tabel 2.29. Hierbij dient opgemerkt dat indien deze waarden aangehouden zouden worden, dit belangrijke economische repercussies kan hebben, gezien de teelt van een aantal belangrijke groenten (bloemkool, prei, ...) bemoeilijkt zal worden. Neeteson en Carton (2001) maken melding van minerale N-residu's van 75 kg N ha⁻¹ na ajuinen, 60-210 kg N ha⁻¹ na bloemkool, 50-225 kg N ha⁻¹ na knolselder, 100-150 kg N ha⁻¹ na prei en 160-220 kg N ha⁻¹ na spinazie in het bodemprofiel. Zelfs bij een wetenschappelijk beredeneerde bemesting zal voor sommige groenten de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm zeer moeilijk gehaald worden en dit zal voor deze groenten in de praktijk duidelijke gevolgen hebben.

Tabel 2.29: Nitraatstikstofresidunormen (kg NO₃-N ha⁻¹) in functie van de teelt en de textuur op 1 oktober

Teelt/teeltcombinatie	Textuur	
	Zand	Niet-zand
Maïs	60	90
Bieten	50	70
Groenten zonder afvoer van oogstresten	40	50
Gras	70	100
Graangewassen + groenbemester	70	100
Andere gewassen	50	80

Op de zandgronden varieert het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op 1 oktober tussen 40 en 70 kg NO₃-N ha⁻¹ en op de niet-zandbodems varieert het tussen 50 en 100 kg NO₃-N ha⁻¹ (0-90 cm). Dit verschil tussen de zand en niet-zandbodems is verklaarbaar door het feit dat op lichte bodems het risico op nitraatuitspoeling aanzienlijk groter is dan op de zwaardere texturen.

Voornameijk voor groenten zonder afvoer van oogstresten op zowel zand als niet-zand bodems en voor alle gewasgroepen op zandgronden betekenen de bovenvermelde nitraatstikstofresidunormen een aanzienlijke verstrenging van de huidige norm van 90 kg NO₃-N ha⁻¹.

Uit de scenarioanalyses bleek dat bij een oppervlakkige grondwatertafel steeds hogere nitraatstikstofresidu's toelaatbaar zijn. De toelaatbaarheid van hogere NO₃-N-residu's is enerzijds te verklaren door een verdunningseffect en anderzijds door een verhoogde denitrificatie. De uiteindelijke afleiding van de nitraatstikstofresidunormen (Tabel 2.29) is echter gebaseerd op gemiddelde waarden, waarbij er geen onderscheid wordt gemaakt tussen droge en natte gronden aangezien dit in de praktijk moeilijk, zonet onmogelijk, controleerbaar is.

2.6.5.3 Verantwoording van de nitraatstikstofresidunormen

1. Invloed van oogstresten

De in Tabel 2.29 voorgestelde nitraatstikstofresidunormen verschillen sterk naargelang de gewasgroep aangezien het type oogstrest bepalend is voor de hoeveelheid stikstof die na de oogst kan vrijgesteld worden uit de oogstresten. Oogstresten van groenten, in het bijzonder koolgewassen, zijn typische voorbeelden van gewasresten die rijk zijn aan stikstof (Wehrmann en Scharpf, 1987; Rahn *et al.*, 1992). De snelheid waarmee stikstof kan vrijkomen, is o.a. afhankelijk van de C/N-verhouding van de gewasresten. Bij oogstresten met een hoge C/N-verhouding (bv. wintertarwe, maïs) wordt na de oogst in eerste instantie minerale stikstof vastgelegd (immobilisatie). Later in de herfst en in de winter komt een deel van deze vastgelegde stikstof weer vrij. Bij oogstresten met een lage C/N-verhouding (bv. suikerbieten, groenten) vindt al snel na de oogst een forse stikstofmineralisatie plaats. Omwille van een snelle N-mineralisatie (De Neve *et al.*, 1994; De Neve en Hofman, 1996) kan stikstof van oogstresten van koolgewassen, ingewerkt in de herfst, voor de start van de winterperiode reeds vrijgesteld worden.

Voor een 30-tal gewassen berekende Smit (1994) de N-benuttingsindex (NBI) onder Nederlandse omstandigheden. Naarmate de NBI lager is, wordt de aangeboden stikstof (uit meststoffen of mineralisatie) minder efficiënt benut. De NBI wordt berekend als de verhouding tussen de totale

N-opname door de teelt en het totale N-aanbod aan de teelt. Gemiddeld over alle gewassen bedroeg deze 60 %. De hoeveelheid stikstof (N_{tot}) die voor het gewas beschikbaar is, is gelijk aan:

$$N_{\text{tot}} = N_0 + N_{\text{min}} + N_{\text{advies}}$$

Hierin is N_0 de hoeveelheid stikstof die aanwezig is in het bodemprofiel bij het begin van de teelt, N_{min} is de hoeveelheid stikstof die mineraliseert gedurende de veldperiode en N_{advies} is het gemiddelde N-advies voor de betrokken teelt.

In Tabel 2.30 zijn de gewassen ingedeeld naar enerzijds de benutting van de beschikbare stikstof en anderzijds naar de hoeveelheid stikstof die in de vorm van gewasresten op het veld achterblijft.

Tabel 2.30: De gewassen ingedeeld naar de N-benuttingsindex (NBI) en de hoeveelheid stikstof in de oogstresten (Bron: Smit, 1994)

NBI	N in oogstresten (kg N ha ⁻¹)			
	0-50	50-100	100-150	> 150
< 0.4	Radijs			
0.4-0.5	sla ui spinazie schorseneer			
0.5-0.6	koolrabi aardappel	knolselderij koolraap prei	bloemkool	broccoli
0.6-0.7	maïs	boerenkool Chin. kool ijsbergsla stamslaboon		
0.7-0.8	wortel witlof andijvie		witte kool spruitkool suikerbiet	
> 0.8	wintertarwe bospeen	kroot	knolvenkel	rode kool doperwt

Links onder in de tabel staan gewassen die de stikstof goed benutten en een vrijwel leeg profiel achterlaten en tevens weinig stikstof onder vorm van oogstresten op het veld achterlaten (bv. wintertarwe).

Gewassen die weliswaar een goede stikstofbenutting vertonen maar waarbij veel van de opgenomen stikstof achterblijft op het veld in de oogstresten staan rechtsonder in de tabel (bv. enkele koolgewassen en suikerbieten).

In de bovenste helft van de tabel staan gewassen die de beschikbare stikstof slecht benutten. Hieronder vallen veel gewassen die geoogst worden wanneer de groei in volle gang is (sla, spinazie, radijs). Ook bloemkool, broccoli en koolrabi (die snel groeien op het moment van de oogst) zijn slechte benutters, terwijl andere koolgewassen zoals spruitkool goede benutters zijn en bij de oogst een vrijwel leeg profiel achterlaten. Zoals hoger aangehaald echter, kan reeds voor de winter een belangrijke hoeveelheid stikstof mineraliseren uit de achtergebleven oogstresten. Voor andere gewassen met een lage benutting, zoals ui, prei en aardappel, spelen de bewortelingskarakteristieken een rol.

Tabel 2.31 toont een overzicht van de stikstofinhoud van de oogstresten van tuin- en akkerbouwgewassen (Breimer, 1988; Demyttenaere *et al.*, 1989; de Waal en Titulaer, 1993; Formesyn, 1994; Smit, 1994; ENVEG, 2000; De Neve, 2000; Neeteson en Carton, 2001). Voor een aantal gewassen zijn de ranges van de N-inhoud groot (bv. broccoli, wortelen, bloemkool, spruitkool). Dit houdt in dat, afhankelijk van het gewas en de teeltomstandigheden, oogstresten nog belangrijke hoeveelheden stikstof kunnen bevatten die na de oogst door mineralisatie zullen vrijkomen.

Tabel 2.31: Overzicht van de stikstofinhoud van de oogstresten van enkele tuin- en akkerbouwgewassen

oogstrest	N-inhoud kg / ha	oogstrest	N-inhoud kg / ha	oogstrest	N-inhoud kg / ha
aardappel	20-85	kropsla	5-40	witlof	45
aardbei	60-80	maïs	5-25	witte kool	30-250
andijvie	30-80	pastinaak	160	wortelen	10-100
bindsla	60	pompoen	25	wintergerst	20
bleekselderij	90-150	prei	5-70	wintertarwe	20-45
bloemkool	80-175	radijs	5-90		
boerenkool	85-130	raketsla	40		
boon	85-95	rammenas	5-25		
bospeen	5-25	rode biet	90-120		
broccoli	90-230	rode kool	15-200		
cichorei	45-90	savooikool	90-190		
Chinese kool	30-110	schorseneer	45		
courgette	115	spinazie	5-60		
doperwt	30-190	spruitkool	90-250		
ijsbergsla	15-90	stamslaboon	30-95		
knolselderij	25-115	suikerbiet	120		
knolvenkel	110	suikermaïs	95		
koolraap	50	ui	5-35		
koolrabi	5-80	venkel	60-100		

Demyttenaere *et al.* (1989) vermelden een N-vrijzetting vóór de winter van 90 % van de stikstof voor gewassen die in de zomer geoogst worden, zoals erwten, bloemkool en spinazie. Tevens werd de N-vrijstelling nagegaan van enkele oogstresten gedurende de winter (Tabel 2.32). Uit deze tabel blijkt dat 55 tot 75 % van de stikstof in de oogstresten kan vrijkomen tijdens de winter.

Tabel 2.32: N-vrijstelling na incorporatie van oogstresten. De getallen tussen haakjes geven het percentage weer (naar Demyttenaere *et al.*, 1989)

Oogstrest	N-inhoud kg N ha ⁻¹	N-vrijstelling kg N ha ⁻¹
Bleekselder	152	112 (74)
Knolselder	110	73 (66)
Erwten	91	49 (54)
Bloemkool	106	70 (66)
Wortelen	96	59 (61)

Tabel 2.33 toont de N-vrijstelling na incorporatie van oogstresten tijdens een incubatie-experiment (15 weken, 16-17°C) (Formesyn, 1994; De Neve, 2000). Bij deze proeven kwam 40 tot 90 % van de N vrij uit de gewasresten.

Tabel 2.33: N-vrijstelling na toediening van oogstresten tijdens een incubatie-experiment. De getallen tussen haakjes geven het percentage N weer dat vrijkomt (naar Formesyn, 1994; De Neve, 2000)

	N-inhoud kg N ha ⁻¹	N-vrijstelling kg N ha ⁻¹
Bloemkool ^a	141	84 (60)
Bloemkool ^b	155	107 (69)
Bonen ^a	83	39 (47)
Bonen ^b	83	37 (45)
Broccoli ^a	169	109 (64)
Broccoli ^b	213	133 (57)
Knolselder ^a	112	71 (64)
Knolselder ^b	91	60 (66)
Koolrabi ^a	52	31 (60)
Kruldijvie ^a	35	30 (86)
Andijvie	38	28 (74)
Rode kool ^b	14	9 (62)
Sla ^a	20	18 (91)
Sla ^b	41	32 (77)
Spinazie ^a	59	39 (66)
Venkel ^a	100	89 (89)
Venkel ^a	65	49 (76)
Witte kool ^a	175	68 (39)

^a naar Formesyn (1994)

^b naar De Neve (2000)

De snelheid waarmee gewasresten worden afgebroken is afhankelijk van de C/N-verhouding. Bij hoge waarden (> 25) zal de mineralisatie sterk geremd worden en zal de aanwezige N opgenomen worden in de microbiële biomassa (immobilisatie). Bij lage C/N-verhoudingen (< 15) zal de afbraak en de mineralisatie snel doorgaan, zodat na de oogst van het gewas nog heel wat minerale stikstof kan vrijkomen. Tabel 2.34 toont een literatuuroverzicht van de C/N-verhoudingen van

oogstresten (Rijkers en Timmers, 1983; Scharpf en Wehrmann, 1988; Bosch en de Jonge, 1989; Dendooven, 1990; Demyttenaere, 1991; Formesyn, 1994; Salomez *et al.*, 1995; Whitmore, 1996; MacDonald *et al.*, 1997; De Neve, 2000). Uit deze tabel blijkt dat vele gewasresten een lage C/N-verhouding hebben en dus snel afbreekbaar zijn.

Tabel 2.34: Overzicht C/N-verhoudingen bij gewasresten van groenten

gewasrest		C/N	gewasrest		C/N
andijvie	bladschijf	10	kolen		15
	stronk	16	koolrabi	bladschijf	9
bloemkool	oogstrest	12-14	kropsla	oogstrest	8
	blad	10-12		blad	9-10
	stronk	14		stronk	11-13
bonen	oogstrest	18	prei		9-14
	blad	9-13	rapen	bladschijf	10
	stronk	25	rode kool	blad	16
	wortel	44	savooi	blad	10
broccoli	oogstrest	10-13	spinazie	oogstrest	8
	blad	8		blad	9
	bladsteel	16		stronk	6
	stronk bovenste deel	15	spruitkool		25
	stronk onderste deel	29	uien		80
cichorei		21	venkel	blad	10
Chinese kool		9		stronk	15
ijsbergsla		10	witte kool	oogstrest	10-15
knolselder	blad	13-15		blad	22
	stronk	31		stronk	23
	oogstrest	18	wortelen		12-31

Uit het voorgaande mag dus besloten worden dat er, indien de gewasresten van groenten (en van bieten) na de oogst niet verwijderd worden van het veld, nog een grote hoeveelheid stikstof kan vrijkomen. Deze minerale stikstof is echter onderhevig aan uitspoeling, zodat bij afleiding van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu terecht onderscheid wordt gemaakt tussen percelen waar de oogstresten wel of niet verwijderd worden. Het residu in het bodemprofiel mag bijgevolg hoger zijn op die percelen waar de oogstresten verwijderd worden (zie Tabel 2.29). Hierbij dient opgemerkt dat het verwijderen van oogstresten niet altijd zo evident is, o.a. omwille van de gebruikte oogstechniek (bv. verpulveren van bietenbladeren). Het houdt tevens een meerkost in. Tevens worden de oogstresten na verwijdering van het perceel beschouwd als een afvalstof en moeten dus behandeld worden als voorgeschreven in de desbetreffende wetgeving.

2. Invloed van groenbemesters

Het inzaaien van een groenbemester in het najaar kan, indien dit vroeg genoeg gebeurt, een belangrijk deel van de stikstof in de bodem opnemen en op deze wijze migratie naar diepere lagen verhinderen (Tabel 2.35, Tabel 2.36, en Tabel 2.37). Daarnaast wordt door transpiratie van het gewas de neerwaartse waterbeweging en dus de N-uitspoeling beperkt. Door Ninane *et al.* (1995) werd aangetoond dat de N-opname door groenbemesters afhankelijk is van de zaaidatum. Om een voldoende hoge N-opname te realiseren moeten de groenbemesters voor 1 september ingezaaid worden om het stikstofresidu in de bodem gevoelig te verlagen.

Een bijkomend gunstig effect van groenbedekking is de productie van organische stof en de bijdrage tot een verbetering van de bodemstructuur door de intensieve beworteling. Het gebruik van groenbedekking beperkt bovendien tijdens regenperiodes de eroderende invloed van afstromend regenwater.

Aangezien de stikstof, opgenomen door de groenbemester gedeeltelijk terug vrijkomt tijdens het groeiseizoen van de volgteelt, dient deze mineralisatie in mindering gebracht te worden bij de berekening van de N-bemesting voor de volgteelt.

Wanneer de opgenomen stikstof door mineralisatie terug vrijkomt is afhankelijk van:

- het tijdstip van inwerken van de groenbemester;
- het tijdstip van afsterven (ten gevolge van afvriezen) – bladrijke groenbemesters zijn sterker vorstgevoelig dan de grasachtige groenbemesters;
- type groenbemester: moeilijker mineraliseerbaar of niet.

Een vroegtijdige mineralisatie moet voorkomen worden door het gebruik van teelttechnische maatregelen (keuze van groenbemester, ploegdatum, ...).

Door de groenbemester eerst te hakselen alvorens het onderploegen, verkrijgt men een betere verdeling en ontbinding van planteresten.

Tabel 2.35: Gemiddelde N-opname (kg N ha^{-1}) door groenbemesters in functie van hun ontwikkeling (Ver Elst *et al.*, 1999)

type groenbemester	ontwikkeling groenbemester		
	Matig	Normaal	goed
bladrijke	30-50	50-70	70-90
grasachtige	20-40	40-60	60-80
vlinderbloemige	30-50	50-75	60-100

Tabel 2.36: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen- N-opname door groenbemesters, proefveld te Kessel-Lo, 1999 (Ver Elst, 2000)

groenbemester	Bemesting	N-opname (kg N ha ⁻¹)
raaigras	25 ton ha ⁻¹ zeugendrijfmest	96
mosterd	25 ton ha ⁻¹ zeugendrijfmest	118
raaigras	0 kg N ha ⁻¹	42
mosterd	0 kg N ha ⁻¹	55
raaigras	50 kg N ha ⁻¹ mineraal	54
mosterd	50 kg N ha ⁻¹ mineraal	74

Tabel 2.37: Biomassaproductie en N-opname door groenbemesters in functie van het zaaitijdstip (Ninane *et al.*, 1995)

Groenbemester	Zaaidatum	N-bemesting (kg N/ha)	Biomassa (ton DS/ha)	N-opname (kg/ha)
mosterd	13/08/90	60	5.8	100
		120	6.6	127
raaigras	27/07/90	60	6.4	143
		120	6.2	164
mosterd	29/08/91	0	3.5	71
		80	5	125
raaigras	06/08/91	0	6	50
		80	6.8	108
phacelia	06/08/91	0	3.5	49
		80	5.8	122
mosterd	27/08/92	0	3.4	73
		80	6.9	178
raaigras	29/07/92	0	4.5	72
		80	8.8	169
phacelia	29/07/92	0	5.9	86
		80	8.3	155
mosterd	17/08/93	0	3.2	50
		80	5.5	115
mosterd	30/08/93	0	2.4	53
		60	2.9	72
mosterd	13/09/93	0	0.7	30
		50	1.3	51

Op basis van meerdere proefveldresultaten werd aangetoond dat een groenbemester 50 kg N ha^{-1} kan opnemen wanneer deze gezaaid wordt vóór 1 september. Zelfs bij een beperkte N-gift kan dit nog oplopen bij een vroege zaai en gunstige weersomstandigheden. Uit voorgaande volgt dat bij de afleiding van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu terecht onderscheid wordt gemaakt tussen percelen waar graangewassen al dan niet gevolgd worden door een groenbemester.

Vlinderbloemige groenbedekkers (wikken, klaver, lupinen) kunnen via de wortelknobbeltjes extra stikstof fixeren vanuit de lucht. Aangezien er geen behoefte is aan extra stikstoftoevoer– door het grote aanbod aan stikstof afkomstig uit dierlijke mest- worden vlinderbloemige groenbemers minder aangeraden.

2.6.5.4 Schatting van nitraatstikstofresidu's in functie van de teelt

Door van Enckevort *et al.* (2002) werden voor verschillende gewassen de hoeveelheid residuele minerale stikstof geschat die in de bodem achterblijft na de oogst (0-60 cm), verder in de tekst aangeduid als $N_{\text{min,H}}$. Gebaseerd op een groot aantal veldobservaties wordt $N_{\text{min,H}}$ voorspeld, wanneer bemest wordt volgens het stikstofadvies en wanneer rekening wordt gehouden met het bodemtype en de groeiperiode van het gewas. In Tabel 2.38 wordt een overzicht gegeven van de geschatte $N_{\text{min,H}}$ bij gemiddelde weerscondities (in Nederland) en bij een stikstofbemesting volgens het advies. De verwachte hoeveelheid $N_{\text{min,H}}$ is sterk afhankelijk van de stikstofefficiëntie van het gewas (zie Tabel 2.30). Voor sommige gewassen is er een effect van het bodemtype op de schatting van $N_{\text{min,H}}$ en van de groeiperiode voor gewassen met een korte groeicyclus.

Een vergelijking tussen Tabel 2.38 en de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen in Tabel 2.29 toont aan dat voornamelijk voor sommige groentegewassen zonder afvoer van oogstresten (prei, spinazie, sla,..) een discrepantie bestaat tussen de normen ($40 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ op zandbodems en $50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ op niet-zandbodems) en de geschatte nitraatstikstofresidu's die onder normale omstandigheden voorkomen. Voor koolgewassen die de stikstof goed benutten (witte kool, spruitkool) stellen de normen geen problemen. Voor graangewassen, suikerbieten en gras zijn de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen met goede bemestingspraktijken eveneens haalbaar in de praktijk. Voor maïs en bewaaraardappelen is het geschatte nitraatstikstofresidu daarentegen hoger dan toelaatbaar is op zandgronden.

Tabel 2.38: Overzicht van de geschatte $N_{\min,H}$ (kg N ha⁻¹, 0-60 cm) in functie van het gewas, groeiperiode en bodemtype onder gemiddelde weersomstandigheden bij een stikstofbemesting volgens het advies (Van Dijk, 1999). De waarde die volgens de verwachtingen om de 10 jaar overschreden zal worden, is weergegeven tussen haakjes (Naar: van Enckevort *et al.*, 2002).

Gewas	Bodem		
	Klei	Leem	Zand
Bewaaraardappelen*	68 (106)	68 (106)	68 (106)
Zetmeelaardappelen	-	-	41 (77)
Plantaardappelen	55 (80)	-	-
Suikerbieten*	15 (27)	25 (57)	25 (57)
Voeder- en korrelmaïs*	41 (77)	41 (77)	76 (139)
Wintergranen*	22 (42)	22 (42)	36 (53)
Zomergranen*	17 (28)	17 (28)	17 (28)
Permanent raaigras	-	-	19 (27)
Plantui	60 (96)	-	-
Bloemkool-zomer en herfst	58 (104)	-	-
Broccoli- alle groeiperiodes*+	39-50 (60-71)	-	39 – 50 (60-71)
Chinees kool – alle groeiperiodes	-	-	51 (99)
Tuinerwt	-	-	25 (36)
Knolselder	39 (72)	-	-
Ijsbergsla- alle groeiperiodes+	-	-	98-112 (186-225)
Kropsla-alle groeiperiodes*	89 (133)	-	89 (133)
Prei-herfst	91 (152)	-	91 (152)
Spinazie- alle groeiperiodes	122 (246)	-	-
Lage struikbonen	-	-	45 (92)
Veldbonen	-	-	54 (88)
Fijne wortelen, herfst	-	-	10 (17)
Wortelen, winter*	24 (46)	-	24 (46)
Witloof*	24 (46)	24 (46)	-
Witte kool	27 (41)	-	-
Spruitkool	7 (10)	-	-

* wanneer gelijkaardige waarden worden gegeven voor verschillende bodemtypes, zijn de schattingen gebaseerd op de samengevoegde datasets

+ wanneer verschillen in aanbevolen N-dosis voor een bepaalde 'bodem-gewas-groeiperiode' leidt tot een relevant verschil in $N_{\min,H}$ wordt het interval voor $N_{\min,H}$ weergegeven

Deze geschatte nitraatstikstofresidu's kunnen getoetst worden aan de uitgebreide dataset nitraatstikstofresidumetingen die door de Bodemkundige Dienst van België werden uitgevoerd in het kader van de beheersovereenkomsten in de kwetsbare gebieden. In het najaar van 2001 werden door de BDB meer dan 18000 percelen bemonsterd. In Tabel 2.39 en 2.40 wordt voor de belangrijkste akkerbouwgewassen en voor grasland weergegeven hoeveel stalen genomen werden in 2001 en welk het gemiddeld nitraatstikstofresidu was. Tevens wordt per teelt aangegeven hoeveel procent van de bemonsterde percelen zouden voldoen aan de in Tabel 2.29 voorgestelde nitraatstikstofresidunormen.

Aangezien bij de voorgestelde normen onderscheid wordt gemaakt tussen de zand- en niet-zand bodems, wordt deze indeling ook in Tabel 2.39 en Tabel 2.40 behouden.

Op basis van deze uitgebreide dataset, kan besloten worden dat op zandbodems minder dan de helft van de percelen (37-44 %) zouden voldoen aan de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen voor wat betreft maïs, aardappelen en granen zonder groenbemester. Voor bieten, gras en granen

gevolgd door een groenbemester stellen de normen beduidend minder problemen en zouden ruim 60 % van de bemonsterde percelen voldoen aan de normen.

Op de niet-zandbodems zal voornamelijk de aardappelteelt een probleem stellen.

Tabel 2.39: Overzicht van de nitraatstikstofresidumetingen in 2001 (Bron: BDB) met per gewas een aanduiding van het percentage percelen dat zou voldoen aan de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen op de zandbodems. Ook het gemiddelde nitraatstikstofresidu en het aantal stalen genomen tussen 1 oktober en 15 november 2001 worden weergegeven.

Gewas	% percelen \leq residunorm	Gemiddeld nitraatstikstofresidu	Aantal stalen
Mais	$\leq 60 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ¹ : 44 %	$79 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	2033
Granen	<ul style="list-style-type: none"> • Zonder groenbemester • $\leq 50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 44 % • Met groenbemester • $\leq 70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 64 % 	$62 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	266
Bieten	$\leq 50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ¹ : 63 %	$56 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	97
Gras	$\leq 70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ¹ : 67 %	$63 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	2271
Aardappelen	$\leq 50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ¹ : 37 %	$71 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	237

Tabel 2.40: Overzicht van de nitraatstikstofresidumetingen in 2001 (Bron: BDB) met per gewas een aanduiding van het percentage percelen dat zou voldoen aan de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen op de niet-zandbodems. Ook het gemiddelde nitraatstikstofresidu en het aantal stalen genomen tussen 1 oktober en 15 november 2001 worden weergegeven.

Gewas	% percelen \leq residunorm	Gemiddeld nitraatstikstofresidu	Aantal stalen
Maïs	$\leq 90 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 59 %	$92 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	1911
Granen	<ul style="list-style-type: none"> • Zonder groenbemester • $\leq 80 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 45 % • Met groenbemester • $\leq 100 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 62 % 	$93 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	3807
Bieten	$\leq 70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 59 %	$70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	1677
Gras	$\leq 100 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 66 %	$95 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	3107
Aardappelen	$\leq 80 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$: 41 %	$102 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$	694

2.6.5.5 Aanpassing van de nitraatstikstofresidunormen in functie van het staalnametijdstip

De in Tabel 2.29 voorgestelde nitraatstikstofresidunormen zijn afgeleid voor een staalname van het nitraatstikstofresidu op 1 oktober. In eindrapport 3 wordt uitvoerig ingegaan op de temporele variabiliteit van het nitraatstikstofresidu in de staalnameperiode 1 oktober – 15 november. In dit rapport wordt verantwoord dat de nitraatstikstofresidunormen enkel dienen aangepast te worden in functie van het staalnametijdstip voor bloemkool en andere groenten met gemakkelijk mineraliseerbare oogstresten en in het geval van gras en groenbemesters. Voor de oogstrest bloemkool zal, bij een bepaald maximaal toegelaten nitraatstikstofresidu op 1 oktober, het overeenkomstige residu 7 weken later reeds geleidelijk toegenomen zijn met gemiddeld $20 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. Indien het perceel begroeid is met gras of een groenbemester zal het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op 15 november ten opzichte van dit op 1 oktober zijn afgenomen met gemiddeld $20 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. Voor de andere teelten blijft het nitraatstikstofresidu vrijwel constant gedurende de periode 1 oktober-15 november en is een aanpassing van de grenswaarde in functie van het staalnametijdstip bijgevolg niet noodzakelijk.

2.6.5.6 Opmerking

Voor het afleiden van de nitraatstikstofresidunormen is de procesfactor van 2.4 in rekening gebracht om de gesimuleerde nitraatconcentratie in de waterflux op 90 cm onder maaiveld te vertalen naar de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater (zie Hoofdstuk 1). Voor het grondwater zal vermoedelijk een andere procesfactor gelden dan voor het oppervlaktewater. Een wetenschappelijk onderbouwde procesfactor voor het grondwater kon in dit project echter niet afgeleid worden op basis van de huidige schaarse gegevens. De normen van Tabel 2.29 zullen wel het oppervlaktewater beschermen maar zullen niet met zekerheid volstaan om het grondwater

te beschermen tegen nitraatverontreiniging. Dit aspect kon binnen het tijdsbestek van deze studie (2 jaar) en met de vooropgestelde projectopzet niet uitgediept worden en dient in de toekomst verder onderzocht te worden.

2.7 Gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse WAVE

2.7.1 Onzekerheid en betrouwbaarheid bij deterministische modellen

2.7.1.1 Inleiding

De nitraatstikstofresidunormen zijn afgeleid op basis van modelresultaten, gecombineerd met expertkennis en literatuurgegevens. Om na te gaan hoe betrouwbaar de modelresultaten zijn, werd een gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse uitgevoerd met WAVE.

WAVE is een deterministisch model. Hiermee wordt bedoeld dat met een gegeven set van modelinvoer en -parameters steeds dezelfde simulatieresultaten gegenereerd worden. De realiteit is echter dat de modelinvoer en -parameters niet deterministisch zijn maar gekenmerkt worden door een onzekerheid. Deze onzekerheid kan gekarakteriseerd worden door de kansverdeling van de modelinvoer en -parameters. Bovendien kunnen verschillende parametersets eenzelfde modeluitvoer genereren.

Om de betrouwbaarheid van scenarioanalyses te verhogen, moeten van nature deterministische modellen, zoals WAVE, in een stochastische context worden geanalyseerd, zodat de cruciale grootheden van de modeluitvoer niet worden gegeven als één absolute waarde, die strikt genomen geen enkele informatiewaarde heeft, maar als een verwachte waarde met bijhorende onzekerheid (of betrouwbaarheidsinterval), als een kans, of als een cumulatieve kansfunctie.

Er zijn twee soorten bronnen van onzekerheden in modeluitvoer waarmee men rekening moet houden bij het gebruik van deterministische modellen voor scenarioanalyse, nl. onzekerheid die verband houdt met de beschrijving van processen in het model, en onzekerheid van de invoerparameters van het model.

2.7.1.2 Onzekerheid op processen

De tijdsreconstructie van stikstofconcentraties in het bodemprofiel en nitraatuitspoeling naar het grondwater in deterministische modellen is gebaseerd op fysische, chemische en biologische wetmatigheden. Toch kunnen modelvoorspellingen verschillen van veldobservaties. Simulaties met modellen zijn steeds gebaseerd op concepten die het werkelijke systeem op een vereenvoudigde wijze beschrijven. Zo moeten de eigenschappen van het systeem, de optredende gebeurtenissen die leiden tot veranderingen in het systeem, en belangrijke processen worden gedefinieerd. Dit betekent dat een model afhangt van de modelontwikkelaar die kiest welke systeemeigenschappen, gebeurtenissen en processen worden beschreven en op welke manier. Sommige complexe deelprocessen worden door vereenvoudigde vergelijkingen of modellen beschreven, enerzijds omdat deze deelprocessen onvoldoende gekend zijn, en anderzijds omdat de wiskundige beschrijving ervan te complex is.

De onzekerheid op processen heeft vooral invloed op de betrouwbaarheid van de model-simulaties. Het negeren of onvolledig beschrijven van sommige processen kan leiden tot een systematische over- of onderschatting van sommige uitvoervariabelen. Wanneer modelparameters

via kalibratie worden bekomen, kan een onvolledige procesbeschrijving aanleiding geven tot onrealistische parameterschattingen.

Uitgebreide kalibratie en validatie voor uiteenlopende ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties heeft reeds eerder aangetoond dat WAVE een betrouwbare hulpmiddel is bij de tijdsreconstructie van de stikstofdynamiek in de bodem (o.a. Vanclooster, 1995; Ducheyne *et al.*, 1998a,b; Ducheyne, 2000). Tevens werd WAVE in het kader van het N-(eco)²-project gekalibreerd en gevalideerd op basis van de 20 proefvelden representatief voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties in Vlaanderen (hiervoor wordt verwezen naar eindrapport 2). We mogen dan ook veronderstellen dat de onzekerheid veroorzaakt door de modelprocessen tot een minimaal niveau is herleid, zodat dit aspect niet verder onderzocht werd.

2.7.1.3 Onzekerheid op modelinvoer

De onzekerheid op de parameters die in het model worden ingevoerd is op te delen in statistische, procedurele en inherente onzekerheid:

- Modelparameters, zoals in dit project de mineralisatie- en denitrificatiesnelheid, kunnen door onafhankelijke metingen bekomen worden. Meestal wordt er een experiment opgezet waarbij bepaalde variabelen worden opgemeten. Modelparameters worden van deze gegevens berekend of afgeleid door lineaire regressie, curve-fitting of inverse optimalisatie (kalibratie). Allerhande (random of systematische) meetfouten zorgen er echter voor dat de exacte waarde van de modelparameter niet gekend is. Dit wordt aangeduid met *statistische onzekerheid*. Met behulp van statistische technieken kan men de verwachte waarde van de parameter schatten en een onverenkomstig betrouwbaarheidsinterval definiëren.
- De waarden van sommige modelparameters zijn afhankelijk van de gebruikte meettechniek en dus niet eenduidig bepaald. Dit wordt aangeduid als *procedurele onzekerheid*. Een voorbeeld hiervan zijn de fouten die kunnen optreden bij de staalname, bewaring, voorbehandeling en nitraatanalyse van de bodemstalen. Deze aspecten komen uitvoerig aan bod in eindrapport 3.
- Bodemeigenschappen vertonen vaak een heel grote variatie wanneer ze op verschillende locaties in een perceel opgemeten worden, de zogenaamde *inherente onzekerheid* of ruimtelijke variabiliteit, meestal uitgedrukt als een variatiecoëfficiënt (VC: 100 maal de ratio van de standaardafwijking over het gemiddelde). Deze variatiecoëfficiënt is niet enkel afhankelijk van de parameter zelf, maar ook van het bodemtype en het beheer. Bovendien kunnen bodemeigenschappen variëren in de tijd. Als voorbeeld hiervan kan de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de nitraatstikstofconcentratie in de bodem aangehaald worden. Dit thema wordt eveneens besproken in eindrapport 3.

De onzekerheid op of de variabiliteit van invoerparameters, veroorzaakt door statistische, procedurele of inherente onzekerheid, resulteert in onzekerheid op of variabiliteit van de uitvoervariabelen.

2.7.2 Foutenanalyse

Aan de hand van een foutenanalyse kan het verband tussen de onzekerheid op de modelinvoer en de onzekerheid op de modeluitvoer bepaald worden. Bovendien kan de grootte van de onzekerheid op de modeluitvoer, veroorzaakt door de verschillende invoerparameters apart of alle invoerparameters samen, bekomen worden en kunnen die parameters die een significante bijdrage leveren tot de onzekerheid op de modeluitvoer geselecteerd worden.

Het is uitermate belangrijk om, alvorens te starten met de foutenanalyse, te bepalen welke invoerparameters men wil of kan opnemen in de analyse. Vaak is het onmogelijk of is het niet de bedoeling om het effect van alle invoerparameters van een model te onderzoeken, maar moet of wil men zich beperken tot een beperkte set van invoerparameters of een bepaald deelaspect van het model waarvoor men de foutenanalyse wil uitvoeren. Een belangrijke beperking hierbij is de beschikbaarheid van bruikbare gegevens voor de kwantificatie van de onzekerheid op of variabiliteit van een invoerparameter.

Evenzeer moet men op voorhand bepalen welke onzekerheid of variabiliteit men wil kwantificeren. Men kan de waarde van een invoerparameter over een ruim bereik laten variëren om de gevoeligheid van een model voor de parameter in kwestie te bepalen of men kan het bereik beperken tot realistische waarden. Men kan zich beperken tot enkel statistische, procedurele of inherente onzekerheid of de totale onzekerheid op de invoerparameter bepalen. Deze keuzes kunnen de resultaten sterk beïnvloeden.

Een foutenanalyse wordt doorgaans opgesplitst in een gevoeligheidsanalyse en een onzekerheidsanalyse. In een gevoeligheidsanalyse wordt bepaald welke parameters de meeste invloed hebben op de modeluitvoer. Hierbij wordt voor elke parameter enkel een bereik opgesteld waarbinnen deze kan variëren, zonder dat er aan dit bereik een kansverdeling wordt gekoppeld. Het resultaat is een beperktere parameterset die echter wel het grootste deel van de onzekerheid op de modeluitvoer verklaart. Daarna wordt een onzekerheidsanalyse uitgevoerd met die kleinere parameterset. Om uitspraak te kunnen doen over de waarschijnlijkheid van de verschillende modeluitvoeren en dus over de onzekerheid op de modeluitvoer, wordt hiervoor wel aan elke parameter een kansverdeling toegekend.

2.7.3 Werkwijze en resultaten van de foutenanalyse

2.7.3.1 Overzicht

Zowel de gevoeligheids- als de onzekerheidsanalyse werd uitgevoerd met behulp van het softwarepakket UNCSAM 1.1 (Janssen *et al.*, 1993), dat gebruik maakt van een Monte Carlo sampling methode om voor de geselecteerde modelinvoer random parameterwaarden te genereren en waarmee een statistische analyse kan uitgevoerd worden, die het verband legt tussen de onzekerheid op de modelinvoer en de onzekerheid op de modeluitvoer, zijnde de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld.

De Monte Carlo sampling methode bestaat erin dat per parameter uit het opgestelde bereik van mogelijke waarden een voldoende aantal monsters worden getrokken, rekening houdend met de toegekende kansverdeling. Bij de gevoeligheidsanalyse wordt hiervoor een uniforme kansverdeling verondersteld. De sampling wordt uitgevoerd met behulp van de Latin Hypercube sampling (LHS) techniek. Deze techniek gebruikt een gestratificeerde manier van bemonsteren

voor de verschillende parameters op basis van een onderverdeling van het bereik voor elke parameter in N verschillende intervallen die elk een gelijke kans hebben. De getrokken waarden van alle parameters worden op een willekeurige wijze met elkaar gecombineerd. De LHS techniek laat toe dat de parameter ruimte representatief wordt gesampeld met een minimum aan monsters ($2p < N < 5p$, met N = aantal monsters, p = aantal parameters).

Om een meer globaal zicht te verkrijgen op de onzekerheid wordt de foutenanalyse uitgevoerd voor meerdere scenario's. Deze scenario's zijn een representatieve selectie uit de scenario's van de scenarioanalyse op basis van de proefvelden. Voor de parameters die opgenomen worden in de gevoeligheids- of onzekerheidsanalyse (zie verder) worden de deterministische waarden, gebruikt in de scenarioanalyse, vervangen door de getrokken waarden. Per scenario worden er dus evenveel simulaties uitgevoerd als er monsters getrokken zijn.

De eerder vermelde opsplitsing van de foutenanalyse in een gevoeligheids- en een onzekerheidsanalyse leidt tot een aanzienlijke beperking van het aantal uit te voeren simulaties. De gevoeligheidsanalyse kan voor een beperkt aantal scenario's uitgevoerd worden, waarna de onzekerheidsanalyse voor een groter aantal scenario's maar met een beperkter aantal parameters, en dus een beperkter aantal simulaties per scenario, volbracht wordt.

Zowel voor de gevoeligheids- als voor de onzekerheidsanalyse zijn twee Access-databanken opgebouwd die een semi-automatische uitvoering van de foutenanalyse (sampling – simulaties – verwerking van de resultaten) mogelijk maken.

2.7.3.2 Bepalen van de invoerparameters en hun onzekerheid

Het is zeer belangrijk om de omvang (d.i. keuze van parameters en type onzekerheid) van de foutenanalyse vast te leggen. Er werd besloten om de foutenanalyse te beperken tot de ruimtelijke variabiliteit (inherente onzekerheid) en geen rekening te houden met statistische of procedurele onzekerheid. Hierbinnen werden drie aspecten beschouwd: de ruimtelijke variabiliteit van het nitraatstikstofresidu op perceelsniveau, de onzekerheid op het stikstofgehalte en de C/N verhouding van de oogstresten, en de variabiliteit van bodemparameters beschikbaar in Aardewerk, aangegeven door de variatie ervan tussen bodems met dezelfde textuur en vochttoestand binnen een bodemzone. De keuze van deze drie aspecten is bepaald door de beschikbaarheid van gegevens over onzekerheid of variatie. Er zijn dus mogelijk andere invoerparameters die een grote bijdrage tot de onzekerheid kunnen leveren, maar waarvoor niet voldoende gegevens voorhanden zijn om een bereik of kansverdeling op te stellen.

Voor de foutenanalyse is de ruimtelijke variabiliteit van het nitraatstikstofresidu op perceelsniveau vastgesteld op een lognormale kansverdeling met een constante precisiegraad van 20 % (eindrapport 3). Tabel 2.41 geeft enkele karakteristieken weer van deze verdeling bij verschillende nitraatstikstofresidu's.

Tabel 2.41: Grenzen van de 90 % en 98 % betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende nitraatstikstofresidu's (kg N ha⁻¹), gebaseerd op een lognormale verdeling en een precisie van 20 %

gemeten nitraatstikstofresidu	90% betrouwbaarheidsinterval		98% betrouwbaarheidsinterval	
20	17	24	16	25
30	25	35	24	38
40	34	47	31	50
50	42	59	39	63
70	59	82	55	88
90	76	106	71	113
120	101	141	94	151
150	126	176	118	189

De variabiliteit op het stikstofgehalte en de C/N-verhouding van de oogstresten is gebaseerd op literatuuronderzoek (zie eindrapport 2). Deze gegevens zijn echter niet voldoende om er een kansverdeling op te baseren. Daarom wordt een uniforme verdeling verondersteld (Tabel 2.42).

Tabel 2.42: Onder- en bovengrenzen van de uniforme verdeling voor stikstofgehalte (kg ha⁻¹) en C/N-verhouding van de oogstresten

oogstrest	stikstofgehalte		C/N verhouding	
wintertarwe	26	33	34	41
maïs	19	41	39	60
aardappelen	11	62	15	43
suikerbieten	84	174	11	27
bloemkool	106	130	10	16

De in Aardewerk beschikbare bodemparameters zijn het droog volumegewicht (ρ), de parameters van de pF-curve (WCR, WCS, alfa, n), de verzadigde conductiviteit (Ksat) en het koolstof- en stikstofgehalte van de humusfractie van de bodem (%C, Kj-N). Per proefveld dat in de scenario's van gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse gebruikt wordt, werden de gegevens van die bodemprofielen uit Aardewerk geëxtraheerd die in dezelfde bodemzone liggen als het proefveld en waarvan de textuur en de vochttoestand dezelfde zijn als van de bodem van het proefveld. Op deze gegevens werd per horizont een normale en lognormale verdeling gefit. Per textuur werd bepaald welke verdeling de beste overeenkomst met de gegevens (Tabel 2.43).

Tabel 2.43: Verdeling die beste overeenkomst geeft met de gegevens uit Aardewerk, per textuur en per parameter

parameter	zand	zandleem	leem	klei
ρ	normaal	normaal	normaal	normaal
WCR	lognormaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
WCS	lognormaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
alfa	normaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
n	normaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
Ksat	lognormaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
%C	lognormaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal
Kj-N	lognormaal	lognormaal	lognormaal	lognormaal

2.7.3.3 Scenario's gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd voor 22 verschillende scenario's zodat alle proefvelden, oogstresten, gewassen, nitraatstikstofresidu's en verdelingen van het nitraatstikstofresidu aan bod kwamen (Tabel 2.44).

Tabel 2.44: Scenario's gevoeligheidsanalyse

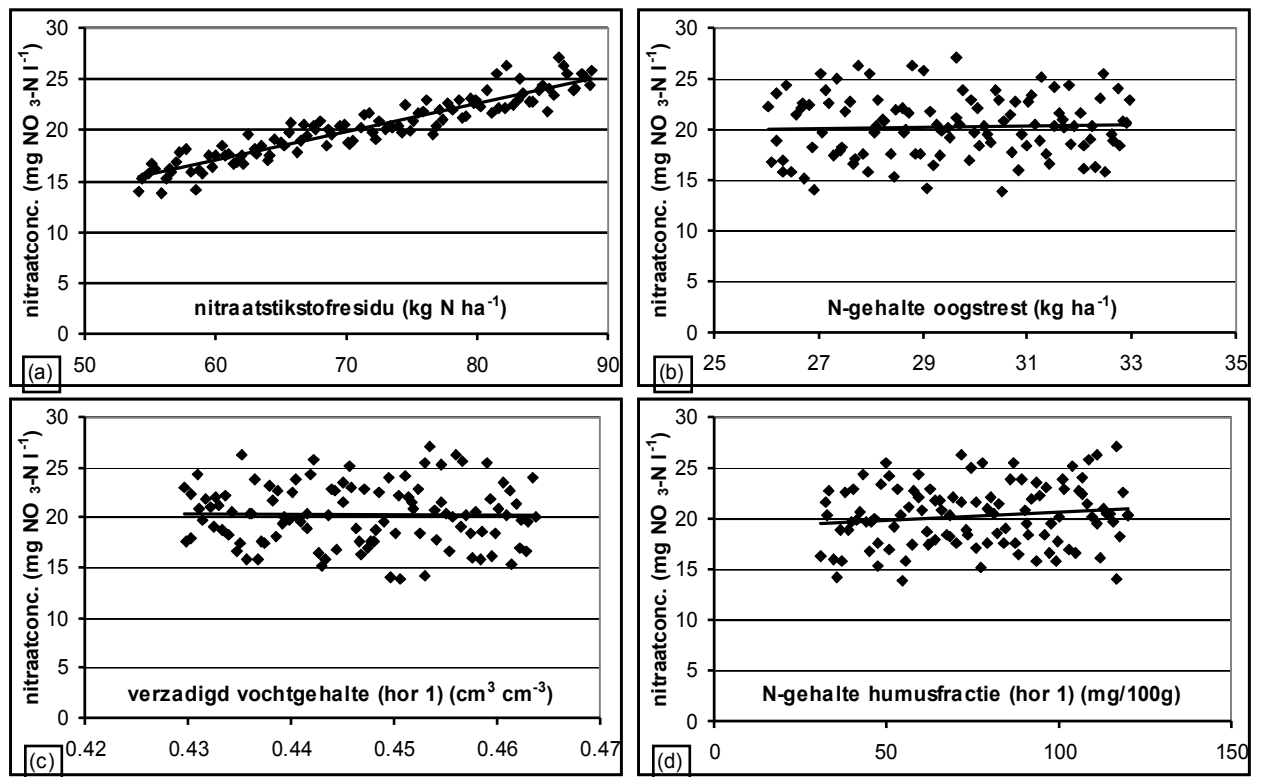
textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	nat	akker	mais	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	70
zandleem	nat	akker	mais	geen	laag: 25% - 25% - 50%	70
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zandleem	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70
klei	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70

De gebruikte kansverdeling is van geen belang voor de gevoeligheidsanalyse. Enkel het bereik waarbinnen de parameters kunnen variëren is belangrijk. Daarom werd telkens een uniforme verdeling gebruikt voor de Monte Carlo sampling. Voor het nitraatstikstofresidu en de bodemparameters uit Aardewerk werden de grenzen van het 98 % betrouwbaarheidsinterval van de normale of lognormale verdeling als minimum- en maximumwaarden van de uniforme verdeling gekozen.

Uit de parametersets werden 4p monsters getrokken (met p = aantal parameters, afhankelijk van het aantal horizonten beschreven voor de bodems van de proefvelden).

2.7.3.4 Resultaten gevoeligheidsanalyse

Er zijn verschillende criteria die kunnen gebruikt worden voor de bepaling van de invoerparameters die een significante bijdrage leveren tot de onzekerheid op de modeluitvoer. Tabel 2.45 geeft voor één scenario de bijdrage die de verschillende invoerparameters leveren tot de onzekerheid volgens de belangrijkste criteria. Bij elk scenario geeft elk criterium aan dat het nitraatstikstofresidu de belangrijkste parameter is, wat ook grafisch zeer duidelijk is. In Figuur 2.3 worden ter illustratie voor één scenario enkele grafieken getoond met resultaten van de regressie-analyse die het verband aangeeft tussen de modeluitvoer, nl. de nitraatconcentratie in de waterflux, en de volgende invoerparameters: het nitraatstikstofresidu (a), het stikstofgehalte van de oogstrest (b), het verzadigd vochtgehalte van de bovenste horizont (c) en het stikstofgehalte van de humusfractie van de bovenste horizont (d). Tussen het nitraatstikstofresidu en de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux is een uitgesproken lineair verband. Bij de andere invoerparameters is dit verband minder duidelijk of geheel afwezig. De andere invoerparameters die beschouwd werden in de gevoeligheidsanalyse geven grafieken gelijkaardig aan figuren (b), (c) of (d), hetgeen erop wijst dat hun bijdrage aan de onzekerheid op de modeluitvoer niet significant is. Daarom werd besloten om voor de onzekerheidsanalyse het nitraatstikstofresidu als enigste onzekere c.q. variabele parameter te behouden.



Figuur 2.3: Verband tussen invoerparameters nitraatstikstofresidu (a), N-gehalte van de oogstrest (b), verzadigd vochtgehalte van de bovenste horizont (c) en N-gehalte van de humusfractie van de bovenste horizont (d) en de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux (scenario natte zandleem, oogstrest tarwe, nitraatstikstofresidu = 70 kg N ha⁻¹, hoge nitraatstikstofverdeling; zonder procesfactor); andere invoerparameters geven grafieken gelijkaardig aan figuren (b), (c) of (d)

Tabel 2.45: De belangrijkste criteria die de bijdrage van de verschillende invoerparameters tot de onzekerheid op de modeluitvoer bepalen (scenario natte zandleem, oogstrest tarwe, nitraatstikstofresidu = 70 kg N ha⁻¹, hoge nitraatstikstofverdeling; zonder procesfactor)

invoerparameter			T-statistiek	bijdrage aan R ²	SRC	PCC
	nitraatstikstofresidu	kg N ha ⁻¹	45.6205	0.8371	0.9291	0.9813
oogstrest	stikstofgehalte	kg ha ⁻¹	0.7236	0.0002	0.0147	0.0806
	C/N verhouding	-	0.6068	0.0001	0.0124	0.0677
horizont 1	rho	g cm ⁻³	-0.2577	0.0000	-0.0052	-0.0288
	Ksat	cm dag ⁻¹	-0.5228	0.0001	-0.0106	-0.0584
	WCR	cm ³ cm ⁻³	-1.4950	0.0009	-0.0303	-0.1649
	WCS	cm ³ cm ⁻³	-1.2169	0.0006	-0.0247	-0.1348
	alfa	m ⁻¹	2.6652	0.0029	0.0539	0.2856
	n	-	-5.7528	0.0133	-0.1173	-0.5410
	%C	-	1.4168	0.0008	0.0288	0.1565
	Kj-N	g/100g	5.6112	0.0127	0.1138	0.5314
horizont 2	rho	g cm ⁻³	1.6166	0.0011	0.0329	0.1779
	Ksat	cm dag ⁻¹	0.6472	0.0002	0.0131	0.0722
	WCR	cm ³ cm ⁻³	-1.0597	0.0005	-0.0215	-0.1177
	WCS	cm ³ cm ⁻³	-3.2142	0.0042	-0.0650	-0.3382
	alfa	m ⁻¹	2.9497	0.0035	0.0599	0.3132
	n	-	-10.5756	0.0450	-0.2149	-0.7635
	%C	-	0.1545	0.0000	0.0032	0.0173
	Kj-N	g/100g	1.3767	0.0008	0.0281	0.1521
horizont 3	rho	g cm ⁻³	0.1716	0.0000	0.0035	0.0192
	Ksat	cm dag ⁻¹	0.0575	0.0000	0.0012	0.0064
	WCR	cm ³ cm ⁻³	-0.4098	0.0001	-0.0084	-0.0458
	WCS	cm ³ cm ⁻³	-0.4192	0.0001	-0.0085	-0.0468
	alfa	m ⁻¹	3.0929	0.0038	0.0627	0.3268
	n	-	-1.2290	0.0006	-0.0249	-0.1361
	%C	-	1.4013	0.0008	0.0284	0.1548
	Kj-N	g/100g	0.5310	0.0001	0.0107	0.0593

SRC = standardized regression coëfficiënt: meet de fractie van de onzekerheid op de uitvoer bijgedragen door de invoerparameter

PCC = partial correlation coëfficiënt: meet het lineair verband tussen de uitvoer en de invoerparameter na correctie van de uitvoer en de invoerparameter voor lineaire effecten van de overige invoerparameters

2.7.3.5 Scenario's onzekerheidsanalyse

De onzekerheidsanalyse werd uitgevoerd voor 144 scenario's en per scenario werden er 40 simulaties uitgevoerd. De 144 scenario's werden bekomen door 18 combinaties van proefveld, oogstrest, gewas en verdeling van nitraatstikstofresidu (Tabel 2.46) telkens te combineren met 8 verschillende nitraatstikstofresidu's.

Tabel 2.46: De 18 combinaties van textuur, hydrologie, gebruik, oogstrest, gewas, verdeling van nitraatstikstofresidu gebruikt in de onzekerheidsanalyse

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraatresidu in bodemprofiel
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%

2.7.3.6 Resultaten onzekerheidsanalyse

Om de onzekerheid te karakteriseren is de breedte van het 90 % betrouwbaarheidsinterval op de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld gekozen. Dit betrouwbaarheidsinterval geeft de grenzen aan waarbinnen de nitraatstikstofconcentratie met 90 procent zekerheid ligt. Verder in deze tekst wordt met de term 'onzekerheid' de breedte van dit 90 % betrouwbaarheidsinterval bedoeld.

De tabellen in Bijlage 3 geven een overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse.

Algemeen geldt dat de oogstrest geen invloed heeft op de onzekerheid. De onzekerheid wordt wel beïnvloed door de bodem, het gewas, het nitraatstikstofresiduniveau en de verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel. Door het beperkt aantal bodems (d.i. proefvelden) opgenomen in de scenarioanalyse, en dus ook in de onzekerheidsanalyse, is het niet mogelijk om uitspraak te doen over de invloed van de bodem (textuur of hydrologie) op de onzekerheid, te meer omdat er verschillende bodemparameters zijn die een invloed kunnen hebben op de onzekerheid. Het effect van het nitraatstikstofresidu en de verdeling ervan in het bodemprofiel is

wel duidelijk: des te groter het nitraatstikstofresidu of des te groter het percentage van het residu dat zich onderaan het bodemprofiel bevindt, des te groter is de onzekerheid (Tabellen 2.47 en 2.48).

Tabel 2.47: Effect van de verdeling van het nitraatstikstofresidu op de onzekerheid (= breedte B.I.) (scenario's natte zandleem, oogstrest tarwe; met procesfactor)

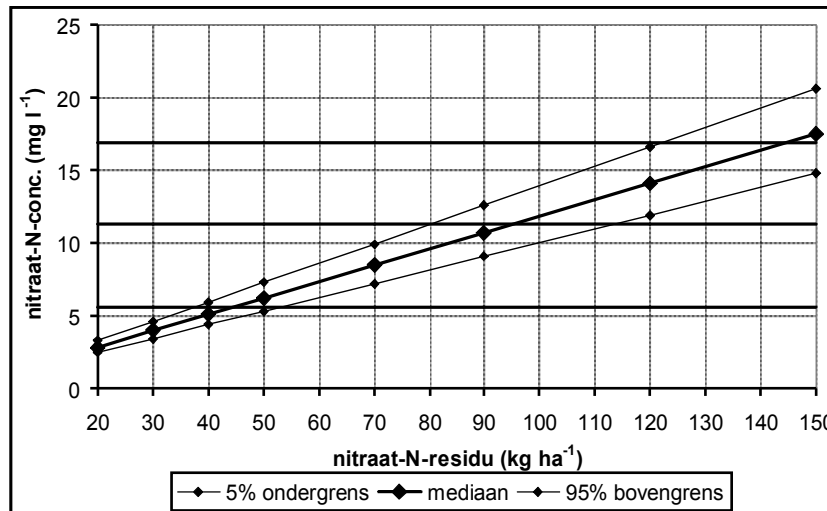
verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-concentratie in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)
		ondergrens	mediaan	bovengrens	
hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.17	8.48	9.93	2.76
gem.: 33% - 33% - 33%	70	7.41	8.76	10.28	2.86
laag: 25% - 25% - 50%	70	8.28	9.81	11.50	3.22

Tabel 2.48: Effect van het nitraatstikstofresidu op onzekerheid (= breedte B.I.) (scenario's natte zandleem, oogstrest tarwe; met procesfactor)

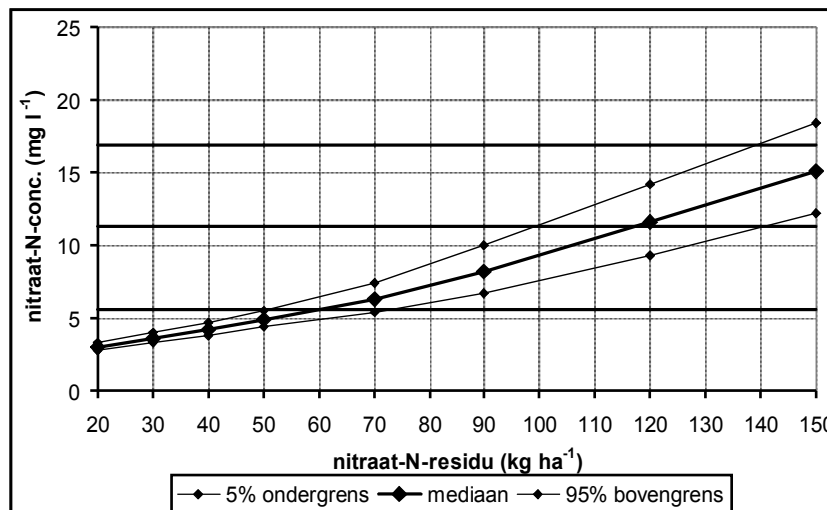
verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-concentratie in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)
		ondergrens	mediaan	bovengrens	
hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.45	2.83	3.27	0.81
hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.41	3.96	4.59	1.19
hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.35	5.09	5.93	1.57
hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.31	6.22	7.26	1.96
hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.17	8.48	9.93	2.76
hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.07	10.74	12.60	3.53
hoog: 50% - 25% - 25%	120	11.93	14.12	16.60	4.68
hoog: 50% - 25% - 25%	150	14.76	17.51	20.62	5.86

Het effect van het gewas is complexer: hierbij moet men onderscheid maken tussen een eerste groep scenario's waarbij een aanzienlijke hoeveelheid stikstof door planten wordt opgenomen (gras of groenbemesters) en een tweede groep scenario's (geen gewas of wintertarwe als gewas). Bij de tweede groep is voor scenario's met eenzelfde bodem en verdeling van het nitraatstikstofresidu de verhouding tussen de onzekerheid en het nitraatstikstofresidu constant (Figuur 2.4). Voor deze scenario's is het voldoende om de onzekerheid bij één nitraatstikstofresidu d.m.v. simulaties te bepalen, waarna de bekomen verhouding tussen onzekerheid en nitraatstikstofresidu gebruikt kan worden om de onzekerheid bij andere residu's te bepalen. Bij de eerste groep scenario's heeft het gewas een sterke invloed op de onzekerheid, omdat het gewas een deel van de aanwezige stikstof opneemt. Bij lagere residu's neemt het gewas relatief gezien een groter aandeel van de stikstof op dan bij hogere residu's, zodat de verhouding tussen onzekerheid en nitraatstikstofresidu toeneemt bij stijgende nitraatstikstofresidu's (Figuur 2.5). Tabel 2.49 geeft een overzicht van de verhouding tussen de onzekerheid en het nitraatstikstofresidu voor verschillende scenario's.

Figuur 2.4: 90 % betrouwbaarheidsinterval voor nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm voor een hypothetisch gemiddeld jaar bij verschillende nitraatstikstofresidu's (scenario's natte zandleem, oogstrest tarwe; met procesfactor). De horizontale lijnen geven de richtwaarde (5.65 mg NO₃-N l⁻¹), de grenswaarde (11.3 mg NO₃-N l⁻¹) en de grenswaarde + 50 % (16.95 mg NO₃-N l⁻¹) weer voor de nitraatstikstofconcentratie in het grond- en oppervlaktewater.



Figuur 2.5: 90 % betrouwbaarheidsinterval voor nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm voor een hypothetisch gemiddeld jaar bij verschillende nitraatstikstofresidu's (scenario's natte zandleem, oogstrest tarwe, bladrijke groenbemester; met procesfactor). De horizontale lijnen geven de richtwaarde (5.65 mg NO₃-N l⁻¹), de grenswaarde (11.3 mg NO₃-N l⁻¹) en de grenswaarde + 50 % (16.95 mg NO₃-N l⁻¹) weer voor de nitraatstikstofconcentratie in het grond- en oppervlaktewater.



Tabel 2.49: Verhouding tussen de onzekerheid en het nitraatstikstofresidu ($\frac{\text{breedte B.I.}}{\text{nitraat-N-residu}}$) bij verschillende scenario's (met procesfactor)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	$\frac{\text{breedte B.I.}}{\text{nitraat-N-residu}}$
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	20 - 150	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	20 - 150	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.027 - 0.031
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.021 - 0.041
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.039
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.041
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.039
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.036
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.036
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.052
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.050
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.046
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.028 - 0.035
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.031 - 0.036
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.036
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20 - 150	0.043

Figuren 2.4 en 2.5 geven aan hoe voor een hypothetisch gemiddeld jaar de gesimuleerde nitraatconcentratie in de waterflux bij een gegeven nitraatstikstofresidu varieert tussen bepaalde grenzen. Bij een nitraatstikstofresidu van bijvoorbeeld 70 kg NO₃-N ha⁻¹ (Figuur 2.4) zal de gesimuleerde nitraatconcentratie in de waterflux liggen tussen 7.17 en 9.93 mg NO₃-N l⁻¹. Omgekeerd zal wanneer de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ niet mag overschreden worden, het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu tussen 70 en 90 kg NO₃-N ha⁻¹ (gebaseerd op de doorgerekende nitraatstikstofresidu's) of tussen 80 en 115 kg NO₃-N ha⁻¹ (na interpolatie) liggen, naargelang men de boven- of ondergrens beschouwt voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu.

De onzekerheidsanalyse heeft uiteraard implicaties voor de interpretatie van de scenarioanalyse, omdat één deterministische waarde vervangen wordt door een betrouwbaarheidsinterval. In plaats van uit te gaan van die deterministische waarde voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu, kan men de ondergrens of bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval gebruiken voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu.

Als men de 95 % bovengrens gebruikt voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu, dan gaat men uit van het standpunt dat een nitraatstikstofresidu pas toegelaten is als men met 95 % zekerheid kan zeggen dat het nitraatstikstofresidu niet tot een overschrijding van de norm zal leiden. Men hanteert dan het voorzorgsprincipe; dit leidt echter tot een zeer strenge interpretatie van de scenarioanalyses. Als men daarentegen uitgaat van de 5 % ondergrens voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu, dan gaat men uit van het standpunt dat het nitraatstikstofresidu pas niet toegelaten is als men met 95 % zekerheid kan zeggen dat het nitraatstikstofresidu tot een overschrijding van de norm zal leiden. Bij gebruik van de mediaan voor de bepaling van het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu, bekomt men het nitraatstikstofresidu dat in 50 % van de gevallen niet en even vaak wel tot een overschrijding van de norm zal leiden. Ter vergelijking: het hoogst toelaatbare residu bekomen in de scenarioanalyses geeft het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu dat gemiddeld niet tot een

overschrijding van de norm leidt. Omdat het nitraatstikstofresidu een lognormale verdeling volgt, ligt het gemiddelde hoger dan de mediaan; het verschil tussen beide is echter klein.

Tabellen 2.50 en 2.51 geven het hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's volgens de drie standpunten van de onzekerheidsanalyse al dan niet rekening houdende met de procesfactor. Deze tabellen zijn gebaseerd op de nitraatstikstofresidu's die in de onzekerheidsanalyse zijn doorgerekend; er is niet geïnterpoleerd tussen de gebruikte nitraatstikstofresidu's.

Tabel 2.50: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu volgens ondergrens, mediaan en bovengrens van het 90 % betrouwbaarheidsinterval (zonder procesfactor)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	hoogst toelaatbare residu (kg N ha ⁻¹)		
						ondergrens	mediaan	bovengrens
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	30	20
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	30	20	20
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	30	20	20
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb	hoog: 50% - 25% - 25%	40	30	30
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb	hoog: 50% - 25% - 25%	40	40	30
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	30	20
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	30	30	20
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	20	20
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	<20	<20	<20
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	30	30
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	30	20
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	20	20
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	20	<20
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	20	20
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	50	40	30
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	40	40	30
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	20	<20
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20	20	<20

Tabel 2.51: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu volgens ondergrens, mediaan en bovengrens van het 90 % betrouwbaarheidsinterval (met procesfactor)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	hoogst toelaatbare residu (kg N ha ⁻¹)		
						ondergrens	mediaan	bovengrens
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	50
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	70	70	50
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	70	50	50
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige gb	hoog: 50% - 25% - 25%	120	90	90
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke gb	hoog: 50% - 25% - 25%	120	90	70
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	50
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	50
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	50
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	50	40
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	90	70
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	70
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	50	50
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	50	50
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	70	50
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	90	90
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	90	70
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	70	50
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70	50	50

2.7.4 Besluit

Wegens de beperkte beschikbaarheid van gegevens over de onzekerheid of variatie op de modelinvoer, werd de gevoeligheidsanalyse beperkt tot de inherente onzekerheid op (1) het nitraatstikstofresidu, (2) stikstofgehalte en C/N-verhouding van de oogstresten en (3) de bodemparameters beschikbaar in Aardewerk. De onzekerheid op het nitraatstikstofresidu levert veruit de belangrijkste bijdrage tot de onzekerheid op de modeluitvoer (= de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld).

De verhouding tussen het nitraatstikstofresidu (in kg N ha^{-1}) en de onzekerheid op de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux (in $\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) hangt af van de bodem (textuur en hydrologie), het gewas en de verdeling van het nitraatstikstofresidu in het profiel. Indien er geen of weinig stikstofopname door een gewas is, is deze verhouding constant binnen een combinatie van bodem en verdeling van het nitraatstikstofresidu. Als het gewas wel een significante hoeveelheid stikstof opneemt, neemt de onzekerheid meer dan proportioneel toe bij stijgende nitraatstikstofresidu's en is de verhouding tussen nitraatstikstofresidu en onzekerheid kleiner dan bij scenario's zonder gewas.

De onzekerheidsanalyse heeft uiteraard implicaties voor de interpretatie van de scenarioanalyse, omdat één deterministische waarde vervangen wordt door een betrouwbaarheidsinterval.

De vrij grote onzekerheid op de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux (bij 70 kg N ha^{-1} tussen 4.78 en $8.70 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ zonder procesfactor en tussen 1.99 en $3.62 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ met procesfactor) leidt tot grote verschillen in hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu naargelang het standpunt men inneemt en dus naargelang men opteert voor de boven- of ondergrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval. Voor de bepaling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op basis van de modelresultaten, werd steeds rekening gehouden met de gemiddelde gesimuleerde waarde omwille van de praktische werkbaarheid. Vanuit wetenschappelijk oogpunt dient echter rekening te worden gehouden met een zekere foutenmarge op de modelresultaten.

2.8 Cartografische voorstelling en (ruimtelijke) analyse van de output van SA1b

2.8.1 Cartografische voorstelling van de output van SA1b

In het eerste type scenarioanalyse werd voor de 20 meest voorkomende ‘bodemp-gewas’ combinaties in Vlaanderen de relatie tussen het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel in het najaar en de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux bepaald. De output van dit type scenarioanalyse werd als volgt opgenomen in het N-(eco)²-GIS: zie Tabel 2.52. In deze tabel zijn de eerste 6 kolommen de identificatie van het scenario: bodemserie – landbouwstreek – teelt – nitraatstikstofresidu (20, 30, 50, 70, 90, 120 of 150 kg ha⁻¹) en verdeling van het nitraatstikstofresidu in de bodem (H, G of L). De laatste 10 kolommen geven (aspecten van) de output voor dit scenario:

- minimale NO₃-N-concentratie in de waterflux
- gemiddelde NO₃-N-concentratie in de waterflux
- maximale NO₃-N-concentratie in de waterflux
- aantal winters dat NO₃-N-concentratie in de waterflux lager blijft dan 5.65 mg l⁻¹ (richtwaarde)
- aantal winters dat NO₃-N-concentratie in de waterflux lager blijft dan 8.475 mg l⁻¹
- aantal winters dat NO₃-N-concentratie in de waterflux lager blijft dan 11.3 mg l⁻¹ (grenswaarde)
- aantal winters dat NO₃-N-concentratie in de waterflux lager blijft dan 16.95 mg l⁻¹ (maximum)
- Voldoet het scenario aan de richtwaarde voor NO₃-N-concentratie in de waterflux (5.65 mg l⁻¹ = 25 mg NO₃ l⁻¹)
- Voldoet het scenario aan de grenswaarde voor NO₃-N-concentratie in de waterflux (11.3 mg l⁻¹ = 50 mg NO₃ l⁻¹)

Tabel 2.52: Tabelstructuur waaronder de output van SA1b opgenomen is in het N-(eco)²-GIS

scenario (bodemp-gewas-lbstr)	Bodemserie	Teelt	Landbouwstreek	N-verdeling	N-residu	min cum waterflux	min nitconc in waterflux	gem nitconc in waterflux	max nitconc in waterflux	aantal winters onder 5,65 mg/l	aantal winters onder 8,475 mg/l	aantal winters onder 11,30 mg/l	aantal winters onder 16,95 mg/l	25 voldoet scenario	50 voldoet scenario
1	Zdg	gras	Kempen	H	20	-62,40	2,22	2,96	3,91	30	30	30	30	Ja	Ja
2	Zdg	maïs	Kempen	H	20	-134,6	2,09	2,91	4,13	30	30	30	30	Ja	Ja
...
1	Zdg	gras	Kempen	H	30	-62,40	3,14	4,17	5,56	30	30	30	30	Ja	Ja
2	Zdg	maïs	Kempen	H	30	-134,6	3,11	4,37	6,28	28	30	30	30	Nee	Ja
...
1	Zdg	gras	Kempen	H	50	-62,40	4,90	6,57	8,88	4	28	30	30	Nee	Ja
2	Zdg	maïs	Kempen	H	50	-134,6	5,11	7,22	10,43	2	24	30	30	Nee	Ja
...

Deze tabelstructuur laat toe om voor elke ‘bodem-gewas-klimaat’ combinatie te bepalen wat het maximale nitraatstikstofresidu op 1 oktober mag zijn, zodat in de daarop volgende winterperiode voldaan wordt aan de nitraatrichtlijn (max. 11.3 mg NO₃-N l⁻¹).

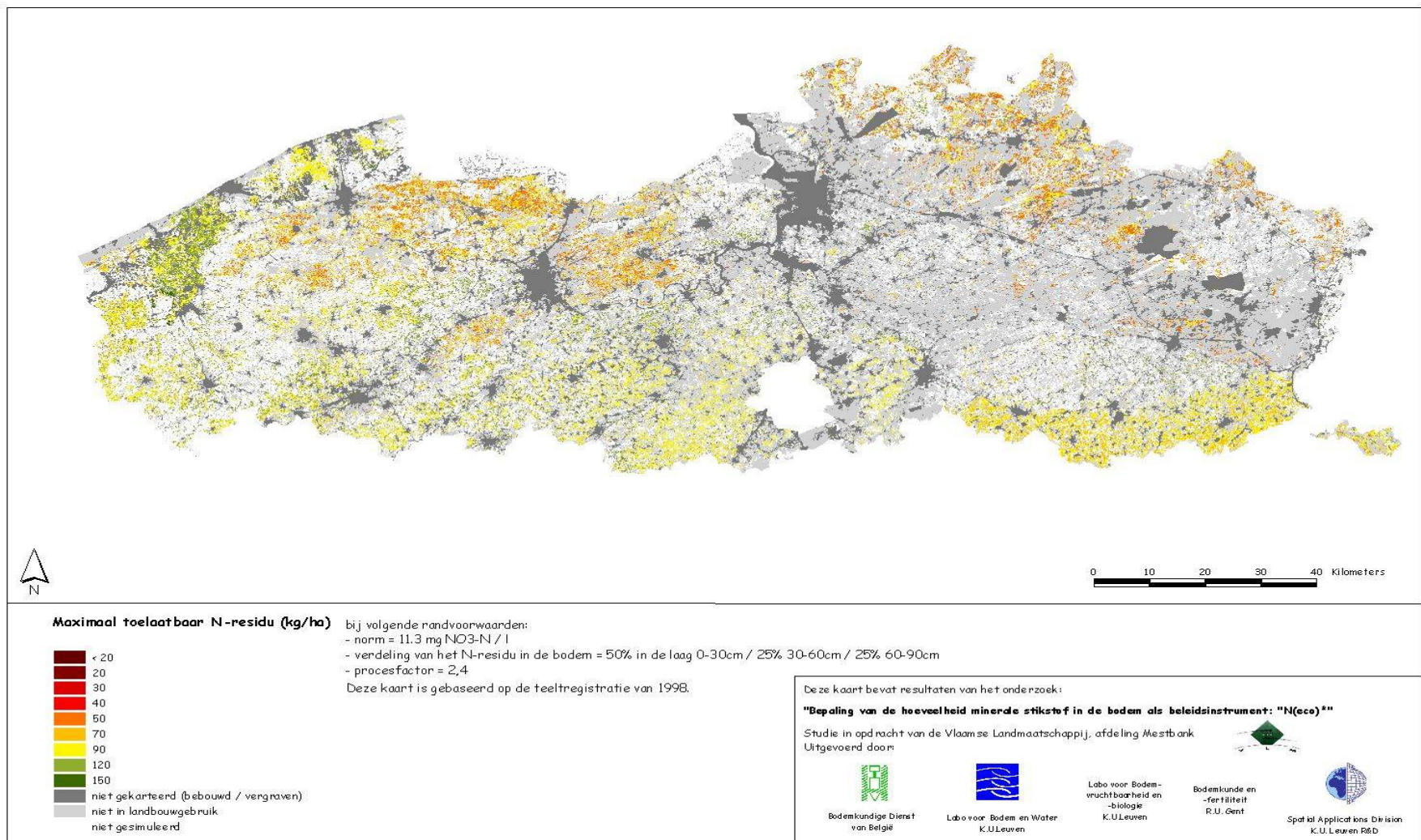
Figuren 2.6 tot en met 2.8 geven een cartografisch overzicht, op perceelsniveau, van het maximaal toegelaten N-residu (output WAVE, niet wettelijk) in de verschillende regio's van Vlaanderen:

- op basis van de in 1998 bij de Mestbank aangegeven teelt per perceel;
- rekening houdend met het bestaan van een procesfactor = 2.4;
- waarbij voldaan wordt aan de nitraatrichtlijn (maximale concentratie in oppervlaktewater of ‘grenswaarde’ = 11.3 mg NO₃-N l⁻¹), maar niet aan de ‘richtwaarde’ van 5.65 mg NO₃-N l⁻¹;
- bij de 3 verschillende verdelingen van het NO₃-N-residu in de bodem: Tabel 2.53.

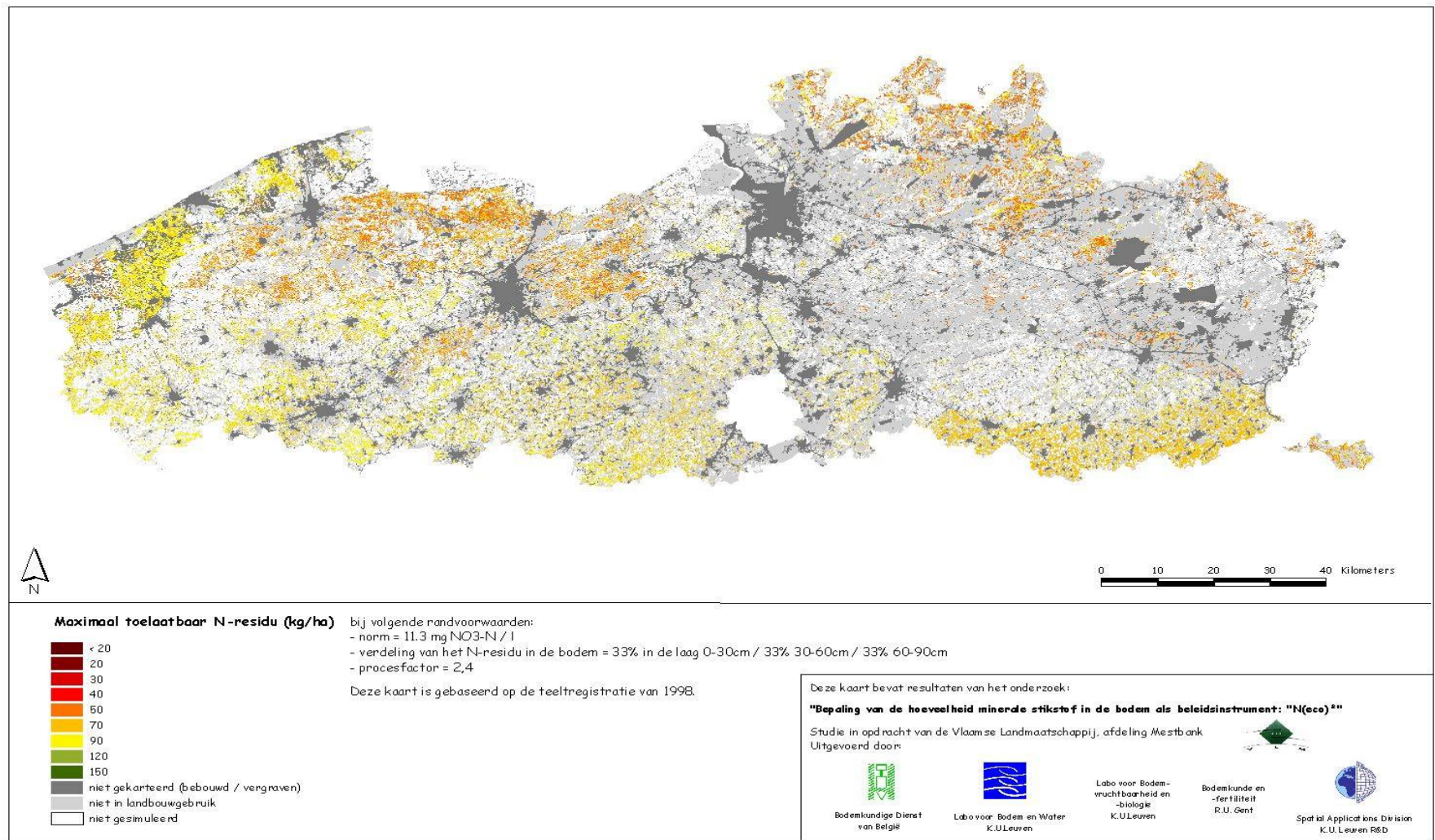
Tabel 2.53: Verdeling van het nitraatstikstofresidu in de bodem

Verdeling	Bodemlaag 0-30 cm	Bodemlaag 30-60 cm	Bodemlaag 60-90 cm
hoog	50 %	25 %	25 %
gemiddeld	33 %	33 %	33 %
laag	25 %	50 %	50 %

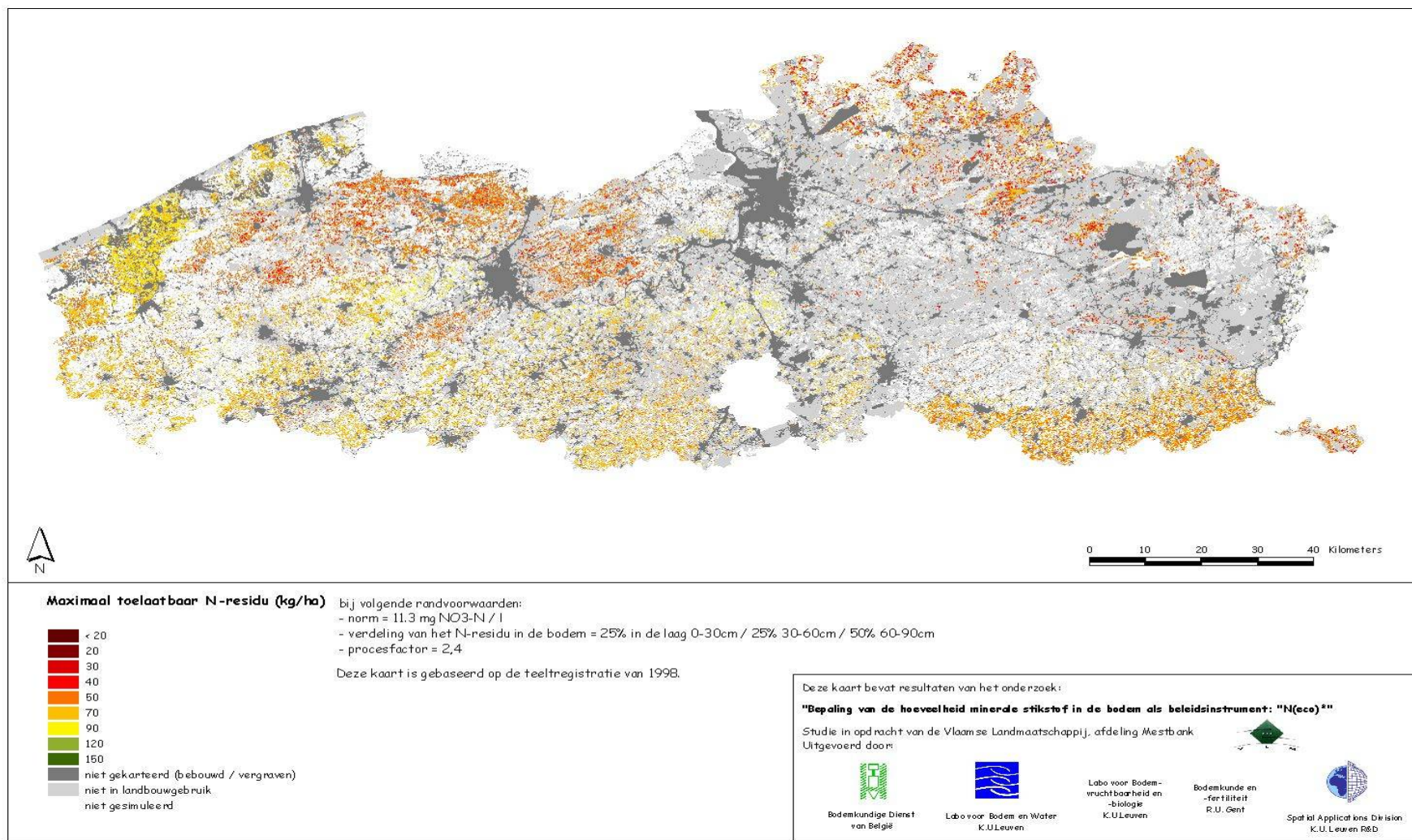
Een vergelijking van de 3 kaarten geeft een algemeen beeld van de invloed van de verdeling van het nitraatstikstofresidu op het maximaal toegelaten residu; hoe dieper het nitraatstikstofresidu in het profiel zit, hoe lager het totaal residu moet zijn om de norm niet te overschrijden.



Figuur 2.6: Cartografische voorstelling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu (output van WAVE)



Figuur 2.7: Cartografische voorstelling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu (output van WAVE)



Figuur 2.8: Cartografische voorstelling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu (output van WAVE)

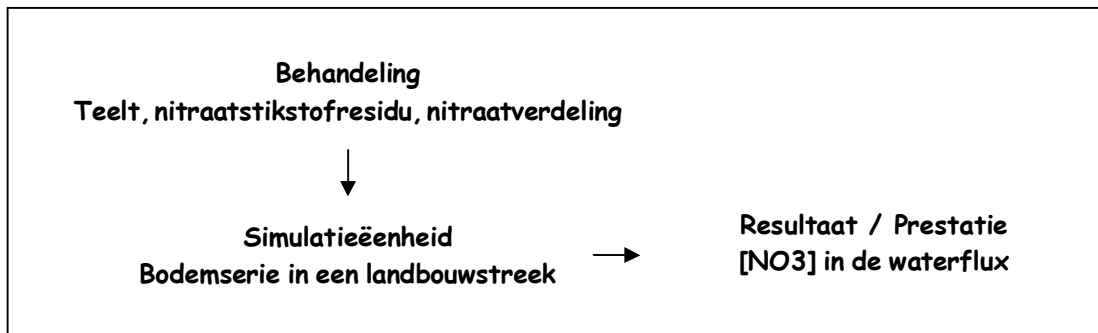
2.8.2 (Ruimtelijke) analyse van de output van SA1b

Naast de cartografische voorstelling van het maximaal toegelaten residu onder verschillende randvoorwaarden (Figuren 2.6 t.e.m. 2.8), laat de output van SA1b nog veel andere analyses toe. Hier zijn zeer veel interessante vraagstellingen mogelijk, waarop op basis van de resultaten van SA1b een antwoord kan geformuleerd worden.

Er zijn **3 groepen variabelen** die meespelen in de scenarioanalyses:

- **Simulatieëenheid** = *bodemserie in een landbouwstreek* (levert bodem, grondwater en klimaatinfo) maar duidt in essentie de locatie aan
- *Teelt/Oogstrest, Nitraatstikstofresidu en Nitraatverdeling* vormen de **behandeling**. Er zijn $X*8*3$ combinaties mogelijk (x = teelt, 8 residu's doorgerekend, 3 verdelingen van het residu in het profiel). Dit zijn mogelijke behandelingen van elke simulatieëenheid. Niet voor elke combinatie zijn echter gegevens berekend (soms slechts 1 teelt per simulatieëenheid).
- *Nitraatconcentraties (en varianten) in de netto-waterflux* vormen de **prestatieindicatoren** van de behandelingen per simulatieëenheid.

Het verband tussen de drie groepen variabelen is weergegeven in onderstaand schema. Een simulatieëenheid wordt op een specifieke manier behandeld (bepaalde teelt en bewerking van het perceel, wat leidt tot een bepaald nitraatstikstofresidu in een bepaalde verdeling in het bodemprofiel). Deze behandeling op een bepaalde simulatieëenheid leidt tot een bepaalde nitraatconcentratie in de waterflux (de 'prestatie') in elke bestudeerde winterperiode.



Figuur 2.9: Drie groepen variabelen in de scenarioanalyses, en hun onderling verband

Wanneer we één of een combinatie van twee van de drie variabelen constant houden (“specificier”) kunnen bijvoorbeeld volgende relevante vragen gesteld en beantwoord worden:

Tabel 2.54: Voorbeelden van mogelijke queries op basis van de drie groepen variabelen die meespelen in de scenarioanalyses: “simulatieëenheid”, “behandeling” en “prestatie”

	Specifieer	Result	Voorbeeld
1.	Simulatieëenheid	Prestatie van alle mogelijke behandelingen	Welke gemiddelde [NO ₃ -N] resulteert uit de verschillende doorgerekende behandelingen voor Zdg in de Zandstreek en de Kempen ?
2.	Behandeling	Prestatie per simulatieëenheid	Welk gemiddelde [NO ₃ -N] resulteert voor alle simulatieëenheden onder gras-90-H?
3.	Prestatie	Behandeling per simulatieëenheid	a) Welke simulatieëenheden realiseren bij welke behandeling een gemiddelde [NO ₃ -N] lager dan 11.3 mg l ⁻¹ ? b) Welke simulatieëenheden voldoen bij welke behandeling aan de grenswaarde ?
4.	Prestatie en Behandeling	Simulatieëenheid	Welke simulatieëenheden voldoen aan de grenswaarde bij behandeling ‘gras-90-H’ ?
5.	Prestatie en simulatieëenheid	Behandeling	Welke behandelingen geven aanleiding tot respect van de grenswaarde voor Zdg in Zandstreek en Kempen ?
6.	Behandeling en simulatieëenheid	Prestatie	Wordt op Zdg in Zandstreek en Kempen onder ‘gras-90-H’ de grenswaarde gerespecteerd ?

Een query op de output van SA1b laat toe om op al deze vragen een antwoord te formuleren. Aangezien ook de ruimtelijke situering van de simulatieëenheden gekend is, kan het antwoord (indien relevant) ruimtelijk gesitueerd worden, en kunnen de antwoorden geformuleerd worden in termen van absolute en relatieve oppervlakte.

1. Welke gemiddelde NO₃-N-concentratie (mg l⁻¹) resulteert uit de verschillende doorgerekende behandelingen voor Zdg in de Zandstreek en de Kempen ?

Tabel 2.55 geeft aan wat de gemiddelde NO₃-N-concentratie in het water is bij verschillende behandelingen van een Zdg-bodem. De waarden in de kolom “[NO₃-N]_{gem} in waterflux op 90cm diepte” geven de NO₃-N-concentratie zoals ze door WAVE gesimuleerd werd. In de kolom “[NO₃-N]_{gem} in oppervlaktewater” wordt rekening gehouden met het bestaan van een ‘procesfactor’ gelijk aan 2.4. Het zijn deze concentraties (in het oppervlaktewater) die gebruikt werden voor de beoordeling van het scenario in functie van het respecteren van de nitraatrichtlijn. Er werden slechts 2 teelten doorgerekend op een Zdg in de Kempen en de Zandstreek: gras en maïs. De resultaten van de verschillende mogelijke behandelingen (NO₃-N-residu en residuverdeling) zijn weergegeven in de laatste 4 kolommen. Bij grasteelt wordt bij alle residuverdelingen voldaan aan de nitraatrichtlijn indien het residu kleiner of gelijk is aan 50 kg NO₃-N ha⁻¹. Bij maïs geldt dezelfde grenswaarde bij een hoge of gemiddelde verdeling van het NO₃-N-residu. Bij een lage verdeling van het residu moet het residu kleiner of gelijk zijn aan 40 kg ha⁻¹ om te voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

Tabel 2.55: Resultaat van de verschillende gesimuleerde behandelingen op een Zdg-bodem in de Kempen en de Zandstreek

Teelt	NO ₃ -N-residu verdeling	NO ₃ -N-residu	[NO ₃ -N]gem in oppervlaktewater	[NO ₃ -N]gem in waterflux op 90cm diepte	Aantal winters [NO ₃ -N] < 11,30 mg l ⁻¹	scenario voldoet aan nitraatrichtlijn
Gras	G	20	3,19	7,67	30	Ja
		30	4,53	10,87	30	Ja
		40	5,83	13,99	30	Ja
		50	7,14	17,15	30	Ja
		70	9,77	23,44	25	Nee
		90	12,41	29,78	6	Nee
		120	16,43	39,42	0	Nee
		150	20,47	49,12	0	Nee
	H	20	2,96	7,10	30	Ja
		30	4,17	10,02	30	Ja
		40	5,38	12,91	30	Ja
		50	6,57	15,77	30	Ja
		70	9,00	21,61	27	Nee
		90	11,46	27,49	18	Nee
		120	15,19	36,46	1	Nee
		150	19,00	45,60	0	Nee
	L	20	3,65	8,75	30	Ja
		30	5,19	12,47	30	Ja
		40	6,73	16,14	30	Ja
		50	8,25	19,81	29	Ja
		70	11,30	27,13	19	Nee
		90	14,37	34,48	2	Nee
		120	18,99	45,57	0	Nee
		150	23,64	56,74	0	Nee
maïs	G	20	3,04	7,30	30	Ja
		30	4,53	10,86	30	Ja
		40	6,00	14,40	30	Ja
		50	7,54	18,10	30	Ja
		70	10,50	25,21	24	Nee
		90	13,46	32,29	3	Nee
		120	17,89	42,94	0	Nee
		150	22,30	53,52	0	Nee
	H	20	2,91	6,98	30	Ja
		30	4,37	10,49	30	Ja
		40	5,81	13,95	30	Ja
		50	7,22	17,33	30	Ja

Teelt	NO ₃ -N-residu verdeling	NO ₃ -N-residu	[NO ₃ -N] _{gem} in oppervlaktewater	[NO ₃ -N] _{gem} in waterflux op 90cm diepte	Aantal winters [NO ₃ -N] < 11,30 mg l ⁻¹	scenario voldoet aan nitraatrichtlijn
		70	10,05	24,12	24	Nee
		90	12,87	30,88	7	Nee
		120	17,10	41,04	0	Nee
		150	21,33	51,20	0	Nee
	L	20	3,40	8,16	30	Ja
		30	5,03	12,07	30	Ja
		40	6,67	16,01	30	Ja
		50	8,32	19,96	28	Nee
		70	11,68	28,03	14	Nee
		90	14,98	35,95	2	Nee
		120	19,92	47,80	0	Nee
		150	24,85	59,65	0	Nee

2. Welk gemiddelde NO₃-N-concentratie (mg l⁻¹) resulteert voor alle simulatieëenheden onder behandeling 'gras (teelt) - 90 (nitraatstikstofresidu) – H (residuverdeling)'?

Tabel 2.56 geeft voor de verschillende simulatieëenheden aan wat de gemiddelde NO₃-N-concentratie in het water is bij een behandeling 'gras – 90 – H'. De waarden in de kolom "[NO₃-N]_{gem} in waterflux op 90cm diepte" geven de NO₃-N-concentratie zoals ze door WAVE gesimuleerd werd. In de kolom "[NO₃-N]_{gem} in oppervlaktewater" wordt rekening gehouden met het bestaan van een procesfactor gelijk aan 2.4. Het zijn deze concentraties (in oppervlaktewater) die gebruikt werden voor de beoordeling van het scenario in functie van het respecteren van de nitraatrichtlijn.

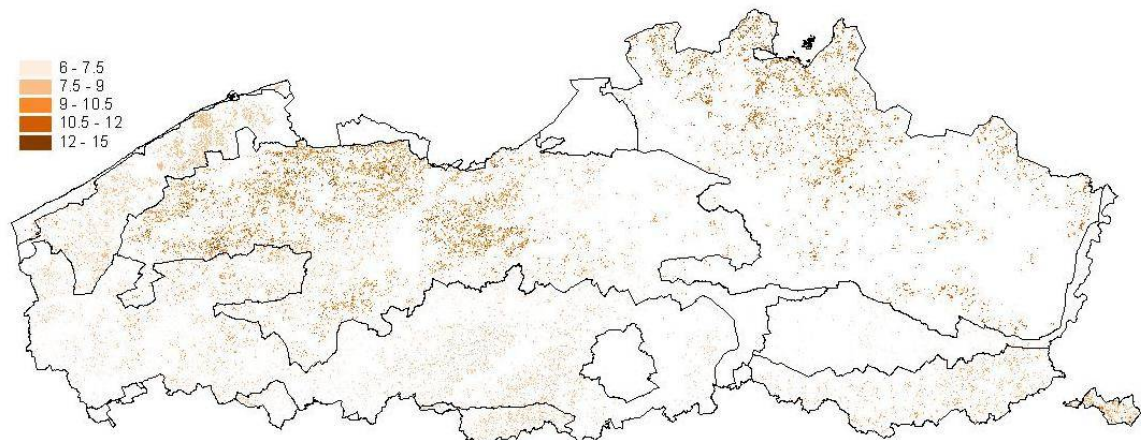
Tabel 2.56: Gemiddelde [NO₃-N] in de waterflux op 90cm diepte en in het oppervlaktewater voor de verschillende simulatieëenheden bij behandeling 'gras-90-H'

Simulatieëenheid		[NO ₃ -N] _{gem} in waterflux op 90cm diepte	[NO ₃ -N] _{gem} in water, rekening houdend met procesfactor = 2.4	Aantal winters onder 11,30 mg/l in oppervlaktewater	scenario voldoet aan nitraatrichtlijn ?
Kempen	Zdg	27,49	11,46	18	Nee
	Zeg	19,08	7,95	30	Ja
	Zcm	28,87	12,03	8	Nee
	Zdm	31,16	12,98	5	Nee
	Sdm	27,03	11,26	19	Nee
	w-Seg	17,62	7,34	30	Ja
	Zcg	23,56	9,82	26	Nee
	Sdg	26,55	11,06	20	Nee
	Sepz	18,55	7,73	30	Ja
	Scm	22,72	9,47	28	Nee
	Zdgb	26,78	11,16	20	Nee

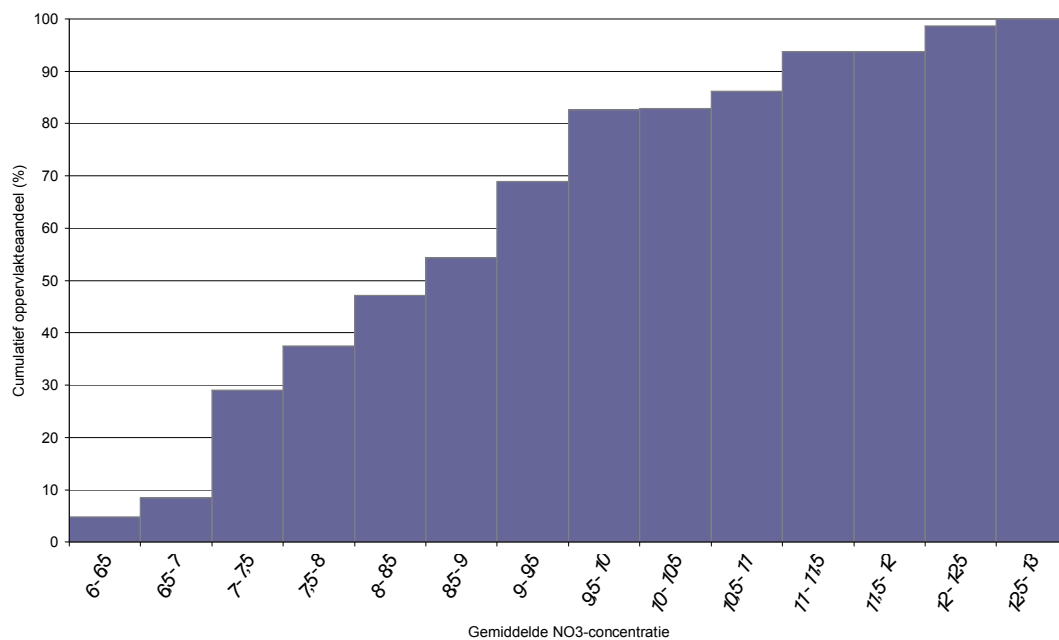
Simulatieëenheid		[NO ₃ -N] _{gem} in waterflux op 90cm diepte	[NO ₃ -N] _{gem} in water, rekening houdend met procesfactor = 2.4	Aantal winters onder 11,30 mg/l in oppervlaktewater	scenario voldoet aan nitraatrichtlijn ?
	Zdgy	25,77	10,74	21	Nee
Leemstreek	Aba1	20,44	8,52	30	Ja
	ADp	16,79	7,00	30	Ja
	Abp	21,73	9,05	30	Ja
	Aca1	18,49	7,70	30	Ja
	Acp1	18,73	7,80	30	Ja
	Abp(c)	20,94	8,72	30	Ja
	Ada	17,29	7,20	30	Ja
Zandstreek	Zch	23,79	9,91	27	Nee
	Sdp1	22,01	9,17	30	Ja
	Zdh	29,70	12,38	13	Nee
	Zdp0	23,77	9,90	24	Nee
	Zcg	22,50	9,37	29	Ja
	Sep1	22,32	9,30	30	Ja
	Sdh	25,78	10,74	21	Nee
	Ldc1	17,35	7,23	30	Ja
	Lep1	15,57	6,49	30	Ja
	Sdb	23,47	9,78	27	Nee
	Pdc	21,80	9,08	29	Ja
	Sch	23,91	9,96	28	Nee
	Ldcz1	17,40	7,25	30	Ja
	Zdb	23,71	9,88	25	Nee
	Zandleemstreek	Ldc	17,35	7,23	30
Aba1		20,34	8,48	30	Ja
Ldp		16,96	7,07	30	Ja
Eep		17,25	7,19	30	Ja
Lca		20,42	8,51	30	Ja
Ldcz		17,05	7,10	30	Ja
Lep		15,58	6,49	30	Ja
Pcc		21,04	8,77	30	Ja
Adp		17,60	7,33	30	Ja
Pdc		21,80	9,08	29	Ja
Acp		19,33	8,05	30	Ja
Weidestreek	Aba1	20,31	8,46	30	Ja
	nuGbbx	21,33	8,89	30	Ja
	Abp	23,86	9,94	25	Nee
	nEbbk	19,74	8,23	30	Ja
	Gbax1	24,37	10,15	22	Nee
	ADa1	17,48	7,28	30	Ja

Simulatieëenheid		$[\text{NO}_3\text{-N}]_{\text{gem}}$ in waterflux op 90cm diepte	$[\text{NO}_3\text{-N}]_{\text{gem}}$ in water, rekening houdend met procesfactor = 2.4	Aantal winters onder 11,30 mg/l in oppervlaktewater	scenario voldoet aan nitraatrichtlijn ?
	Aba0	24,27	10,11	24	Nee
	Gbbx3	30,90	12,87	8	Nee
	(x)Aba	24,29	10,12	22	Nee
	AbB	22,29	9,29	28	Nee
	Gbax3	30,56	12,73	8	Nee
	AbB	20,02	8,34	30	Ja
	ADp1	17,38	7,24	30	Ja
	AFp	16,12	6,72	30	Ja
Polders	OU2	20,40	8,50	29	Ja
	E1	15,92	6,63	30	Ja
	C2	18,52	7,72	30	Ja
	D5	19,07	7,95	30	Ja
	F1	16,23	6,76	30	Ja
	B1	17,34	7,22	30	Ja
	C1	18,82	7,84	30	Ja
	B2	14,66	6,11	30	Ja
	Dk5	20,49	8,54	30	Ja
	A4	21,98	9,16	27	Nee
Duinen	W1	18,43	7,68	30	Ja
	E1	26,52	11,05	15	Nee
	A4	25,89	10,79	19	Nee

Uit Figuur 2.10 blijkt dat de hoogste gemiddelde (over 30 jaren) $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties bij behandeling 'gras-90-H' voorkomen in de Kempen en de Zandstreek. Deze figuur geeft enkel een simulatiewaarde voor de percelen die in 1998 onder grasland lagen. Figuur 2.11 geeft aan dat voor het grootste deel van de in 1998 met gras ingezaaide/bedekte percelen in Vlaanderen bij een nitraatstikstofresidu van 90 (H) de gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie lager is dan 10 mg l^{-1} (82 %). Uit Tabel 2.56 blijkt echter dat een gemiddelde van $10 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ niet volstaat om aan de grenswaarde te voldoen (minstens 29 van de 30 winters (= 95 %) onder de 11.3 mg l^{-1} blijven en alle winters onder de 16.5 mg l^{-1}). Er wordt over het algemeen pas aan de grenswaarde voldaan bij een gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie van maximaal 9 mg l^{-1} . Hieraan voldeed in 1998 slechts 54 % van de graslanden in Vlaanderen (Figuur 2.11).



Figuur 2.10: Overzichtskaart van de ruimtelijke spreiding van de gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in grond- en oppervlaktewater bij behandeling 'gras-90-H' (situatie 1998)



Figuur 2.11: Cumulatief oppervlakteaandeel van het grasland dat leidt tot een bepaalde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie bij een behandeling 'gras-90-H'

3. a) *Welke simulatieëenheden realiseren bij welke behandeling een gemiddelde NO₃-N-concentratie lager dan 11.3 mg l⁻¹ ?*

Tabel 2.57 geeft voor elke simulatieëenheid aan of de gemiddelde NO₃-N-concentratie (gemiddelde over 30 jaren) in het oppervlaktewater hoger (o) of lager (x) is dan 11.3 mg l⁻¹.

Tabel 2.57: Gemiddelde NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater lager (x) of hoger (o) dan 11,3 mg l⁻¹ bij een bepaalde behandeling op een bepaalde simulatieëenheid

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150						
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L				
Kempen	Zdg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zdg	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zeg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o
	Zcm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zeg	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zcm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zdm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sdm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	w-Seg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o
	Zcg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sdg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sepz	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o
	Scm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zcg	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zdgb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zdgy	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sdg	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Scm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Zdm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sdm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Leemstreek	Abal	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abal	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abal	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o
	Abpl	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abp(c)	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abal	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abpl	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Abp(c)	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	ADp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o
	Abp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150		
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L
Zandstreek	Aba0	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	Aba1	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	Aca1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O
	Ada	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	Acpl	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	Abp(c)	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	Aca1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	Ada	Gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	ADp	Winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
Ada	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
Zandstreek	Zch	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Zch	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Sdp1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Zdh	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Zdp0	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Zcg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Zcg	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Zdp0	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Zdh	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Sep1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Sdh	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Sdp1	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Ldc1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	
	Lep1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	
	Sdb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Pdc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Sch	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
Ldcz1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O		
Sdh	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
Zdb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O		
Zand leemstreek	Ldc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O		
	Abal	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Abal	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Abal	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Ldc	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
Ldc	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O		

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150		
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L
Weidestreek	Ldp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
	Ldc	aardappelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0
	Eep	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
	Lca	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0
	Ldcz	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
	Lep	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0
	Lca	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0
	Pcc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0
	Adp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
	Pdc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0
	Acp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0
	Lca	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0
	Ldc	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0
Pcc	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
Polders	Aba1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	nuGbbx	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	Abp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
	nEbbk	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	Gbax1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Aba1	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	ADa1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	
	Aba0	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gbbx3	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	(x)Aba	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
	AbB	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	Gbax3	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Aba1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	Aba0	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	Abp	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	AbB	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	nuGbbx	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
Gbax1	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0		
ADp1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0		
AFp	Gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0		
Polders	OU2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	E1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	
	E1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150		
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L
	D5	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	C2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	D5	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O
	F1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	B1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	OU2	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	C1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O
	C1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	A4	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	E1	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
	F1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O
	B2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O
	E1	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	D5	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	D5	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Dk5	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
A4	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Duinen	W1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	E1	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	W1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	A4	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O
	E1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	E1	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O
	W1	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	A4	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	A2	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	D5	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	A4	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	W1	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	A2	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	OU2	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	W1	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O

3. *b) Welke simulatieëenheden voldoen bij welke behandeling aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn ?*

Tabel 2.58 geeft de verschillende doorgerekende scenario's weer, met voor elke behandeling per simulatieëenheid of het scenario al dan niet voldoet aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (scenario voldoet indien minstens 29 van de 30 jaar NO₃-N-concentratie < 11.3 mg l⁻¹ en steeds < 16.95 mg l⁻¹). Nagenoeg alle scenario's voldoen aan de grenswaarde indien het residu, hoog of gelijk verdeeld in het profiel, lager is dan 50 kg ha⁻¹. Enkel voor stenige droge bodems met een ondiep substraat (Gbx3 en Gbbx3 in de weidestreek) met grasteelt, wordt ook bij een residu van 40 kg ha⁻¹ de grenswaarde overschreden. Uit Tabel 2.58 is ook af te lezen dat op enkele bodems een zeer hoog residu toegelaten is; het betreft de kleirijke bodems in de Polders en de Duinen, en de redelijk natte bodems in andere landbouwstreken (drainageklasse 'e' of 'f'). Deze hoge toegelaten residu's zijn het gevolg van het feit dat de hoge grondwaterstand zorgt voor een hogere waterflux in het bodemprofiel en hogere denitrificatieverliezen, waardoor de nitraatstikstofconcentratie lager blijft. Uit de tabel komt ook goed het verschil tot uiting tussen zandbodems en (zand)leembodems; op (zand)leembodems is over het algemeen een hoger nitraatstikstofresidu toegelaten dan op zandbodems.

Tabel 2.58 : Scenario voldoet al dan niet aan de grenswaarde (x = voldoet aan de grenswaarde, o = voldoet niet aan de grenswaarde)

Simulatie- ëenheid	Behan- deling	20			30			40			50			70			90			120			150				
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L		
duinen	A2	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	A4	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	D5	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	E1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	OU2	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	W1	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o
Kempen	Scm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	Sdg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150				
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L		
leemstreek	Sdm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Sepz	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	w-Seg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O
	Zcg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zcm	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zdg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zdgb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zdgy	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zdm	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Zeg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Aba0	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Aba1	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Abp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Abp(c)	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Abpl	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Aca1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Acpl	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Ada	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	

Simulatie-eenheid	Behandeling	20			30			40			50			70			90			120			150		
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L
ADp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
A4	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
B1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	
B2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O
C1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
C2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
D5	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
Dk5	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
E1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O
	suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O
F1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O
OU2	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
(x)Ab a	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Aba0	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Aba1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
AbB	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Abp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
ADa1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O		O	O	O	O	O	O	O
ADp1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O
AFp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O
Gba1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

Simulatie- eenheid	Behan- deling	20			30			40			50			70			90			120			150			
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	
zandleemstreek	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Gbax3	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Gbbx3	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		nEbbk	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0
		nuGbb x	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0
			maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
zandleemstreek	Aba1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Acp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	ADp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	Eep	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	Lca	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ldc	aardap pelen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
		gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
		suiker bieten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
		winter tarwe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
	Ldcz	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	
	Ldp	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	
	Lep	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	
	Pcc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pdc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
zandstreek	Ldc1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0		
	Ldcz1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0		
	Lep1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0		
	Pdc	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Sch	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Sdb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Sdh	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Sdp1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0		
		maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sep1	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0			

Simulatie- eenheid	Behan- deling	20			30			40			50			70			90			120			150			
		H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L	
Zcg	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Zch	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Zdb	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Zdh	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Zdp0	gras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	maïs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

4. Welke simulatieëenheden voldoen aan de grenswaarde bij behandeling 'gras-90-H' ?

Tabel 2.59 geeft de simulatieëenheden weer die voldoen aan de grenswaarde bij teelt van gras en een nitraatstikstofresidu van 90 kg ha⁻¹, hoog verdeeld in het bodemprofiel (50 % – 25 % – 25 %). Voor elke simulatieëenheid is ook aangegeven welke oppervlakte deze simulatieëenheid inneemt in Vlaanderen, welke oppervlakte daarvan in landbouwgebruik is, en hoeveel daarvan onder gras lag in 1998.

Tabel 2.59: Simulatieëenheden die voldoen aan de grenswaarde bij een behandeling 'gras – 90 – H'

Landbouwtreek	Bodemserie	Totale Opp. (ha)	Opp. in landbouw- gebruik	Opp onder gras in 1998
Kempen	: Zeg, w-Seg, Sepz	15486	7846	4700
Leemstreek	: Aba1, ADp, Abp, Aca1, Acp1, Abp(c), Ada	48660	36603	5525
Zandstreek	: Sdp1, Zcg, Sep1, Ldc1, Lep1, Pdc, Ldcz1	46478	29757	14187
Zandleemstreek	: Ldc, Aba1, Ldp, Eep, Lca, Ldcz, Lep, Pcc, Adp, Pdc, Acp	139810	90449	29971
Weidestreek	: Aba1, nuGbbx, nEbbk, ADa1, AbB, ADp1, AFp	1726	1082	733
Polders	: OU2, E1, C2, D5, F1, B1, C1, B2, Dk5	28572	24282	10859
Duinen	: W1	261	188	61

5. Welke behandelingen geven aanleiding tot respect van de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ voor Zdg in Zandstreek en Kempen ?

Volgende (onderzochte) behandelingen leiden tot respect van de grenswaarde voor Zdg-bodems in de Kempen en de Zandstreek (Tabel 2.60): grasteelt met een residu tot 50 kg ha⁻¹ (verdeling H, G of L) en maïsteelt met een residu tot 40 kg ha⁻¹ bij een lage verdeling van het residu en tot 50 kg ha⁻¹ bij een gemiddelde tot hoge verdeling van het residu.

Tabel 2.60: Behandelingen die leiden tot respect van de grenswaarde voor Zdg-bodems in de Kempen en de Zandstreek

Teelt	Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het profiel	Nitraatstikstofresidu (kg ha ⁻¹)
gras	H- G - L	<= 50
maïs	H - G	<= 50
	L	<= 40

Niet conform de grenswaarde zijn dus de behandelingen met een nitraatstikstofresidu hoger dan het residu dat vermeld wordt in Tabel 2.60.

6. Wordt op Zdg in Zandstreek en Kempen onder 'gras-90-H' de grenswaarde gerespecteerd ?

Neen. Op een Zdg met behandeling 'gras-90-H' blijft de NO₃-N-concentratie slechts in 18 van de 30 winters onder de 11.3 mg l⁻¹. De grenswaarde van de nitraatrichtlijn wordt dus niet gerespecteerd.

Groepen indicatoren opsplitsen:

De behandeling hoeft echter niet noodzakelijk in haar totaliteit bekeken te worden; ze bestaat uit 3 componenten die los van elkaar kunnen variëren:

- Teelt
- NO₃-N-residu
- NO₃-N-verdeling.

Er zijn ook meerdere prestatieindicatoren die ook apart een relevantie hebben:

- Minimum / gemiddelde / maximum nitraatstikstofconcentratie in waterflux
- Aantal winters onder 5.65 / 8.4 / 11.3 / 16.95 mg NO₃-N l⁻¹

Er kunnen m.a.w. 'partial en compound specifiers' geformuleerd worden voor 'Behandeling' en 'prestatie'. Op basis van deze partiële indicatoren of behandelingen, zijn zeer veel vraagstellingen mogelijk. Onderstaande Tabel 2.61 geeft enkele voorbeelden; uiteraard zijn nog veel andere queries mogelijk.

Tabel 2.61: Voorbeelden van mogelijke queries op basis van partiële aspecten van behandelingen en/of prestatieindicatoren

	Specifieer	Result	Voorbeeld
7.	Teelt, residu (= <i>partiële behandeling</i>)	Prestatie én NO ₃ -N verdeling per simulatieëenheid	Welk gemiddelde NO ₃ -N-concentratie resulteert per NO ₃ -N-verdeling voor alle simulatieëenheden onder 'gras-90'?
8.	Aantal winters onder 5.65 mg NO ₃ -N l ⁻¹ & Aantal winters onder 11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ (= <i>compound prestatie</i>)	Behandeling per simulatieëenheid	Bij welke behandeling zijn welke simulatieëenheden conform de grenswaarde van 11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ en bovendien in meer dan 50 % van de jaren conform de richtwaarde van 5.65 mg NO ₃ -N l ⁻¹ ?
9.	Aantal winters onder 11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ , residu (= <i>partiële behandeling en partiële prestatie</i>)	Teelt per simulatieëenheid	Bij welke teelt zijn welke simulatieëenheden conform de grenswaarde van 11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ bij een residu van 90 kg NO ₃ -N ha ⁻¹ .
10	SE, Aantal winters onder 11.3 mg NO ₃ -N l ⁻¹ , NO ₃ -N-residu, NO ₃ -N-verdeling	Teelt	Welke teelt geeft aanleiding tot respect van de grenswaarde voor Zdg in Zandstreek en Kempen bij '90-H'?

7. Welk gemiddelde NO₃-N-concentratie resulteert per NO₃-N-verdeling voor simulatieëenheden onder gras met een nitraatstikstofresidu van 90 kg NO₃-N ha⁻¹ ?

Tabel 2.62 geeft de structuur weer van de tabel die als antwoord op deze query opgebouwd kan worden. Vermits het aantal simulatieëenheden met behandeling gras nogal groot is, zou de volledige tabel met resultaten hier te veel plaats innemen (213 records).

De resultaten kunnen echter geresumeerd weergegeven worden door de simulatieëenheden te groeperen tot textuurklassen, en voor elke textuurklasse de gemiddelde NO₃-N-concentratie te berekenen (Tabel 2.63). Er kan ook een gemiddeld resultaat berekend worden voor alle simulatieëenheden samen met behandeling 'gras-90' (eveneens Tabel 2.63).

Tabel 2.62: Gemiddelde NO₃-N-concentratie per simulatieëenheid bij behandeling 'gras met nitraatstikstofresidu 90 kg NO₃-N ha⁻¹'

Simulatieëenheid		nitraatverdeling in het bodemprofiel	[NO ₃ -N] _{gem} in oppervlakte-water (mg l ⁻¹)	aantal winters waarin [NO ₃ -N] < 11,30 mg l ⁻¹	Voldoet het scenario aan de grenswaarde?
Zdb	zandstreek	H	9,88	25	Nee
Ldc	zandleemstreek	H	7,23	30	Ja
...
Zdb	zandstreek	G	11,26	16	Nee
Ldc	zandleemstreek	G	8,28	30	Ja
...
Zdb	zandstreek	L	13,82	4	Nee
Ldc	zandleemstreek	L	9,99	28	Nee
...

Tabel 2.63: Gemiddelde NO₃-N-concentratie per textuurklasse bij behandeling ‘gras met nitraatstikstofresidu 90 kg NO₃-N ha⁻¹’,

N-verdeling	Textuur	Gemiddelde [NO ₃ -N] (mg/l)	Standaardafwijking van gemiddelde [NO ₃ -N] (in mg/l)
H	zand	10,15	1,44
	zandleem	7,66	1,00
	leem	8,78	1,64
	klei	8,09	1,40
G	zand	11,31	1,46
	zandleem	8,76	1,10
	leem	10,27	1,93
	klei	9,30	1,31
L	zand	13,37	1,53
	zandleem	10,60	1,32
	leem	12,67	2,55
	klei	11,32	1,48
H	alle texturen	8,89	1,69
G	alle texturen	10,15	1,79
L	alle texturen	12,28	2,12

8. Bij welke behandeling zijn welke simulatieëenheden conform de grenswaarde van 11.3 mg N l⁻¹ en bovendien in meer dan 50 % van de jaren conform de richtwaarde van 5.65 mg N l⁻¹ ?

Onderstaande Tabel 2.64 geeft een overzicht van welke simulatieëenheden met welke behandelingen voldoen aan de grenswaarde, en bovendien in 50 % van de jaren de NO₃-N-concentratie van 5.65 mg l⁻¹ niet overschrijden

Tabel 2.64: Simulatieëenheden met behandelingen die conform de grenswaarde, en waarbij de NO₃-N-concentratie in 50 % van de jaren onder de 5.65 mg l⁻¹ blijft

Simulatieëenheid		Teelt / oogstrest	Nitaatresidu waarbij, voor elke nitraatstikstofresiduverdeling over het profiel, voldaan is aan de grenswaarde ([NO ₃ -N] minimaal 29 op 30 winters lager dan 11,3 mg l ⁻¹) en waarbij in meer dan de helft van de jaren de [NO ₃ -N] onder 5,65 mg l ⁻¹ blijft)		
			G 33% - 33% - 33%	H 50% - 25% - 25%	L 25% - 25% - 50%
Zdg	Kempen	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Zdg	Kempen	maïs	<= 30	<= 30	<= 30
Zeg	Kempen	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Zcm	Kempen	gras	<= 30	<= 40	<= 30
Zeg	Kempen	maïs	<= 40	<= 40	<= 40
Zcm	Kempen	maïs	<= 30	<= 30	<= 30
Zdm	Kempen	gras	<= 30	<= 30	<= 20

Simulatieëenheid		Teelt / oogstrest	Nitaatresidu waarbij, voor elke nitraatstikstofresiduverdeling over het profiel, voldaan is aan de grenswaarde ($[\text{NO}_3\text{-N}]$ minimaal 29 op 30 winters lager dan $11,3 \text{ mg l}^{-1}$) en waarbij in meer dan de helft van de jaren de $[\text{NO}_3\text{-N}]$ onder $5,65 \text{ mg l}^{-1}$ blijft)		
			G 33% - 33% - 33%	H 50% - 25% - 25%	L 25% - 25% - 50%
Sdm	Kempen	gras	≤ 30	≤ 40	≤ 30
w-Seg	Kempen	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Zcg	Kempen	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Sdg	Kempen	gras	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Sepz	Kempen	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Scm	Kempen	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Zcg	Kempen	maïs	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Zdgb	Kempen	gras	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Zdgy	Kempen	gras	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Sdg	Kempen	maïs	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Scm	Kempen	maïs	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Zdm	Kempen	maïs	≤ 30	≤ 30	≤ 20
Sdm	Kempen	maïs	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Aba1	leemstreek	wintertarwe	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Aba1	leemstreek	suikerbieten	≤ 30	≤ 40	≤ 30
Aba1	leemstreek	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Abp1	leemstreek	wintertarwe	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Abp(c)	leemstreek	wintertarwe	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Aba1	leemstreek	maïs	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Abp1	leemstreek	suikerbieten	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Abp(c)	leemstreek	suikerbieten	≤ 30	≤ 40	≤ 30
ADp	leemstreek	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 40
Abp	leemstreek	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Aba0	leemstreek	wintertarwe	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Aba1	leemstreek	aardappelen	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Aca1	leemstreek	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Ada	leemstreek	wintertarwe	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Acpl	leemstreek	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Abp(c)	leemstreek	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Aca1	leemstreek	wintertarwe	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Ada	leemstreek	Gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
ADp	leemstreek	wintertarwe	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Ada	leemstreek	aardappelen	≤ 40	≤ 50	≤ 40
Zch	zandstreek	gras	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Zch	zandstreek	maïs	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Sdpl	zandstreek	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
Zdh	zandstreek	gras	≤ 30	≤ 30	≤ 20

Simulatieëenheid		Teelt / oogstrest	Nitaatresidu waarbij, voor elke nitraatstikstofresiduverdeling over het profiel, voldaan is aan de grenswaarde ($[\text{NO}_3\text{-N}]$ minimaal 29 op 30 winters lager dan $11,3 \text{ mg l}^{-1}$) en waarbij in meer dan de helft van de jaren de $[\text{NO}_3\text{-N}]$ onder $5,65 \text{ mg l}^{-1}$ blijft)		
			G 33% - 33% - 33%	H 50% - 25% - 25%	L 25% - 25% - 50%
Zdp0	zandstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Zcg	zandstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Zcg	zandstreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
Zdp0	zandstreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
Zdh	zandstreek	maïs	<= 30	<= 30	<= 30
Sep1	zandstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Sdh	zandstreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Sdp1	zandstreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 40
Ldc1	zandstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Lep1	zandstreek	gras	<= 50	<= 70	<= 50
Sdb	zandstreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Pdc	zandstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Sch	zandstreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Ldcz1	zandstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Sdh	zandstreek	maïs	<= 30	<= 30	<= 30
Zdb	zandstreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Ldc	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Aba1	zandleemstreek	wintertarwe	<= 40	<= 50	<= 40
Aba1	zandleemstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Aba1	zandleemstreek	maïs	<= 40	<= 50	<= 40
Ldc	zandleemstreek	maïs	<= 50	<= 50	<= 40
Ldc	zandleemstreek	wintertarwe	<= 50	<= 50	<= 40
Ldp	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 70	<= 40
Ldc	zandleemstreek	aardappelen	<= 40	<= 50	<= 40
Eep	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Lca	zandleemstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Ldcz	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 70	<= 40
Lep	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 70	<= 50
Lca	zandleemstreek	wintertarwe	<= 40	<= 40	<= 40
Pcc	zandleemstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Adp	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Pdc	zandleemstreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Acp	zandleemstreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Lca	zandleemstreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 40
Ldc	zandleemstreek	suikerbieten	<= 40	<= 40	<= 40
Pcc	zandleemstreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
Aba1	weidestreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30

Simulatieëenheid		Teelt / oogstrest	Nitaatresidu waarbij, voor elke nitraatstikstofresiduverdeling over het profiel, voldaan is aan de grenswaarde ($[\text{NO}_3\text{-N}]$ minimaal 29 op 30 winters lager dan $11,3 \text{ mg l}^{-1}$) en waarbij in meer dan de helft van de jaren de $[\text{NO}_3\text{-N}]$ onder $5,65 \text{ mg l}^{-1}$ blijft)		
			G 33% - 33% - 33%	H 50% - 25% - 25%	L 25% - 25% - 50%
nuGbbx	weidestreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Abp	weidestreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
nEbbk	weidestreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Gbx1	weidestreek	gras	<= 40	<= 40	<= 30
Aba1	weidestreek	maïs	<= 40	<= 50	<= 40
ADa1	weidestreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
Aba0	weidestreek	gras	<= 30	<= 40	<= 30
Gbbx3	weidestreek	gras	<= 30	<= 30	<= 20
(x)Aba	weidestreek	gras	<= 30	<= 40	<= 30
AbB	weidestreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
Gbx3	weidestreek	gras	<= 30	<= 30	<= 20
Aba1	weidestreek	wintertarwe	<= 40	<= 50	<= 40
Aba0	weidestreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
Abp	weidestreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
AbB	weidestreek	gras	<= 40	<= 50	<= 30
nuGbbx	weidestreek	maïs	<= 40	<= 50	<= 40
Gbx1	weidestreek	maïs	<= 40	<= 40	<= 30
ADp1	weidestreek	gras	<= 50	<= 50	<= 40
AFp	weidestreek	Gras	<= 50	<= 70	<= 40
OU2	polders	gras	<= 40	<= 50	<= 30
E1	polders	wintertarwe	<= 50	<= 50	<= 50
E1	polders	gras	<= 50	<= 70	<= 40
D5	polders	wintertarwe	<= 40	<= 50	<= 40
C2	polders	gras	<= 50	<= 50	<= 40
D5	polders	gras	<= 50	<= 50	<= 40
F1	polders	gras	<= 50	<= 70	<= 40
B1	polders	gras	<= 50	<= 50	<= 40
OU2	polders	wintertarwe	<= 40	<= 40	<= 30
C1	polders	gras	<= 50	<= 50	<= 40
C1	polders	wintertarwe	<= 40	<= 40	<= 40
A4	polders	wintertarwe	<= 40	<= 40	<= 30
E1	polders	maïs	<= 50	<= 50	<= 50
F1	polders	wintertarwe	<= 50	<= 50	<= 50
B2	polders	gras	<= 50	<= 70	<= 50
E1	polders	suikerbieten	<= 50	<= 50	<= 40
D5	polders	maïs	<= 40	<= 50	<= 40
D5	polders	suikerbieten	<= 40	<= 40	<= 30

Simulatieëenheid		Teelt / oogstrest	Nitaatresidu waarbij, voor elke nitraatstikstofresiduverdeling over het profiel, voldaan is aan de grenswaarde ($[\text{NO}_3\text{-N}]$ minimaal 29 op 30 winters lager dan $11,3 \text{ mg l}^{-1}$) en waarbij in meer dan de helft van de jaren de $[\text{NO}_3\text{-N}]$ onder $5,65 \text{ mg l}^{-1}$ blijft)		
			G 33% - 33% - 33%	H 50% - 25% - 25%	L 25% - 25% - 50%
Dk5	polders	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
A4	polders	gras	≤ 40	≤ 50	≤ 30
W1	duinen	wintertarwe	≤ 50	≤ 50	≤ 40
E1	duinen	wintertarwe	≤ 40	≤ 40	≤ 30
W1	duinen	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 50
A4	duinen	wintertarwe	≤ 50	≤ 50	≤ 30
E1	duinen	gras	≤ 40	≤ 40	≤ 30
E1	duinen	suikerbieten	≤ 50	≤ 70	≤ 40
W1	duinen	suikerbieten	≤ 50	≤ 50	≤ 40
A4	duinen	gras	≤ 30	≤ 40	≤ 30
A2	duinen	wintertarwe	≤ 40	≤ 50	≤ 30
D5	duinen	wintertarwe	≤ 30	≤ 30	≤ 30
A4	duinen	suikerbieten	≤ 40	≤ 50	≤ 40
W1	duinen	maïs	≤ 30	≤ 30	≤ 20
A2	duinen	suikerbieten	≤ 40	≤ 40	≤ 30
OU2	duinen	wintertarwe	≤ 30	≤ 30	≤ 20
W1	duinen	aardappelen	≤ 40	≤ 40	≤ 30

9. *Bij welke teelt zijn welke simulatieëenheden conform de grenswaarde van 11.3 mg N l⁻¹ bij een residu van 90 kg NO₃-N ha⁻¹ ?*

Tabel 2.65 geeft een overzicht van de behandelingen (teelt en N-verdeling) die bij een residu van 90 kg NO₃-N ha⁻¹ op de betreffende simulatieëenheid niet resulteren in een overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

Tabel 2.65: Overzicht van teelten en nitraatstikstofresiduverdelingen die bij een bepaalde simulatieëenheid en een nitraatstikstofresidu van 90 kg NO₃-N ha⁻¹, de grenswaarde van de nitraatrichtlijn niet overschrijden

Simulatieëenheid		Teelt	N-verdeling
Bodemserie	Lbstreek		
Sep1	Zandstreek	gras	H
A4	Duinen	wintertarwe, suikerbieten	H
Aba0	Leemstreek	wintertarwe	H
Aba1	Leemstreek, Zandleemstreek, Weidestreek	gras, maïs, wintertarwe	H
AbB	Weidestreek	gras	H
Abp	Leemstreek	gras	H
Abp(c)	Leemstreek	gras	H
Aca1	Leemstreek	gras	G, H
Aca1	Leemstreek	wintertarwe	H
Acp	Leemstreek, zandleemstreek	gras	G, H
Ada	Leemstreek	gras, aardappelen, wintertarwe	G, H
ADa1	Weidestreek	gras	G, H
Adp	(zand)leemstreek	gras, wintertarwe	G, H
ADp1	Weidestreek	gras	G, H
Afp	Weidestreek	gras	L, G, H
B1	Polders	gras	G, H
B2	Polders	gras	L, G, H
C1	Polders	gras	G, H
C1	Polders	wintertarwe	H
C2	Polders	gras	G, H
D5	Polders	gras	G, H
D5	Polders	wintertarwe, maïs, suikerbieten	H
Dk5	Polders	gras	H
E1	Polders	gras	G, H
E1	Polders	mais, wintertarwe	L, G, H
E1	Polders en Duinen	suikerbieten	G, H
Eep	Zandleemstreek	gras	G, H
F1	Polders	gras	G, H
F1	Polders	wintertarwe	L, G, H
Lca	Zandleemstreek	gras	H

Simulatieëenheid		Teelt	N-verdeling
Bodemserie	Lbstreek		
Ldc	Zandleemstreek	aardappelen, gras, mais, wintertarwe	G, H
Ldc	Zandleemstreek	suikerbieten	H
Ldc1	Zandstreek	gras	G, H
Ldcz	Zandleemstreek	gras	G, H
Ldcz1	Zandstreek	gras	L, G, H
Ldp	Zandleemstreek	gras	L, G, H
Lep	zand(leem)streek	gras	L, G, H
nEbbk	Weidestreek	gras	H
nuGbbx	Weidestreek	gras	H
OU2	Polders	gras	H
Pcc	Zandleemstreek	gras	H
Pdc	zand(leem)streek	gras	H
Sdp1	Zandstreek	gras	H
Sepz	Kempen	gras	G, H
W1	Duinen	gras	L, G, H
W1	Duinen	suikerbieten, wintertawe	G, H
w-Seg	Kempen	gras	G, H
Zcg	Zandstreek	gras	H
Zeg	Kempen	gras	G, H
Zeg	Kempen	mais	H

10. Welke teelt geeft aanleiding tot respect van de grenswaarde voor Zdg in Zandstreek en Kempen bij 90-H?

Geen enkele ...

Regio-specifieke analyse

Naast de queries op basis van groepen variabelen en ‘partial en compound specifiers’, zijn ook regionaal gerichte bevestigingen mogelijk. Hierbij vormen de voorkomende simulatieëenheden in een bepaald gebied, en hun oppervlakteaandeel in die regio, de specifier. Mogelijke queries kunnen zijn:

11. Welke behandelingen zijn in het Bekken van de Molenbeek/Markebeek mogelijk opdat:

a) de oppervlakte die niet voldoet aan de grenswaarde gelijk zou zijn aan 0 ?

b) de oppervlakte die niet voldoet aan de grenswaarde maximaal 10 % zou bedragen van de totale oppervlakte van het stroomgebied ?

Onderstaande Tabel 2.66 geeft aan welke simulatieëenheden in het stroomgebied van de Molenbeek / Markebeek voorkomen, en welk aandeel van de oppervlakte door elke bodem wordt ingenomen. Tabel 2.67 geeft per simulatieëenheid aan welke behandelingen mogelijk zijn zonder dat de grenswaarde overschreden wordt.

Tabel 2.66: Absolute en relatieve oppervlakte van de simulatieëenheden in het Bekken van de Molenbeek / Markebeek (Oost-Vlaanderen, Zandleemstreek)

Simulatieëenheid	Oppervlakte (ha)	Oppervlakteaandeel (in % van de gesimuleerde oppervlakte)
Abal	372,66	49,58
Acp	109,88	14,62
Adp	139,73	18,59
Eep	16,18	2,15
Lca	26,99	3,59
Ldc	17,02	2,26
Ldp	56,92	7,57
Lep	12,32	1,64
Totaal gesimuleerd	751,7	100 %
Totaal landbouw	2107,08	

Tabel 2.67: Behandelingen per simulatieëenheid in het Bekken van de Molenbeek / Markebeek waarbij voldaan is aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn

Toegelaten residu bij nitraatverdeling = H								
	Lep Opp = 1,64%	Eep Opp = 2,15%	Ldc Opp = 2,26%	Lca Opp = 3,59%	Ldp Opp = 7,57%	Acp Opp = 14,62%	Adp Opp = 18,59%	Aba1 Opp = 49,57%
aardappelen	n.g.	n.g.	≤ 90	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
gras	≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 90	≤ 120	≤ 90	≤ 120	≤ 90
mais	n.g.	n.g.	≤ 90	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 90
suikerbieten	n.g.	n.g.	≤ 90	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
wintertarwe	n.g.	n.g.	≤ 90	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 90

Toegelaten residu bij nitraatverdeling = G								
	Lep Opp = 1,64%	Eep Opp = 2,15%	Ldc Opp = 2,26%	Lca Opp = 3,59%	Ldp Opp = 7,57%	Acp Opp = 14,62%	Adp Opp = 18,59%	Aba1 Opp = 49,57%
aardappelen	n.g.	n.g.	≤ 90	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
gras	≤ 120	≤ 90	≤ 90	≤ 70	≤ 90	≤ 90	≤ 90	≤ 70
mais	n.g.	n.g.	≤ 90	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 70
suikerbieten	n.g.	n.g.	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
wintertarwe	n.g.	n.g.	≤ 90	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 70

Toegelaten residu bij nitraatverdeling = L								
	Lep Opp = 1,64%	Eep Opp = 2,15%	Ldc Opp = 2,26%	Lca Opp = 3,59%	Ldp Opp = 7,57%	Acp Opp = 14,62%	Adp Opp = 18,59%	Aba1 Opp = 49,57%
aardappelen	n.g.	n.g.	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
gras	≤ 90	≤ 70	≤ 70	≤ 50	≤ 90	≤ 70	≤ 70	≤ 50
mais	n.g.	n.g.	≤ 70	≤ 50	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 70
suikerbieten	n.g.	n.g.	≤ 70	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
wintertarwe	n.g.	n.g.	≤ 70	≤ 50	n.g.	n.g.	n.g.	≤ 70
n.g. = niet gesimuleerd								

Op basis van Tabel 2.67 kunnen de behandelingen geformuleerd worden waarbij, wanneer heel de managementunit identiek behandeld wordt, de grenswaarde nergens overschreden wordt (Tabel 2.68, 3^{de} kolom), of waarbij maximaal over 10 % van de oppervlakte de grenswaarde overschreden wordt (Tabel 2.68, 4^{de} kolom).

Tabel 2.68: Mogelijke behandelingen (teelt / oogstrest, nitraatstikstofresidu, nitraatverdeling in het bodemprofiel) waarbij heel het stroomgebied voldoet aan de grenswaarde (3^{de} kolom) en waarbij maximaal 10 % van de oppervlakte afwijkt van de grenswaarde (4^{de} kolom)

Teelt	Verdeling van het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel	nitraatstikstofresidu indien 100 % van het gebied moet voldoen aan de grenswaarde	nitraatstikstofresidu indien 10 % van het gebied mag afwijken van de grenswaarde
gras	H	≤ 90	≤ 90
	G	≤ 70	≤ 70
	L	≤ 50	≤ 50
aardappelen	H	≤ 90	≤ 90
	G	≤ 90	≤ 90
	L	≤ 70	≤ 70
mais	H	≤ 70	≤ 90
	G	≤ 70	≤ 70
	L	≤ 50	≤ 70
wintertarwe	H	≤ 70	≤ 90
	G	≤ 70	≤ 70
	L	≤ 50	≤ 70
suikerbieten	H	≤ 90	≤ 90
	G	≤ 70	≤ 70
	L	≤ 70	≤ 70

12. Selecteer aaneengesloten gebieden in Vlaanderen, groter dan 100 ha waarin een gegeven behandeling

a) nergens aanleiding geeft tot het niet respecteren van de grenswaarde

b) maximaal op 10 % van de oppervlakte aanleiding geeft tot het niet-respecteren van de grenswaarde

Het antwoord op dergelijke probleemstelling vraagt vooreerst een aantal veronderstellingen m.b.t. de simulatie-eenheden die niet behoren tot de 20 meest voorkomende in een landbouwstreek en dus geografische gaten zijn in de dataset. Een eenvoudige werkwijze is aan te nemen dat de gaten zich per definitie conform de norm gedragen.

Geavanceerde rasteranalyse, met inzet van moving windowtechnieken, is nodig om de zones te identificeren.

13. Welke unieke nitraatstikstofresidunorm en welke nitraatverdeling moet opgelegd worden om –na maïs- overal in Vlaanderen de grenswaarde te respecteren?

Tabel 2.69 geeft aan wat het maximale nitraatstikstofresidu is per nitraatverdeling voor verschillende simulatieëenheden waarop maïs werd geteeld.

Om overal in Vlaanderen de grenswaarde te respecteren na maïs, dient het laagste maximaal toegelaten residu in heel Vlaanderen toegepast te worden. Dus:

- bij nitraatverdeling H (50 % - 25 % - 25 %): maximaal 50 kg NO₃-N ha⁻¹
- bij nitraatverdeling G (33 % - 33 % - 33 %): maximaal 50 kg NO₃-N ha⁻¹
- bij nitraatverdeling L (25 % - 25 % - 50 %): maximaal 40 NO₃-N ha⁻¹

Tabel 2.69: Nitraatstikstofresidu's per verdeling van het nitraatstikstofresidu in de bodem voor de verschillende (met WAVE doorgerekende) simulatieëenheden na maïsteelt

Simulatieëenheid		Nitraatstikstofresidu		
Lbstreek	Bodemserie	G	H	L
duinen	W1	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Kempen	Scm	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Sdg	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	Sdm	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Zcg	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Zcm	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	Zdg	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	Zdm	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	Zeg	≤ 70	≤ 90	≤ 70
leemstreek	Aba1	≤ 70	≤ 90	≤ 70
polders	D5	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	E1	≤ 90	≤ 120	≤ 90
weidestreek	Aba0	≤ 50	≤ 70	≤ 50
	Aba1	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	Abp	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	Gbax1	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	nuGbbx	≤ 70	≤ 70	≤ 50
zandleemstreek	Aba1	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	Lca	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	Ldc	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	Pcc	≤ 70	≤ 70	≤ 50
zandstreek	Sdh	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	Sdp1	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	Zcg	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Zch	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Zdh	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Zdp0	≤ 50	≤ 70	≤ 50

14. Welke nitraatstikstofresidunorm en welke verdeling moet opgelegd worden om overal in Vlaanderen de grenswaarde te respecteren na om het even welke teelt ?

Tabel 2.70 en Tabel 2.71 geven de toegelaten behandelingen weer zodat aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn wordt voldaan (in Tabel 2.70 per simulatieëenheid; in Tabel 2.71 voor alle simulatieëenheden).

Op basis van Tabel 2.70 en Tabel 2.71 kan afgeleid worden wat het maximaal toegelaten residu is om gelijk na welke teelt in heel Vlaanderen de grenswaarde te respecteren:

- bij nitraatverdeling H (50 % - 25 % - 25 %): maximaal 50 kg NO₃-N ha⁻¹
- bij nitraatverdeling G (33 % - 33 % - 33 %): maximaal 50 kg NO₃-N ha⁻¹
- bij nitraatverdeling L (25 % - 25 % - 50 %): maximaal 30 kg NO₃-N ha⁻¹

Tabel 2.70: Toegelaten behandelingen zodat voor elke simulatieëenheid aan de grenswaarde wordt voldaan

Bodemserie	teelt	N-verdeling		
		G	H	L
(x)Aba	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 50
A2	suikerbieten	≤ 70	≤ 70	≤ 70
	wintertarwe	≤ 50	≤ 70	≤ 50
A4	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	suikerbieten	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 50
Aba0	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 40
	maïs	≤ 50	≤ 70	≤ 50
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 70
Aba1	aardappelen	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	maïs	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	suikerbieten	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 70
AbB	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
Abp	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Abp(c)	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	suikerbieten	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	wintertarwe	≤ 70	≤ 70	≤ 70
Abp1	suikerbieten	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	wintertarwe	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Aca1	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 70
Acp	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
Acp1	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
Ada	aardappelen	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
	wintertarwe	≤ 90	≤ 90	≤ 70
ADa1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
ADp	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70

Bodemserie	teelt	N-verdeling		
		G	H	L
	wintertarwe	≤ 90	≤ 90	≤ 70
ADp1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
AFp	gras	≤ 120	≤ 120	≤ 90
B1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
B2	gras	≤ 120	≤ 150	≤ 90
C1	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 70
C2	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
D5	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	maïs	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	suikerbieten	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 70	≤ 90	≤ 70
Dk5	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
E1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
	maïs	≤ 90	≤ 120	≤ 90
	suikerbieten	≤ 90	≤ 120	≤ 70
	wintertarwe	≤ 90	≤ 120	≤ 90
Eep	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
F1	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 90	≤ 120	≤ 90
Gbax1	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 40
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Gbax3	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 30
Gbbx3	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 30
Lca	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	wintertarwe	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Ldc	aardappelen	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
	maïs	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	suikerbieten	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 90	≤ 90	≤ 70
Ldc1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
Ldcz	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
Ldcz1	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 90
Ldp	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 90
Lep	gras	≤ 120	≤ 120	≤ 90
Lep1	gras	≤ 120	≤ 120	≤ 90
nEbbk	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
nuGbbx	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
OU2	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	wintertarwe	≤ 50	≤ 70	≤ 50
Pcc	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Pdc	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50

Bodemserie	teelt	N-verdeling		
		G	H	L
Sch	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Scm	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 40
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Sdb	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Sdg	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Sdh	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Sdm	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Sdp1	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
	maïs	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Sep1	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 50
Sepz	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
W1	aardappelen	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 90
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	suikerbieten	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	wintertarwe	≤ 90	≤ 90	≤ 70
w-Seg	gras	≤ 90	≤ 120	≤ 70
Zcg	gras	≤ 70	≤ 90	≤ 70
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Zch	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Zcm	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Zdb	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
Zdg	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Zdgb	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Zdgy	gras	≤ 50	≤ 70	≤ 50
Zdh	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Zdm	gras	≤ 50	≤ 50	≤ 40
	maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
Zdp0	gras	≤ 70	≤ 70	≤ 50
	maïs	≤ 50	≤ 70	≤ 50
Zeg	gras	≤ 90	≤ 90	≤ 70
	maïs	≤ 70	≤ 90	≤ 70

Tabel 2.71: Toegelaten residu's en verdelingen per teelt, zodat voor alle simulatieëenheden in Vlaanderen aan de grenswaarde voldaan wordt

Teelt	G	H	L
aardappelen	≤ 70	≤ 70	≤ 50
gras	≤ 50	≤ 50	≤ 30
maïs	≤ 50	≤ 50	≤ 40
suikerbieten	≤ 70	≤ 70	≤ 50
wintertarwe	≤ 50	≤ 50	≤ 40

Opmerking

Er bestaat een tegenstelling tussen Tabel 2.29, die een overzicht van de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen geeft in functie van textuur en gewas(groep), en bovenstaande Tabel 2.71. Dit is te verklaren door het feit dat de simulatieresultaten per 'bodem-gewas' combinatie leiden tot een *interval* voor het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu. De nitraatstikstofresidunormen zijn daarentegen gebaseerd op *gemiddelde waarden* en houden dus geen rekening met perceelsspecifieke kenmerken (grondwaterstand, humusgehalte, ...). Daardoor kunnen de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen in sommige gevallen te streng zijn, en soms niet streng genoeg om te voldoen aan de nitraatrichtlijn. In Tabel 2.71 worden de toegelaten nitraatstikstofresidu's vermeld zodat voor alle simulatieëenheden in Vlaanderen aan de grenswaarde voldaan wordt. In deze tabel wordt bijgevolg de *ondergrens* van het interval weergegeven.

Voor de volledigheid dient ook nog vermeld te worden dat niet alle 'bodem-gewas' combinaties gesimuleerd werden (bv. suikerbieten en tarwe op zand, groenten). Voor deze 'bodem-gewas' combinaties werden nitraatstikstofresidunormen afgeleid op basis van expertkennis en literatuuronderzoek.

2.9 Besluit

Er werd een scenarioanalyse uitgevoerd om voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties in Vlaanderen het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op 1 oktober te bepalen zodanig dat de Europese grenswaarde van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ in grond- en oppervlaktewater in een nitraatstikstofresidunorm kon vertaald worden. Eveneens werd onderzocht hoe de Europese richtwaarde van $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ vertaald kon worden naar een nitraatstikstofresidurichtwaarde.

Per winterperiode (1 oktober – 31 maart) werd een gemiddelde nitraatconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld berekend door op 90 cm beneden maaiveld de cumulatieve nitraatflux over de winterperiode te delen door de cumulatieve waterflux over de hele winterperiode. De modelberekeningen werden zowel met als zonder procesfactor uitgevoerd. Opdat voldaan is aan de grenswaarde van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$, mag in 95 % van de 30 jaren (=29 jaar) de per winterperiode gesimuleerde gemiddelde nitraatstikstofconcentratie niet hoger zijn dan $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ en mag eveneens nooit hoger zijn dan $16.95 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$.

Uit de resultaten van de scenarioanalyse bleek dat de verdeling van het nitraatstikstofresidu op 1 oktober een belangrijke rol speelt in de bepaling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu. Bij de verdeling ‘H’ waarbij het nitraatstikstofresidu zich voor 50 % in de laag 0-30 cm bevindt en voor telkens 25 % in de lagen 30-60 cm en 60-90 cm (2:1:1-verhouding), is de kans op overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn het kleinst en kan er een iets hoger residu getolereerd worden.

Om na te gaan welke verdeling van het nitraatstikstofresidu onder normale omstandigheden het meest voorkomt in de periode 1 oktober-15 november, werd beroep gedaan op metingen van het nitraatstikstofresidu in deze periode. Voor groenten werd de 1:1:1-verdeling van het nitraatstikstofresidu (gelijke verdeling over de 3 bodemlagen van 30 cm) representatief bevonden, terwijl voor de andere gewassen geopteerd werd voor een 2:1:1-verdeling.

Voor alle doorgerekende situaties samen variëren de toelaatbare nitraatstikstofresidu’s tussen 20 en $40 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ indien de procesfactor niet in rekening wordt gebracht en indien voldaan moet zijn aan de grenswaarde van $11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$.

Indien voldaan moet zijn aan de richtwaarde van $5.65 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$, moet het nitraatstikstofresidu zonder gebruik van de procesfactor kleiner zijn dan $20 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$.

Mét procesfactor varieert het toelaatbaar nitraatstikstofresidu tussen 40 en $110 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ in het geval van de grenswaarde en tussen 20 en $50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ in het geval van de richtwaarde.

Het maximaal toegelaten nitraatstikstofresidu opdat voldaan is aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (mét procesfactor) werd verder opgesplitst in functie van de grondsoort en gewas(groep). De simulaties leverden per ‘bodem-gewas’ combinatie een interval op voor het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op 1 oktober. De uiteindelijke nitraatstikstofresidunormen (Tabel 2.29) werden echter gebaseerd op gemiddelde waarden.

Uit de simulaties bleek dat er onderscheid gemaakt diende te worden tussen twee bodemtypes, namelijk de zand (Z en S texturen) en de niet-zand bodems (zandleem, leem, klei). Op de zandgronden varieert het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op 1 oktober tussen 40 en $70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ en op de niet-zandbodems varieert het tussen 50 en $100 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (0-90 cm). De gewassen kunnen ingedeeld worden in 6 groepen: maïs, suiker- en voederbieten, gras, groenten zonder afvoer van oogstresten, tarwe gevolgd door een groenbemester en alle andere

gewassen (waaronder aardappelen, tarwe zonder groenbemester, groenten met afvoer van gewasresten, groenten gevolgd door een groenbemester,...).

Aangezien uit de gewasresten van groenten en van suikerbieten nog een grote hoeveelheid stikstof kan vrijkomen na de oogst en deze minerale stikstof onderhevig is aan uitspoeling tijdens de herfst en de winter, zijn de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen voor deze gewasgroepen lager dan voor de andere gewassen. In het geval van een groenbemester of gras zal er nog stikstof kunnen worden opgenomen wat resulteert in hogere toegelaten nitraatstikstofresidu's in deze situaties.

Om na te gaan hoe betrouwbaar de modelresultaten zijn, werd een gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse uitgevoerd. De onzekerheid op het nitraatstikstofresidu levert de belangrijkste bijdrage tot de onzekerheid op de modeluitvoer (= de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux op 90 cm beneden maaiveld). De onzekerheidsanalyse heeft uiteraard implicaties voor de interpretatie van de scenarioanalyse, omdat één deterministische waarde vervangen wordt door een betrouwbaarheidsinterval. De vrij grote onzekerheid op de nitraatstikstofconcentratie in de waterflux (bij een residu van 70 kg NO₃-N ha⁻¹ tussen 1.99 en 3.62 mg NO₃-N l⁻¹ met procesfactor) leidt tot grote verschillen in hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu naargelang het standpunt men inneemt en dus naargelang men opteert voor de boven- of ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval. Voor de bepaling van het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu op basis van de modelresultaten, werd steeds rekening gehouden met de gemiddelde gesimuleerde waarde omwille van de praktische werkbaarheid. Vanuit wetenschappelijk oogpunt dient echter rekening te worden gehouden met een zekere foutenmarge op de modelresultaten.

De volgens de simulatieresultaten maximaal toegelaten nitraatstikstofresidu's, waarbij voldaan wordt aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn, werden cartografisch voorgesteld op perceelsniveau, in de verschillende regio's van Vlaanderen, rekening houdend met het bestaan van een procesfactor = 2.4 en bij de verschillende verdelingen van het NO₃-N-residu in de bodem. Naast een cartografische voorstelling, laat de output van de scenarioanalyse toe om zeer uiteenlopende vragen te beantwoorden. In dit hoofdstuk werden enkele voorbeelden van relevante queries geformuleerd en beantwoord. Er zijn echter nog veel andere bevragingen en (ruimtelijke) analyses mogelijk op basis van de output van de scenarioanalyse.

3 Scenarioanalyse ter bepaling van het perceelsmanagement

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt nagegaan hoe de nitraatstikstofresidunormen in de praktijk gerealiseerd kunnen worden. Voor 6 kleine stroombekkens werden scenarioanalyses uitgevoerd ter bepaling van het perceelsmanagement dat resulteert in de in Hoofdstuk 2 afgeleide nitraatstikstofresidunormen. De resultaten van dit tweede type scenarioanalyses worden cartografisch weergegeven.

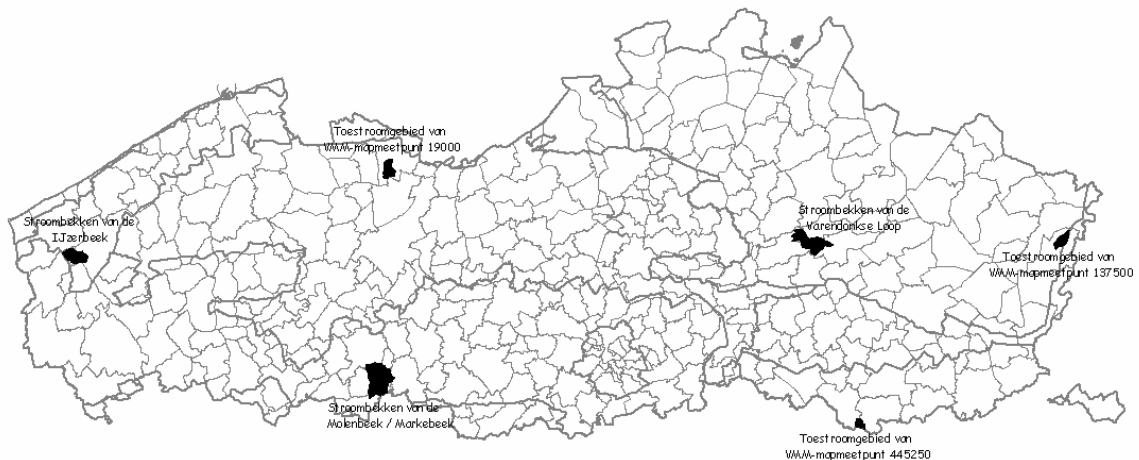
3.2 Geselecteerde stroombekkens

3.2.1 Algemene situering en karakterisatie van de stroombekkens

Voor dit tweede type scenarioanalyse werden 6 studiegebieden geselecteerd, verspreid over heel Vlaanderen en gekenmerkt door verschillende fysische omstandigheden:

- het stroombekken van de Molenbeek/Markebeek (zandleemstreek, gemeente Maarkedal);
- het stroombekken van de Varendonkse Loop (Kempen, gemeenten Laakdal-Herselt-Tessenderlo);
- het stroombekken van de IJzerbeek (Polders, gemeente Diksmuide);
- het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt oppervlaktewater nr. 19000 (Zandstreek, gemeente Assenede);
- het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt oppervlaktewater nr. 137500 (Kempen, gemeente Dilsen-Stokkem);
- het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt oppervlaktewater nr. 445250 (leemstreek, gemeente Gingelom).

De 6 stroomgebieden die gebruikt worden voor het tweede type scenarioanalyses, worden gesitueerd op Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Situering van de stroombekkens

Het bekken van de Molenbeek / Markebeek is een stroombekken van 2939 ha, gesitueerd in de Oostvlaamse Zandleemstreek (grotendeels in de gemeente Maarkedal). Het bekken situeert zich gedeeltelijk in bodemzone 'leemstreek normaal W (31)' en 'heuvelland z vlaams (37)'. De meest voorkomende textuurklasse is leem (A), maar ook zandleem (L) komt veel voor. In de valleien komt klei voor (textuurklasse E). Naast permanent grasland, komen in het bekken ook teeltrotaties voor met wintergerst, wintertarwe, suikerbieten, zomergerst, maïs, aardappelen en haver. Er komen ook enkele boomgaarden voor.

Het bekken van de Varendonkse Loop is een stroombekken van 2275 ha, gelegen in de Kempen (grotendeels in de gemeenten Laakdal en Herselt). Het grootste deel van het stroombekken ligt in bodemzone 12 (zuiderkempen). Het noordelijk deel van het bekken ligt in de vallei van de Nete (bodemzone 65, beekalluvia). Slechts 30 % van het bekken van de Varendonkse Loop is in landbouwgebruik. De meeste percelen liggen onder permanent grasland of maïsteelt. Op enkele percelen komt een rotatie voor met suikerbieten, aardappelen, zomergerst, triticale, groenten en wintertarwe. Textureel is het bekken redelijk divers: zowel zand- (textuurklasse Z/S) als zandleembodems (textuurklasse P/L) zijn vertegenwoordigd.

Het bekken van de IJzerbeek is gesitueerd in de bodemzone 'Polders oudland (5)', en heeft een oppervlakte van 1139 ha. De dominante textuurklasse is hier klei. De meest voorkomende teelten zijn gras, wintertarwe, suikerbieten, maïs, aardappelen, vlas en wintergerst. Het stroomgebied is volledig in landbouwgebruik (geregistreerde percelen nagenoeg gebiedsdekkend).

Het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt nr 19000, is 755 ha groot. 89 % van de oppervlakte van het stroombekken is in landbouwgebruik. Gras en maïs zijn de meest voorkomende teelten (permanent), maar er komen ook enkele percelen voor met rotaties met wintertarwe, aardappelen, zomertarwe, triticale en suikerbieten. Het stroomgebied ligt in het zandgebied van de Vlaamse vallei (bodemzone 8). De textuurklasse is dan ook overwegend zand (Z).

Het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt nr 137500, is 633 ha groot. Het ligt in de bodemzone 'leemzanden van de Maas (17)', grotendeels op het grondgebied van de gemeente Dilsen-Stokkem. 66 % van het stroombekken is in landbouwgebruik; er wordt vooral gras en maïs geteeld (op permanente basis).

Het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt nr 445250, is 313 ha groot. Het stroomgebied is gesitueerd in de leemstreek; de textuurklasse is er dan ook volledig leem (A). 90 % van het stroomgebied is in landbouwgebruik. Op de meeste percelen wordt een teeltrotatie toegepast met wintertawe, wintergerst, suikerbieten, maïs, erwten/bonen en vlas. Op enkele percelen komt permanent grasland voor.

De kenmerken van de verschillende stroomgebieden worden samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 3.1: Kenmerken van de geselecteerde stroomgebieden

Bekken	Opp (ha)	% in landbouwgebruik	textuur	belangrijkste teelten/rotaties
Molenbeek/Markebeek	2939	73 %	A/L	gras, wintergerst en -tarwe, suikerbieten, zomergerst, maïs, aardappelen
Varendonkse Loop	2275	30 %	Z/S/P/L	gras en maïs op permanente basis
IJzerbeek	1139	95 %	E	gras, wintergerst en -tarwe, suikerbieten, maïs, aardappelen
VMM-MAP-meetpunt 19000	755	89 %	Z	gras en maïs op permanente basis
VMM-MAP-meetpunt 137500	633	66 %	Z/S/P/L	gras en maïs op permanente basis
VMM-MAP-meetpunt 445250	313	90 %	A	wintergerst en -tarwe, suikerbieten, maïs, erwten/bonen, vlas

3.2.2 Werkwijze geografische bevraging

Gebruikte datasets

- afbakening van de 6 studiegebieden;
- bodemkaart;
- afbakening van de geregistreerde landbouwgebruikspercelen 2000, met gegevens over de gewasrotatie op deze percelen sinds 1997.
De rotatieanalyse gebeurde door de landbouwgebruikspercelen van 1997, 1998 en 1999 om te zetten naar een puntenlaag, waarbij elk perceel wordt weergegeven door zijn centerpoint. Een 'spatial join'-operatie in een ArcGis-omgeving laat toe te bepalen welk punt (met teeltgegevens van 1997, 1998 of 1999) binnen welk perceel (2000) ligt. De attribuentabellen van de puntenlagen worden daarbij aan de attribuentabel van de polygonenlaag (percelen 2000) gekoppeld, zodat voor de percelen van 2000 ook teeltgegevens beschikbaar zijn uit 1997, 1998 en 1999. Wanneer het perceel in één of meerdere van de voorgaande jaren niet geregistreerd werd, zijn uiteraard geen teeltgegevens beschikbaar voor die jaren.

Werkwijze

Een overlay tussen de bodemkaart en de afbakening van de bodemgebruikspercelen van 2000 (met rotatiegegevens van 1997-1998-1999-2000), resulteert in een polygonenlaag waarbij elke polygoon een combinatie is van een bepaalde bodem met een bepaalde teeltrotatie.

3.3 Aanpak scenarioanalyse

3.3.1 Werkwijze

In deze 6 gebieden worden alle gewasrotaties doorgerekend die in 1998/1999/2000 in dit gebied voorkwamen. Elke gewasrotatie wordt 10 maal doorgerekend. De simulatieperiode verloopt van 1 oktober 1970 tot 30 september 2001, met in totaal 62 seizoenen (twee per jaar). Op 1 oktober 1970 wordt een nitraatstikstofresidu in het model ingegeven van $70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. In tegenstelling tot de eerste scenarioanalyse zal het nitraatstikstofresidu niet elk jaar op een bepaalde waarde geherinitialiseerd worden.

Het eerste seizoen is een inlooperperiode, het laatste seizoen is een uitlooperperiode voor het model. Hiertussen zijn er 30 sets van gewasgroei- (zomer-) seizoenen en tussen- (winter-) seizoenen. Aangezien er in een gewasrotatie drie gewassen voorkomen, wordt elk gewas tien keer gesimuleerd (met uitzondering van permanent grasland en monocultuur maïs).

Begin- en einddatum van een gewasgroei seizoen wordt bepaald door de plantdatum of de eerste bemesting (naargelang wat het eerste is) en oogstdatum. Een tussenseizoen begint vlak na het vorige gewasgroei seizoen en stopt vlak voor het volgende gewasgroei seizoen.

Tijdens een tussenseizoen staat er geen gewas, behalve als het voorafgaande of volgende groei seizoen gras is. Een uitzondering hierop is de opeenvolging gras – wintertarwe. Tijdens het tussenseizoen voorafgaand aan een gewasgroei seizoen met wintertarwe staat er in de praktijk wintertarwe (ingezaaid op 15 oktober). Wegens praktische problemen met de gewasgroei module van WAVE, wordt de groei van wintertarwe echter pas gesimuleerd vanaf 2 januari. Het tussenseizoen is dan een braakperiode en het gewasgroei seizoen start op 2 januari. Gezien de beperkte stikstofopname van dit gewas tussen 15 oktober en 2 januari vormt dit geen probleem.

De gewassen die in de simulaties aan bod komen zijn:

- wintertarwe
- gras: graas- en maaiweiden
- maïs
- suikerbieten
- aardappelen

De parameters voor de pF-curves werden afgeleid via de pedotransferfuncties van Vereecken (1988). De pF-curve bekomen via de pedotransferfuncties buigen echter bij textuur zand voor de bovenste horizont te steil en te vroeg naar beneden in vergelijking met de pF-curves afgeleid via metingen op de voor dit project opgevolgde proefvelden. Hierdoor zijn tijdens de zomer de gesimuleerde vochtgehaltenes bekomen met de pF-curves op basis van de pedotransferfuncties van Vereecken lager dan in realiteit. Hierdoor treden onrealistische reducties op van mineralisatie, nitrificatie en plantopname en is de uitspoeling onrealistisch hoog in de zandgronden.

De op basis van metingen afgeleide parameters voor de bovenste horizont van proefveld 6 kunnen beschouwd worden als gemiddelde parameters voor de opgemeten zandbodems. Indien de parameters alfa en n van de van Genuchten vergelijking van de zandbodems vervangen worden door de alfa en n van het opgemeten proefveld 6, respectievelijk 0.0023 en 0.8448, dan worden wel realistische waarden gesimuleerd voor mineralisatie, nitrificatie en plantopname. Daardoor werden alfa en n van de bovenste horizont vastgelegd op respectievelijk 0.0023 en 0.8448 voor alle bodems met textuur zand. De pedotransferfuncties van Vereecken voor verzadigd en residueel vochtgehalte werden behouden voor de bovenste horizont van bodems met textuur zand.

3.3.2 Bemestingsstrategieën

3.3.2.1 Algemeen

De volgende bemestingsstrategieën worden geëvalueerd (uitgezonderd grasland):

- volledige invulling van de algemene forfaitaire bemestingsnormen die gelden vanaf 1/1/2003 met een maximale toegelaten dosis dierlijke mest aangevuld met chemische meststof (uitgezonderd tarwe) (Tabel 3.3);
- volledige invulling van de algemene forfaitaire bemestingsnormen die gelden vanaf 1/1/2003 met een maximale toegelaten dosis chemische meststoffen, aangevuld met dierlijke mest;
- een verlaagde bemesting t.o.v. de forfaitaire norm, die enerzijds wordt ingevuld met dierlijke mest, anderzijds met chemische meststoffen, zodanig dat de werkzame hoeveelheid stikstof gelijk is.

Tabel 3.3: Algemene forfaitaire bemestingsnormen vanaf 1/1/2003 in niet-verstrengd gebied

Gewasgroep	P ₂ O ₅	Totale N	N uit dierlijke en andere meststoffen	N uit chemische meststoffen
Grasland	130	450	250	350
Maïs	100	275	250	150
Gewassen met lage N-behoefte	100	125	125	100
Andere gewassen	100	275	200	200

Op maïs en grasland wordt enkel de toediening van runderdrijfmest beschouwd, op alle andere teelten wordt enkel de toediening van varkensdrijfmest beschouwd.

De gemiddelde samenstelling van runderdrijfmest en varkensdrijfmest wordt weergegeven in Tabel 3.4. Er wordt gerekend met een werkingscoëfficiënt voor runderdrijfmest van 55 % en voor varkensdrijfmest van 66 % (voor drijfmest uitgereden in het voorjaar).

De bemesting van wintertarwe gebeurt enkel onder vorm van kunstmest.

Om het aantal scenario's realistisch en zinvol te houden, wordt een beperking doorgevoerd. Er zijn soms honderden scenario's met dezelfde 'streek-bodem-gewasrotatie' combinatie (met bodem wordt hier bedoeld: textuurklasse en drainageklasse). Aangezien het overbodig is om al die scenario's door te rekenen, wordt, wanneer er meer dan 50 scenario's zijn per 'streek-bodem-gewasrotatie' combinatie, het aantal scenario's beperkt tot 50 in de veronderstelling dat deze 50 representatief zijn voor alle scenario's met die 'streek-bodem-gewasrotatie' combinatie.

Tabel 3.4: Gemiddelde samenstelling runder- en varkensdrijfmest (gebaseerd op analyses uitgevoerd in 1999 door de Bodemkundige Dienst van België), uitgedrukt in kg/1000 l

Mesttype	Mestsoort	Gemiddelde organische stof	Gemiddelde totale N	Gemiddelde minerale N	Gemiddelde P ₂ O ₅
Drijfmest	varkens	54	8.1	4.9	5
Drijfmest	runderen	62	4.8	2.4	1.4

3.3.2.2 Akkerbouw

De scenario's voor de akkerbouwteelten worden beschreven in Tabel 3.5. In Tabel 3.6 worden de zaai-(plant-), oogst- en bemestingdata per gewas weergegeven.

Tabel 3.5: Omschrijving van de bemestingsstrategieën voor de akkerbouwteelten

Scenario's	Varkensdrijfmest		Chemische N (kg N ha ⁻¹)	Totale N (kg N ha ⁻¹)	Werkzame N (kg N ha ⁻¹)
	dosis (ton ha ⁻¹)	totale N (kg N ha ⁻¹)			
<i>Aardappelen</i>					
• forfaitaire norm					
- max. dierlijk	20	162	113	275	220
- max. chemisch	9	73	200	273	248
• verlaagd					
- max. dierlijk	20	162	45	207	152
- max. chemisch	-	-	150	150	150
<i>Wintertarwe</i>					
• forfaitaire norm					
- max. dierlijk	-	-	-	-	-
- max. chemisch	-	-	200 (60/60/80)	200	200
• verlaagd					
- max. dierlijk	-	-	-	-	-
- max. chemisch	-	-	150 (50/50/50)	150	150
<i>Suikerbieten</i>					
• forfaitaire norm					
- max. dierlijk	20	162	113	275	220
- max. chemisch	9	73	200	273	248
• verlaagd					
- max. dierlijk	20	162	45	207	152
- max. chemisch	-	-	150	150	150

Tabel 3.5: Omschrijving van de bemestingsstrategieën voor de akkerbouwteelten (vervolg)

Scenario's	Runderdrijfmest		Chemische N (kg N ha ⁻¹)	Totale N (kg N ha ⁻¹)	Werkzame N (kg N ha ⁻¹)
	dosis (ton ha ⁻¹)	totale N (kg N ha ⁻¹)			
Maïs					
• forfaitaire norm					
- max. dierlijk	52	250	25	275	163
- max. chemisch	26	125	150	275	219
• verlaagd					
- max. dierlijk	45	216	-	216	119
- max. chemisch	-	-	120	120	120

Tabel 3.6: Zaai-(plant-), oogst- en bemestingdata

Gewas	Zaai-(plant-)datum	Oogstdatum	Bemestingdata
Aardappel	15 april	1 oktober	15 april
Wintertarwe	15 oktober	15 augustus	10 maart, 10 april, 10 mei
Suikerbiet	15 april	1 november	1 april
Maïs	1 mei	15 oktober	1 mei

3.3.2.3 Grasland

Wat permanent grasland betreft wordt onderscheid gemaakt tussen begraasde weiden en maaiweiden.

Voor permanent grasland wordt een gemengde uitbatingswijze doorgerekend. Tijdelijk grasland (< 3 jaar) wordt in de scenarioanalyse steeds beschouwd als maaiweide.

Voor maaiweiden wordt uit gegaan van 6 maaisneden en van een maximale invulling van de algemene totale normen (450 kg N ha⁻¹) met runderdrijfmest (240 kg N ha⁻¹) en chemische meststoffen (210 kg N ha⁻¹) (Tabel 3.7).

Voor permanent grasland wordt uitgegaan van een omweidesysteem met twee maaibeurten en zes begrazingsbeurten. De runderen (30 GVE ha⁻¹) staan 4 dagen op het perceel. Tijdens de begrazing wordt in het model een dagelijks constante hoeveelheid dierlijke mest toegediend, afhankelijk van het aantal dieren en de uitscheidingsnormen. De uitscheiding van melk- en zoogkoeien bedraagt 97 kg N dier⁻¹ jaar⁻¹ (-15 % ammoniakvervluchtiging) en 30 kg P₂O₅ dier⁻¹ jaar⁻¹. Dit zijn de uitscheidingscijfers die vermeld worden in het Mestdecreet. Recent onderzoek gaf echter aan dat de uitscheidingscijfers voor stikstof in werkelijkheid 12 % hoger zouden liggen (Campens en Lauwers, 2002).

Gerekend met de uitscheidingsnormen van het Mestdecreet, wordt per begrazingsbeurt van 4 dagen 27.3 kg N ha⁻¹ uitgescheiden (=83 x 30 x 4/365), dus 6.8 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest per dag.

Ook voor permanent grasland worden de algemene normen (450 kg N ha⁻¹) voor grasland maximaal opgevuld met runderdrijfmest aangevuld met chemische meststoffen. Het perceelsmanagement voor permanent grasland wordt voorgesteld in Tabel 3.8.

Tabel 3.7: Omschrijving van het perceelsmanagement voor maaiweiden (tijdelijk grasland)

Maaisnede	Datum
eerste snede	5 mei
tweede snede	5 juni
derde snede	5 juli
vierde snede	15 aug
vijfde snede	15 sept
zesde snede	15 okt

Bemesting		
Datum	Dosis	Totale N
1 maart	25 ton ha ⁻¹ RDM*	120
10 maart	40 kg N ha ⁻¹	40
1 april	40 kg N ha ⁻¹	40
10 mei	25 ton ha ⁻¹ RDM*	120
10 juni	50 kg N ha ⁻¹	50
10 juli	40 kg N ha ⁻¹	40
20 aug	40 kg N ha ⁻¹	40

* RDM=runderdrijfmest

Tabel 3.8: Omschrijving van het perceelsmanagement op permanent grasland

Maaien/begrazen	Datum	Uitscheiding dieren
maaien	5 mei	
begrazen	20 mei	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	15 juni	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
maaien	15 juli	
begrazen	1 aug	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	20 aug	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	20 sep	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	10 okt	27.3 kg totale N/ha/4 dagen

Bemesting	
datum	dosis
1 maart	20 ton/ha RDM*
20 maart	40 kg chemische N ha ⁻¹
10 mei	30 kg chemische N ha ⁻¹
25 mei	30 kg chemische N ha ⁻¹
20 juni	30 kg chemische N ha ⁻¹
20 juli	30 kg chemische N ha ⁻¹
10 aug	30 kg chemische N ha ⁻¹

* RDM= runderdrijfmest

Naast de maximale opvulling van de normen wordt voor permanent grasland op zandbodems ook een scenario met een verlaagde bemesting van $350 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ doorgerekend (Tabel 3.9).

Tabel 3.9: Omschrijving van het perceelsmanagement op permanent grasland met een verlaagde bemesting

Maaien/begrazen	Datum	Uitscheiding dieren
maaien	5 mei	
begrazen	20 mei	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	15 juni	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
maaien	15 juli	
begrazen	1 aug	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	20 aug	27.3 kg totale N/ha/4 dagen
begrazen	20 sep	27.3 kg totale N/ha/4 dagen

Bemesting	
datum	dosis
1 maart	15 ton/ha RDM*
20 maart	40 kg chemische N ha ⁻¹
10 mei	40 kg chemische N ha ⁻¹
25 mei	30 kg chemische N ha ⁻¹
20 juni	30 kg chemische N ha ⁻¹

* RDM= runderdrijfmest

3.4 Resultaten en bespreking

Vermits tijdens de verwerking van scenarioanalyse 1 bleek dat er een onderscheid diende gemaakt te worden tussen bodems met en zonder textuur zand, werden de resultaten van deze scenarioanalyse eveneens afzonderlijk verwerkt voor zandbodems en niet-zandbodems.

3.4.1 Permanente gewassen

Als permanente gewassen werden maïs monocultuur en permanent grasland (gemengde uitbating) doorgerekend. Voor deze gewassen worden in Bijlage 4 per 'gewas-textuur-bemesting' scenariogroep gemiddeldes en standaardafwijkingen weergegeven voor elk proces van de stikstofcyclus: cumulatieve N-opname, cumulatieve denitrificatie, cumulatieve nitrificatie, cumulatieve netto-mineralisatie, en cumulatieve immobilisatie. De cumulatieve nitraat- en ammoniumuitspoeling, de NO₃-N- en NH₄-N-gehalten in de bodem op 1 oktober en de NO₃-N-concentraties in de waterflux met en zonder procesfactor worden weergegeven in Tabel 3.10 en Tabel 3.11. Telkens wordt aangegeven hoeveel scenario's in de groepen zitten.

Tevens wordt in Tabel 3.10 het percentage scenario's aangegeven die voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn en aan de in Tabel 2.29 voorgestelde nitraatstikstofresidunormen. Uit Tabel 3.10 blijkt dat deze percentages niet steeds volledig overeenkomen. Wel blijkt uit deze tabel dat scenario's die 100 % voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm, ook 100 % voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. Dit

bevestigt de resultaten van de scenarioanalyse ter bepaling van de nitraatstikstofresidunormen (Hoofdstuk 2).

Voor de nitraatconcentratie in de waterflux geldt dat in 95 % van de jaren (= 29 van de 30 gesimuleerde jaren) voldaan moet zijn aan de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ en dat in de resterende 5 % van de jaren de nitraatstikstofconcentratie niet meer dan 50 % de norm van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ mag overschrijden. Op deze wijze werden de resultaten van de eerste scenarioanalyse geïnterpreteerd en werden per gewas(groep) en textuur nitraatstikstofresidunormen afgeleid (Tabel 2.29).

In de scenarioanalyse ter bepaling van het perceelsmanagement wordt vervolgens nagegaan bij welk scenario in minstens 90 % van de jaren (dus in 27 van de 30 jaren) het nitraatstikstofresidu niet hoger is dan de voor die specifieke 'bodem-gewas' combinatie afgeleide nitraatstikstofresidunorm.

Voor elke 'gewas-textuur-bemesting' groep worden eveneens de cumulatieve frequenties van de per scenario gemiddelde nitraat- en ammoniumgehalten in de 0-90 cm bodemlaag grafisch weergegeven in Figuur 3.2. Tabel 3.10 en Figuur 3.2 kan men niet direct vergelijken aangezien er twee verschillende zaken worden voorgesteld. In Tabel 3.10 wordt in de kolom 'norm voor nitraatstikstofresidu' het percentage scenario's weergegeven waar het nitraatstikstofresidu in 90 % van de jaren niet hoger is dan de nitraatstikstofresidunorm, terwijl de grafieken opgesteld werden op basis van het gemiddelde nitraatstikstofresidu per scenario (dus een gemiddelde waarde voor de 30 jaren). Tabel 3.10 is bijgevolg op basis van strengere eisen opgesteld dan de grafieken.

Voor permanent grasland (omweidesysteem, twee maal gemaaid met 6 begrazingsbeurten) met een bemesting van 450 kg totale N ha⁻¹ j⁻¹ wordt een gemiddelde nitraatstikstofresidu van 84 kg NO₃-N ha⁻¹ gesimuleerd op niet-zand bodems, hetgeen ruim lager is dan de voorgestelde norm, 100 kg NO₃-N ha⁻¹. Uit Figuur 3.2 blijkt dat ongeveer 90 % van de doorgerekende percelen een gemiddelde gesimuleerde nitraatstikstofresidu hebben dat lager is dan deze norm.

Uit Tabel 3.10 blijkt echter dat slechts voor 51 % van de scenario's het nitraatstikstofresidu in 90 % van de jaren niet hoger is dan de voorgestelde residunorm. Voor 64 % van de scenario's geldt dat voldaan is aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

Een verhoging van de totale stikstofdozis tot 500 kg N ha⁻¹ j⁻¹ is bijgevolg niet aan te bevelen.

Op de zandgronden is er een grotere stikstofuitspoeling in vergelijking met de niet-zandgronden wat resulteert in een hogere gemiddelde NO₃-N-concentratie in de waterflux. Vermits er bij een bemesting van 450 kg totale N ha⁻¹ j⁻¹ slechts een gering percentage zandgronden voldoen aan de gestelde nitraatstikstofresidunorm op zand, werden deze zandgronden eveneens met een strenger bemestingsschema doorgerekend (Tabel 3.9) met een toediening van 350 kg totale N ha⁻¹.

Bij deze bemestingsdozis op zandgronden is de uitspoeling veel geringer en bedraagt het gemiddelde gesimuleerde nitraatstikstofresidu 57 kg NO₃-N ha⁻¹ in plaats van 83 kg NO₃-N ha⁻¹ bij 450 kg N ha⁻¹ j⁻¹. In ongeveer 90 % van de scenario's is het gemiddelde nitraatstikstofresidu bij een bemesting van 350 kg N ha⁻¹ j⁻¹ niet hoger dan de voorgestelde norm van 70 kg NO₃-N ha⁻¹ (Figuur 3.2). In dit geval voldoen 68 % van de scenario's aan de nitraatstikstofresidunorm en 73 % aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

Voor monocultuur maïs bleek dat op niet-zand bodems bij de maximale invulling van de bemestingsnormen, zowel met dierlijke als met chemische mest, voldaan kon worden aan de vooropgestelde nitraatstikstofresidunorm van 90 kg NO₃-N ha⁻¹. Bij invulling van de norm via chemische bemesting wordt een grotere hoeveelheid werkzame stikstof toegediend (Tabel 3.4) en ligt het gemiddelde nitraatstikstofresidu iets hoger.

Uit Figuur 3.2 blijkt dat bij een maximale toediening van chemische mest op ongeveer 90 % van de percelen een gemiddeld nitraatstikstofresidu gesimuleerd werd dat in overeenstemming was met de norm; bij een maximale toediening met dierlijke mest nam dit percentage nog toe.

Uit Tabel 3.10 blijkt dat meer dan 70 % van de scenario's bij een maximale chemische bemesting voldoen aan de nitraatrichtlijn en aan de nitraatstikstofresidunorm, dit percentage neemt toe tot 95 % bij een maximale invulling van de bemestingsnormen met dierlijke mest.

Op de zand-bodems bedraagt het gemiddelde gesimuleerde nitraatstikstofresidu bij een maximale invulling van de forfaitaire bemestingsnormen met chemische meststof $55 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$, wat nauw aanleunt bij de voorgestelde norm van $60 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. In dit geval voldoen 52 % van de scenario's aan de nitraatrichtlijn en 66 % aan de nitraatstikstofresidunorm; bij de maximale invulling van de bemestingsnormen onder vorm van dierlijke mest is dit respectievelijk 82 % en 95 %.

Met de verlaagde bemesting wordt $120 \text{ kg werkzame N ha}^{-1}$ toegediend, enerzijds onder chemische en anderzijds onder dierlijke vorm, en hier zijn het nitraatstikstofresidu en de nitraatuitspoeling bij de chemische bemesting slechts iets lager ten opzichte van de behandeling met enkel dierlijke mest, wat erop wijst dat de dierlijke mest goed wordt benut. In bijna alle gevallen wordt zowel aan de nitraatrichtlijn als aan de nitraatstikstofresidunorm voldaan, en dit op de zand en niet-zand bodems (Tabel 3.10).

Deze simulaties tonen aan, en dit wordt bevestigd door proefveldresultaten in Hoofdstuk 4, dat ook bij maïs een laag nitraatstikstofresidu mogelijk is, mits een beredeneerde bemesting wordt toegediend. Bij een overaanbod aan stikstof, laat het gewas de niet benutte stikstof achter in het profiel. Hierop wordt dieper ingegaan in het volgende hoofdstuk.

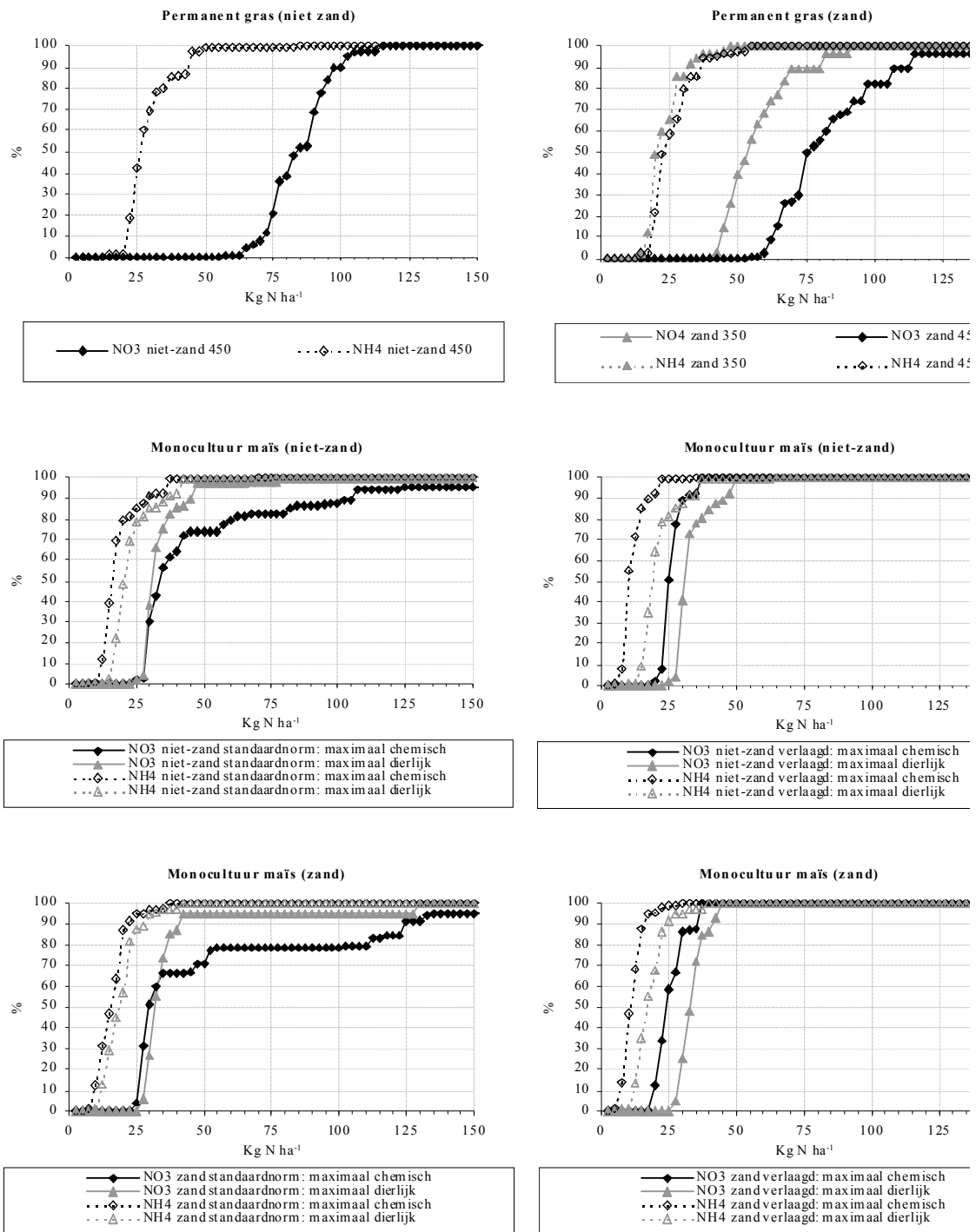
Om het effect van een stikstofrijke en snel-mineraliseerbare oogstrest na te gaan, werd een theoretische 'monocultuur' suikerbiet (30 jaar) gesimuleerd. Uit Tabel 3.10 blijkt dat er in deze situatie een verhoogd nitraatstikstofresidu gesimuleerd wordt, hoewel uit praktijk- en proefveldresultaten blijkt dat suikerbieten de stikstof in de bodem zeer goed kunnen benutten en een laag nitraatstikstofresidu in de bodem achterlaten (Hoofdstuk 4). Het verhoogd nitraatstikstofresidu is hier te wijten aan de vrijstelling van stikstof door mineralisatie uit het suikerbietenloof dat het najaar voordien is ondergewerkt. Dit voorbeeld toont duidelijk aan dat er wel degelijk rekening dient gehouden te worden met de mineralisatie uit de oogstresten voor een oordeelkundige bemesting van de volgteelten en om zodoende het nitraatstikstofresidu na de volgteelt te beheersen.

Tabel 3.10: Overzicht van de scenario-groepen met permanente gewassen: gemiddelde en standaardafwijking van NH₄-N- en NO₃-N-gehalte (kg ha⁻¹) in de bodem (0-90 cm) op 1 oktober en percentage van de scenario's die voldoen aan de normen

Teelt	Textuur	Bemesting	Aantal	kg NH ₄ -N/ha 0-90 cm		kg NO ₃ -N/ha 0-90 cm		Percentage scenario's die voldoen aan	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	grenswaarde Nitraatrichtlijn	nitraatstikstofresiduumnorm
permanent gras	niet-zand	450 kg N/ha/j	853	28.8	8.5	84.4	11.4	64	51
permanent gras	zand	450 kg N/ha/j	438	25.7	8.5	83.1	19.6	20	1
permanent gras	zand	350 kg N/ha/j	437	23.2	7.0	56.6	12.5	73	68
monocultuur mais	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	387	18.4	8.1	49.9	35.2	71	72
monocultuur mais	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	387	22.9	9.0	34.4	12.8	95	98
monocultuur mais	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	387	11.2	4.7	26.2	3.8	100	100
monocultuur mais	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	387	20.6	7.5	32.9	6.2	100	100
monocultuur mais	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	368	15.9	6.0	55.4	49.1	52	66
monocultuur mais	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	368	19.3	6.9	37.2	21.5	82	95
monocultuur mais	zand	verlaagd: maximaal chemisch	368	11.4	3.8	25.3	5.3	100	100
monocultuur mais	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	368	18.0	6.0	33.5	4.5	95	100
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	54	18.2	4.9	90.6	39.8	26	0
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	54	20.8	5.4	79.7	27.4	57	15
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	54	14.5	3.8	57.2	7.4	96	46
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	54	20.0	4.9	62.1	8.1	72	35
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	11	19.2	10.6	79.9	14.0	9	0
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	11	21.7	11.6	76.3	11.7	9	0
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal chemisch	11	15.6	7.7	59.7	11.4	73	18
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	11	20.8	10.4	67.0	11.4	64	0

Tabel 3.11: Overzicht van de scenario-groepen met permanente gewassen: gemiddelde en standaardafwijking van de cumulatieve water-, ammonium- en nitraatflux en van de nitraatconcentratie (mg NO₃-N l⁻¹) in de waterflux met en zonder procesfactor van 2.4

Teelt	Textuur	Bemesting	Cumulatieve waterflux		Cumulatieve ammoniumflux		Cumulatieve nitraatflux		NO ₃ -N conc zonder procesfactor		NO ₃ -N conc met procesfactor	
			Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev
permanent gras	niet-zand	450 kg N/ha/j	-401.8	61.7	-3.4	1.5	-77.7	25.1	20.2	5.2	8.4	2.2
permanent gras	zand	450 kg N/ha/j	-393.3	41.8	-2.7	1.4	-96.5	18.4	25.7	5.0	10.7	2.1
permanent gras	zand	350 kg N/ha/j	-393.4	41.9	-2.5	1.2	-71.9	15.9	18.8	3.8	7.8	1.6
monocultuur maïs	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	-346.9	22.8	-2.3	1.2	-42.6	22.4	13.7	8.9	5.7	3.7
monocultuur maïs	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	-346.7	21.1	-2.8	1.3	-34.2	13.2	10.3	4.4	4.3	1.8
monocultuur maïs	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	-346.8	21.7	-1.5	0.7	-24.0	7.4	7.0	2.0	2.9	0.8
monocultuur maïs	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	-346.5	19.1	-2.5	1.1	-32.3	11.1	9.6	3.1	4.0	1.3
monocultuur maïs	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	-334.8	12.2	-2.1	0.8	-57.2	39.3	18.4	14.5	7.7	6.1
monocultuur maïs	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	-335.0	12.2	-2.3	1.0	-44.8	20.0	13.6	7.0	5.7	2.9
monocultuur maïs	zand	verlaagd: maximaal chemisch	-335.0	12.2	-1.8	0.5	-30.1	7.2	8.9	2.4	3.7	1.0
monocultuur maïs	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	-335.1	12.5	-2.2	0.9	-40.5	8.1	12.1	2.8	5.1	1.2
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	-306.9	16.2	-2.4	0.9	-67.6	24.4	24.1	11.8	10.0	4.9
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	-306.8	16.1	-2.6	1.0	-60.8	18.8	20.2	8.6	8.4	3.6
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	-306.6	16.1	-1.9	0.7	-46.3	11.4	14.6	3.7	6.1	1.6
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	-306.6	16.0	-2.5	0.9	-49.8	12.8	16.0	4.2	6.7	1.7
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	-293.7	25.7	-2.5	1.3	-76.3	17.8	23.8	5.4	9.9	2.2
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	-293.6	25.6	-2.6	1.4	-73.2	15.6	22.9	4.5	9.5	1.9
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal chemisch	-293.3	25.4	-2.2	0.9	-59.2	11.9	18.6	3.5	7.7	1.5
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	-293.2	25.3	-2.5	1.2	-65.1	12.5	20.6	3.6	8.6	1.5



Figuur 3.2: Cumulatieve frequenties van nitraat- en ammoniumstikstofresidu's voor de verschillende 'gewas-textuur-bemesting' scenariogroepen voor maïs en gras

3.4.2 Teeltrotaties

In Tabel 3.12 worden de resultaten van de scenario's met teeltrotaties (zonder gras) weergegeven (zie Bijlage 1 voor de betekenis van de symbolen). De scenariogroepen die bestaan uit minder dan 13 scenario's worden niet in deze tabel weergegeven.

In het algemeen voldoen in elke 'rotatie-textuur' scenariogroep minstens 90 % van de scenario's met verlaagde bemesting aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. De scenariogroepen met bemestingen volgens de forfaitaire normen voldoen daarentegen in meestal minder dan 90 % van de scenario's. Voornamelijk bij rotaties met suikerbieten worden gemiddeld hogere nitraatstikstofresidu's gesimuleerd wegens de vrijstelling van stikstof uit het suikerbietenloof, wat erop wijst dat hiermee rekening moet worden gehouden bij de bemesting van de volgteelt om het nitraatstikstofresidu te beperken. In de simulaties is hiermee geen rekening gehouden en werd steeds dezelfde bemesting toegediend (bemesting volgens de forfaitaire norm of verlaagde bemesting), onafhankelijk van de voorteelt.

Hierbij wordt verwezen naar de simulatieresultaten van de theoretische monocultuur suikerbieten (paragraaf 3.4.1), waarin het effect van het bietenloof zeer duidelijk werd aangetoond.

De simulatieresultaten van de rotaties met het gewas gras worden weergegeven in Tabel 3.13. De scenariogroepen met minder dan 13 scenario's worden niet voorgesteld in deze tabel.

Tabel 3.12: Overzicht van de scenario-groepen zonder gras: gemiddelde en standaardafwijking van NH₄-N en NO₃-N concentraties (kg ha⁻¹) en percentage van de scenario's die voldoen aan de normen

Rotatie	Textuur	Bemesting	Aantal	kg NH ₄ -N/ha 0-90 cm		kg NO ₃ -N 0-90 cm		Percentage scenario's die voldoen aan	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	grenswaarde Nitraatrichtlijn	nitraatstikstofresiduumnorm
wt - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	257	16.1	5.2	48.7	32.2	61	67
wt - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	257	18.8	5.4	36.9	14.9	77	87
wt - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	257	11.4	3.6	25.5	4.2	99	100
wt - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	257	17.2	4.6	29.7	4.4	98	99
wt - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	36	16.0	5.7	69.9	59.6	42	47
wt - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	36	18.1	6.1	50.9	40.6	47	53
wt - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal chemisch	36	12.8	4.4	29.6	11.0	92	89
wt - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	36	17.1	5.4	35.2	11.3	89	81
wt - ma - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	189	14.8	4.4	47.5	27.6	55	66
wt - ma - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	189	17.3	4.7	39.9	14.6	86	81
wt - ma - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	189	11.0	3.1	26.5	4.4	99	99
wt - ma - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	189	15.9	4.1	30.7	4.2	97	99
wt - ma - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	163	17.4	5.7	59.2	21.7	36	20
wt - ma - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	163	19.7	6.0	51.8	9.8	42	29
wt - ma - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	163	13.2	4.3	34.3	4.3	93	99
wt - ma - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	163	18.3	5.2	38.4	4.5	90	97
wt - aa - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	87	15.9	6.1	46.4	29.3	70	80
wt - aa - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	87	18.4	6.6	39.7	14.5	79	87
wt - aa - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	87	11.8	4.3	26.7	3.7	99	100
wt - aa - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	87	16.9	5.7	30.8	3.6	98	100
wt - sb - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	111	16.9	6.5	69.7	28.1	40	6
wt - sb - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	111	19.1	6.7	50.8	19.7	66	40
wt - sb - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	111	13.0	4.9	35.2	4.3	95	99
wt - sb - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	111	17.8	5.9	38.8	4.8	90	93
wt - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	54	19.7	6.5	69.9	18.3	31	2
wt - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	54	21.5	6.7	65.2	10.7	33	19
wt - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	54	16.2	5.2	44.0	5.2	94	98
wt - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	54	20.3	5.9	47.5	5.2	94	65
ma - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	261	15.0	5.0	49.2	31.9	51	60
ma - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	261	16.3	5.0	42.2	21.6	54	66
ma - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	261	12.0	4.0	25.4	6.5	89	99
ma - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	261	14.8	4.4	27.4	6.2	90	99
ma - aa - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	47	16.2	3.5	67.9	19.1	30	0
ma - aa - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	47	19.6	3.8	49.3	6.3	83	40
ma - aa - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	47	11.6	462.7	37.1	2.5	100	100
ma - aa - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	47	18.4	3.4	43.3	4.0	94	96

Tabel 3.12: Overzicht van de scenario-groepen zonder gras: gemiddelde en standaardafwijking van NH₄-N en NO₃-N concentraties (kg ha⁻¹) en percentage van de scenario's die voldoen aan de normen (vervolg)

Rotatie	Textuur	Bemesting	Aantal	kg NH ₄ -N/ha 0-90 cm		kg NO ₃ -N/ha 0-90 cm		Percentage scenario's die voldoen aan	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	grenswaarde Nitraatrichtlijn	nitraatstikstofresidunorm
ma - sb - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	90	15.6	3.3	55.9	21.1	57	32
ma - sb - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	90	19.1	3.7	49.4	16.5	82	68
ma - sb - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	90	10.8	2.4	36.6	2.4	100	100
ma - sb - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	90	18.0	3.3	42.8	3.1	96	100
ma - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	37	17.8	4.8	75.6	9.7	22	5
ma - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	37	21.2	5.1	58.2	6.4	62	22
ma - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	37	12.9	3.7	45.6	4.4	97	92
ma - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	37	20.0	4.6	51.5	5.3	95	49
aa - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	189	12.9	3.7	50.0	25.6	44	54
aa - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	189	13.8	3.8	48.0	22.3	46	59
aa - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	189	11.0	3.1	27.5	6.4	97	99
aa - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	189	12.8	3.3	29.1	6.3	95	99
aa - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	150	15.5	4.9	47.7	28.4	65	81
aa - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	150	19.3	5.4	35.8	9.9	91	96
aa - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	150	10.1	3.2	27.0	2.7	99	100
aa - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	150	17.8	4.7	33.0	3.9	95	100
aa - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	45	16.2	4.9	31.2	14.1	96	98
aa - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	45	19.7	5.6	31.3	2.4	98	100
aa - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal chemisch	45	11.3	3.4	22.7	2.4	100	100
aa - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	45	18.4	5.0	31.0	2.5	100	100
aa - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	25	16.1	4.8	69.6	12.6	28	12
aa - sb - sb	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	25	18.7	5.2	61.0	7.2	68	32
aa - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	25	12.7	3.8	47.1	5.3	100	92
aa - sb - sb	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	25	18.0	4.7	52.2	6.2	96	40
sb - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	251	16.0	5.2	64.5	24.8	13	14
sb - wt - wt	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	251	16.9	5.3	62.3	21.1	14	14
sb - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	251	14.0	4.4	35.0	6.2	95	98
sb - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	251	15.8	4.7	36.6	6.3	94	97
sb - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	50	15.7	3.1	77.5	32.1	30	2
sb - ma - ma	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	50	19.5	3.6	47.7	14.8	78	62
sb - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	50	10.7	2.2	34.1	1.9	98	100
sb - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	50	18.1	3.1	39.7	3.2	96	100
sb - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	15	16.0	5.2	89.3	59.9	20	0
sb - ma - ma	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	15	18.8	6.3	64.9	46.3	53	0
sb - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal chemisch	15	12.4	3.2	38.9	10.0	93	33
sb - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	15	17.8	5.5	46.7	9.7	73	7
sb - aa - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	13	15.9	5.9	55.3	7.9	69	23
sb - aa - aa	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	13	18.5	6.2	49.6	4.7	92	69
sb - aa - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	13	12.2	4.5	38.9	3.5	100	100
sb - aa - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	13	17.6	5.6	44.1	4.5	100	100

Tabel 3.13: Overzicht van de scenario-groepen met gras: gemiddelde en standaardafwijking van NH₄-N en NO₃-N concentraties (kg ha⁻¹) en percentage van de scenario's die voldoen aan de normen

Rotatie	Textuur	Bemesting	Aantal	kg NH ₄ -N/ha 0-90 cm		kg NO ₃ -N/ha 0-90 cm		Percentage scenario's die voldoen aan	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	grenswaarde Nitraatrichtlijn	nitraatstikstofresiduumnorm
wt - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	61	22.1	6.7	68.1	17.0	69	66
wt - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	61	22.0	6.7	67.9	17.0	66	66
wt - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	61	21.7	6.4	60.6	13.1	75	77
wt - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	61	21.7	6.4	60.6	13.1	75	77
ma - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	80	21.6	8.0	93.8	15.9	21	1
ma - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	80	22.9	8.3	77.0	16.8	64	31
ma - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	80	19.7	7.1	62.9	12.0	78	78
ma - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	80	22.4	8.0	65.2	13.4	74	71
ma - gr - gr	zand	standaardnorm: maximaal chemisch	47	21.1	11.0	90.0	33.8	23	6
ma - gr - gr	zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	47	22.2	11.3	74.2	31.9	32	28
ma - gr - gr	zand	verlaagd: maximaal chemisch	47	19.5	9.9	63.3	23.9	38	28
ma - gr - gr	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	47	21.8	10.9	65.8	24.9	38	28
aa - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	13	19.1	3.1	76.6	14.2	46	77
aa - gr - gr	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	13	20.0	3.2	67.3	8.3	85	85
aa - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	13	17.8	2.8	58.8	1.4	100	100
aa - gr - gr	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	13	19.8	3.2	60.2	1.4	100	100
gr - wt - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	30	18.5	7.0	71.6	27.8	23	33
gr - wt - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	30	18.4	6.9	71.4	27.8	23	33
gr - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	30	17.7	6.1	49.8	15.5	67	87
gr - wt - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	30	17.7	6.1	49.8	15.5	67	87
gr - wt - ma	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	18	14.4	2.5	75.6	25.3	39	11
gr - wt - ma	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	18	15.6	2.4	65.5	20.7	39	28
gr - wt - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	18	12.7	2.4	46.3	8.4	94	83
gr - wt - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	18	15.0	2.4	48.7	9.2	94	83

Tabel 3.13: Overzicht van de scenario-groepen met gras: gemiddelde en standaardafwijking van NH₄-N en NO₃-N concentraties (kg ha⁻¹) en percentage van de scenario's die voldoen aan de normen (vervolg)

Rotatie	Textuur	Bemesting	Aantal	kg NH ₄ -N/ha 0-90 cm		kg NO ₃ -N/ha 0-90 cm		Percentage scenario's die voldoen aan	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	grenswaarde Nitraatrichtlijn	nitraatstikstofresidunorm
gr - ma - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	31	16.8	2.9	83.6	17.8	16	0
gr - ma - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	31	18.0	2.9	58.5	20.8	74	61
gr - ma - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	31	14.8	2.7	40.6	4.3	87	100
gr - ma - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	31	17.3	2.8	42.0	4.3	90	100
gr - ma - ma	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	49	20.0	7.0	89.1	28.6	6	8
gr - ma - ma	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	49	22.7	7.3	60.6	25.9	67	65
gr - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	49	15.8	5.6	43.9	10.1	82	90
gr - ma - ma	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	49	21.5	6.9	48.2	11.9	82	90
gr - ma - ma	zand	standaardnorm: maximaal chemisch	80	16.7	4.6	80.1	36.8	28	1
gr - ma - ma	zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	80	18.9	5.2	54.2	30.8	70	50
gr - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal chemisch	80	13.9	3.7	42.2	16.9	79	69
gr - ma - ma	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	80	18.1	4.8	47.3	17.8	78	69
gr - aa - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	21	16.5	4.5	79.9	29.6	14	38
gr - aa - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	21	17.3	4.6	65.7	22.3	29	52
gr - aa - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	21	15.0	3.9	43.1	5.1	95	95
gr - aa - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	21	16.7	4.3	44.2	4.8	95	95
gr - aa - aa	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	13	17.4	4.3	79.6	43.0	15	46
gr - aa - aa	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	13	19.0	4.5	66.7	33.6	31	85
gr - aa - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	13	15.0	3.8	45.8	8.1	92	92
gr - aa - aa	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	13	18.4	4.2	48.5	8.2	92	92
gr - sb - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal chemisch	13	18.1	6.2	71.0	18.1	31	15
gr - sb - wt	niet-zand	standaardnorm: maximaal dierlijk	13	18.9	6.4	64.9	13.2	54	38
gr - sb - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	13	16.6	5.6	50.3	5.1	92	92
gr - sb - wt	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	13	18.3	6.0	51.9	5.1	85	69

3.5 (Ruimtelijke) Analyse van de output van SA2 en cartografische voorstelling

3.5.1 Output van SA2 en elementaire cartografische voorstelling

In het tweede type scenarioanalyse werd voor alle geïdentificeerde én via het N-(eco)²-GIS karakteriseerbare combinaties bodemserie – gewasrotatie 1998-1999-2000 in 6 kleine stroombekkens met het WAVE-model de water- en stikstofdynamiek gesimuleerd over een periode van 30 volledige jaren voor een aantal bemestingsscenario's. Dit betekent dat verondersteld wordt dat de teeltrotatie van 1998-1999-2000 en het bemestingsscenario aangehouden blijven over de 30 jaren en dat de gesimuleerde bodemtoestand (in essentie de inhoud, aard en verdeling in de diepte van bodemwater, organische stof en stikstof) op de dag vóór een nieuw teeltseizoen gebruikt wordt als startpunt voor dat teeltseizoen. Op deze wijze worden per bemestingsscenario 30 waarden bekomen van het nitraatstikstofresidu op 1 oktober en zijn verdeling in de diepte. Deze kunnen vergeleken worden met de bodemtextuur- en verlaagde nitraatstikstofresidunormen die voorgesteld werden op basis van het eerste type scenarioanalyse (Tabel 2.29). Vermits ook de concentratie aan nitraat dat het bodemprofiel verlaat op 90 cm gesimuleerd wordt, kan nagegaan worden of met de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen in de specifieke omstandigheden de grenswaarde 11,3 mg l⁻¹ NO₃-N, opgelegd door de Europese nitraatrichtlijn, gerespecteerd wordt. De output van dit type scenarioanalyse werd als volgt opgenomen in het N-(eco)²-GIS:

Tabel 3.14: Tabelstructuur waaronder de output van SA2 opgenomen is in het N-(eco)²-GIS

scenario	Unicode	Teelt-rotatie	Bemestings-scenario	nitraatstikstof-residunormen	gem nitraatstikstof-residu	jaren onder norm	voldoet scenario? *	gemiddelde [NO ₃ -N]	aantal jaren onder 11,3 mg l ⁻¹	voldoet scenario aan nitraatrichtlijn? **
211259	VL_1002	222	permanent grasland	70 - 70 - 70	95,2	1	nee	12,3	10	nee
413378	VL_422	377	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	80 - 90 - 90	41,3	27	ja	4,8	29	nee
423518	VL_1025	777	forfaitaire norm: maximaal chemisch	60 - 60 - 60	51,8	22	nee	7,2	25	nee
433429	VL_595	777	verlaagd: maximaal dierlijk	60 - 60 - 60	32,6	30	ja	4,5	30	ja
443286	VL_91	777	verlaagd: maximaal chemisch	90 - 90 - 90	25,5	30	ja	2,4	30	ja
...

* Het scenario voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm indien (aantal jaren residu < norm) ≥ 27

** Het scenario voldoet aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn indien (aantal jaren [NO₃-N] < 11,3 mg l⁻¹) ≥ 29

waarbij:

- scenario = de identificatiecode van het scenario bij de simulatie in WAVE
Het *eerste cijfer* geeft aan om welk rotatietype het gaat (permanent grasland, tijdelijk grasland, of een ‘echte’ rotatie).
Het *tweede cijfer* geeft het bemestingsscenario aan. De kenmerken van de verschillende bemestingsscenario’s zijn besproken in §3.3.2. Voor permanent grasland werd enkel de maximale bemesting ($450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$) en niet de verlaagde bemesting beschouwd in de cartografische en ruimtelijke analyse.
De *laatste 4 cijfers* van ‘scenario’ geven het volgnummer van de simulatie in WAVE weer (verder niet van belang).
- Unicode = Unieke code die de ruimtelijke link met het (deel van het) perceel toelaat (= combinatie van bodem en teeltrotatie)
- Teeltrotatie = geeft aan door welke teeltrotatie het perceel gekenmerkt wordt. De betekenis van elke teeltcode is weergegeven in onderstaande Tabel 3.15.

Tabel 3.15: Gebruikte teeltcodes

Code	Teelt
1	braak
2	gras
3	wintertarwe
4	zomertarwe
7	maïs
8	aardappelen
9	suikerbieten

Merk op dat in de N-(eco)²-GIS-databank enkel gemiddelde waarden zijn opgenomen voor NO₃-N-concentratie en nitraatstikstofresidu. Dit zijn gemiddelde waarden over 30 jaar (of 30 winters voor de gemiddelde NO₃-N-concentratie in de winter). De individuele jaarlijkse gemiddelden zijn niet beschikbaar in het N-(eco)²-GIS.

De tabelstructuur van de output van SA2 laat toe om voor elk perceel in het stroombekken (gekenmerkt door een bodem, een teeltrotatie en een klimaat) te bepalen of een bepaald bemestingsscenario leidt tot het respecteren van de nitraatstikstofresidunorm (zoals afgeleid uit scenarioanalyse type 1) of niet.

Figuren 3.3 tot en met 3.12 geven een cartografisch overzicht, op perceelsniveau, van het resultaat van de verschillende bemestingsscenario’s in de 6 stroombekkens. In elke figuur is een vergelijking gemaakt van het resultaat van de 4 bemestingsscenario’s; er is wel telkens een andere outputvariabele cartografisch voorgesteld:

- ✓ Voldoet het perceel (gekenmerkt door een bodemserie en een teeltrotatie) bij het gegeven bemestingsscenario aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (minstens 29 van de 30 (volledige) jaren de NO₃-N-concentratie < 11.3 mg l⁻¹)?
- ✓ Voldoet het perceel (gekenmerkt door een bodemserie en een teeltrotatie) bij het gegeven bemestingsscenario aan de nitraatstikstofresidunorm, zoals die werd afgeleid uit scenarioanalyse type 1 (Tabel 2.29)?
- ✓ Tot welke gemiddelde NO₃-N-concentratie in de winterperiode leidt elk bemestingsscenario?

- ✓ Tot welke gemiddelde de NO₃-N-concentratie (over het volledige jaar) leidt elk bemestingsscenario ?
- ✓ Hoeveel jaren blijft de NO₃-N-concentratie onder de grenswaarde (11.3 mg l⁻¹) ?
- ✓ Hoeveel jaren blijft het nitraatstikstofresidu onder de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm ?

3.5.1.1 Varendonkse Loop

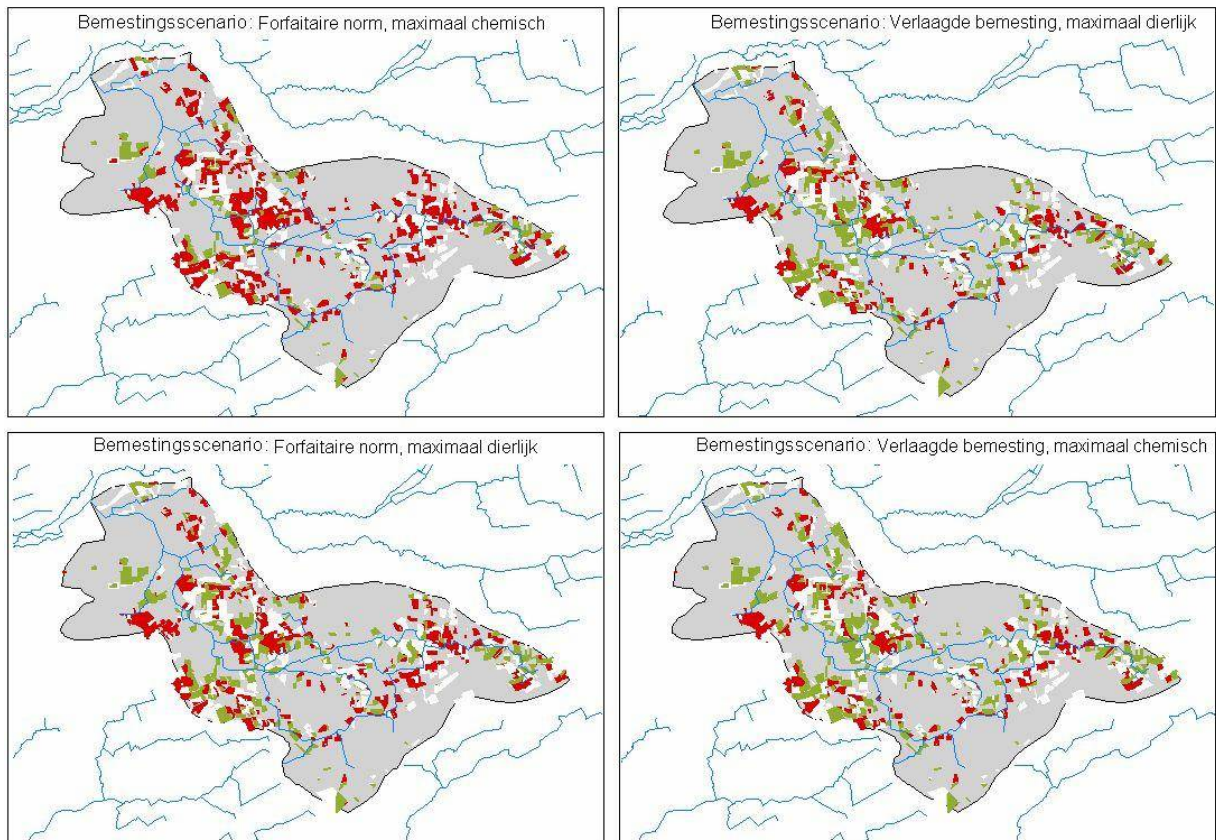
Op Figuur 3.3 is voor de 4 bemestingsscenario's aangegeven welke percelen in het Bekken van de Varendonkse Loop al dan niet voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. De rode percelen voldoen niet aan de grenswaarde bij het gegeven bemestingsscenario; de groene percelen voldoen wel aan de grenswaarde; de witte percelen zijn bij de Mestbank aangegeven als landbouwgebruiksperceel, maar zijn niet met WAVE gesimuleerd². De respectievelijke oppervlaktes die bij de verschillende bemestingsscenario's al dan niet voldoen aan de grenswaarde, zijn weergegeven in Tabel 3.16.

Tabel 3.16: Oppervlakten onder landbouw in het bekken die bij de verschillende bemestingsscenario's al dan niet voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn

<i>Bekken van de Varendonkse Loop</i>		Oppervlakte
Totale Oppervlakte van het bekken		2275 ha
Oppervlakte in landbouwgebruik, aangegeven bij de Mestbank voor 2000		638 ha
Gesimuleerde oppervlakte		414 ha
Bemestingsscenario voldoet aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn	Forfaitair maximaal chemisch	113 ha = 27 %
	Forfaitair maximaal dierlijk	201 ha = 48 %
	verlaagd maximaal chemisch	253 ha = 61 %
	verlaagd maximaal dierlijk	252 ha = 61 %

² Sommige percelen werden niet gesimuleerd omdat

- a) er in Aardewerk geen gegevens beschikbaar zijn over de simulatieëenheid (bodem) en/of
- b) er geen potentiële grondwaterstandsverloop beschikbaar is voor deze simulatieëenheid en/of
- c) er voor het perceel geen teeltgegevens beschikbaar zijn voor minstens 3 opeenvolgende jaren en/of
- d) er in de teeltrotatie van het perceel een teelt voorkomt die in WAVE niet gesimuleerd kan worden (bv. boomgaarden, triticale, haver, wintergerst, erwten/bonen, vlas, zomertarwe, zomergerst,...). De gesimuleerde gewassen zijn aangegeven in § 3.3.1 van deel 4 van het eindrapport..

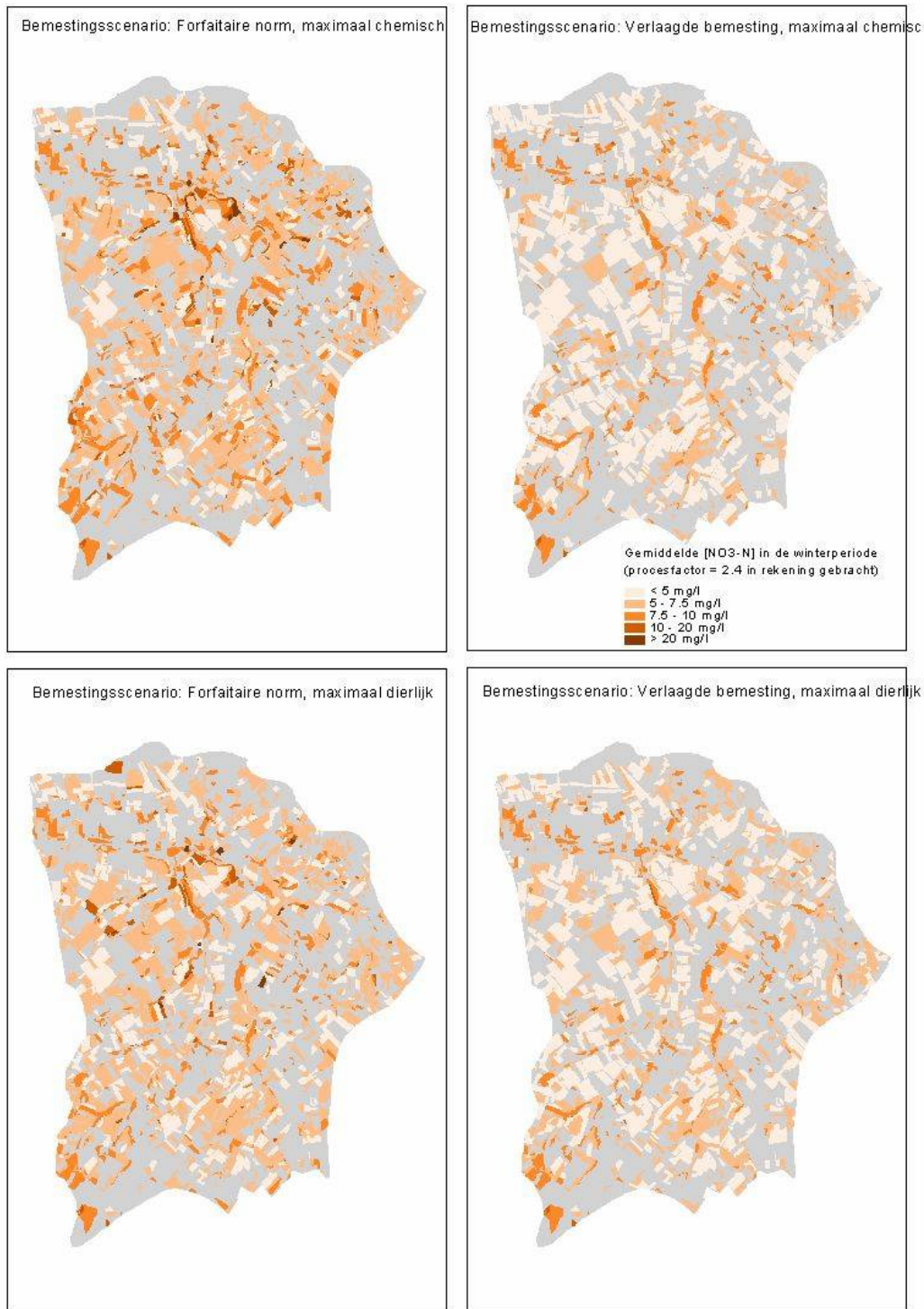


Figuur 3.3: Ruimtelijke situering van de percelen in het bekken van de Varendonkse Loop, die bij de 4 verschillende bemestingsscenario's al dan niet voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn ($[\text{NO}_3\text{-N}] < 11.3 \text{ mg l}^{-1}$)

3.5.12 Molenbeek/Markebeek

In Figuur 3.4 is voor elk (gesimuleerd) perceel uit het bekken van de Molenbeek/Markebeek aangegeven welke gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie, rekening houdend met de procesfactor van 2.4, tijdens de winterperiode in het water kan verwacht worden bij het gegeven bemestingsscenario. Een vergelijking van de 4 bemestingsscenario's leert dat voor alle percelen een lagere nitraatstikstofconcentratie in het water kan verwacht worden bij een verlaagde bemesting dan bij een maximale invulling van de forfaitaire normen.

Het aandeel van de gesimuleerde oppervlakte dat bij de verschillende bemestingsscenario's resulteert in een gegeven gemiddelde nitraatstikstofconcentratie, is weergegeven in Tabel 3.17 en Figuur 3.5.



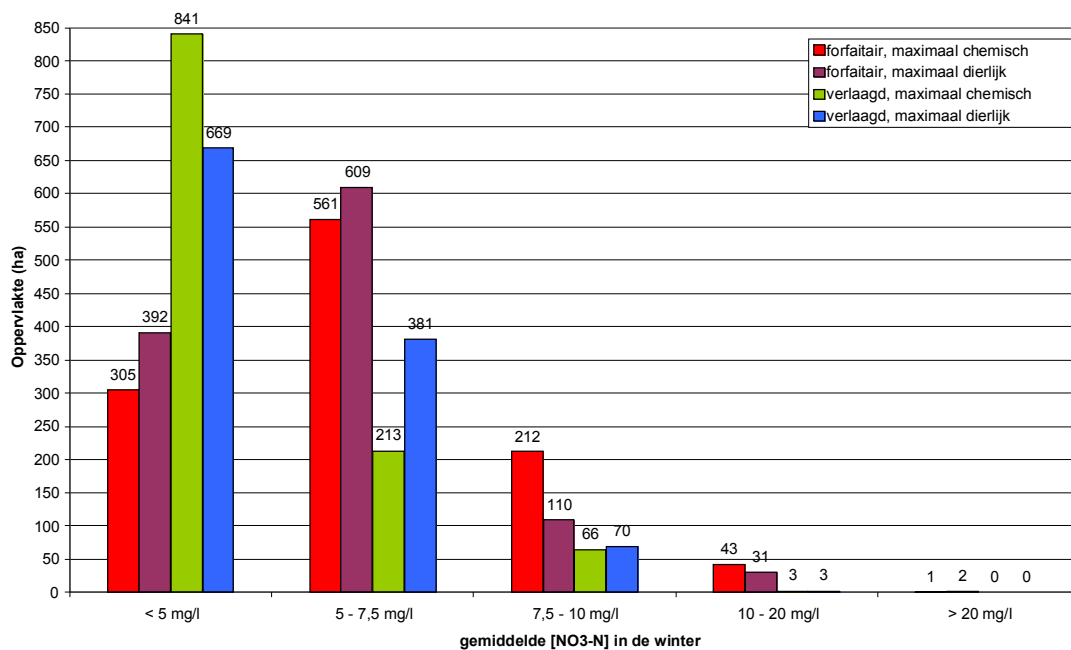
Figuur 3.4: Gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in de winterperiode, per perceel bij het toepassen van verschillende bemestingsscenario's op de percelen in het bekken van de Molenbeek/Markebeek

Tabel 3.17: Aandeel van de gesimuleerde oppervlakte in het bekken van de Molenbeek / Markebeek dat resulteert in een bepaalde gemiddelde nitraatstikstofconcentratie bij de verschillende bemestingsscenario's

[NO ₃ -N] _{gem} winter	Oppervlakteaandeel (%) van de gesimuleerde percelen in het bekken van de Molenbeek/Markebeek bij de verschillende bemestingsscenario's*			
	Forfaitaire norm, max. chemisch	Forfaitaire norm, max. dierlijk	verlaagd, max. chemisch	verlaagd, max. dierlijk
< 5 mg/l	27,2	34,3	74,9	59,6
5 - 7,5 mg/l	50,0	53,3	18,9	33,9
7,5 - 10 mg/l	18,9	9,6	5,8	6,2
10 - 20 mg/l	3,8	2,7	0,3	0,3
> 20 mg/l	0,1	0,2	0,0	0,0

Totale Oppervlakte van het bekken: 2939 ha
Geregistreerde landbouwpercelen in 2000 : 2107 ha
Gesimuleerde oppervlakte : 1392 ha

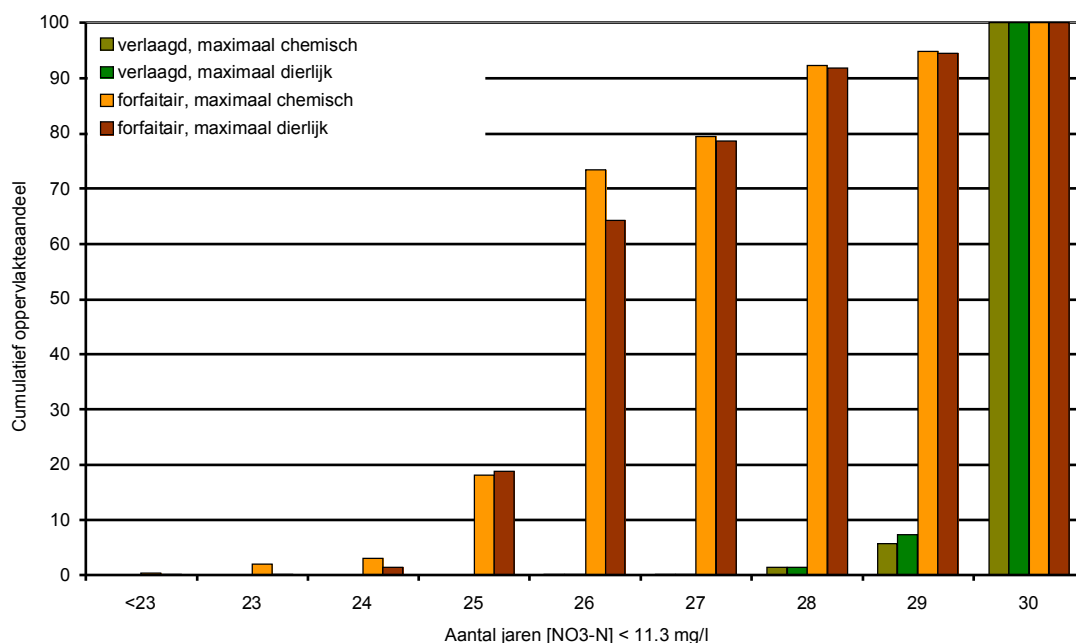
* De percelen onder permanent grasland (slechts 1 bemestingsscenario) zijn bij alle bemestingsscenario's meegerekend in de oppervlakte.



Figuur 3.5: Absolute (gesimuleerde) oppervlakte die leidt tot een bepaalde gemiddelde NO₃-N-concentratie in de winterperiode bij de verschillende bemestingsscenario's

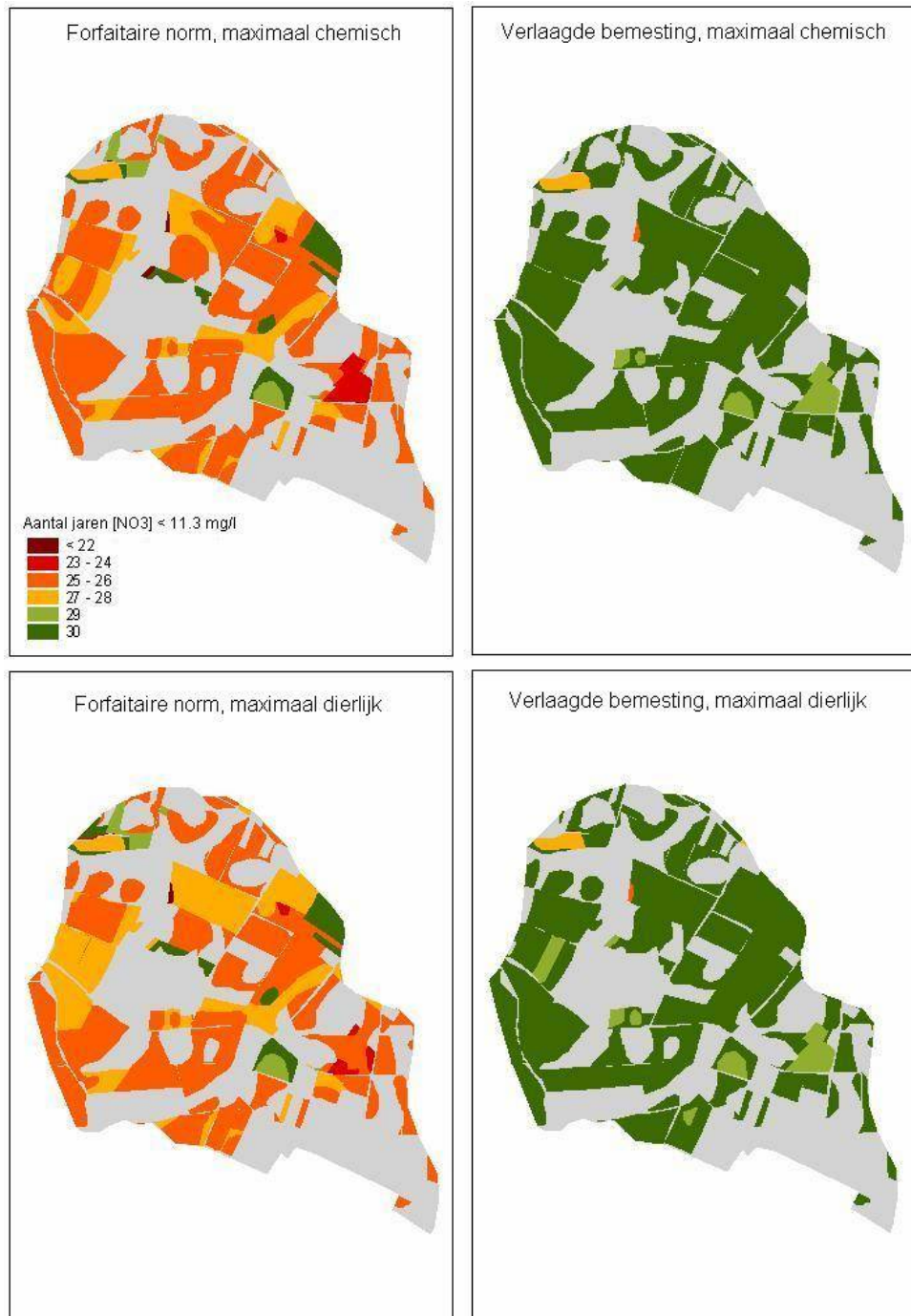
3.5.1.3 MAP-meetpunt 445250

Onderstaande Figuur 3.6 geeft in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 445250 (Leemstreek, gemeente Gingelom) aan welk aandeel van de gesimuleerde landbouwoppervlakte (cumulatief) hoeveel jaar resulteert in een NO₃-N-concentratie lager dan 11.3 mg l⁻¹. De figuur toont, net zoals Figuur 3.7, duidelijk aan dat bij een verlaagde bemesting nagenoeg alle percelen elk jaar resulteren in een NO₃-N-concentratie lager dan 11.3 mg l⁻¹ (en dus voldoen aan de nitraatrichtlijn), terwijl bij een maximale invulling van de forfaitaire bemestingsnormen slechts weinig percelen voldoen aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.



Figuur 3.6: Oppervlakteaandeel (%) van de gesimuleerde landbouwpercelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 445250 waarop de NO₃-N-concentratie een bepaald aantal jaren onder 11.3 mg l⁻¹ blijft

In Figuur 3.7 wordt voor elk perceel in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 445250 aangegeven hoeveel jaren de 4 verschillende bemestingsscenario's niet leiden tot een NO₃-N -concentratie hoger dan 11.3 mg l⁻¹ (op een totaal van 30 jaar). Het scenario (= bemestingsscenario op een bepaalde bodem met een bepaalde teeltrotatie) voldoet aan de nitraatrichtlijn indien het aantal jaren waarin de norm niet overschreden wordt, groter of gelijk is aan 29 (op 30) en indien de NO₃-N-concentratie altijd lager blijft dan 16.95 mg l⁻¹.



Figuur 3.7: Aantal jaren dat het bemestingsscenario niet leidt tot een $NO_3\text{-N}$ -concentratie hoger dan 11.3 mg l^{-1} (op een totaal van 30 jaar) voor de landbouwpercelen in het toestroomgebied van MAP-meetpunt 445250 (Leemstreek, gemeente Gingelom)

3.5.14 IJzerbeek

Figuur 3.8 geeft voor de gesimuleerde percelen uit het bekken van de IJzerbeek aan welke $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie gemiddeld (over de 30 gesimuleerde jaren) in het oppervlaktewater kan verwacht worden bij de 4 verschillende bemestingsscenario's. Het oppervlakteaandeel van de gesimuleerde percelen in het bekken dat bij de verschillende bemestingsscenario's leidt tot een bepaalde gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het oppervlaktewater, is aangegeven in Tabel 3.18 en Figuur 3.9. Merk op dat een verlaagde bemesting tot een aanzienlijk lagere uitspoeling van nitraatstikstof leidt dan de forfaitaire bemesting.

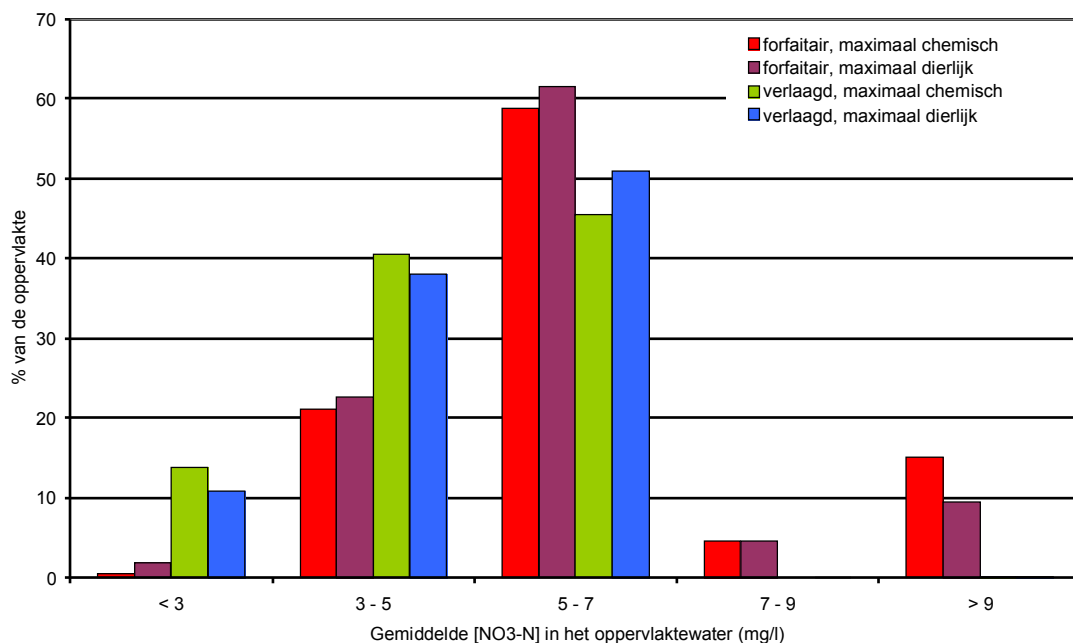


Figuur 3.8: Gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie voor de percelen in het bekken van de IJzerbeek (Polders, gemeente Diksmuide)

Tabel 3.18: Oppervlakteaandeel (%) van de gesimuleerde percelen in het bekken van de IJzerbeek dat leidt tot een bepaald gemiddeld NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater bij de verschillende bemestingsscenario's

[NO ₃ -N] _{gem}	Oppervlakteaandeel van de gesimuleerde percelen in het bekken van de IJzerbeek (Polders, gemeente Diksmuide) bij de verschillende bemestingsscenario's*			
	Forfaitaire norm, max. chemisch	Forfaitaire norm, max. dierlijk	verlaagd, max. chemisch	verlaagd, max. dierlijk
< 3 mg/l	0,4	1,8	13,8	10,8
3 – 5 mg/l	21,1	22,6	40,5	38,1
5 – 7 mg/l	58,8	61,6	45,6	51,0
7 – 9 mg/l	4,6	4,6	0,0	0,0
> 9 mg/l	15,0	9,4	0,2	0,2

Totale Oppervlakte van het bekken: 1139 ha
 Geregistreerde landbouwpercelen in 2000 : 1057 ha
 Gesimuleerde oppervlakte : 531 ha

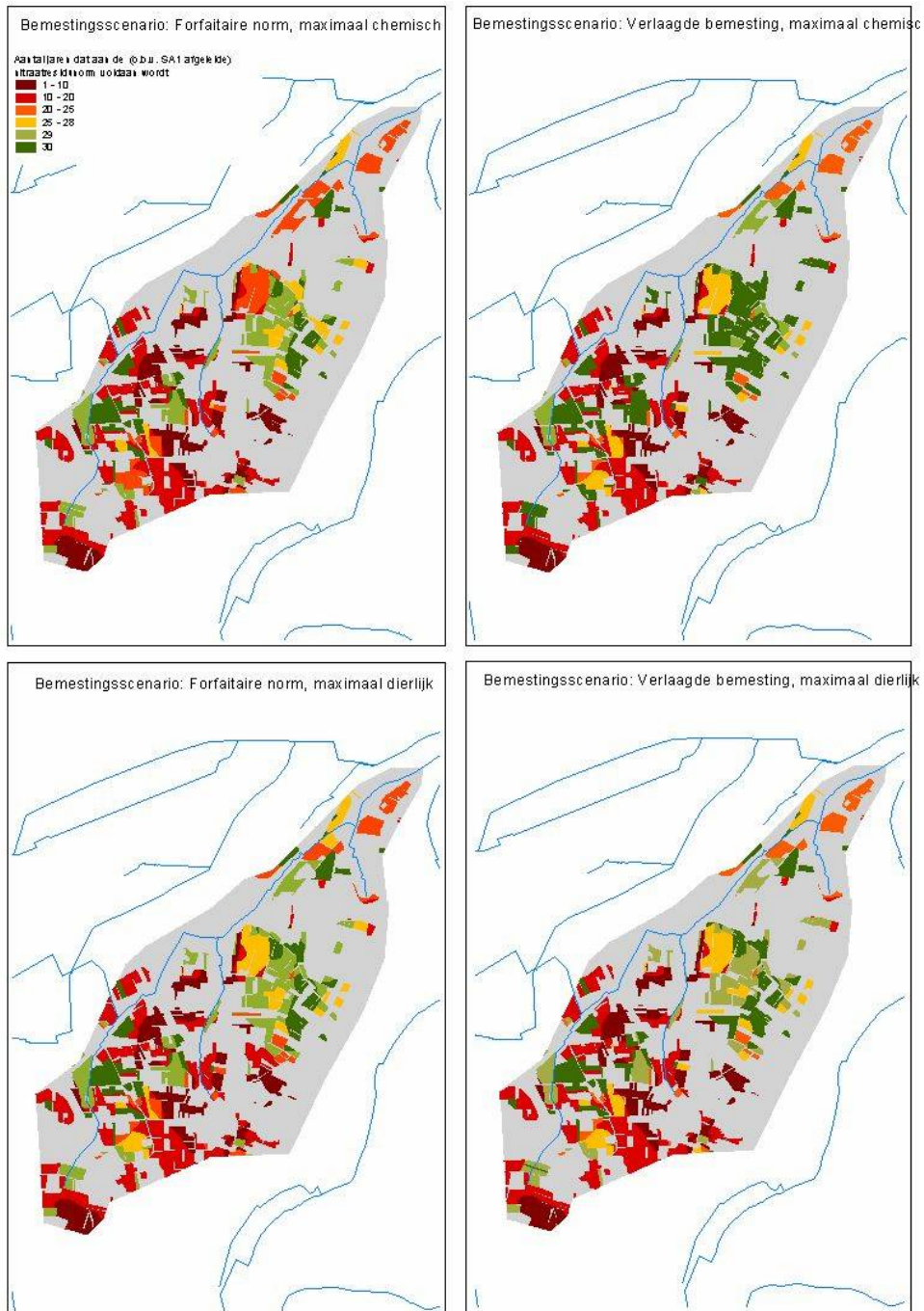


Figuur 3.9: Oppervlakteaandeel van de gesimuleerde percelen in het bekken van de IJzerbeek dat leidt tot een bepaalde gemiddelde NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater bij de verschillende bemestingsscenario's

3.5.15 MAP-meetpunt 137500

In Figuur 3.10 is (op perceelsniveau) het effect van de verschillende bemestingsscenario's weergegeven op het aantal jaren dat elk perceel in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 137500, voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm zoals die werd bepaald op basis van de resultaten van scenarioanalyse type 1. Alle percelen voldoen het hoogst aantal jaren aan de nitraatstikstofresidunorm wanneer een verlaagde bemesting toegepast wordt waarbij maximaal

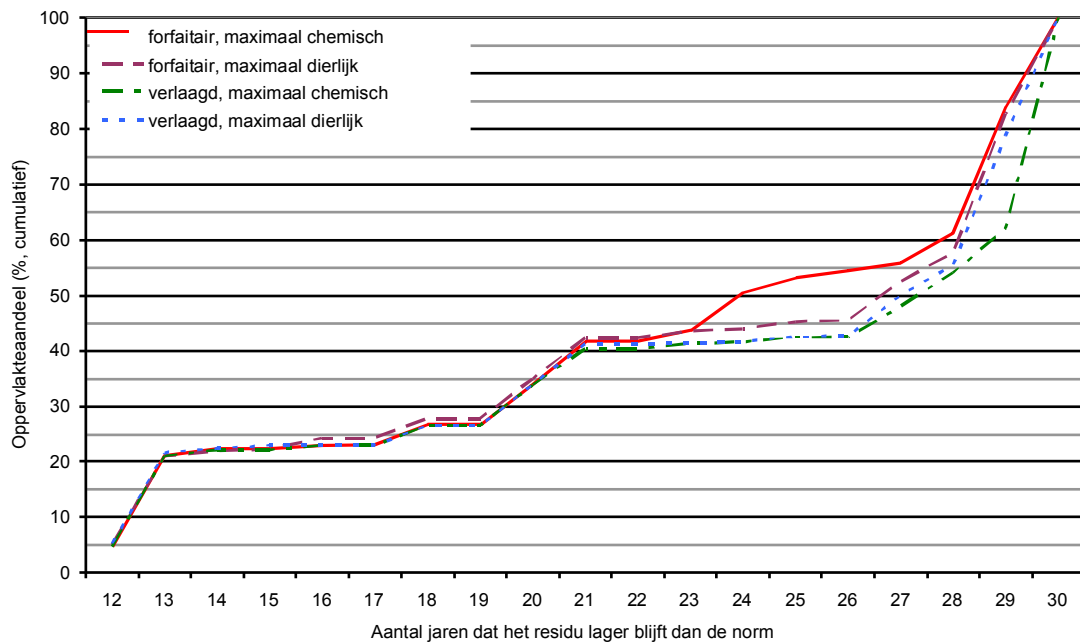
gebruik gemaakt wordt van chemische mest. De resultaten zijn ook tabelmatig en grafisch weergegeven in Tabel 3.19 en Figuur 3.11.



Figuur 3.10: Aantal jaren dat aan de nitraatstikstofresidunorm voldaan wordt bij de 4 verschillende bemestingscenario's op de percelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 137500 (Kempen, gemeente Dilsen-Stokkem)

Tabel 3.19: Oppervlaktaandeel (%) van de gesimuleerde percelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 137500 waarop het N-residu een bepaald aantal jaren onder de N-residunorm blijft bij de verschillende bemestingsscenario's

aantal jaren N-residu < N-residunorm	Oppervlaktaandeel van de gesimuleerde percelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 137500 (Kempen, gem. Dilsen-Stokkem) bij de verschillende bemestingsscenario's			
	forfaitaire norm, max. chemisch	forfaitaire norm, max. dierlijk	verlaagd, max. chemisch	verlaagd, max. dierlijk
12	4,7	5,2	4,7	5,3
13	16,4	15,9	16,4	16,4
14	1,4	0,7	1,1	0,8
15	0,0	0,6	0,0	0,6
16	0,6	1,9	0,8	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0
18	3,6	3,5	3,6	3,6
19	0,0	0,0	0,0	0,0
20	7,3	7,1	7,3	7,3
21	7,7	7,3	6,5	7,4
22	0,1	0,1	0,0	0,0
23	2,0	1,2	1,0	0,1
24	6,7	0,4	0,2	0,3
25	2,8	1,3	0,8	0,9
26	1,2	0,2	0,0	0,0
27	1,4	7,0	5,6	7,4
28	5,4	5,2	6,0	5,5
29	22,7	25,1	8,1	23,3
30	16,1	17,2	37,9	21,3
Totale Oppervlakte van het bekken: 632.7 ha Geregistreerde landbouwpercelen in 2000 : 312.3 ha Gesimuleerde oppervlakte : 181.8 ha				



Figuur 3.11: Cumulatief oppervlakteaandeel (%) van de gesimuleerde percelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 137500 waarop het nitraatstikstofresidu een bepaald aantal jaren onder de nitraatstikstofresidunorm blijft bij de verschillende bemestingsscenario's

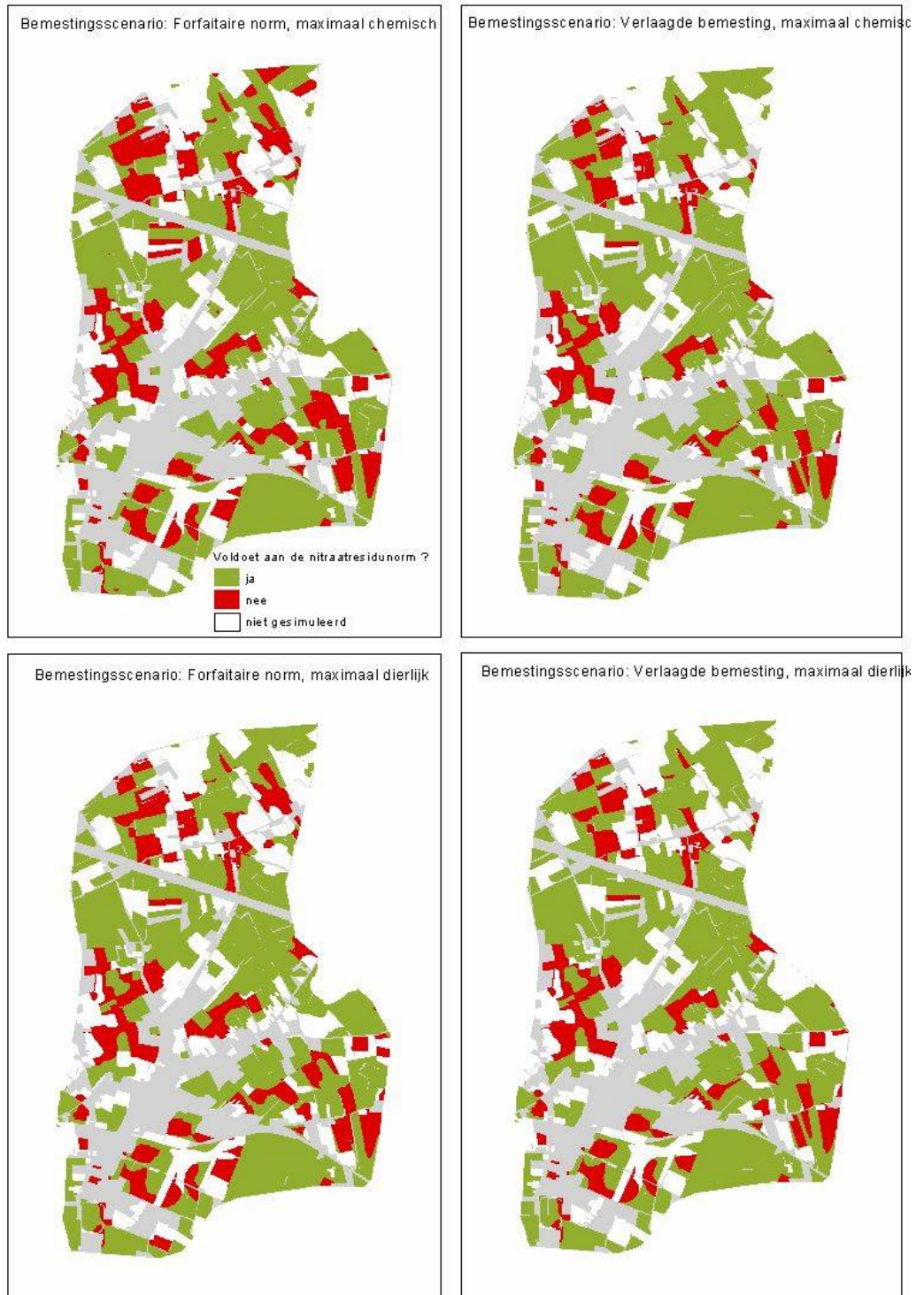
3.5.1.6 MAP-meetpunt 19000

Figuur 3.12 geeft aan welke percelen in het toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 19000 (Zandstreek, gemeente Assenede) al dan niet aan de in Tabel 2.29 voorgestelde nitraatstikstofresidunorm voldoen bij verschillende bemestingsscenario's.

De oppervlakte die bij de verschillende bemestingsscenario's voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm, is aangegeven in Tabel 3.20.

Tabel 3.20: Oppervlakte van de gesimuleerde landbouwgebruikspcelen die bij de verschillende bemestingsscenario's voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm

<i>Toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 19000</i>		Oppervlakte
Totale Oppervlakte van het bekken		755.6 ha
Oppervlakte in landbouwgebruik, aangegeven bij de Mestbank voor 2000		580.3 ha
Gesimuleerde oppervlakte		410.6 ha
Bemestingsscenario voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm	Forfaitaire norm maximaal chemisch	291 ha = 71 %
	Forfaitaire norm maximaal dierlijk	308 ha = 75 %
	Verlaagd maximaal chemisch	323 ha = 78 %
	Verlaagd maximaal dierlijk	323 ha = 78 %



Figuur 3.12: Percelen die al dan niet aan de nitraatstikstofresidunorm voldoen bij verschillende bemestingsscenario's (toestroomgebied van VMM-MAP-meetpunt 19000, Zandstreek, gemeente Assenede)

3.5.2 (Ruimtelijke) analyse van de output van SA2

Naast de elementaire cartografische voorstelling en de oppervlakteberekening van de resultaten van de verschillende bemestingsscenario's (Figuren 3.3 t.e.m. 3.12), laat de output van SA2 nog veel andere analyses toe. Hier zijn zeer veel interessante vraagstellingen mogelijk, waarop op basis van de resultaten van SA2 een antwoord kan geformuleerd worden.

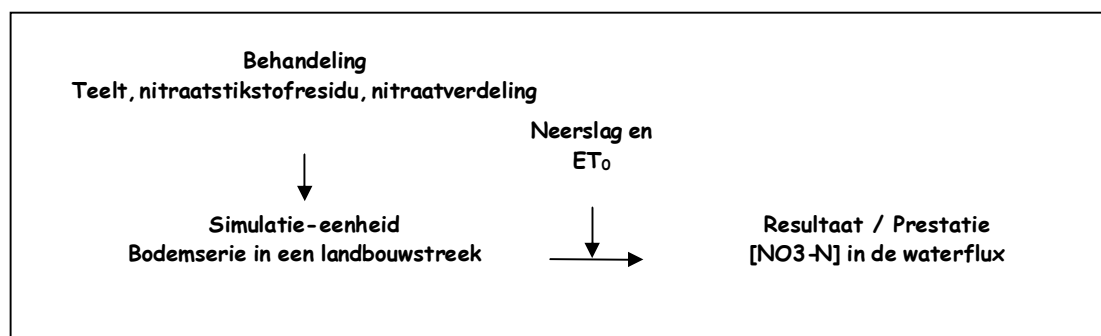
Het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu in de bodem waarbij tijdens de winterperiode geen overschrijding van de norm plaatsvindt, werd nagegaan in het eerste type scenarioanalyses. Op basis daarvan werden algemene nitraatstikstofresidunormen afgeleid, waarbij de resultaten gegroepeerd werden voor verschillende teelten en voor verschillende texturen (Tabel 2.29).

In het tweede type scenarioanalyse werd voor de simulatieëenheden in 6 afgebakende stroomgebieden nagegaan tot welk nitraatstikstofresidu een bepaald bemestingsscenario leidt. In tegenstelling tot het eerste type scenarioanalyses, kan hier niet voor elke simulatieëenheid een "positieve" behandeling geselecteerd worden; voor sommige simulatieëenheden is het toegelaten residu zo laag dat geen enkel van de 4 bemestingsscenario's tot een dergelijk residu leidt.

Er zijn **3 groepen variabelen** die meespelen in de scenarioanalyses type 2:

- **Simulatieëenheid** = bodemserie in een landbouwstreek (levert bodem, grondwater en klimaatinfo) maar duidt in essentie de locatie aan;
- **Teeltrotatie en bemestingsstrategie** vormen de **behandeling**. De bemestingsscenario's zijn beschreven in deel 4, § 3.2.2.
Er zijn maximaal x (aantal verschillende teeltrotaties) * 4 behandelingen mogelijk per simulatieëenheid. Niet voor elke combinatie zijn echter gegevens berekend (soms slechts 1 rotatie per simulatieëenheid).
- **Het nitraatstikstofresidu en de daarmee verband houdende nitraatconcentraties in de netto-waterflux** vormen de **prestatie-indicatoren** van de behandelingen per simulatieëenheid.

Het verband tussen de drie groepen variabelen is weergegeven in onderstaand schema. Een simulatieëenheid wordt op een specifieke manier behandeld (bepaalde teeltrotatie en bemesting), wat in een gegeven jaar leidt tot een bepaald nitraatstikstofresidu dat achterblijft in het bodemprofiel, en, na uitspoeling, tot een bepaalde NO₃-concentratie in grond- en oppervlaktewater (de 'prestatie').



Figuur 3.13: Drie groepen variabelen in de scenarioanalyses, en hun onderling verband

Wanneer we één of een combinatie van twee van de drie variabelen constant houden ("specificier") kunnen bijvoorbeeld volgende relevante vragen gesteld en beantwoord worden (Tabel 3.21):

Tabel 3.21: Voorbeelden van mogelijke queries op basis van de drie groepen variabelen die meespelen in de scenarioanalyses: “simulatieëenheid”, “behandeling” en “prestatie”

	Specifier	Result	Voorbeeld
1.	Simulatieëenheid	Prestatie van alle mogelijke behandelingen	Welke gemiddelde [NO ₃ -N] / Welk gemiddeld nitraatstikstofresidu resulteert uit de verschillende doorgerekende behandelingen voor een Zdg-bodem in de Kempen (bekken van de Varendonkse Loop) ?
2.	Behandeling	Prestatie per simulatieëenheid	Welk gemiddelde [NO ₃ -N] / Welk gemiddeld nitraatstikstofresidu resulteert voor alle simulatieëenheden in het bekken van de Molenbeek/Markebeek onder rotatie wintertarwe-suikerbieten-wintertarwe met een bepaald bemestingsscenario?
3.	Prestatie	Behandeling per simulatieëenheid	Welke simulatieëenheden (bodemserie + landbouwstreek) in het Bekken van de Varendonkse Loop realiseren bij welke behandeling een gemiddeld [NO ₃ -N] lager dan 11.3 mg l ⁻¹ ?
4.	Prestatie en Behandeling	Simulatieëenheid	Welke simulatieëenheden voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm bij behandeling met een teeltrotatie maïs-maïs-maïs en een bepaald bemestingsscenario?
5.	Prestatie en simulatieëenheid	Behandeling	Welke behandelingen geven aanleiding tot respect van de nitraatstikstofresidunorm voor Zdg in de Kempen (in het Bekken van de Varendonkse Loop) ?
6.	Behandeling en simulatieëenheid	Prestatie	Wordt op Zdg in de Kempen (in het bekken van de Varendonkse Loop) onder permanente maïsteelt en met bemestingsscenario ‘forfaitaire norm, maximaal dierlijk’ de nitraatstikstofresidunorm gerespecteerd ?

Een query op de output van SA2 laat toe om op al deze vragen een antwoord te formuleren. Aangezien ook de ruimtelijke situering van de simulatieëenheden gekend is, kan het antwoord ruimtelijk gesitueerd worden, en kunnen de antwoorden geformuleerd worden in termen van absolute en relatieve oppervlakte.

5. **Welke gemiddelde NO_3-N -concentratie en welk gemiddeld nitraatstikstofresidu resulteert over een periode van 30 jaar uit de verschillende doorgerekende behandelingen voor een Zdg-bodem in de Kempen in het Bekken van de Varendonkse Loop ?**

Er zijn voor het bekken van de Varendonkse Loop 9 verschillende scenario's doorgerekend op simulatieëenheid Zdg in de Kempen:

- teeltrotatie maïs – maïs – maïs met 4 mogelijke bemestingsscenario's
- teeltrotatie wintertarwe – maïs – maïs met 4 mogelijke bemestingsscenario's
- permanent grasland met 1 mogelijk bemestingsscenario.

De prestatie van deze behandelingen op een Zdg-bodem in het bekken van de Varendonkse Loop wordt weergegeven in Tabel 3.22.

Tabel 3.22: Prestatie van verschillende behandelingen op een Zdg-bodem in het bekken van de Varendonkse Loop

Teeltrotatie	bemestings-scenario *	nitraatstikstof residu-normen (kg ha ⁻¹)	gemiddelde [NO ₃ -N] (mg l ⁻¹)	gemiddelde [NO ₃ -N] winter (mg l ⁻¹)	gemiddeld nitraatstikstof-residu (kg ha ⁻¹)
Maïs – maïs - maïs	forf. max. d	60 - 60 - 60	4,2	4,7	26,3
	forf. max. c		3,6	4,4	25,1
	verl. max. d		4,0	4,6	26,3
	verl. max. c		2,8	3,3	20,3
wintertarwe - maïs - maïs	forf. max. d	50 - 60 - 60	4,7	5,4	32,2
	forf. max. c		4,3	5,1	30,5
	verl. max. d		3,6	4,4	25,6
	verl. max. c		3,0	3,7	21,9
Gras – gras - gras	perm. gras 450	70 - 70 - 70	9,2	8,7	64,0

* 'forf' = forfaitaire norm, 'verl' = verlaagd, 'c' = chemisch, 'd' = dierlijk

5. Welk gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie en welk gemiddeld nitraatstikstofresidu resulteert voor alle simulatieëenheden in het bekken van de Molenbeek/Markebeek onder rotatie wintertarwe-suikerbieten-wintertarwe met bemestingsscenario 'verlaagd maximaal dierlijk'?

Tabel 3.23 geeft voor de simulatieëenheden uit het bekken van de Molenbeek/Markebeek met een teeltrotatie wintertarwe-suikerbieten-wintertarwe (27 verschillende simulatieëenheden) de resultaten (gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie en gemiddeld nitraatstikstofresidu) bij een verlaagde bemesting.

Tabel 3.23: Resultaten van een behandeling teeltrotatie wintertarwe-suikerbieten-wintertarwe met verlaagde bemesting op de simulatieëenheden binnen het bekken van de Molenbeek/Markebeek

Simulatieëenheid	$[\text{NO}_3\text{-N}]_{\text{gem}}$	jaren $[\text{NO}_3\text{-N}] < 11,3 \text{ mg l}^{-1}$	$\text{NO}_3\text{-N}$ -residu (kg ha^{-1})	jaren $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu < norm
wLDx2	3,0	30,0	31,0	30,0
Adp1	3,6	30,0	31,8	30,0
Acp1	3,6	30,0	32,7	30,0
Adp(c)	3,8	30,0	33,0	29,0
AbB	3,9	30,0	30,7	30,0
(x)Aca2	3,9	30,0	33,7	30,0
Adp1	3,9	30,0	33,9	29,0
Aba1	3,9	30,0	31,8	30,0
Ada1	4,0	30,0	35,3	29,0
uAda2	4,0	30,0	36,1	29,0
Abp1	4,1	30,0	31,2	30,0
Aba(b)1	4,1	30,0	32,8	30,0
wEdx2	4,1	30,0	39,2	29,0
Abp(c)	4,1	30,0	32,4	30,0
Ada1	4,1	30,0	35,7	29,0
Aca1	4,2	30,0	38,4	29,0
Acp1	4,2	30,0	37,8	30,0
Lcp1	4,3	30,0	37,3	30,0
Lep1	4,4	29,0	43,8	28,0
Lca1	4,4	30,0	38,5	30,0
Lep1	4,4	29,0	44,0	28,0
wLdx2	4,7	29,0	42,5	29,0
Ahp1	4,7	29,0	47,8	26,0
Lba1	4,7	30,0	35,5	30,0
Acp(c)	5,0	29,0	44,1	28,0
Adp(c)	5,9	28,0	52,1	28,0
Aep1	7,5	24,0	74,9	21,0

6. Welke simulatieëenheden in het bekken van de Varendonkse Loop realiseren bij welke behandeling een gemiddelde NO₃-N-concentratie lager dan 11,3 mg l⁻¹ ?

Tabel 3.24 geeft aan welke behandelingen bij welke simulatieëenheid resulteren in een gemiddelde NO₃-N-concentratie lager dan 11,3 mg l⁻¹. Wanneer een bemestingsscenario niet van toepassing is op een bepaalde teeltrotatie, dan is dit aangegeven met “nvt”. Wanneer de gemiddelde NO₃-N-concentratie lager is dan 11,3 mg l⁻¹, dan is de gemiddelde NO₃-N-concentratie aangegeven; bij gemiddelden boven de 11,3 mg l⁻¹, is “>11,3” vermeld.

Tabel 3.24: Simulatieëenheden en hun mogelijke behandelingen (teeltrotatie + bemestingsscenario) die een gemiddelde NO₃-N-concentratie lager dan 11,3 mg l⁻¹ realiseren

Simulatieëenheid		Teeltrotatie (codes zie Tabel 3.15)	Bemestingsscenario						
			Perma- nent grasland	Tijdelijk grasland	Forfaitaire norm		Verlaagde bemesting		
Bodem- serie	Landbouw -streek					max. chemisch	max. dierlijk	max. chemisch	max. dierlijk
EDx	Kempen	222	7,1	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		777	nvt	nvt	3,4	3,3	2,5	3,2	
Lec1	Kempen	111	nvt	5,3	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		222	7,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	6,7	4,9	2,6	2,9	
		722	nvt	nvt	9,1	7,5	5,2	5,4	
		773	nvt	nvt	4,9	3,5	2,7	3,0	
		777	nvt	nvt	5,6	3,0	2,4	2,9	
Lep1	Kempen	177	nvt	nvt	5,7	4,0	3,3	3,9	
		222	7,7	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
		272	nvt	nvt	9,5	7,5	5,6	5,8	
		722	nvt	nvt	9,3	7,7	5,4	5,5	
		771	nvt	nvt	7,1	4,0	3,3	3,9	
		777	nvt	nvt	7,7	3,1	2,5	3,0	
Lfc1	Kempen	222	7,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
Lfp1	Kempen	222	7,7	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		227	nvt	nvt	8,8	7,5	5,8	5,9	
		722	nvt	nvt	9,3	7,7	5,4	5,5	
		772	nvt	nvt	10,1	6,6	3,7	3,9	
		777	nvt	nvt	7,7	3,1	2,5	3,0	
Lfpm1	Kempen	222	6,7	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
l-Scf2	Kempen	222	9,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
l-Sdf2	Kempen	722	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,1	9,3	
l-Sdg2	Kempen	222	10,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		333	nvt	nvt	4,5	4,5	3,5	3,5	
		377	nvt	nvt	4,5	5,0	3,3	4,1	
		772	nvt	nvt	10,1	5,9	5,3	5,8	
		777	nvt	nvt	4,1	4,5	3,2	4,4	
Pdc1	Kempen	722	nvt	nvt	10,9	8,9	8,4	9,0	
Pdm	Kempen	333	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	7,5	7,5	
Pec1	Kempen	222	8,9	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	3,3	3,4	2,4	2,9	

Simulatieëenheid		Teeltrotatie (codes zie Tabel 3.15)	Bemestingscenario					
			Perma- nent grasland	Tijdelijk grasland	Forfaitaire norm		Verlaagde bemesting	
Bodem- serie	Landbouw -streek				max. chemisch	max. dierlijk	max. chemisch	max. dierlijk
		722	nvt	nvt	9,6	6,6	5,7	6,0
		727	nvt	nvt	8,4	5,2	4,1	4,6
		771	nvt	nvt	3,3	3,6	2,8	3,6
		777	nvt	nvt	2,9	3,1	2,4	3,1
Peg	Kempen	222	9,1	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		721	nvt	nvt	6,7	6,6	6,3	6,6
		777	nvt	nvt	2,8	3,1	2,3	3,1
Sbf	Kempen	222	10,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		777	nvt	nvt	5,8	6,4	4,2	6,1
		977	nvt	nvt	8,7	8,4	6,1	7,6
Sbfc	Kempen	772	nvt	nvt	> 11,3	8,3	7,0	7,9
		777	nvt	nvt	7,1	7,3	5,3	7,0
Sbm(g)	Kempen	377	nvt	nvt	8,9	8,9	6,9	8,1
		777	nvt	nvt	8,8	8,8	6,6	8,6
Scf	Kempen	222	10,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		777	nvt	nvt	4,0	4,4	3,1	4,4
Scfc	Kempen	772	nvt	nvt	10,2	6,1	5,0	5,8
		777	nvt	nvt	4,0	4,4	3,1	4,4
Scg	Kempen	777	nvt	nvt	3,5	3,9	2,6	4,0
Scm	Kempen	272	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	10,6	10,7
		377	nvt	nvt	> 11,3	9,0	5,8	6,8
		722	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	10,1	10,5
		771	nvt	nvt	> 11,3	7,8	6,6	7,8
		772	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	7,8	8,7
		773	nvt	nvt	> 11,3	7,9	5,9	6,7
		777	nvt	nvt	> 11,3	6,3	5,0	6,3
		977	nvt	nvt	> 11,3	7,9	6,2	7,2
Scm(g)	Kempen	333	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	7,5	7,5
		377	nvt	nvt	> 11,3	9,0	5,8	6,8
		722	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	10,1	10,5
		777	nvt	nvt	> 11,3	6,3	5,0	6,3
		999	nvt	nvt	10,5	10,3	8,9	9,9
Sdf	Kempen	277	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,8	7,2
		327	nvt	nvt	> 11,3	11,2	6,6	6,8
		333	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,9	6,9
		377	nvt	nvt	> 11,3	9,0	5,2	6,1
		721	nvt	nvt	> 11,3	10,9	10,6	10,9
		722	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,3	9,4
		772	nvt	nvt	8,9	5,8	5,0	5,6
		773	nvt	nvt	> 11,3	6,8	5,1	6,0
		777	nvt	nvt	> 11,3	5,6	4,2	5,4
		779	nvt	nvt	> 11,3	7,3	5,4	6,6
		999	nvt	nvt	> 11,3	9,1	7,8	8,7
Sdfc	Kempen	777	nvt	nvt	> 11,3	5,6	4,2	5,4

Simulatieëenheid		Teeltrotatie (codes zie Tabel 3.15)	Bemestingsscenario					
			Perma- nent grasland	Tijdelijk grasland	Forfaitaire norm		Verlaagde bemesting	
Bodem- serie	Landbouw -streek				max. chemisch	max. dierlijk	max. chemisch	max. dierlijk
Sdg	Kempen	222	10,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		227	nvt	nvt	10,8	8,5	7,4	7,6
		777	nvt	nvt	7,4	4,6	3,3	4,5
Sdh	Kempen	222	9,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		722	nvt	nvt	9,7	7,3	6,8	7,1
		771	nvt	nvt	4,5	4,9	3,7	4,9
		777	nvt	nvt	4,2	4,6	3,2	4,6
Sdm	Kempen	177	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,5	10,8
		377	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,9	11,0
		771	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,5	10,6
		773	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	8,2	9,1
		777	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,1	7,3
		888	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	8,9	9,7
Sdm(g)	Kempen	777	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,1	7,3
		779	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	8,0	9,3
Seg	Kempen	121	nvt	nvt	> 11,3	9,9	> 11,3	> 11,3
		222	8,8	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	> 11,3	6,6	3,2	3,6
		722	nvt	nvt	10,8	9,3	6,3	6,1
		777	nvt	nvt	10,8	3,3	2,7	3,2
SFP1	Kempen	272	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,8	9,8
		377	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	4,8	6,1
		727	nvt	nvt	> 11,3	10,6	6,6	6,8
		772	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,9	7,3
		777	nvt	nvt	> 11,3	5,3	4,1	5,0
wScf2	Kempen	222	9,7	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		777	nvt	nvt	3,7	4,2	2,7	4,2
wScfc2	Kempen	221	nvt	nvt	> 11,3	8,9	> 11,3	> 11,3
		222	9,7	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	3,4	3,7	2,6	3,6
		722	nvt	nvt	8,2	7,3	7,0	7,3
		777	nvt	nvt	3,7	4,2	2,7	4,2
		999	nvt	nvt	8,6	8,4	7,0	7,8
wSdc2	Kempen	771	nvt	nvt	> 11,3	7,5	6,4	7,4
		777	nvt	nvt	> 11,3	5,7	4,3	5,5
wSdf2	Kempen	227	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,0	9,2
		277	nvt	nvt	> 11,3	9,5	6,8	7,4
		771	nvt	nvt	> 11,3	7,6	6,4	7,5
		772	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	6,9	7,4
		777	nvt	nvt	> 11,3	6,0	4,6	5,8
wZdfc2	Kempen	111	nvt	6,0	nvt	nvt	nvt	nvt
		222	10,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		727	nvt	nvt	10,1	6,1	5,2	5,9
		772	nvt	nvt	10,4	6,7	5,2	6,0

Simulatieëenheid		Teeltrotatie (codes zie Tabel 3.15)	Bemestingsscenario					
			Perma- nent grasland	Tijdelijk grasland	Forfaitaire norm		Verlaagde bemesting	
Bodem- serie	Landbouw -streek				max. chemisch	max. dierlijk	max. chemisch	max. dierlijk
		777	nvt	nvt	4,5	4,9	3,4	4,7
		779	nvt	nvt	7,8	6,1	4,7	5,9
		999	nvt	nvt	8,2	8,4	6,8	7,6
ZAfe	Kempen	111	nvt	3,1	nvt	nvt	nvt	nvt
		222	10,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	4,9	5,2	3,6	4,7
		727	nvt	nvt	7,6	7,4	6,1	7,1
		777	nvt	nvt	5,2	5,9	3,6	5,6
		999	nvt	nvt	> 11,3	> 11,3	9,6	10,6
Zag	Kempen	227	nvt	nvt	9,7	9,2	8,8	8,8
Zbf	Kempen	777	nvt	nvt	5,2	6,0	3,7	5,7
Zbfc	Kempen	222	10,1	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		777	nvt	nvt	4,8	5,1	3,4	4,9
Zbg	Kempen	222	9,6	nvt	> 11,3	> 11,3	> 11,3	> 11,3
		377	nvt	nvt	4,4	4,6	3,0	4,0
		777	nvt	nvt	4,8	5,3	3,1	4,9
Zbm	Kempen	222	9,9	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		722	nvt	nvt	10,5	9,5	9,1	9,5
		777	nvt	nvt	6,8	7,3	5,1	7,1
		977	nvt	nvt	10,4	9,6	7,3	8,9
Zbm(g)	Kempen	377	nvt	nvt	7,0	7,3	5,5	6,7
		727	nvt	nvt	10,7	9,2	7,9	9,0
		777	nvt	nvt	6,9	7,5	5,4	7,4
Zcf	Kempen	222	9,3	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		772	nvt	nvt	7,1	5,0	4,2	5,0
		777	nvt	nvt	3,1	3,7	2,3	3,7
Zcfc	Kempen	111	nvt	3,6	nvt	nvt	nvt	nvt
		727	nvt	nvt	7,0	5,3	4,5	5,1
		777	nvt	nvt	3,1	3,9	2,5	3,9
Zcg	Kempen	222	9,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		227	nvt	nvt	8,0	7,4	7,4	7,3
		377	nvt	nvt	3,0	3,4	2,4	3,2
		777	nvt	nvt	3,4	3,9	2,4	3,8
		977	nvt	nvt	4,8	5,0	3,6	4,8
Zcm	Kempen	227	nvt	nvt	> 11,3	9,8	9,1	9,4
		377	nvt	nvt	6,1	5,7	4,3	5,4
		722	nvt	nvt	> 11,3	9,4	8,7	9,0
		777	nvt	nvt	6,6	5,4	4,1	5,5
		888	nvt	nvt	7,0	7,1	5,7	6,9
		977	nvt	nvt	8,8	6,2	5,1	6,0
Zcm(g)	Kempen	227	nvt	nvt	> 11,3	10,2	9,0	9,3
		277	nvt	nvt	> 11,3	8,0	6,6	7,3
		377	nvt	nvt	6,4	5,5	4,6	5,3
		721	nvt	nvt	10,6	9,6	9,2	9,6

Simulatieëenheid		Teeltrotatie (codes zie Tabel 3.15)	Bemestingsscenario					
Bodem- serie	Landbouw- streek		Perma- nent grasland	Tijdelijk grasland	Forfaitaire norm		Verlaagde bemesting	
					max. chemisch	max. dierlijk	max. chemisch	max. dierlijk
		722	nvt	nvt	> 11,3	9,7	8,6	8,9
		727	nvt	nvt	> 11,3	7,5	6,2	7,0
		771	nvt	nvt	7,0	5,9	4,8	6,0
		772	nvt	nvt	> 11,3	8,0	6,3	7,1
		777	nvt	nvt	6,9	5,1	3,9	5,2
		779	nvt	nvt	10,6	6,2	5,0	6,2
		999	nvt	nvt	8,5	8,9	7,5	8,3
Zdg	Kempen	121	nvt	nvt	> 11,3	8,1	> 11,3	> 11,3
		222	9,2	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
		377	nvt	nvt	4,3	4,7	3,0	3,7
		777	nvt	nvt	3,6	4,2	2,8	4,1
Zdm(b)	Kempen	727	nvt	nvt	> 11,3	8,0	6,2	6,8
		777	nvt	nvt	7,2	5,1	3,9	5,1
Zdm(g)	Kempen	227	nvt	nvt	> 11,3	10,3	8,9	9,2
		277	nvt	nvt	> 11,3	8,0	6,5	7,2
		772	nvt	nvt	> 11,3	8,4	6,3	7,0
		777	nvt	nvt	7,2	5,1	3,9	5,1

7. Welke simulatieëenheden in het bekken van de Varendonkse Loop voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm bij behandeling met monocultuur maïs en bemestingsscenario ‘forfaitaire norm, maximaal dierlijk’?

De bodems in het bekken van de Varendonkse Loop die bij permanente maïsteelt en bij het gegeven bemestingsscenario voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm, zijn opgesomd in Tabel 3.25. Bij elke bodem is ook aangegeven hoeveel jaar (op een totaal van 30 jaar) het nitraatstikstofresidu onder de vastgestelde norm blijft. Om te voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm, moet het residu minimum 27 jaar op 30 lager zijn dan de voorgestelde norm.

Tabel 3.25: Simulatieëenheden in het bekken van de Varendonkse Loop die bij permanente maïsteelt en bemestingsscenario ‘forfaitaire norm, maximaal dierlijk’, voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm

Simulatie-ëenheid	Aantal jaren waarin N-residu < norm	Simulatie-ëenheid	Aantal jaren waarin N-residu < norm
EDx / Kempen	30	SFP1 / Kempen	30
Lec1 / Kempen	30	wScf2 / Kempen	30
Lep1 / Kempen	30	wScfc2 / Kempen	30
Lfp1 / Kempen	30	wSdc2 / Kempen	30
l-Sdg2 / Kempen	30	wSdf2 / Kempen	30
Pec1 / Kempen	30	wZdfc2 / Kempen	30
Peg / Kempen	30	ZAfe / Kempen	29
Sbf / Kempen	29	Zbf / Kempen	29
Sbfc / Kempen	29	Zbfc / Kempen	30
Sbm(g) / Kempen	29	Zbg / Kempen	29
Scf / Kempen	30	Zbm / Kempen	29
Scfc / Kempen	30	Zbm(g) / Kempen	29
Scg / Kempen	30	Zcf / Kempen	30
Scm / Kempen	29	Zcfc / Kempen	30
Scm(g) / Kempen	29	Zcg / Kempen	30
Sdf / Kempen	30	Zcm / Kempen	30
Sdfc / Kempen	30	Zcm(g) / Kempen	30
Sdg / Kempen	30	Zdg / Kempen	30
Sdh / Kempen	30	Zdm(b) / Kempen	30
Seg / Kempen	30	Zdm(g) / Kempen	30

Bijna alle simulatieëenheden in het bekken van de Varendonkse Loop met monocultuur maïs en met bemestingsscenario ‘forfaitaire norm, maximaal dierlijk’ voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm. De enige simulatieëenheid die niet voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm, is een Sdm-bodem in de Kempen. Het nitraatstikstofresidu blijft er slechts 36 % van de jaren (11 op 30) onder de vastgestelde norm.

5. Welke behandelingen geven aanleiding tot respect van de nitraatstikstofresidunorm voor Zdg in de Kempen ?

In Tabel 3.26 worden de (gesimuleerde) behandelingen weergegeven die op een Zdg-bodem in de Kempen niet leiden tot een overschrijding van de nitraatstikstofresidunorm. Het gaat om monocultuur maïs (in elk bemestingsscenario) of een rotatie wintertarwe-maïs-maïs met een verlaagde bemesting (zowel chemisch als dierlijk ingevuld).

Tabel 3.26: Behandelingen die op een Zdg in de Kempen (bekken van de Varendonkse Loop) aanleiding geven tot respect van de nitraatstikstofresidunorm

Teeltrotatie	Bemestingsscenario
maïs – maïs – maïs	Forfaitaire norm: maximaal dierlijk
	Forfaitaire norm: maximaal chemisch
	Verlaagde bemesting: maximaal dierlijk
	Verlaagde bemesting: maximaal chemisch
wintertarwe – maïs – maïs	Verlaagde bemesting: maximaal dierlijk
	Verlaagde bemesting: maximaal chemisch

6. Wordt op Zdg in de Kempen in het bekken van de Varendonkse Loop onder monocultuur maïs en met bemestingsscenario ‘forfaitaire norm maximaal dierlijk’ de nitraatstikstofresidunorm gerespecteerd ?

Ja, het nitraatstikstofresidu blijft bij deze behandeling in 100 % van de jaren onder de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm (= 60 kg ha⁻¹), en voldoet dus aan de nitraatstikstofresidunorm.

Groepen indicatoren opsplitsen:

De behandeling hoeft echter niet noodzakelijk in haar totaliteit bekeken te worden; ze bestaat uit 2 componenten die los van elkaar kunnen variëren:

- Teeltrotatie
- Bemestingsscenario

Er zijn ook meerdere prestatieindicatoren die ook apart hun relevantie hebben:

- Gemiddelde NO₃-N- concentratie in het oppervlaktewater gedurende heel het jaar (gemiddelde over 30 jaar)
- Gemiddelde NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater gedurende de wintermaanden (oktober – maart) (gemiddelde over 30 jaar)
- Gemiddeld NO₃-N-residu dat achterblijft in het profiel (gemiddelde over 30 jaar)
- Aantal jaren dat de NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater (na toepassing procesfactor 2.4) < 11.3 / 16.95 mg NO₃-N l⁻¹
- Aantal winters dat NO₃-N-concentratie in het oppervlaktewater (na toepassing procesfactor 2.4) < 11.3 / 16.95 mg NO₃-N l⁻¹
- Aantal jaren dat het NO₃-N-residu lager blijft dan de voorgestelde NO₃-N-residunorm

Er kunnen m.a.w. ‘partial en compound specifiers’ geformuleerd worden voor ‘Behandeling’ en ‘prestatie’. Op basis van deze partiële prestatie-indicatoren of behandelingen, zijn zeer veel vraagstellingen mogelijk. Onderstaande Tabel 3.27 geeft enkele voorbeelden; uiteraard zijn nog veel andere queries mogelijk.

Tabel 3.27: Voorbeelden van mogelijke queries op basis van partiële aspecten van behandelingen en/of prestatie-indicatoren

	Specifier	Result	Voorbeeld
7.	Bemestingsscenario (= partiële behandeling)	Prestatie per simulatieëenheid en teeltrotatie	Welk gemiddelde [NO ₃ -N] resulteert voor welke teeltrotatie in het bekken van de Varendonkse Loop voor alle simulatieëenheden met een verlaagde maximaal dierlijke bemesting?
8.	Aantal jaren onder 11.3 & aantal winters onder 11.3 (= compound prestatie)	Behandeling per simulatieëenheid	Bij welke behandeling zijn welke simulatieëenheden conform de 11.3 mg N l ⁻¹ grenswaarde in de winter én over het volledige jaar ?
9.	Aantal jaren onder 11.3 mg/l, teeltrotatie (= partiële behandeling en partiële prestatie)	Bemestingsscenario per simulatieëenheid	Bij welk bemestingsscenario zijn welke simulatieëenheden conform de 11.3 mg N l ⁻¹ grenswaarde bij een teeltrotatie suikerbieten – wintertarwe – suikerbieten ?
10	Simulatieëenheden, aantal winters onder nitraatstikstofresidu-norm, bemestingsscenario	Teeltrotatie	Welke teeltrotatie geeft aanleiding tot respect van de nitraatstikstofresidunorm op een Zdg-bodem in het bekken van de Varendonkse Loop bij een forfaitaire bemesting maximaal chemisch ?

7. Welk gemiddelde NO₃-N-concentratie resulteert voor welke teeltrotatie voor alle simulatieëenheden in het Bekken van de Varendonkse Loop met een verlaagde maximaal dierlijke bemesting?

De gemiddelde NO₃-N-concentratie per simulatieëenheid en per teeltrotatie bij een verlaagde, maximaal dierlijke bemesting, is weergegeven in Tabel 3.28. Alle simulatieëenheden bevinden zich in de Kempen, zodat enkel de bodemserie gespecificeerd wordt. De blanco cellen zijn niet-gesimuleerde behandelingen op de betreffende simulatieëenheid.

Tabel 3.28: Gemiddelde NO₃-N-concentratie voor de gesimuleerde bodems in het Bekken van de Varendonkse Loop bij bemestingsscenario 3 en verschillende teeltrotaties

Bodem-serie	Teeltrotatie (codes: zie Tabel 3.15)																			
	177	227	272	277	327	333	377	721	722	727	771	772	773	777	779	888	929	977	999	alle
EDx														3,2						3,2
Lec1							2,9		5,4				3	2,9						3,2
Lep1	3,9		5,8						5,5		3,9			3						4,2
Lfp1		5,9							5,5			3,9		3						4,1
l-Sdf2									9,3											9,3
l-Sdg2						3,5	4,1						5,8	4,4						4,7
Pdc1									9,0											9,0
Pdm						7,5			12,7											10,1
Pec1							2,9		6,0	4,6	3,6			3,1						3,7
Peg								6,6						3,1						4,8
Sbf														6,1				7,6		6,8
Sbfc												7,9		7,0						7,2
Sbm(g)							8,1							8,6						8,3
Scf														4,4						4,4
Scfc												5,8		4,4						5,1
Scg														4,0						4,0
Scm			10,7				6,8		10,5		7,8	8,7	6,7	6,3				7,2		6,9
Scm(g)						7,5	6,8		10,5					6,3					9,9	6,8
Sdf				7,2	6,8	6,9	6,1	10,9	9,4			5,6	6	5,4	6,6				8,7	6,3
Sdfc														5,4						5,4
Sdg		7,6												4,5						5,1
Sdh									7,1		4,9			4,6						4,9
Sdm	10,8		18,8				11		18,6		10,6	16,1	9,1	7,3		9,7	12,8			10,1
Sdm(g)								16,1		13,3		16,1		7,3	9,3					10,4
Seg							3,6		6,1					3,2						4,3
SFP1			9,8				6,1			6,8		7,3		5,0						5,8
wScf2														4,2						4,2

Bodem-serie	Teeltrotatie (codes: zie Tabel 3.15)																			
	177	227	272	277	327	333	377	721	722	727	771	772	773	777	779	888	929	977	999	alle
wScfc2							3,6		7,3					4,2					7,8	5,2
wSdc2											7,4			5,5						6,7
wSdf2		9,2		7,4							7,5	7,4		5,8						6,9
wZdfc2										5,9		6,0		4,7	5,9				7,6	5,4
ZAfe							4,7			7,1				5,6					10,6	6,7
Zag		8,8																		8,8
Zbf														5,7						5,7
Zbfc														4,9						4,9
Zbg							4,0							4,9						4,5
Zbm									9,5					7,1				8,9		7,4
Zbm(g)							6,7			9,0				7,4						7,5
Zcf												5,0		3,7						4,3
Zcfc										5,1				3,9						4,2
Zcg		7,3					3,2							3,8				4,8		4,2
Zcm		9,4					5,4		9,0					5,5		6,9		6,0		6,2
Zcm(g)		9,3		7,3			5,3	9,6	8,9	7,0	6,0	7,1		5,2	6,2				8,3	5,9
Zdg							3,7							4,1						4,0
Zdm(b)										6,8				5,1						5,9
Zdm(g)		9,2		7,2								7,0		5,1						6,2
Alle SE	7,3	8,2	11,3	7,3	6,8	6,4	5,4	9,96	8,9	7,1	6,2	8,225	6,2	5,3	7,5	8,3	12,8	6,9	8,8	6,1

8. Bij welke behandeling zijn welke simulatieëenheden in het bekken van de Varendonkse Loop al dan niet conform de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm en aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (11.3 mg NO₃-N l⁻¹)?

Onderstaande Tabel 3.29 geeft voor elke simulatieëenheid aan of de behandeling (= combinatie teelt + bemestingsscenario) al dan niet conform is met de nitraatstikstofresidunorm en de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. De tabel maakt duidelijk dat, wanneer aan de nitraatstikstofresidunorm voldaan is, niet noodzakelijk ook aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn voldaan is en omgekeerd.

Tabel 3.29: Tabel die aangeeft aan welke norm een bepaalde behandeling op een bepaalde simulatieëenheid al dan niet voldoet (groen = voldoet aan de norm, rood = voldoet niet aan de norm, oranje = niet gesimuleerd, blanco = niet van toepassing)

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N	
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde
EDx	222	■	■										
	777			■	■	■	■	■	■	■	■		
Lec1	111											■	■
	222	■	■										
	377			■	■	■	■	■	■	■	■		
	722			■	■	■	■	■	■	■	■		
	773			■	■	■	■	■	■	■	■		
	777			■	■	■	■	■	■	■	■		
Lep1	177			■	■	■	■	■	■	■	■		
	222	■	■										
	272			■	■	■	■	■	■	■	■		
	722			■	■	■	■	■	■	■	■		
	771			■	■	■	■	■	■	■	■		
	777			■	■	■	■	■	■	■	■		
Lfc1	222	■	■										
Lfp1	222	■	■										
	227			■	■	■	■	■	■	■	■		
	722			■	■	■	■	■	■	■	■		
	772			■	■	■	■	■	■	■	■		
	777			■	■	■	■	■	■	■	■		
Lfpm1	222	■	■										
l-Scf2	222	■	■										
l-Sdf2	722			■	■	■	■	■	■	■	■		
l-Sdg2	222	■	■										
	333			■	■	■	■	■	■	■	■		
	377			■	■	■	■	■	■	■	■		

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N	
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde
	772												
	777												
Pdc1	222												
	722												
Pdg	222												
Pdm	222												
	333												
	722												
Pec1	222												
	377												
	722												
	727												
	771												
Peg	777												
	222												
	721												
Sbf	777												
	222												
	977												
Sbfc	772												
	777												
Sbm(g)	377												
	777												
Scf	222												
	777												
Scfc	772												
	777												
Scg	777												
Scm	221												
	222												
	272												
	377												
	722												
	771												
	772												
	773												
	777												
977													
Scm(g)	222												

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N		
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	
	333													
	377													
	722													
	777													
	999													
Sdf	221													
	222													
	277													
	327													
	333													
	377													
	721													
	722													
	772													
	773													
	777													
	779													
	999													
	Sdfc	222												
777														
Sdg	222													
	777													
Sdh	222													
	722													
	771													
Sdm	777													
	177													
	221													
	222													
	272													
	377													
	722													
	771													
	772													
	773													
	777													
	888													
929														
Sdm(g)	222													

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N	
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde
	721												
	727												
	772												
	777												
	779												
Seg	121												
	222												
	377												
	722												
	777												
SFp1	221												
	222												
	272												
	377												
	727												
	772												
wScf2	222												
	777												
	777												
wScfc2	221												
	222												
	377												
	722												
	777												
	999												
wSdc2	771												
	777												
wSdf2	222												
	227												
	277												
	771												
	772												
	777												
wZdfc2	111												
	222												
	727												
	772												
	777												
	779												
	999												

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N	
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde
ZAfe	111												
	222												
	377												
	727												
	777												
	999												
Zag	227												
Zbf	777												
Zbfc	222												
	777												
Zbg	222												
	377												
	777												
Zbm	222												
	722												
	777												
	977												
Zbm(g)	222												
	377												
	727												
	777												
Zcf	222												
	772												
	777												
Zcfc	111												
	727												
	777												
Zcg	222												
	227												
	377												
	777												
	977												
Zcm	222												
	227												
	377												
	722												
	777												
	888												
	977												
Zcm(g)	222												

Bodemserie in de Kempen	Teeltrotatie	permanent grasland 450 N		forfaitair max. chemisch		forfaitair max. dierlijk		verlaagd max. chemisch		verlaagd max. dierlijk		tijdelijk grasland 450 N		
		residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	residunorm	grenswaarde	
	227													
	277													
	377													
	721													
	722													
	727													
	771													
	772													
	777													
	779													
	999													
Zdg	121													
	222													
	377													
	777													
Zdm(b)	727													
	777													
Zdm(g)	222													
	227													
	277													
	772													
	777													

9. Bij welk bemestingsscenario zijn welke simulatieëenheden conform de grenswaarde van 11.3 mg NO₃-N l⁻¹ bij een teeltrotatie suikerbieten – wintertarwe – suikerbieten ?

In Tabel 3.30 zijn de gesimuleerde scenario's beschreven met een teeltrotatie suikerbieten – wintertarwe – suikerbieten. Alle scenario's voldoen aan de nitraatrichtlijn, met uitzondering van bemestingsscenario 4 op een (x)Lba2-bodem in de zandleemstreek (hoewel dit scenario wel voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm).

Tabel 3.30: Bemestingsscenario's die op de betreffende simulatieëenheid geen aanleiding geven tot overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn bij een teeltrotatie suikerbieten – wintertarwe – suikerbieten

Bodemserie	Landbouwstreek *	Bemestings-scenario **	[NO ₃ -N] _{gem}	jaren [NO ₃ -N] < 11,3 mg l ⁻¹	jaren [NO ₃ -N] < 16,95 mg l ⁻¹	voldoet aan nitraatrichtlijn ? ***	NO ₃ -N-residu 0-90 cm	Jaren N-residu < NO-residunorm	voldoet aan NO ₃ -N-residunorm ****
Acp(c)	ZL	4	5,5	30	30	ja	54,7	27	ja
Acp1	ZL	4	4,7	30	30	ja	46,2	27	ja
Aca1	ZL	4	5,0	30	30	ja	46,9	29	ja
Aba1	ZL	4	5,6	30	30	ja	45,2	30	ja
		3	6,0	29	30	ja	48,3	27	ja
Aba(b) 1	ZL	4	5,8	30	30	ja	47,1	28	ja
		3	6,2	29	30	ja	50,0	27	ja
Aca1	ZL	4	4,9	29	30	ja	46,9	29	ja
(x)Lba 2	ZL	4	7,2	27	30	nee	50,3	27	ja
Lbp1	ZL	4	6,4	29	30	ja	48,3	27	ja
WgLdx 2	ZL	4	4,4	30	30	ja	46,2	30	ja
		3	4,4	30	30	ja	48,5	29	ja
A4	P	4	4,2	30	30	ja	36,1	30	ja
		3	4,5	30	30	ja	39,8	30	ja
		1	5,7	30	30	ja	49,6	27	ja
B1	P	4	4,2	30	30	ja	46,6	29	ja
		3	4,4	30	30	ja	49,4	29	ja
A5	P	4	3,5	30	30	ja	38,2	30	ja
		3	4,0	30	30	ja	42,0	30	ja
B2	P	4	4,1	30	30	ja	45,0	29	ja
		3	4,5	30	30	ja	48,8	28	ja
OU2	P	4	3,7	30	30	ja	42,0	29	ja
		3	3,8	30	30	ja	43,4	29	ja
P4	P	4	3,5	30	30	ja	35,5	30	ja
		3	3,7	30	30	ja	38,4	30	ja
		1	4,9	30	30	ja	49,0	28	ja

* ZL = zandleemstreek, P = Polders; ** 1 = forfaitair max. dierlijk, 3 = verlaagd max. dierlijk, 4 = verlaagd max. chemisch; *** voldoen aan nitraatrichtlijn: NO₃-N concentratie in minstens 29 van de 30 jaren < 11.3 mg NO₃-N l⁻¹
 **** voldoen aan nitraatstikstofresidunorm: NO₃-N-residu in minstens 27 van de 30 jaren < voorgestelde nitraatstikstofresidunorm

10. Welke teeltrotatie geeft aanleiding tot respect van de nitraatstikstofresidunorm op een Zdg-bodem in de Kempen in het bekken van de Varendonkse Loop bij een bemesting ‘forfaitaire norm maximaal chemisch’ ?

Er zijn in SA2 slechts 2 teeltrotaties doorgerekend op een Zdg-bodem in de Kempen:

- maïs monocultuur
- rotatie wintertarwe – maïs – maïs

De simulatieresultaten voor deze 2 rotaties zijn weergegeven in Tabel 3.31. Bij maïs monocultuur blijft het residu elk jaar onder de norm (60 kg ha^{-1}), en wordt dus ook voldaan aan de nitraatstikstofresidunorm. Bij een rotatie wintertarwe – maïs – maïs blijft het residu in 86 % van de jaren (26 op 30) onder de norm, wat te weinig is om te voldoen aan de nitraatstikstofresidunorm. Hoewel voor deze rotatie dus niet voldaan is aan de nitraatstikstofresidunorm, wordt wel voldaan aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

Tabel 3.31: Resultaten van een bemesting volgens de forfaitaire norm, maximaal chemisch ingevuld, op een Zdg in de Kempen voor de gesimuleerde teeltrotaties

Teeltrotatie	Residu-normen	$[\text{NO}_3\text{-N}]_{\text{gem}}$	jaren $[\text{NO}_3\text{-N}] < 11,3 \text{ mg l}^{-1}$	jaren $[\text{NO}_3\text{-N}] < 16,95 \text{ mg l}^{-1}$	voldoet aan grenswaarde	$\text{NO}_3\text{-N}$ -residu 0-90 cm	jaren residu $<$ residunorm	voldoet aan $\text{NO}_3\text{-N}$ -residunorm
maïs – maïs – maïs	60 - 60 - 60	3,6	30	30	ja	25,1	30	ja
wintertarwe – maïs – maïs	50 - 60 - 60	4,3	30	30	ja	30,5	26	nee

Regionale analyse

Naast de perceelsspecifieke queries op basis van groepen variabelen en ‘partial en compound specifiers’, zijn ook regionaal gerichte bevestigingen mogelijk. Hierbij vormen de voorkomende simulatieëenheden in een stroomgebied, hun teeltrotatie en hun oppervlakteaandeel in die regio, de specifiek.

Een mogelijke query zou kunnen zijn:

11. Bij welk bemestingsscenario is in het Bekken van de Molenbeek/Markebeek de oppervlakte die niet aan de nitraatstikstofresidunorm voldoet, zo klein mogelijk ? Welk aandeel van de oppervlakte voldoet bij dit bemestingsscenario nog steeds niet aan de norm?

In het bekken van de Molenbeek/Markebeek is de oppervlakte die niet aan de nitraatstikstofresidunorm voldoet het kleinst bij een verlaagde bemesting die maximaal chemisch wordt ingevuld (Tabel 3.32). De landbouwoppervlakte waar de nitraatstikstofresidunorm bij dergelijke bemestingsstrategie nog steeds overschreden wordt, bedraagt 66 ha (= bijna 5 % van de gesimuleerde landbouwoppervlakte).

Tabel 3.32: Gesimuleerde oppervlakte in het bekken van de Molenbeek/Markebeek die bij de verschillende bemestingsscenario's niet voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm

Bemestingsscenario	Oppervlakte die NIET voldoet aan de nitraatstikstofresidunorm (ha)
Verlaagd max. chemisch	66,13
Verlaagd max. dierlijk	76,07
Forfaitair max. chemisch	423,12
Forfaitair max. dierlijk	265,01
Totaal gesimuleerde landbouwopp.	1412,87

3.5.3 Besluit

De output van scenarioanalyse 2 laat toe om zeer uiteenlopende vragen te beantwoorden, waarbij de verschillende variabelen uit de output als specifiek in een query kunnen gebruikt worden. Naast de kartografische voorstelling(en) van de output van SA2, werden in dit hoofdstuk enkele voorbeelden van relevante queries geformuleerd en beantwoord. Er zijn echter nog veel andere bevragingen en (ruimtelijke) analyses mogelijk op basis van de output van SA2.

3.6 Besluit

De forfaitaire bemestingsnormen 2003 die werden doorgerekend in de tweede scenarioanalyse (SA2), werden destijds door deskundigen zo vastgesteld dat, globaal genomen, de voorgestelde normen voldoende waren om landbouw (productie) en milieu in grote mate te verzoenen, rekening houdend met de nitraatrichtlijn en de op dat ogenblik beschikbare kennis. De huidige simulaties tonen aan dat deze normen aanvaardbaar zijn vanuit milieu-oogpunt en dat zij tot een beperkt nitraatstikstofresidu, en dus tot een beperkte nitraatuitspoeling, kunnen leiden, mits de nodige voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen en mits rekening gehouden wordt met perceelsspecifieke kenmerken.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de bemestingsnormen geen bemestingsadviezen zijn! Een belangrijk aspect hierbij is dat de normen geen rekening houden met de reële bodemvoorraad. Er werd duidelijk aangetoond dat bemesten volgens de bestaande forfaitaire normen geen garantie inhoudt dat de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen worden gerespecteerd.

Of voldaan wordt aan de nitraatstikstofresidunormen bij een maximale invulling van de forfaitaire bemestingsnormen is afhankelijk van perceelsspecifieke kenmerken. Bij een oordeelkundige bemesting moet steeds rekening worden gehouden met de stikstofvoorraad in de bodem, met de stikstofbehoefte van de teelt, met de stikstofvrijstelling uit oogstresten en groenbemesters én met het stikstofleverend vermogen van de bodem om het nitraatstikstofresidu op een aanvaardbaar niveau te kunnen houden.

Een oordeelkundige bemesting zal in de meeste gevallen leiden tot het respecteren van de residunormen, al bleek dit niet rechtstreeks uit de simulatieresultaten. In de simulatieresultaten werden immers steeds dezelfde bemestingsscenario's doorgerekend (maximale en verlaagde bemesting) en werd de bemesting niet aangepast aan perceelsspecifieke kenmerken. Wel bleek duidelijk uit de simulatieresultaten dat bij een verlaagde bemesting in bijna alle gevallen voldaan werd aan de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen, in tegenstelling tot de scenario's met een maximale invulling van de forfaitaire normen.

De analyse van de output van SA2 leerde tevens dat de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen geen sluitende garantie bieden wat betreft het respecteren van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. De voorstelde nitraatstikstofresidunormen blijken in sommige gevallen te streng, en soms niet streng genoeg om te voldoen aan de nitraatrichtlijn. Deze schijnbare tegenstelling kan verklaard worden door het feit dat de scenarioanalyse ter bepaling van de nitraatstikstofresidunormen (SA1) als resultaat intervallen aangaf voor het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu per 'gewas-textuur' combinatie. De uiteindelijke nitraatstikstofresidunormen (Tabel 2.29) werden echter gebaseerd op gemiddelde waarden omwille van de praktische haalbaarheid en controleerbaarheid. Hierdoor kan het zijn dat op sommige percelen wel aan de nitraatstikstofresidunorm is voldaan maar niet aan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn, en omgekeerd.

De output van SA2 kan cartografisch voorgesteld worden en laat toe om zeer uiteenlopende vragen te beantwoorden.

4 Aanbevelingen aan de landbouwers

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden aanbevelingen voor de landbouwers geformuleerd die ervoor kunnen zorgen dat het nitraatstikstofresidu op een aanvaardbaar niveau blijft. De noodzaak van een bereedeneerde bemesting wordt aangetoond en vervolgens worden per gewas of gewasgroep concrete aanbevelingen gedaan. De voornaamste akkerbouwgewassen worden afzonderlijk besproken, gevolgd door aanbevelingen voor zowel gemaaid als begraasd grasland en tenslotte komt de groenteteelt aan bod. De aanbevelingen worden steeds ondersteund door proefveld- en/of literatuurgegevens.

4.2 Bereedeneerde bemesting

4.2.1 Inleiding

Bij het streven naar een bereedeneerde bemesting kan er op drie niveaus voor ondersteuning gezorgd worden, namelijk via een standaardgrondontleding, een mestanalyse en een mineraal stikstofonderzoek (0-90 cm). Deze drie typen van onderzoeken en adviezen kan de landbouwer aanwenden als instrumenten om op een bereedeneerde basis te bemesten. Door de bemesting aan te passen aan de stikstofbehoefte en het stikstofopnameverloop van het gewas en door rekening te houden met de vrijzetting van stikstof door mineralisatie en andere processen, zal het nitraatstikstofresidu beperkt worden en zal het risico op nitraatuitspoeling gereduceerd kunnen worden. Verder wordt ook aandacht besteed aan het tijdstip en de wijze van mesttoediening en aan het behoud van de chemische bodemvruchtbaarheid.

4.2.2 Standaardgrondontleding

Een standaardgrondontleding geeft inzicht in de algemene bodemvruchtbaarheid van het perceel (zuurtegraad, organische stofvoorziening, voorraad aan beschikbare voedingsstoffen). Via een aangepast bekalkings- en bemestingsadvies (N, P, K, Mg en eventueel Na, B) wordt het optimale opbrengstpotentieel bij een evenwichtige chemische bodemvruchtbaarheid nagestreefd. Een goede bodemstructuur garandeert een goede ontwikkeling van het wortelstelsel zodat de aangeboden voedingsstoffen beter benut worden en de meststofgift aangepast kan worden. De bodemstructuur wordt in belangrijke mate beïnvloed door de pH en het humusgehalte.

Een regelmatige grondontleding (om de 3 tot 4 jaar) verschaft de landbouwer de noodzakelijke kennis van zijn perceel om een optimale opbrengst en nutriëntenopname te kunnen realiseren. Het stikstofbemestingsadvies geformuleerd bij een standaardgrondontleding is een richtwaarde en is gebaseerd op de stikstofbehoefte van het gewas, het humusgehalte, de grondsoort, de voortelt, de teeltrotatie en de eventuele nawerking van gescheurd grasland.

4.2.3 Mestanalyse

Inleiding

Het gebruik van dierlijke mest heeft bedrijfseconomisch gezien een duidelijke meerwaarde ten opzichte van kunstmest. Allereerst heeft deze mest een positief effect op de bodem: via dierlijke mest vindt de noodzakelijke toediening van organische stof plaats. Het toedienen van organische stof bevordert het bodemleven waardoor een betere bodemstructuur, een betere

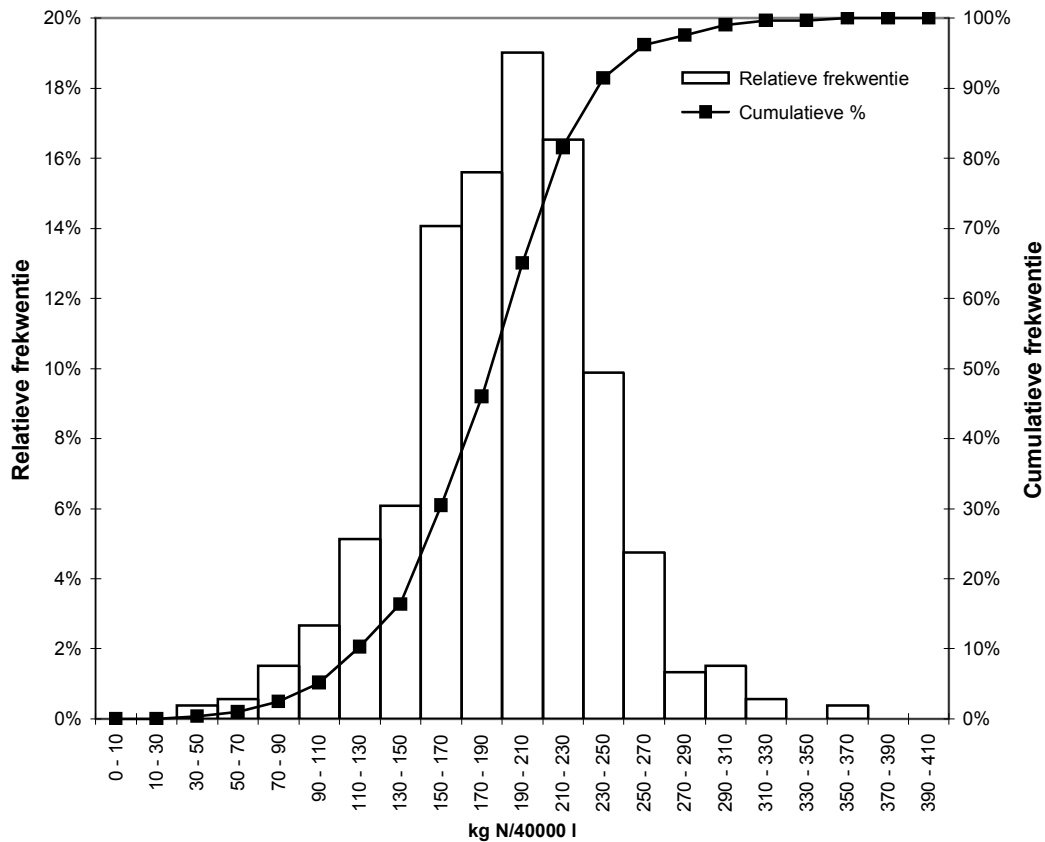
bewerkbaarheid en een beter vochthoudend vermogen ontstaat. Een ander belangrijk voordeel van dierlijke mest is dat niet alleen hoofdelementen zoals stikstof, fosfaat en kali worden gegeven, maar ook andere mineralen, zoals boor en magnesium. Het gebruik van dierlijke mest werkt bovendien kostenverlagend: op basis van de bodemtoestand en de behoefte van het gewas is het gebruik van kunstmest te verlagen door dierlijke mest te gebruiken. Een onoordeelkundig gebruik van dierlijke mest leidt echter tot kwaliteitsverlies bij gewassen als suikerbieten en aardappelen en verhoogt het risico op nitraatuitspoeling. Voor een optimale inzet van dierlijke mest is het van groot belang de samenstelling en de werkzaamheid van het product goed te kennen.

Variatie in samenstelling

De samenstelling van de mest kan sterk afwijken van de gemiddelde samenstelling omdat deze ondermeer afhangt van de voeding van de dieren, de hoeveelheid reinigingswater en van het vermorste drinkwater (Bries *et al.*, 1996). Rekenen met gemiddelde samenstelling en werking van dierlijke mestsoorten leidt dikwijls tot een onderschatting van de hoeveelheid werkzame stikstof die toegediend wordt, met alle gevolgen vandien voor het nitraatstikstofresidu. Anderzijds kan echter ook minder stikstof toegediend worden dan gemiddeld verwacht, wat dan weer nadelig is voor de opbrengst en de N-opname door het gewas. Deze onbekende factor kan vermeden worden door het uitvoeren van een mestanalyse, waarbij de exacte samenstelling van de mest gemeten wordt.

Het stikstofgehalte in runderdrijfmest bedraagt volgens de ontledingen uitgevoerd op de Bodemkundige Dienst van België in 1999 gemiddeld 4.8 kg N per ton, met een belangrijke spreiding van 1.1 tot 9.2 kg N ton⁻¹. Met 40 ton ha⁻¹ runderdrijfmest wordt dus gemiddeld 192 kg N ha⁻¹ toegediend. Uit de mestanalyseresultaten kan afgeleid worden dat bijna 20 % van de rundveehouders met toediening van 40 ton ha⁻¹, minder dan 140 kg N ha⁻¹ bemesten. Anderzijds geeft 10 % van de landbouwers met de stikstofrijkste runderdrijfmest meer dan 240 kg N ha⁻¹ via 40 ton runderdrijfmest (Figuur 4.1). Deze cijfers tonen duidelijk de grote variatie in mestsamenstelling. Wanneer men dus onzeker is over de exacte samenstelling, houdt dit een enorm risico in om een optimale opbrengst te bereiken en voor het al dan niet overschrijden van de nitraatstikstofresidunorm.

Gezien deze variatie in samenstelling van dierlijke mest kunnen we nauwelijks spreken over een gemiddelde samenstelling.



Figuur 4.1: Frequentieverdeling van de stikstofaanvoer via 40.000 l ha⁻¹ runderdrijfmest op basis van meta-analyses in 1999 (Bron: Bodemkundige Dienst van België)

Werkzaamheid³

De stikstof in mest kan ingedeeld worden in 3 fracties, namelijk Nm, Ne en Nr (Lammers, 1984).

- Nm (minerale stikstof): dit is de stikstof die in minerale vorm aanwezig is, hoofdzakelijk onder vorm van ammoniak;
- Ne (gemakkelijk mineraliseerbare organisch gebonden stikstof): dit is de stikstof die ingebouwd is in de makkelijk aantastbare organische stof, die wordt gemineraliseerd in de periode tot één jaar na aanwending;
- Nr (reststikstof of stikstof ingebouwd in de moeilijk mineraliseerbare organische stof): de afbraak van de Nr-fractie begint een jaar na aanwending van de mest en zal zich over een reeks van jaren uitstrekken.

Een belangrijk onderscheid tussen drijfmest en stalmest is dat het aandeel minerale stikstof in de totale stikstof voor stalmest gemiddeld duidelijk lager ligt dan in drijfmest en dat de restfractie gemiddeld heel wat hoger is. De C/N-verhouding van runderdrijfmest is gemiddeld duidelijk hoger dan van varkensdrijfmest. Voor de stalmesten ligt deze verhouding op een nog hoger niveau.

De bemestende waarde van dierlijke mest wordt uitgedrukt door middel van werkingscoëfficiënten. Hierbij wordt de opname door de plant van de voedingselementen uit

³ Deze paragraaf is gebaseerd op: Coppens, 2002

dierlijke mest vergeleken met de opname van deze elementen bij eenzelfde aanvoer uit minerale meststoffen.

De N-werkingscoëfficiënt van organische mest hangt af van een hele reeks factoren: toedieningstijdstip, wijze van uitrijden, grondsoort, weersomstandigheden (temperatuur en de vochttoestand van de bodem), gewas.

In Tabel 4.1 is de gemiddelde bemestingswaarde voor gebruik op bouwland en grasland weergegeven in functie van grondsoort en toedieningstijdstip.

De werkingscoëfficiënt bij uitrijden van drijfmest in het najaar op niet bebouwde grond is heel wat lager dan bij uitrijden in het voorjaar door stikstofverliezen als gevolg van uitspoeling en denitrificatie tijdens de winter. Zo wordt bijvoorbeeld per 10 ton runderdrijfmest 48 kg totale N aangebracht maar hiervan komt bij toediening in september-oktober op bouwland slechts 10 tot 13 kg N ter beschikking van de volgteelt. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het hier gaat om een theoretisch voorbeeld aangezien het uitrijden van mest in het najaar niet toegelaten is. De werkingscoëfficiënt neemt tevens toe op akkerland bij een drijfmesttoediening in maart ten opzichte van februari. Het uitstellen van de toediening van dierlijke mest van februari naar maart op akkerland kan bijgevolg bijdragen tot een verminderde nitraatuitspoeling gezien de hogere werkzaamheid van de toegediende mest.

Voor de berekening van de N-werkingscoëfficiënt wordt uitgegaan van de fracties N_m en N_e , omdat deze fracties in het jaar na aanwending bepalen of nog een aanvullende N-gift nodig is. Uit de restfractie N_r komt pas stikstof vrij na het eerste jaar van toediening. Op percelen waar regelmatig drijfmest wordt toegepast kan geleidelijk een accumulatie van tamelijk snel afbreekbaar materiaal vastgesteld worden. Op deze gronden zal het stikstofleverend vermogen van de grond geleidelijk verhogen (Vanongeval, 1999).

Bij gebruik van stalmest op bouwland dient er rekening mee gehouden te worden dat ook het tweede en derde jaar na toediening nog een stikstofwerking te verwachten is: de hoeveelheid die het tweede en derde jaar vrijkomt kan geraamd worden op resp. 25 % en 15 % van de werking gedurende het eerste jaar bij toediening in het voorjaar (Geypens *et al.*, 1992).

Tabel 4.1: Gemiddelde stikstofbemestingswaarde van drijfmest en stalmest in kg N per 10 ton mest in functie van bodemtextuur en toepassingstijdstip (Bemorgex, Geypens *et al.*, 1992)

Mestsoort	Bodem	Bouwland			Grasland		
		najaar	februari	maart	najaar	februari	maart
Runderdrijfmest	Zand	10	21	25	19	26	26
	Zandleem	11	22	25	19	26	26
	Leem	13	22	25	19	26	26
	Klei	10	22	25	13	20	19
Varkensdrijfmest	Zand	19	43	51	37	52	51
	Zandleem	22	44	51	37	52	51
	Leem	24	45	51	37	52	51
	Klei	19	46	51	24	38	38
Runderstalmest	Zand	13	23	26			
	Zandleem	14	23	26			
	Leem	15	24	26			
	Klei	13	24	26			
Varkensstalmest	Zand	17	32	36			
	Zandleem	19	33	36			
	Leem	20	33	36			
	Klei	17	33	36			

4.2.4 Perceelsspecifiek stikstofbemestingsadvies

Algemeen

Bij de standaardgrondontleding wordt een richtinggevend stikstofbemestingsadvies gegeven op basis van het humusgehalte, de grondsoort en de teeltrotatie. Op basis van een meting van de minerale stikstofvoorraad in het voorjaar in het bodemprofiel (0-90 cm) en de berekening van de te verwachten stikstofmineralisatie kunnen nauwkeurige stikstofbemestingsadviezen worden berekend. Grondstaalname voor de bepaling van een perceelsspecifiek stikstofbemestingsadvies kan in het voorjaar gebeuren om de totale stikstofbehoefte van een perceel te kennen. Het kan ook uitgevoerd worden minstens vier weken na een drijfmesttoediening. In dat geval wordt aangegeven of een aanvullende minerale stikstofbemesting aangewezen is.

De aanbevolen parameters die in rekening dienen gebracht te worden bij het opstellen van het bemestingsadvies kunnen ingedeeld worden in drie groepen:

- *De minerale stikstofreserve*
Deze parameters geven aan hoeveel opneembare stikstof (nitraat- en ammoniumstikstof) er in het bewortelbare bodemprofiel aanwezig is op het moment van staalname (gemeten parameters) en waar deze stikstof zich in het bodemprofiel bevindt.
- *Stikstofvrijstelling door mineralisatie*
Door mineralisatie van de bodemhumus komt er elk jaar een grote hoeveelheid minerale stikstof beschikbaar voor de plant. Met deze mineralisatie kan rekening gehouden worden door de koolstoffactor. Deze is gebaseerd op het koolstofgehalte van de bovenste bodemlaag, de bodemtextuur en het bewortelingspatroon. Ook de stikstofvrijstelling uit groenbemesters (in functie van het type groenbemester en de ontwikkeling ervan) en uit oogstresten dient in rekening gebracht te worden bij de berekening van het advies.

De stimulering van de mineralisatie door recente bekalking of door het scheuren van een weide dient eveneens in rekening te worden gebracht.

In het geval van organische bemesting wordt berekend hoeveel minerale stikstof uit de organische stikstof fractie gaat vrijkomen gedurende het groeiseizoen.

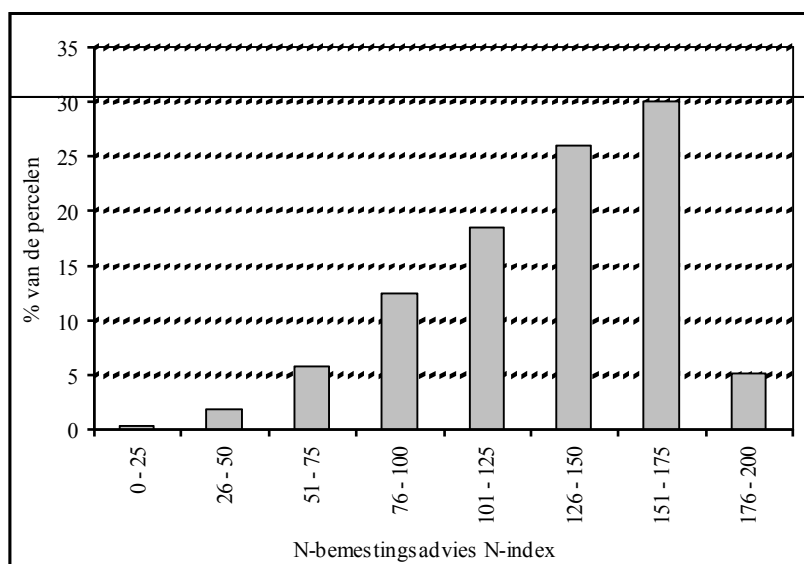
Via deze parameters wordt berekend hoeveel stikstof zal vrijkomen in de loop van het groeiseizoen (berekende parameters, meting van het koolstofpercentage als maat voor het humusgehalte van de bodem).

- *Stikstofverliezen*

Deze groep van parameters bevat alle factoren die een negatieve invloed hebben op de stikstoflevering door de bodem: minder goede structuur, te lage pH, de periode tussen staalname en begin van N-opname door de teelt (berekende parameters).

De som van al deze parameters is een maat voor de totale hoeveelheid stikstof die ter beschikking komt van de teelt.

In Figuur 4.2 wordt de spreiding van de perceelsspecifieke bemestingsadviezen voor suikerbieten voor 2001 gegeven op basis van de N-index methode (Geypens *et al.*, 1994). Uit de figuur volgt dat de bemestingsadviezen variëren van minder dan 25 kg N ha⁻¹ tot 200 kg N ha⁻¹ en dus sterk afhankelijk zijn van het perceel (voorgeschiedenis, voorteelt, N-leverend vermogen, N-voorraad in de bodem, ...).



Figuur 4.2: Procentuele verdeling van de stikstofbemestingsadviezen voor suikerbieten op basis van de N-index-methode in 2001 (bron: Bodemkundige Dienst van België)

Belang van mineralisatie uit bodemorganische stof

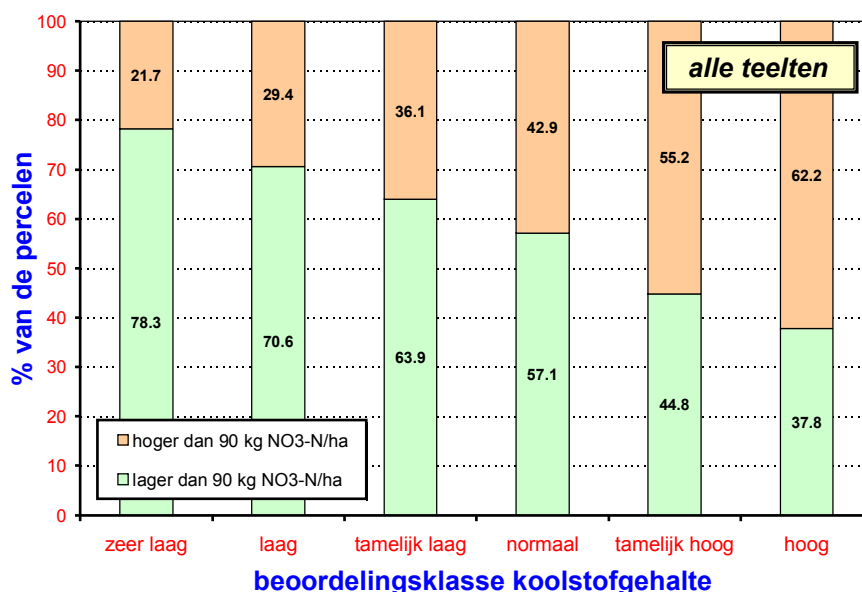
Een belangrijke en vaak onderschatte aanvoerpost is de stikstof die vrijkomt door mineralisatie uit de bodemhumus of andere vormen van organische stikstof (oogstresten, organische meststoffen, ...). Hoe hoger het humusgehalte in de bodem, hoe groter in het algemeen de hoeveelheid stikstof die vrijkomt in de loop van het groeiseizoen, ook wanneer de gewassen reeds geoogst zijn. Als de bodem voldoende vocht bevat en voldoende warm is, zal de mineralisatie verder doorgaan.

Het belang van het humusgehalte blijkt uit Figuur 4.3 waarin het nitraatstikstofresidu tussen 1 oktober en 15 november wordt weergegeven in functie van het koolstofpercentage. Deze

figuur toont aan dat in de groep van percelen met een zeer laag koolstof- of humusgehalte bijna 80 % van de bemonsterde detailobjecten een lager nitraatstikstofresidu hadden dan 90 kg NO₃-N ha⁻¹. Dit percentage daalt stelselmatig tot ongeveer 38 % bij de groep met een hoog humusgehalte.

De figuur werd opgesteld in het kader van de beheersovereenkomsten water. Het MAP II biedt de mogelijkheid aan de landbouwer om voor percelen gelegen in de kwetsbare zones 'water' op vrijwillige basis met de overheid beheersovereenkomsten af te sluiten. Indien de landbouwer o.a. aantoonde dat het nitraatstikstofresidu in het najaar tussen 1 oktober en 15 november kleiner is dan de huidige nitraatstikstofresidunorm 90 kg NO₃-N ha⁻¹ tot op een diepte van 90 cm en mits voldaan wordt aan bijkomende voorwaarden, heeft hij recht op een vergoeding die zijn inkomstenverliezen door de verstrengde normen opvangt. Het betreft hier dus geenszins allemaal percelen waarvoor een bemestingsadvies werd opgesteld.

De beoordeling van het koolstofgehalte varieert naargelang de grondsoort en het bodemgebruik (akkerbouw of weide). Figuur 4.3 werd opgesteld op basis van de beoordeling van het koolstofgehalte in plaats van op basis van het koolstofgehalte zelf, aangezien op deze manier akkerlandpercelen en weiden samengenomen konden worden, alsook alle grondsoorten.



Figuur 4.3: Verhouding van het aantal nitraatmetingen onder/boven de huidige nitraatstikstofresidunorm in functie van het koolstofgehalte van de bodem gebaseerd op ongeveer 18 000 percelen (Bron: Bodemkundige Dienst van België)

Uit Figuur 4.3 blijkt nogmaals het belang van een beredeneerde bemesting die rekening houdt met bodemfactoren zoals onder andere het humusgehalte. Via een bodemstaalname doet de landbouwer kennis op over zijn percelen en kan hij zijn bemesting hieraan aanpassen via een aangepast en perceelsspecifiek stikstofbemestingsadvies.

Belang van mineralisatie uit oogstresten en groenbemesters

Via de mineralisatie van oogstresten en groenbemesters kan ook een aanzienlijke hoeveelheid minerale stikstof worden vrijgesteld. Niet alle stikstof die tijdens de winter wordt vrijgezet is beschikbaar voor de volgteelt aangezien een gedeelte zal uitspoelen of denitrificeren. De stikstof die tijdens het groeiseizoen mineraliseert, kan wel direct door het volggewas worden opgenomen. Met behulp van het N-mineralisatiemodel MINIP zijn de effecten van het onderwerken van groenbemesters en gewasresten op de N-levering berekend door Velthof *et al.* (1998). In Tabel 4.2a wordt de N-levering bij een variërende lengte van het groeiseizoen weergegeven voor raaigras, winterrogge en gele mosterd, bij een goede en matige ontwikkeling en bij onderwerken in het najaar en het voorjaar. Tabel 4.2b geeft de N-levering weer van de verschillende gewasresten bij een variërende lengte van het groeiseizoen. De grote verschillen in karakteristieken tussen groenbemesters en oogstresten resulteren in grote verschillen in stikstoflevering: van minder dan 5 kg tot meer dan 50 kg N ha⁻¹. Via een verfijnd stikstofbemestingsadvies dient hiermee rekening te worden gehouden.

Tabel 4.2a: Stikstoflevering van groenbemesters in relatie tot de lengte van het groeiseizoen (naar: Velthof *et al.*, 1998)

Gewas	Ontwikkeling	Onderwerk-tijdstip	N-levering (kg N ha ⁻¹)		
			Maart-juni	Maart-juli	Maart-augustus
Raaigras	goed	najaar**	17	24	31
	matig	najaar	9	12	16
	goed	voorjaar**	21	33	42
	matig	voorjaar	10	16	21
Winterrogge	goed	najaar	15	21	26
	matig	najaar	8	11	13
	goed	voorjaar	24	33	42
	matig	voorjaar	12	16	21
Gele mosterd	goed	najaar	18	25	30
	matig	najaar	9	13	15
	goed	voorjaar	22	31	41
	matig	voorjaar	11	15	20

* najaar = eind oktober

** voorjaar = eind maart

Tabel 4.2b: N-levering van gewasresten in relatie tot de lengte van het groeiseizoen (naar: Velthof *et al.*, 1998)

Gewas	N-levering (kg N ha ⁻¹)		
	Maart-juni	Maart-juli	Maart-augustus
Tarwestro	4	5	6
Bietenblad	32	37	41
Aardappelloof	5	7	9
Spinazie	3	3	3
Witlof	7	10	12
Kropsla	2	7	7
Korrelmaïs	13	21	29
Winterpeen	24	28	31
Witte kool	32	40	46
Spruitkool	37	47	55
Bloemkool	21	26	31
Chinese kool	10	13	13
Broccoli	26	33	38
Knolselderij	15	19	22

4.2.5 Toedieningstijdstip

Uit de metingen van het nitraatgehalte in het oppervlaktewater (MAP-meetnet) komt duidelijk de seizoensgevoeligheid naar voor van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater. In de zomer nemen de gewassen gemakkelijker stikstof op en is er minder neerslagoverschot (hogere temperaturen, meer evapotranspiratie). In de winter is de nitraatconcentratie vaak hoog. Dit is toe te schrijven aan het grote neerslagoverschot en geen of zeer weinig opname van stikstof door het gewas. Meestal komen voorjaars- en najaarspieken voor in de nitraatconcentraties in het oppervlaktewater (Figuur 4.3), te wijten aan uit- en afspoeling van stikstofhoudende en andere meststoffen.

Momenteel is het verboden om dierlijke mest, andere meststoffen en stikstofhoudende chemische meststoffen uit te rijden tijdens de wintermaanden. Meer bepaald geldt dit verbod tijdens de volgende periodes:

- In algemeen en fosfaatverzadigd gebied: tussen 21 september en 31 januari op grasland en tussen 21 september en 15 februari op akkerland
- In de kwetsbare gebieden water, natuur, ecologisch waardevolle agrarische gebieden: voor alle teelten tussen 1 september en 15 februari.

Het toedieningstijdstip en de toedieningswijze heeft een belangrijke invloed op de bemestingswaarde. Onderzoek heeft voldoende aangetoond dat een najaarstoediening steeds leidt tot een veel lagere stikstoffefficiëntie. Met de uitrijregeling wordt de landbouwer dan ook duidelijk naar de voorjaarstoediening gestuurd. De uitspoeling van stikstof is sterk afhankelijk van de hoeveelheid neerslag. Hoe vroeger in het voorjaar wordt bemest, hoe meer stikstof kan uitspoelen, daarom kan het best zo kort mogelijk voor het inzaaien van het gewas bemest worden. Zolang de minerale stikstof niet is opgenomen door het gewas, is het onderhevig aan uitspoeling.

Door de stikstofbemesting zo kort mogelijk voor het zaaien of planten van de akkerbouwteelt uit te voeren wordt verhinderd dat de nitraat zich al beweegt tot lager dan 30 cm diepte en bijgevolg niet of te laat opgenomen wordt door het gewas. Op deze manier wordt het risico op nitraatuitspoeling verkleind. Uit Tabel 4.1 bleek bovendien reeds dat de werkzaamheid van dierlijke mest hoger is bij een toediening in maart in plaats van in februari. Door een verdere beperking van de uitrijregeling wordt gestreefd om de pieken in nitraatconcentraties in het oppervlaktewater te vermijden in het voorjaar en najaar.

Steeds moet er op gelet worden dat de toediening van drijfmest gebeurt onder gunstige bodemomstandigheden, zodat het effect op de bodemstructuur beperkt blijft. Evenwel zijn het vooral de weersomstandigheden in het voorjaar die bepalend zijn voor het al of niet kunnen toedienen van een organische bemesting.

De grote vrees vanuit de praktijk voor structuurschade in het voorjaar is terecht. In het verleden werden immers in meerdere proeven de gevolgen van structuurschade op de gewasontwikkeling vastgesteld. Deze structuurschade is vooral het gevolg van het aandrukken van de bodem ter hoogte van de wielsporen. Rijsporen kunnen vermeden worden door drijfmest toe te dienen bij voldoende droge bodemcondities en door bijvoorbeeld het gebruik van lage drukbanden.

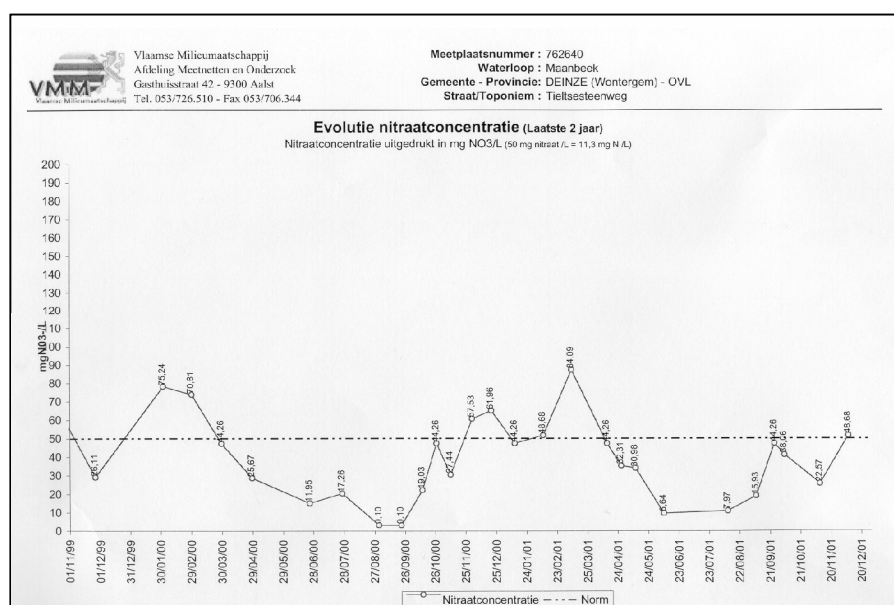
Vooraf in de poldergronden vormt mogelijke structuurschade een probleem. Enerzijds moet het groeiseizoen van de voorjaarsteelten zo vroeg mogelijk kunnen aanvangen en anderzijds is op deze gronden de kans op ongelijkmatige ontwatering van de percelen reëel. Met de sleepslangtechniek kan in het voorjaar ook op minder goed begaanbare gronden bemest worden.

Om de bemestingswaarde van stikstof te maximaliseren moet de mest kort voor de teelt worden toegediend en direct worden ondergewerkt. Door het snel onderwerken wordt vermeden dat de ammoniakale stikstof voor een groot gedeelte verloren gaat via ammoniakvervluchtiging.

Wanneer mest oppervlakkig wordt gespreid, vervluchtigt naast de voor de omgeving onaangename geurstoffen een belangrijke hoeveelheid ammoniakale stikstof. De hoeveelheid stikstof die verloren gaat is afhankelijk van de mestgift en -samenstelling (ammoniumconcentratie, pH, drogestofgehalte), weersomstandigheden (temperatuur, windsnelheid), grondsoort, toedieningstechniek (rijsnelheid, injectie, inwerken, sleepslangtechniek, inregenen, ...). Omwille van de homogener toediening en exactere dosering is injecteren, indien mogelijk, te verkiezen.

Bij het uitrijden van drijfmest kunnen er ook verliezen optreden door afspoeling als er watertransport is aan de oppervlakte. Dit komt ondermeer voor bij sterke hellingen en waterverzadigde gronden.

Vanuit economisch en ecologisch standpunt moet elke bemesting op een emissiearme wijze gebeuren.



Figuur 4.3: Evolutie van de nitraatconcentratie (mg NO₃ l⁻¹) in het oppervlaktewater in MAP-meetpunt 762640 (Bron: www.vmm.be)

4.2.6 Chemische bodemvruchtbaarheid⁴

Het gehalte aan organische stof (humus) in de bodem bepaalt in belangrijke mate de bodemvruchtbaarheid, aangezien deze een rechtstreekse invloed heeft op de fysische en chemische eigenschappen van de grond en op de microbiële activiteit in de bodem. Regelmatige toediening van organisch materiaal aan de bodem (via oogstresten, groenbemesters, dierlijke mest of compost) bevordert immers de bodemstructuur, wat de verluchting van de grond verbetert. Daarnaast neemt de erosiegevoeligheid en de kans op verslemping van de bodem af. De organische stof zorgt tevens voor een verhoging van het waterbergend vermogen van de grond, wat vooral van belang is op de lichtere gronden. Met betrekking tot bemesting, heeft de organische stof een belangrijke invloed op het vasthouden van voedingselementen. Bovendien is de organische stofvoorraad van de bodem een reserve van plantenvoedingstoffen (stikstof, kali, ...), die na verloop van tijd vrijkomt en beschikbaar wordt voor de teelten.

Omwille van voorgaande redenen is het van groot belang om de organische stofvoorraad op peil te houden.

In de periode 1996-1999 werden ongeveer 94 000 standaardgrondontledingen uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België. Bij het interpreteren van de analyseresultaten van de bodemstalen en het geven van bemestingsadviezen wordt gebruik gemaakt van zeven beoordelingsklassen, afhankelijk van bodemgebruik, textuur en organisch stofgehalte. De middenklasse noemt men 'de streefzone': dit is de zone van optimale toestand of voorziening van een welbepaalde bodemvruchtbaarheidsparameter. Binnen deze zone kunnen mits een beredeneerde bemesting economisch optimale resultaten behaald worden. Op basis van de grondontledingen werd vastgesteld dat het koolstofgehalte op 70 % van de akkerbouwpercelen en op 58 % van de weilandpercelen voldoende hoog was (Vanongeval *et al.*, 2000). Meer dan 30 % van de akkerbouwpercelen en meer dan 40 % van de weilandpercelen heeft echter een koolstofgehalte beneden de streefzone. Op deze percelen dient extra aandacht te worden geschonken aan de organische stofvoorziening.

Voor het behoud van de organische stofvoorraad moet er een evenwicht gevonden worden tussen aanvoer van organisch materiaal (via oogstresten, groenbemesters, dierlijke mest, ...) en de afbraak ervan in de bodem. Indien wordt aangenomen dat jaarlijks 2 % van de humusvoorraad afbreekt, blijkt dat op zandgronden er een jaarlijkse behoefte van 2200 tot 3800 kg ha⁻¹ organische stof is. Op zandleem- en leemgronden ligt de behoefte tussen 1200 en 2500 kg ha⁻¹ organische stof per jaar en op kleigronden tussen 1800 en 3400 kg ha⁻¹ organische stof per jaar (Coppens, 2002).

Bij toediening van organisch materiaal wordt een gedeelte van de organische stof reeds afgebroken binnen het jaar na toediening en brengt derhalve niets bij tot de opbouw van de organische stofvoorraad. De grootte van deze snel afbreekbare fractie is afhankelijk van het type organisch materiaal. Zo heeft drijfmest een groter aandeel snel afbreekbaar materiaal dan stalmest, stro of compost. De hoeveelheid organische stof die één jaar na de toediening nog overblijft in de grond wordt de effectieve organische stof genoemd. De aanbreng van effectieve organische stof verschilt echter zeer sterk tussen de verschillende typen van organisch materiaal (Tabel 4.3).

⁴ gebaseerd op: Vanongeval, 1999 en Coppens, 2002.

Tabel 4.3: Gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof door gewasresten en organische meststoffen (Vanongeval., 1999)

Type organisch materiaal	Aanvoer effectieve organische stof (kg o.s. ha ⁻¹)
Gewasresten	
• stoppel van graangewassen + dorsresten	1500
• stro van graangewassen	1000
• stoppel van snijmaïs	675
• stro van dorsmaïs	2200
• aardappelloof	875
• gewasresten + loof van suikerbieten	1500
Groenbemesters	
• mosterd	900
• Italiaans raaigras	1200
Dierlijke mesten (per 10 ton)	
• varkensdrijfmest	280
• runderdrijfmest	290
• runderstalmest	700
• kippemest	1600
Andere producten (per 10 ton)	
• compost	1500
• champignonmest	1000

De evolutie van het organisch stofgehalte op lange termijn bij verschillende bemestingsscenario's werd doorgerekend met het CAA-export model (Vanongeval *et al.*, 1995).

Uit de simulaties bleek dat binnen de huidige bemestingslimieten er meerdere situaties voorkomen waarin het organisch koolstofgehalte niet kan behouden worden met gebruik van drijfmest, tenzij er extra inbreng van organisch materiaal is via een groenbemester en het inwerken van oogstresten. Wanneer het extra inwerken van de oogstresten niet mogelijk of niet gewenst is, kan het organische stofgehalte alleen op peil worden gehouden door het gebruik van stalmest of compost (Coppens, 2002).

4.2.7 Besluit

Er zijn verschillende voordelen verbonden aan het gebruik van organische bemesting. Het humusgehalte wordt op peil gehouden door de aanvoer van verse organische stof uit groenbemesters, oogstresten en dierlijke mest. Het uiteindelijke doel hierbij is het bekomen van een goed bewerkbare bodem met een goede structuur, verluchting en waterhoudend vermogen. Door het gebruik van dierlijke mest kan men bovendien besparen op de minerale bemesting.

Nadelen die kunnen optreden zoals het optreden van structuurbederf bij het uitrijden in ongunstige bodemomstandigheden, een heterogene toediening op het perceel en de ongekende of niet constante samenstelling van de dierlijke mest, kunnen vermeden worden door een analyse van de toegediende mest en door gebruik te maken van technische mogelijkheden.

Bij een gekende samenstelling van de gebruikte mest komt het er ook op aan om de bemestingswaarde exact in te schatten. Aangezien dierlijke mest een samengestelde meststof is die bepaalde hoeveelheden van de verschillende plantenvoedingsstoffen bevat is het noodzakelijk om bij het toedienen van de dierlijke mest en een eventuele aanvullende minerale bemesting aandacht te hebben voor elk van deze mineralen.

Afstemming van de bemestingsdosissen op de stikstofvoorraad en de mineralisatiecapaciteit van de bodem, kennis van de bemestingswaarde van de toe te dienen organische meststof en een correcte plaatsing van de stikstof en een goede timing van de stikstoftoediening, aangepast aan de stikstofbehoefte van de teelt, verbeteren de stikstofbenutting. Op deze manier kunnen goede opbrengsten behaald worden met een beredeneerde stikstofinput en wordt het risico op nitraatuitspoeling geminimaliseerd. In dit kader is het belangrijk dat landbouwers gesensibiliseerd worden om mestanalyses uit te laten voeren en om te bemesten volgens een perceelsspecifiek bemestingsadvies.

De stikstofbemesting dient dus te gebeuren op basis van een optimale combinatie van:

- de hoeveelheid minerale stikstof aanwezig in de bodem;
- de hoeveelheid minerale stikstof die vrijkomt uit de organische stof van de bodem en eventuele toediening van organische bemesting, oogstresten en groenbemesters
- de aanvullende hoeveelheid minerale stikstof, toegediend op basis van een bemestingsadvies.

Door de stikstofbemesting zo kort mogelijk voor het zaaien of planten van de akkerbouwteelt uit te voeren wordt verhinderd dat de nitraat zich al beweegt tot lager dan 30 cm diepte en bijgevolg niet of te laat opgenomen wordt door het gewas.

Een verandering in organische stofvoorraad van de bodem heeft ook een verandering in de bodemvruchtbaarheid tot gevolg. Voor het behoud van de bodemvruchtbaarheid moet de jaarlijkse afbraak aan organische stof gecompenseerd worden via een inbreng van organisch materiaal (oogstresten, dierlijke mest, groenbemesting, andere organische meststoffen).

4.3 Aanbevelingen akkerland

4.3.1 Inleiding

Indien geen hinderlijke lagen aanwezig zijn in het bodemprofiel, zal de N-uitputting van de bodem voornamelijk afhankelijk zijn van de diepte en de intensiteit van de beworteling, de tussen-rij afstand van de teelt, de rijpheidstoestand van het gewas bij de oogst en de ruimtelijke spreiding van de minerale stikstof in het bodemprofiel (Hofman *et al.*, 1989). Dit betekent dat per gewas(groep) variërende minerale N-hoeveelheden in de wortelzone aanwezig dienen te zijn om optimale opbrengsten verkrijgen.

In dit hoofdstuk zal per teelt of gewasgroep aangegeven worden welke knelpunten er zijn met betrekking tot nitraatuitspoeling en welke maatregelen getroffen kunnen worden om het nitraatstikstofresidu te beperken.

4.3.2 Maïs

Algemene kenmerken

Een groot gedeelte van het maïsareaal komt voor op bedrijven waar ook dierlijke mest wordt geproduceerd. Aangezien maïs grote hoeveelheden drijfmest tolereert zonder dat de teelt erdoor bemoeilijkt wordt of dat de voederwaarde of de afrijping er noemenswaardig onder lijdt, zagen intensieve veeteeltbedrijven de mogelijkheid om zo op een goedkope wijze van de mest af te geraken. Goede landbouwpraktijken en duurzame landbouw noodzaken echter oordeelkundige bemesting van zowel organische als anorganische meststoffen.

Voor een optimale maïsgroei moeten de benodigde plantenvoedingsstoffen in de juiste hoeveelheden en verhoudingen beschikbaar zijn. Zo kan 240 kg N ha⁻¹ als richtcijfer gehanteerd worden voor de stikstofexport aan plantenvoedingsstoffen door een geslaagde maïsteelt.

Maïs is een subtropisch gewas; Dit impliceert een late zaai (vorstgevoelig) en een moeilijke beginontwikkeling door de koude gevoeligheid van het gewas.

Na de jeugdgroei wordt maïs gekenmerkt door een periode van exponentiële groei. Op een periode van een tweetal maanden (juni-juli) wordt het merendeel van de benodigde nutriënten opgenomen. Dit impliceert onder andere dat gedurende deze periode er een zeer goede stikstofbeschikbaarheid moet zijn.

Na half augustus neemt maïs nog nauwelijks stikstof op. Al de stikstof die hierna nog wordt vrijgesteld uit de bodemhumus, zal niet meer door de maïs worden opgenomen en achterblijven in het bodemprofiel, waardoor het risico van nitraatuitspoeling toeneemt. De najaarsmineralisatie zal reeds gedeeltelijk plaatsvinden voor de oogst, maar kan ook na de oogst nog belangrijk zijn. Met andere woorden, najaarsmineralisatie kan aanleiding geven tot grotere hoeveelheden nitraatstikstof in het najaar. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de teelt van suikerbieten, waar stikstof wordt opgenomen van april tot oktober.

Maïs kan diep wortelen (tot 90 cm). Maïs wordt echter vaak op zandbodems met een ijzeroerlaag geteeld. In tegenstelling tot de graangewassen tarwe en gerst worden in dat geval de diepere bodemlagen (bijvoorbeeld van 60-90 cm) weinig aangesproken.

De opbrengst van maïs wordt sterk bepaald door de specifieke groeiomstandigheden. Het vochtleverend vermogen van het perceel is hierin een cruciale factor. Een droge periode en vooral wanneer deze samenvalt met de bloei van de maïs kan resulteren in een sterke opbrengstreductie. Uiteraard heeft dit implicaties voor de N-opname door het gewas en het nitraatstikstofresidu na de oogst.

Rijenbemesting

Op bepaalde percelen zien we in het voorjaar tijdelijke fosforgebreksverschijnselen (paarsverkleuring van de bladeren). Bij nadere controle blijken dit dikwijls percelen te zijn met een te lage pH, structuurbederf (gezaaid in te natte omstandigheden) of waterzieke gronden. Er kunnen dus, naast fosforrijenbemesting, heel wat andere maatregelen genomen worden om groeiachterstand door tijdelijk fosforgebrek te vermijden.

In het kader van het project 'Voorlichting in verband met rijenbemesting bij maïs' werden gedurende 3 jaren in de snijmaïsteelt op 4 locaties telkens 4 typen van rijenbemesting vergeleken met objecten met alleen een volleldse bemesting met minerale meststoffen kort voor de zaai (Mertens en Bries, 2000). Nergens werd een significant hogere opbrengst gemeten. In een vervolproject 'Rijenbemesting bij maïs in combinatie met runderdrijfmest' werd zowel gebruik gemaakt van minerale als organische bemestingen. Door de vergelijkbare opbrengsten en de nagenoeg even hoge stikstofopnames lagen de nitraatstikstofresidu's in het bodemprofiel bij de verschillende objecten op een vergelijkbaar niveau (Mertens en Bries, 2001). Alleen het niet bemeste object gaf een significant lagere opbrengst en een laag nitraatstikstofresidu. Hierdoor is aangetoond dat door een beredeneerd gebruik van runderdrijfmest nog optimale opbrengsten kunnen worden bekomen met respect voor het milieu.

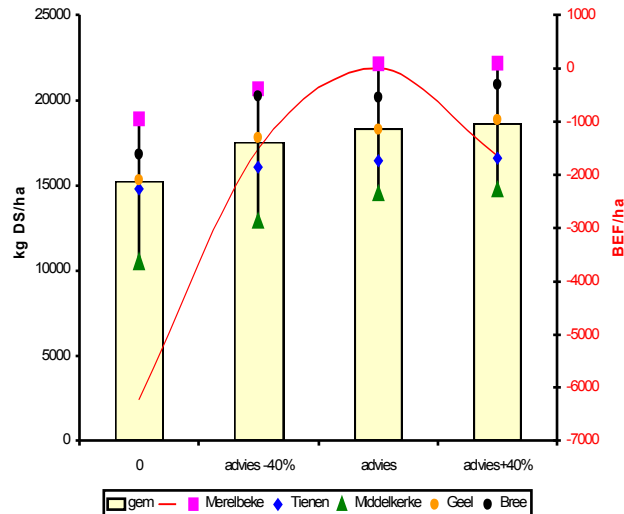
Proefveldresultaten⁵

Op proefvelden is het belang van een goede uitgangspositie, d.w.z. een niet te hoge minerale stikstofvoorraad in het voorjaar en vooral een lage minerale stikstofvoorraad in de bodemlaag 30-60 en 60-90 cm diepte en dieper, aangetoond. Op velden waar de minerale stikstofvoorraad in het bodemprofiel in het voorjaar op een hoog niveau ligt en waarbij vooral veel van de minerale stikstof in de laag 60-90 cm aanwezig is, worden in het algemeen ook hoge minerale stikstofgehalten na de oogst teruggevonden, zelfs bij de onbemeste objecten. Dit wijst erop dat maïs nagenoeg geen minerale stikstof in bodemlagen dieper dan 60 cm benut. Elke bijkomende toediening van stikstof, onder welke vorm ook, resulteert op deze proefvelden in een duidelijke stijging van het nitraatstikstofresidu. Hieruit blijkt dat indien de bemesting niet wordt aangepast aan de specifieke veldomstandigheden, dit een enorm milieueffect (hoge residu's) kan teweegbrengen, terwijl landbouwkundig het effect niet of nauwelijks merkbaar is bij de teelt van maïs.

In het kader van de verordening (EEG nr. 2078/92) werden in de 5 Vlaamse provincies bemestingsproeven aangelegd op voedergewassen (projectcoördinatie DFE, L. Carlier). Tijdens een periode van vier jaar werden de effecten van een verminderde bemesting op de maïsteelt en het N-residu in de bodem bij de oogst bestudeerd. In deze proeven werden behandelingen aangelegd met uitsluitend minerale meststoffen en behandelingen met een gecombineerde toediening van runderdrijfmest en minerale meststoffen.

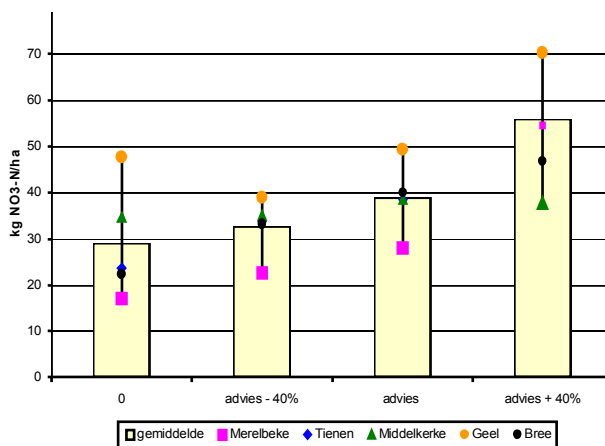
De stikstofbemesting op de verschillende behandelingen werd berekend in functie van het stikstofbemestingsadvies. Figuur 4.4 geeft de gemiddelde drogestofopbrengst (periode '95-'97) van de maïs in monocultuur voor de verschillende locaties. Op basis van de berekende bemestingskosten enerzijds en de kVEM-opbrengsten (energetische opbrengst) anderzijds werd eveneens een economische evaluatie opgesteld. Uit de figuur is duidelijk af te leiden dat bij een N-bemesting gelijk aan het bemestingsadvies economisch optimale resultaten worden behaald.

⁵ Naar Bries, J en Mertens, J (2000)



Figuur 4.4: Droge stofopbrengsten en economische evaluatie van maïs in monocultuur (Carlier, 2000)

Tussen de verschillende groeiseizoenen en tussen de verschillende locaties (verschillende grondsoort, humusgehalte-mineralisatie, vochtvoorziening) worden vrij grote variaties in nitraatstikstofresidu's vastgesteld. Het verschil tussen de groeiseizoenen is wellicht grotendeels aan droogteperiodes toe te schrijven. Droogte tijdens de zomer leidt tot een verminderde drogestofproductie (verminderde N-opname) en dikwijls ook tot een meer uitgesproken najaarsmineralisatie als de bodem terug vochtiger wordt.

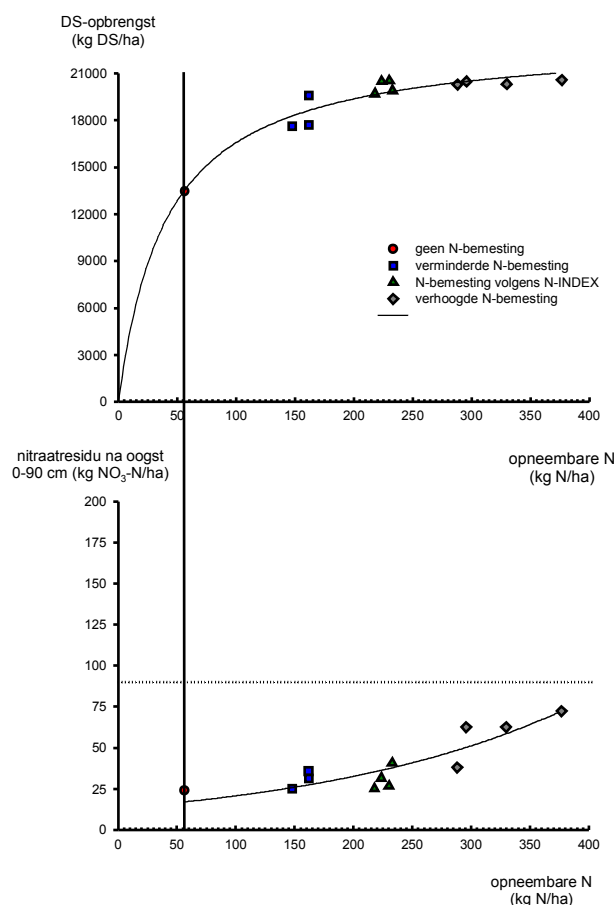


Figuur 4.5: Nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ van 0-60 cm) na de oogst bij maïs in monocultuur (Carlier, 2000)

De hoeveelheid nitrische stikstof die in het bodemprofiel achterblijft na de oogst ligt beduidend hoger bij een stikstofbemesting boven het advies. Indien het stikstofaanbod uit bemesting en mineralisatie de opnamecapaciteit van de maïs overstijgt, blijft het overschot gewoon achter in het bodemprofiel (Figuur 4.5 en Figuur 4.6).

Na het afronden van hoger vermeld demonstratieproject werd binnen het Landbouwcentrum voor Voedergewassen beslist om de proeven op enkele locaties (Bree en Tienen) verder te zetten. In Figuur 4.6 worden de opbrengstresultaten en nitraatstikstofresidu's bij de oogst uitgezet in functie van de berekende hoeveelheid opneembare stikstof voor het proefveld in Tienen 1998. De hoeveelheid opneembare stikstof werd hierbij gedefinieerd als de som van

de minerale stikstofreserve in het voorjaar (0-90 cm), de toegepaste minerale stikstofbemesting en de werkzame hoeveelheid stikstof uit de toegepaste dierlijke mest. Uit de responscurve (boven) komt duidelijk tot uiting dat de droge stofopbrengst tot op een bepaald niveau stijgt naarmate de hoeveelheid opneembare stikstof in het voorjaar toeneemt.



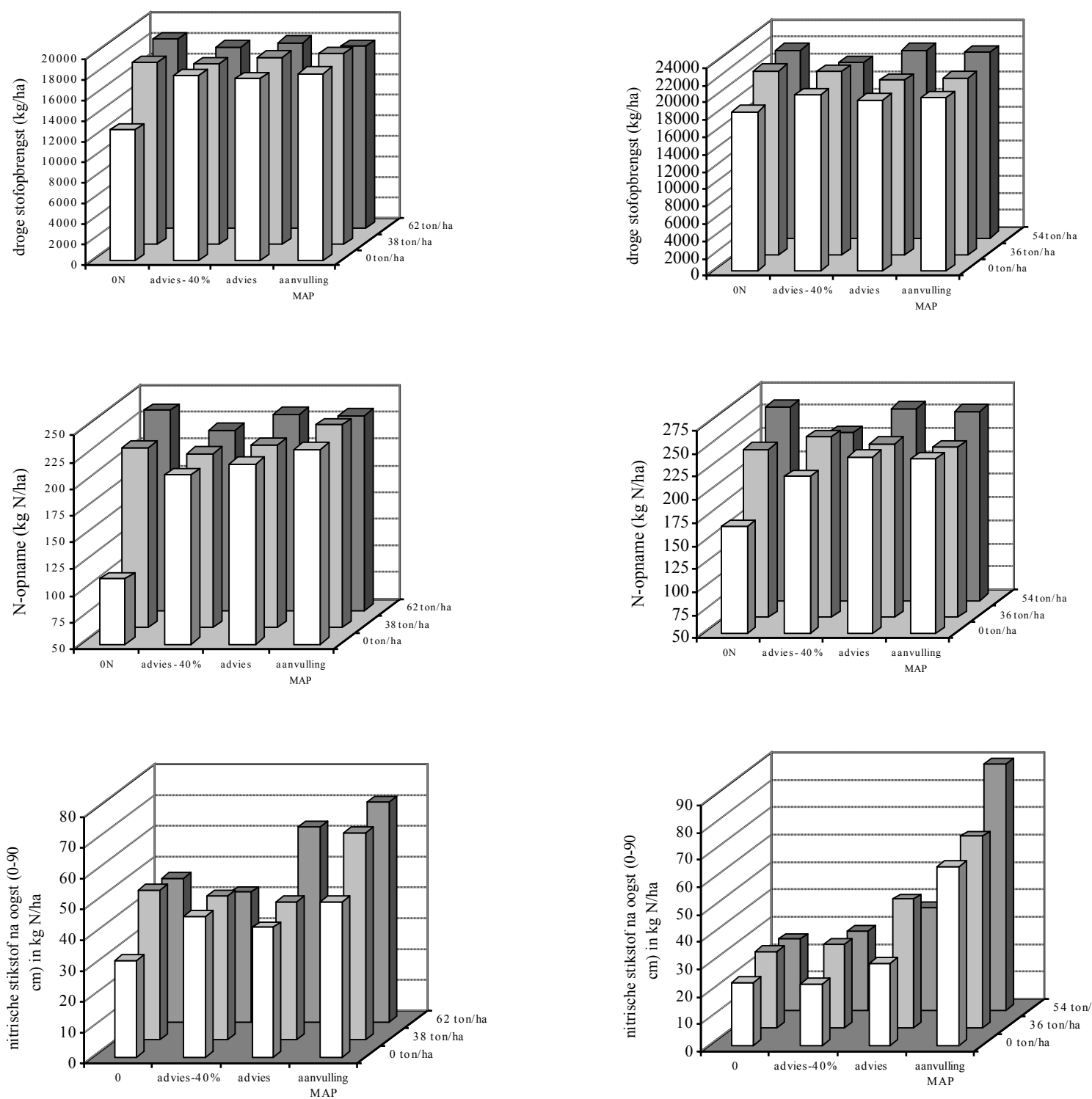
Figuur 4.6: Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 1998. Relatie tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de droge stofopbrengst (responscurve, boven) en de hoeveelheid opneembare stikstof en de minerale stikstof na de oogst (surpluscurve, onder) voor het proefveld te Tienen (1998) (Bries en Mertens, 1998)

Boven een bepaalde waarde resulteert een grotere stikstofvoorraad niet meer in een hogere droge stofproductie. Het verzadigingspunt van de surpluscurve (onder) bevindt zich ongeveer op het punt waar geen duidelijke toename van de droge stofproductie in functie van de opneembare stikstofvoorraad meer optreedt. Belangrijk is te vermelden dat de resultaten van de verschillende behandelingen, zowel met als zonder toediening van dierlijke mest, mooi op de gefitte curve liggen. Dit wil zeggen dat in deze proef kunstmeststikstof hetzelfde resultaat gaf als de werkzame stikstof uit drijfmest. Bij een beredeneerd gebruik van dierlijke mest worden nagenoeg identieke nitraatstikstofresidu's gemeten als bij uitsluitend gebruik van minerale meststoffen. Op dit perceel waren de nitraatstikstofresidu's beperkt, de voorgaande jaren kon echter op andere proefvelden een verhoogd nitraatstikstofresidu waargenomen worden na groeiseizoenen met een belangrijke droogteperiode (geremde N-opname door de maïs). Op meerdere percelen werd ook een verhoogd nitraatstikstofresidu vastgesteld omwille van de belangrijke najaarsmineralisatie (augustus-september) die op dat moment niet meer wordt benut door de maïs.

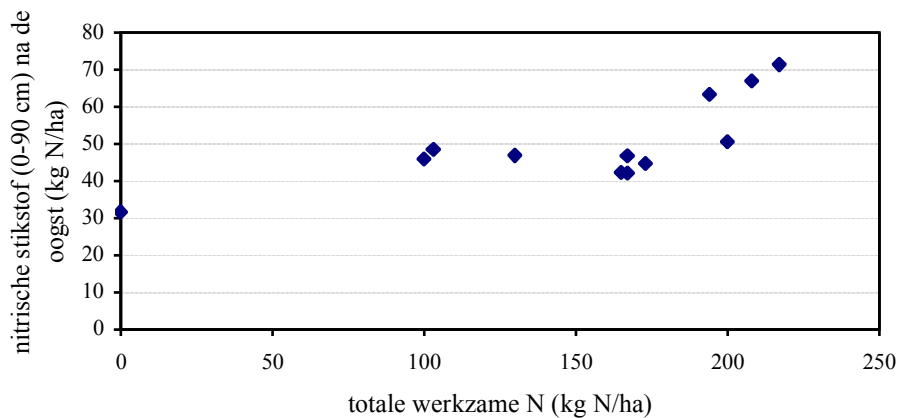
In Figuur 4.7 wordt een overzicht gegeven van de meetresultaten bekomen op het proefveld Ottenburg in 2000 en 2001 (licht leem) (Mertens en Bries, 2001; Mertens en Bries, 2002).

De drogestofopbrengsten, de totale N-opname en het nitraatstikstofresidu zijn weergegeven in functie van de bemestingsdosis. Het nitraatstikstofresidu lag voor alle behandelingen op een laag niveau. Bij bemestingen boven het advies stijgt het nitraatstikstofresidu aanzienlijk, zowel bij de zuivere minerale bemesting als bij de gecombineerde organische/minerale bemestingen.

In Figuur 4.8 wordt het verband aangetoond tussen de hoeveelheid werkzame stikstof uit dierlijke en chemische mest die op het proefveld te Ottenburg in 2001 is toegediend en de hoeveelheid nitraatstikstof die in de bodem achterblijft na de oogst. Het nitraatstikstofresidu blijft constant tot een toediening van 180 kg werkzame N ha⁻¹, bij een groter N-aanbod wordt de stikstof niet meer door de maïs opgenomen en blijft de stikstof achter in het bodemprofiel.



Figuur 4.7: Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 2000 en 2001. De droge stofopbrengst (kg ha^{-1}) en N-opname (kg N ha^{-1}) van maïs en nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) na de oogst te Ottenburg (2001: links; 2000: rechts) in functie van de hoeveelheid toegediende mest (Mertens en Bries, 2001; Mertens en Bries, 2002)



Figuur 4.8: Relatie tussen de totale werkzame stikstof en het nitraatstikstofresidu (0-90 cm) na oogst op het proefveld te Ottenburg (Mertens en Bries, 2002)

Groenbemesters

Aangezien maïs vrij laat wordt geoogst, zijn de mogelijkheden tot het inzaaien van een groenbemester in het najaar eerder beperkt. De groenbemesters die na de oogst van maïs nog kunnen ingezaaid worden zijn gras, waarvan het volgende groeiseizoen één snede kan gemaaid worden, en winterrogge. Via het inschakelen van een groenbemester kan nog een gedeelte van de minerale stikstof in de bodem worden vastgelegd in organisch materiaal. Rogge en gras zijn in staat gemiddeld 30 tot 40 kg N ha⁻¹ in de bovengrondse delen op te nemen (Schröder *et al.*, 1996). Deze maatregel zal geen wezenlijke invloed uitoefenen op het nitraatstikstofresidu in de periode van 1 oktober tot 15 november, maar kan er wel voor zorgen dat de nitraatuitspoeling tijdens de winter afneemt en dat de bemesting van de volgteelt verlaagd kan worden.

Het mestdecreet laat een verhoogde bemesting toe als de hoofdteelt maïs binnen hetzelfde groeiseizoen wordt voorafgegaan door een maai- of begrazingssnede. Deze verhoging bedraagt 25 %. Proeven uitgevoerd in het kader van het Landbouwcentrum voor Voedergewassen (project '96-'97: Gras als tussenteelt bij maïs in monocultuur) gaven gemiddeld een stikstofafvoer van 70 kg N ha⁻¹ bij een lage opbrengst, tot meer dan 100 kg N ha⁻¹ bij een zwaardere snede. Bij een tijdige maaidatum zal deze teeltcombinatie niet leiden tot een lagere opbrengst (en stikstofafvoer) van de volgteelt maïs. De 25 % verhoging is dus zeker te verantwoorden en heeft als bijkomend voordeel dat het perceel tijdens de winter begroeid is.

Onderzaaien bestaat erin een groenbedekking in de hoofdteelt in te zaaien. Met het doel stikstofopname te realiseren na het beëindigen van de stikstofopname door de maïs, is reeds heel wat onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van grasonderzaai in de maïs (Carlier *et al.*, 1993). De resultaten met deze techniek zijn sterk afhankelijk van het zaaitijdstip en de daaropvolgende weersomstandigheden. Daarnaast is er nog de problematiek van de beschadiging van de jonge graszode bij de maïsoogst. Door deze beperkingen wordt deze techniek vandaag in de praktijk (nagenoeg) niet toegepast. Te vroeg ingezaaide groenbedekkers zullen de opbrengst van de maïs drukken. Een te laat ingezaaide groenbedekker zal onvoldoende ontwikkelen. In de code van goede landbouwpraktijken (Relaes, 2000) wordt daarom besloten dat het inzaaien van snijrogge of gras, onmiddellijk na de maïsoogst, de meeste kans op slagen biedt.

Oogstresten

Bij korrelmaïs zal een deel van de door het gewas opgenomen stikstof terug op het perceel komen onder vorm van oogstresten. Deze oogstresten hebben een tamelijk hoge C/N verhouding zodat geen onmiddellijke mineralisatie zal plaatsvinden. Bovendien zal de vrijstelling van stikstof door mineralisatie bij lage temperaturen (late oogst) geleidelijk gebeuren, zodat dit geen aanleiding zal geven tot een extra uitspoelingsrisico tijdens de winter.

Invloed van vruchtwisseling en bodemverdichting op productiviteit en N-efficiëntie bij maïs

Op het Nationaal Centrum voor Grasland—en Groenvoederonderzoek (2^{de} sectie, Melle) liep van 1991 tot 1998 een onderzoek waarin de effecten van vruchtwisseling en wisselbouw op de productiviteit van groenvoeders en op hun benutting van minerale stikstofbemesting onderzocht werden (Nevens en Reheul, 1998).

Men onderzocht de maïsofbrengsten (maïs monocultuur) op blijvende en tijdelijke akkers (3 jaar akker na 3 jaar begraasd gras). De opbrengst op de tijdelijke akker was hoger dan deze op de blijvende akker wat voornamelijk te wijten was aan een stikstofeffect ten gevolge van mineralisatie van de gescheurde zode. Uit de opbrengstresultaten volgde dat het eerste jaar na scheuren gewerkt kon worden zonder stikstofbemesting. Ook in de volgende twee groeiseizoenen volstond op de tijdelijke akker een kleinere stikstofdosering dan op de blijvende akker voor een behoorlijke DS-opbrengst. In Paragraaf 4.3 wordt dieper ingegaan op de verhoogde stikstofmineralisatie bij gescheurd grasland.

Het onderzoek toonde tevens aan dat maïs in monocultuur minder productief is dan maïs in een vruchtwisseling met voederbiet en *Vicia faba*. Bij maïs in vruchtwisseling kon worden voldaan met een lagere stikstofbemesting voor een goede opbrengst.

Bodemverdichting komt vaak voor bij maïs in monocultuur ten gevolge van het veelvuldig gebruik van zware apparatuur bij drijfmesttoediening en bij de oogst, in het bijzonder in minder gunstige omstandigheden. In verdichte bodems kan de N-opname door de plant en het ter beschikking komen van stikstof uit de bodemvoorraad sterk worden gedrukt, wat belangrijke gevolgen heeft voor de N-efficiëntie. Uit veldproeven bleek dat verdichting van de bodem in de maïsteelt een duidelijk minder efficiënt gebruik van beschikbare stikstof tot gevolg heeft. Een goede verzorging van de bodem betekent een efficiënter stikstofgebruik en dus meer ruimte voor een beperking van de stikstofbemesting zonder significant opbrengstverlies.

Concrete aanbevelingen

De proefveldresultaten tonen duidelijk aan dat maïs bij een overdreven stikstofbemesting het teveel aan stikstof gewoon achterlaat in de bodem. Indien wordt bemest volgens het advies, kunnen de nitraatstikstofresidunormen in praktijk gerealiseerd worden. Een bijkomende aanbeveling is het inzaaien van gras na de oogst van de maïs, waarvan in het daaropvolgende voorjaar één snede afgevoerd wordt.

Maïs in vruchtwisseling biedt ten opzichte van maïs in monocultuur meer mogelijkheden om het gebruik van stikstofmeststoffen te beperken zonder belangrijke opbrengstverliezen.

4.3.3 Graangewassen: wintertarwe

Stikstofbemesting

- *Fractionering*

De totale stikstofopname door een tarwegewas bedraagt bovengronds gemiddeld 200 kg N ha⁻¹.

De hoeveelheid stikstof die tijdens de groeicyclus opgenomen wordt, is afhankelijk van het gewasstadium:

- tot het einde van de uitstoeling wordt er eerder weinig stikstof opgenomen.
- vanaf het stadium “oprichten” neemt de stikstofopname sterk toe. De stikstofopname is sterk afhankelijk van de groeiomstandigheden van de teelt, die uiteraard vooral bepaald worden door de klimaatsomstandigheden.

Meestal wordt de N-bemesting in drie deelgiften toegepast: een eerste fractie bij de uitstoeling, een tweede fractie bij het oprichten en een derde fractie in het stadium ‘laatste blad’. Het toedienen van een te hoge dosis als eerste of tweede fractie verhoogt het risico op legering en ziekte. Een stikstofbemesting boven het optimum, vooral toegediend in het laatste bladstadium, geeft een hoger eiwitgehalte, maar de toename van de globale kwaliteit is beperkt wegens de negatieve invloed op andere kwaliteitsparameters.

De gefractioneerde toediening van stikstof zorgt voor een betere benutting van de toegediende bemesting. Door het fractioneren is het mogelijk de teelt te sturen (beïnvloeden van het aantal stelen/m², risico op legering en de ontwikkeling van ziekten verminderen).

De gefractioneerde toepassing kan eveneens in zekere mate de kwaliteitsparameters van het geoogste graan beïnvloeden. Deling van de stikstofgift bij wintergranen verhoogt dus het economisch rendement en verlaagt de teeltrisico's. Om een hoog economisch rendement te halen is bij wintertarwe de toepassing van de juiste totale N-dosis belangrijker dan de wijze waarop de stikstof wordt gedeeld en de soort N-meststof.

- *Invulling van het stikstofadvies met dierlijke bemesting*

Toepassing van drijfmest in het voorjaar is technisch (via bv. een sleepslangensysteem) en teelttechnisch mogelijk en het meest geschikt voor wintertarwe die in het najaar en de winter weinig stikstof opneemt maar in het voorjaar al zeer vroeg stikstof kan opnemen. De toediening moet in goede omstandigheden gebeuren om structuur- en gewassenschade te beperken. De resultaten van de demoproeven tijdens de teeltjaren 1996-2001 tonen duidelijk aan dat drijfmest in het voorjaar kan gebruikt worden om een deel van de stikstofbehoefte van de wintertarwe in te vullen. Op bijna alle proefvelden werden met de combinatie van drijfmest en een verlaagde N-bemesting via kunstmest vergelijkbare opbrengsten behaald als bij de adviesbemesting onder de vorm van zuivere kunstmeststikstof. Er moet evenwel rekening gehouden worden met de samenstelling van de drijfmest. Met name de hoeveelheid werkzame stikstof moet gekend zijn zodat kan bepaald worden welke dosis uitgereden moet worden om de eerste en/of tweede fractie te vervangen. Indien mest met een afwijkende samenstelling wordt aangevoerd (te arm of te rijk) en de dosis wordt niet evenredig aangepast, vertaalde zich dit in een lagere korrelopbrengst (bij dunne mest) of een verhoogd risico op legering (bij rijke mest).

Eventueel onderzoek kan in de toekomst, mits aangepaste mechanisatie, aantonen of ook de derde fractie kan gegeven worden onder vorm van dierlijke mest of een effluent ervan.

- *Invloed op opbrengst en kwaliteit*

In de demonstratieproeven met wintertarwe werden vrij uiteenlopende opbrengstresultaten bekomen. De verschillen kunnen grotendeels verklaard worden door de sterk uiteenlopende stikstofreserves die in het voorjaar in het bodemprofiel aanwezig waren. Daarnaast is er het verschil in stikstofmineralisatie vanuit de organische stof tussen de verschillende percelen. Een hogere bemesting dan de adviesbemesting resulteerde niet in een hogere graanopbrengst, maar wel in hogere kosten. Een goede kennis van de stikstoftoestand van het perceel is dus belangrijk voor een optimaal financieel rendement.

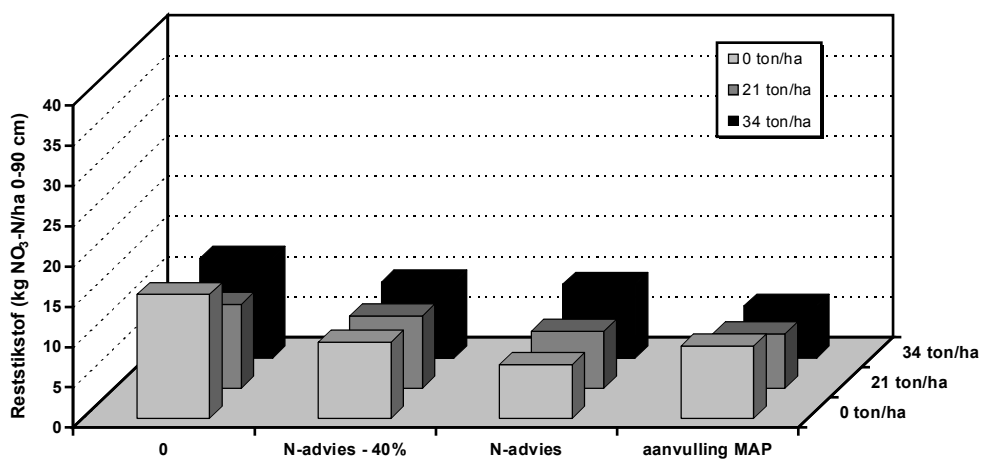
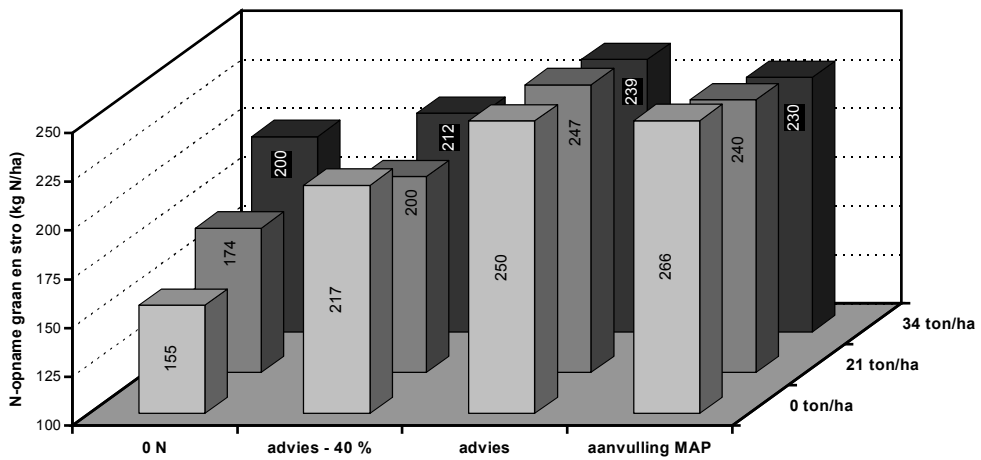
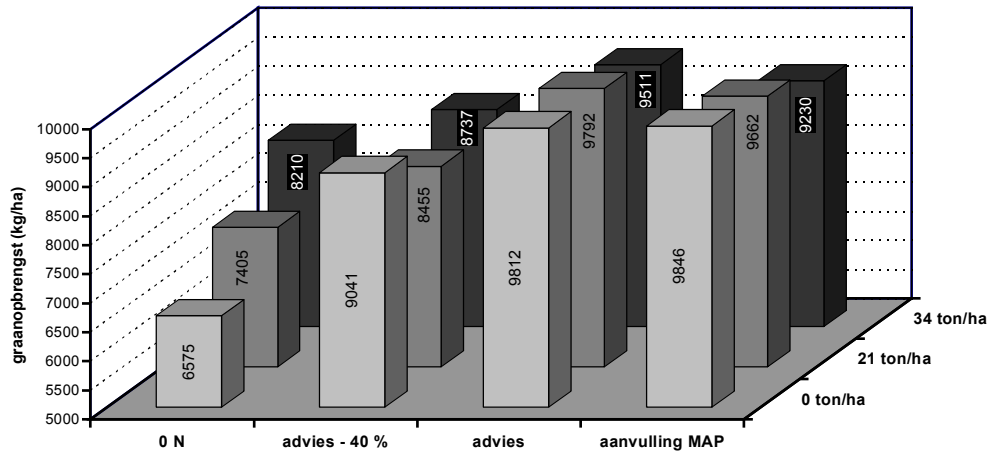
Nitraatstikstofresidu

Graangewassen hebben een zeer uitgebreid wortelstelsel en hebben de eigenschap het bodemprofiel goed uit te putten waardoor het nitraatstikstofresidu kort na de oogst beperkt is. Na de oogst kan de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel sterk toenemen door najaarsmineralisatie uit bodemorganische stof en door stikstofvrijstelling uit de organische bemesting toegediend na de oogst van de wintertarwe. Wanneer voor 1 september een groenbemester wordt ingezaaid, zal deze de vrijgestelde stikstof kunnen benutten, op voorwaarde dat er slechts een beperkte bemesting is gegeven. Voor de stikstofopname van een groenbemester wordt verwezen naar Paragraaf 2.6.5.3.

Proefveldresultaten

Ter illustratie worden in Figuur 4.9 resultaten weergegeven van een demoproef in Velm (Ver Elst en Bries, 2000).

In deze proef werden verschillende combinaties organische en minerale bemesting toegediend. Het bemestingsadvies bedroeg 196 kg N ha⁻¹. Via 21 ton ha⁻¹ drijfmest werd 133 kg totale N aangevoerd per hectare en 90 kg werkzame N ha⁻¹, uit 34 ton ha⁻¹ werd 216 kg totale N ha⁻¹ en 146 kg werkzame N ha⁻¹. Uit deze resultaten blijkt dat wintertarwe de stikstof uit drijfmest goed kan benutten en er weinig stikstof achterblijft na de oogst, ook wanneer in het voorjaar drijfmest werd toegediend. De reststikstof is lager bij een goed ontwikkeld tarwegewas.



Figuur 4.9: Graanopbrengst, N-opname van graan en stro en reststikstof bij wintertarwe (Demoproject duurzame bemesting wintertarwe, Velm, 1999)

Groenbemesters

In het kader van het Landbouwcentrum Granen Vlaanderen werd in een ander proefopzet na de oogst van granen de evolutie van de nitrische stikstof in het bodemprofiel opgevolgd (Ver Elst en Bries, 2001). Hiervoor werd telkens een eerste staalname uitgevoerd na de oogst van de graanteelt en een tweede analyse in de periode 1 oktober tot 15 november 2001. Na de oogst van de granen werd op de proefvelden een verschillende teelttechniek toegepast wat betreft het al dan niet toedienen van een organische bemesting en het al dan niet uitzaaien van een groenbemester. Uit deze metingen volgen enkele interessante vaststellingen:

- Er bestaan belangrijke verschillen in hoeveelheid nitraatstikstof bij de oogst van de granen afhankelijk van het stikstofleverend vermogen en de toegepaste bemesting op het proefveld. Over het algemeen wordt na de oogst van een graangewas een laag nitraatstikstofgehalte in de bodem gemeten. Het diepe en dichte wortelstelsel zorgt voor een efficiënte benutting van de minerale stikstof. Tijdens de afrijpingsfase nemen granen geen stikstof meer op. In die periode kan, wanneer de bodem voldoende vocht bevat, de mineralisatie belangrijk zijn en op deze manier bij de oogst reeds leiden tot een verhoogde hoeveelheid nitraat in de bodem.
- Wanneer geen organische bemesting werd toegediend op de stoppel, noch een groenbemester werd uitgezaaid, neemt de hoeveelheid nitraat in de bodem toe tussen de periode van de graanoogst en de periode van 1 oktober tot 15 november. Deze stikstof is afkomstig van de vrijstelling van minerale stikstof uit de bodemorganische stof.
- Wanneer op de stoppel een organische bemesting wordt uitgevoerd, wordt hierbij een hoeveelheid minerale stikstof toegediend. Bovendien komt ook een deel van de organisch gebonden stikstof uit de mest nog vrij in het najaar, zodat het nitraatstikstofresidu sterk kan oplopen.
- De stikstof die vrijgesteld wordt uit de bodemhumus, of de stikstof die toegediend wordt door organische bemesting, kan gedeeltelijk opgenomen worden door een groenbemester. Op de percelen waar een groenbemester werd uitgezaaid zonder toediening van drijfmest of stalmest is het effect van een groenbemester duidelijk merkbaar. De stikstofopname door een groenbemester kan oplopen tot 100 kg N ha⁻¹ bij een lange groeiperiode en een goede ontwikkeling.
- Wanneer voor de zaai van een groenbemester een beperkte organische bemesting wordt uitgevoerd, is het nitraatstikstofresidu op sommige proefvelden beperkt, op andere velden worden in deze omstandigheden hoge nitraatstikstofresidu's teruggevonden.

Na de oogst van granen is het aan te bevelen om een groenbemester in te zaaien, zeker bij toepassing van dierlijke mest op de graanstoppel. Bij uitzaai van een groenbemester moet de stikstoftoediening in elk geval beperkt worden in verhouding tot de reststikstof en de nog te verwachten mineralisatie in de bodem.

Groenbemesters hebben een positieve invloed op de bodemstructuur, bieden een bescherming tegen neerslag op slemp- en erosiegevoelige gronden en fungeren als vanggewas van minerale stikstof die later beschikbaar komt voor de volgteelt. Uit proefveldresultaten bleek dat een groenbemester meer dan 50 kg N ha⁻¹ kan opnemen (zie paragraaf 2.6.5.3). Op niet-begroeide percelen zal ook nog stikstoflevering plaatsvinden na de oogst waardoor stikstof kan accumuleren in het bodemprofiel; op percelen met een groenbemester kan de stikstof daarentegen benut worden door de groenbemester.

Voor de oordeelkundige bemesting van de volgteelt moet rekening worden gehouden met de stikstofvrijstelling uit de groenbemester (Tabel 4.2).

Concrete aanbevelingen

De gefractioneerde toediening van stikstof zorgt voor een betere benutting van de toegediende bemesting. Met de combinatie van drijfmest en een verlaagde N-bemesting via kunstmest werden op proefvelden vergelijkbare opbrengsten behaald als bij de adviesbemesting onder de vorm van zuivere kunstmeststikstof. Er moet evenwel rekening gehouden worden met de samenstelling en werkzaamheid van de drijfmest.

Na de oogst van graangewassen is de nitraatstikstofhoeveelheid in de bodem eerder beperkt doordat graangewassen over een uitgebreid wortelstelsel beschikken en het bodemprofiel goed kunnen uitputten. In de periode na de oogst kan de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel echter sterk toenemen door vrijzetting van stikstof door mineralisatie uit de bodemhumus, of de stikstof die toegediend wordt door organische bemesting.

In paragraaf 2.6.5.3 werd aan de hand van proefveldresultaten aangetoond dat een groenbemester in staat is om een hoeveelheid stikstof (soms tot meer dan 50 kg N ha⁻¹) op te nemen wanneer het gewas ingezaaid wordt voor 1 september. Wanneer voor de zaai van een groenbemester een organische bemesting wordt uitgevoerd, bestaat het risico dat het nitraatstikstofresidu niet voldoet aan de norm ter zake. De organische bemesting moet in ieder geval beperkt zijn. Er moet algemeen gesteld worden dat geen drijfmest meer mag toegediend worden op akkerland als er geen gewas geteeld wordt.

4.3.4 Suikerbieten

Algemene kenmerken

Suikerbieten nemen gedurende het groeiseizoen gemiddeld ongeveer 250 kg N ha⁻¹ op. Een productie van 60 ton ha⁻¹ bietenwortels komt overeen met een export van ongeveer 100 kg N ha⁻¹. De bietenbladeren en -koppen bevatten ongeveer 150 kg N ha⁻¹.

De suikerbiet begint reeds in een vroeg stadium stikstof op te nemen. Het belangrijkste gedeelte van de stikstofopname vindt plaats tussen eind juni-begin augustus. Op dat ogenblik dient de stikstofopname voornamelijk voor de bladontwikkeling. Wanneer de stikstofvoorraad in de bodem uitgeput geraakt vindt er voornamelijk een translocatie plaats van stikstof van de bladeren naar de wortels. Dit beschouwt men als de afrijpingsfase van de suikerbiet.

De biet als tweejarige plant, vormt in de zomer suiker in haar bladeren en slaat deze vervolgens op in de wortel met het oog op haar reproductieve fase in het volgende jaar na de winter. Als de wortels op het einde van het groeiseizoen over een overvloedige hoeveelheid stikstof in de grond beschikken, heeft de biet de neiging om haar groei verder te zetten. Dit kost energie en vraagt koolstofbronnen voor de aanmaak van eiwitten en dit gebeurt dus ten koste van de opslag van suiker in de wortels.

Het wortelsysteem van de suikerbiet is zeer goed ontwikkeld. De oorspronkelijke penwortel ontwikkelt zich tot opslagplaats voor suikers maar de actieve zijwortels en de haarwortels kunnen vanaf de maand juli tot 2 m – 2.50 m diepte in de bodem binnen dringen. De haarwortels voorzien de plant, via de penwortel, van het water en de voedingselementen die noodzakelijk zijn voor haar groei (Legrand en Vanstallen, 2000).

Stikstofbemesting

▪ *Fractionering*

Een hoge stikstofbemesting kan zoutschade veroorzaken in het voorjaar. Anderzijds bestaat ook de kans dat een deel van de stikstof in het begin van het groeiseizoen onder invloed van regen naar beneden gaat migreren. Een gedeelte van deze verplaatste stikstof kan verloren zijn maar een gedeelte kan ook tijdelijk onbereikbaar zijn voor de bietenwortels en later in het groeiseizoen toch ter beschikking komen voor de bietenplanten. Dit veroorzaakt een vertraagde afrijping met een lager suikergehalte en een lagere winbaarheid tot gevolg.

Bij de adviesverlening volgens het N-index-expertsysteem (Bodemkundige Dienst van België) wordt geadviseerd om bij stikstofbemestingsadviezen hoger dan 160 kg N ha⁻¹ de stikstof te fractioneren. De eerste fractie van 140 kg N ha⁻¹ wordt dan toegediend voor de zaai, de tweede fractie wordt best voor het 4-6 bladstadium van de bieten gegeven (Ver Elst *et al.*, 1999). De deling is bedoeld om mogelijk ongunstige effecten te vermijden zoals een onvoldoende en vertraagde opkomst door zoutschade en verlaging van het suikergehalte en de winbaarheid van de suiker.

Alle stikstoftoedieningen na het 6-bladstadium worden afgeraden, aangezien dit over het algemeen een negatieve invloed op de suikeropbrengst tot gevolg heeft.

▪ *Rijenbemesting*

Een oordeelkundig plaatsen van N-meststoffen kan de efficiëntie verhogen en dus een daling van de N-residu's mogelijk maken. De techniek bestaat er in de stikstof plaatselijk in te werken op enkel centimeters van de zaailijn (6 cm) en op geringe diepte (6 cm).

Het toedienen van stikstof in de rij heeft een aantal mogelijke voordelen (Hofman *et al.*, 1991):

- betere beschikbaarheid van de minerale N voor de kiemplant: bij een N-bemesting in de rij worden zaaian en bemesting gelijktijdig uitgevoerd waardoor de migratie van NO₃-N naar de diepere bodemlagen wordt voorkomen;
- vertraging van het nitrificatieproces: door het geconcentreerd toepassen van de N-meststof in de rij gebeurt de omzetting van ammonium in nitraat trager dan bij een breedwerpige toepassing. Door de langere aanwezigheid van de minerale stikstof als NH₄-N kunnen N-verliezen tijdens regenrijke periodes in het begin van het groeiseizoen afgeremd worden;
- beperking van ammoniakale vervluchtiging na toedienen van ureum- en/of ammoniumhoudende meststoffen. Bij het oppervlakkig toedienen van deze meststoffen kunnen onder bepaalde omstandigheden (zoals bodems met een hoge pH) N-verliezen van een paar tientallen % optreden (Demeyer, 1993). Wanneer de N-bemesting enkele centimeters onder het oppervlak geplaatst worden, zoals het geval bij een bemesting in de rij, zijn de ammoniakale verliezen verwaarloosbaar.

In de praktijk zijn de resultaten van rijtoediening van minerale stikstof in de bietenteelt nogal wisselvallig gebleken en vooral afhankelijk van de weersomstandigheden in de groeiperiode.

▪ *Invloed van de stikstofbemesting op opbrengst en kwaliteit.*

Een oordeelkundige stikstofbemesting is een belangrijke factor in de financiële rendabiliteit en de industriële kwaliteit van de oogst.

Bij een toenemend stikstofaanbod in de bodem:

- neemt de loofopbrengst toe;
- stijgt de wortelopbrengst tot een bepaald maximum;
- neemt het suikergehalte af;
- bereikt de suikeropbrengst een optimum;
- bereikt het financieel rendement een optimum bij een iets lagere stikstofbemesting dan deze voor maximale suikeropbrengst.

Te hoge stikstofgiften hebben een negatieve invloed op het suikergehalte van de plant, en dus op de financiële opbrengst van de teelt, en op de extraheerbaarheid van suiker.

Een zelfde suikerproductie via een lagere wortelopbrengst met een hoger suikergehalte is financieel voordeliger voor de teler dan via een hogere wortelopbrengst met een lager suikergehalte.

In het kader van het 5b-project 'Bodemmonitoringssysteem in relatie tot de kwaliteitsaspecten van de suikerbietenteelt (BOK-project)' werden gedurende 5 jaren (1996-2000) in totaal 1761 suikerbietpercelen opgevolgd. Om de invloed van de stikstofbemesting te onderzoeken op de opbrengst, kwaliteit en financiële opbrengst van de suikerbieten, werden de percelen opgesplitst in 5 groepen. De eerste groep bestond uit percelen waar de N-bemesting meer dan 20 kg N ha⁻¹ lager was dan de aanbevolen dosis. De tweede groep bevatte percelen waarbij de toegediende dosis varieerde tussen 20 kg N ha⁻¹ onder tot 20 kg N ha⁻¹ boven het advies. De andere groepen omvatten percelen waarbij de stikstofbemesting tussen 20 en 40 kg N ha⁻¹, tussen 40 en 80 kg N ha⁻¹ en meer dan 80 kg N ha⁻¹ boven de geadviseerde dosis lag. Voor elk van deze 5 groepen werd de gemiddelde opbrengst, het gemiddelde suikergehalte en de financiële opbrengst berekend. Uit Tabel 4.4 blijkt dat de opbrengst en het suikergehalte lager waren op de overbemeste percelen.

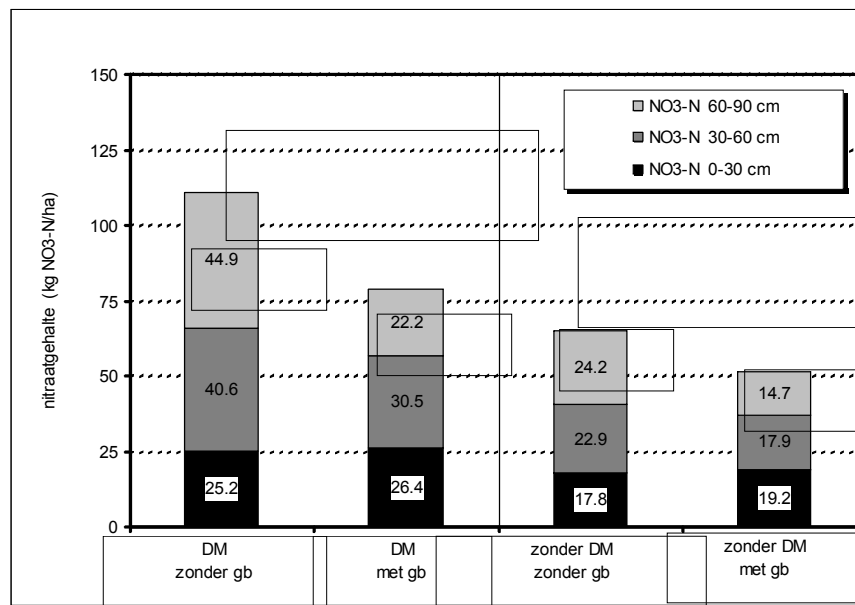
Tabel 4.4: Opbrengst, suikergehalte en financieel rendement in functie van de stikstofbemesting

1996-2000	N-bemesting	Opbrengst (ton ha ⁻¹)	Suikergehalte (%)	Aantal percelen	Bruto financieel rendement (%)
Groep 1	<Advies – 20 kg N ha ⁻¹	63.3	16.55	255	98.4
Groep 2	Advies –20 kg N ha ⁻¹ tot advies + 20 kg N ha ⁻¹	64.7	16.65	951	100
Groep 3	Advies + 20 kg N ha ⁻¹ tot advies + 40 kg N ha ⁻¹	63.7	16.51	245	98.5
Groep 4	Advies +40 kg N ha ⁻¹ tot advies + 80 kg N ha ⁻¹	63.0	16.42	200	96.9
Groep 5	>Advies + 80 kg N ha ⁻¹	63.9	16.34	110	95.9

Heel wat problemen met afrijping van suikerbieten zijn te wijten aan een ongunstige stikstofverdeling in het profiel in het voorjaar. De stikstof die aanwezig is in de onderste bodemlaag (60-90 cm), wordt pas laat in het groeiseizoen opgenomen door de bieten (augustus-september). Zolang er stikstof aanwezig is in de bodem, blijven de suikerbieten groeien en loof produceren, zodat de afrijping van de bieten geremd wordt. Een slechte afrijping betekent een

lager suikergehalte en een lagere winbaarheid. Uit resultaten van het 5b-project suikerbieten bleek dat voor alle grondsoorten er een duidelijk negatieve relatie bestaat tussen de stikstofreserve in de bodemlaag 60-90 cm en het suikergehalte in de bieten: voor poldergronden bedraagt dit verschil 0.3 % suiker, voor lichtere gronden bijna 0.8 % suiker, omgerekend naar financieel rendement betekent dit een verschil van ongeveer 60 tot 150 euro ha⁻¹ (Ver Elst *et al.*, 1999). Veel stikstof in de bodem in het voorjaar kan vermeden worden door:

- Beperking van drijfmesttoediening in het najaar en combineren met een groenbemester (Figuur 4.10);
- Inzaai van een groenbemester na vroeg gerooide gewassen;
- Voortelt op maat bemesten;
- Keuze van de voortelt:
 - graangewassen benutten de stikstof in de bodem goed en laten gemiddeld weinig stikstof achter in de bodem;
 - aardappelen wortelen niet zo diep en benutten de stikstof minder efficiënt waardoor er meer stikstof achterblijft in de bodem, vooral in de bodemlaag 60-90 cm hetgeen nefast is voor de suikerbieten;
 - maïs laat bij een overdreven stikstofbemesting het teveel aan stikstof achter in de bodem wat ook resulteert in een hoge N-voorraad in het voorjaar;
 - sommige groenten worden zwaar bemest of worden geteeld op humusrijke percelen, wat zich weerspiegelt in gemiddeld hoge stikstofreserves in het voorjaar.



Figuur 4.10: Invloed van dierlijke bemesting (DM) toegediend in het najaar, al dan niet in combinatie met een groenbemester (gb), op de nitraatvoorraad in het voorjaar (0-90 cm) (gegevens N-index 2001, Bodemkundige Dienst van België)

Nitraatstikstofresidu

Suikerbieten beschikken over een uitgebreid wortelstelsel en benutten tijdens het groeiseizoen zeer efficiënt de beschikbare minerale stikstof, waardoor het gewas een hoge stikstofbenuttingsindex heeft (Tabel 2.30).

Wanneer de aanvoer van stikstofmeststoffen op een beredeneerde manier gebeurt, laat de bietenteelt na de rooi gemiddeld een N-residu van 30 kg N ha⁻¹ achter in de bodem, gemeten tot op een diepte van 90 cm (Legrand en Vanstallen, 2000).

Proefveldresultaten

Door het Landbouwcentrum Bieten-Cichorei werd in samenwerking met de Bodemkundige Dienst van België in 2000 een organische bemestingsproef voor suikerbieten uitgevoerd te Sluizen.

In deze proefopzet werden verschillende combinaties van minerale en organische mest (0, 15 en 30 ton varkensdrijfmest ha⁻¹) in het voorjaar toegediend. Voor elke stikstoftrap werd de opbrengst van de wortel en het percentage suiker bepaald. Het N-advies bedroeg 162 eenheden per ha, kort voor het zaaien toe te dienen. Bij een toediening van 15 ton ha⁻¹ varkensdrijfmest wordt volgens de berekeningen van de mestanalyse 63 kg werkzame N ha⁻¹ toegediend en 98 kg totale N ha⁻¹. Bij een dosis van 30 ton ha⁻¹ is dit 126 kg werkzame N ha⁻¹ en 196 kg totale N ha⁻¹. In Tabel 4.5 worden de opbrengstresultaten van het proefveld weergegeven.

Tabel 4.5: Opbrengstresultaten van de suikerbieten op het proefveld te Sluizen, 2000

mineraal (kg N/ha)	organisch (ton/ha)	wortelopbr (kg/ha)	Suiker (%)
0	0	78567	16.20
60	0	85017	16.30
120	0	87767	16.30
150	0	86350	16.21
180	0	82625	16.05
0	15	81675	16.65
30	15	78750	16.29
60	15	85067	16.21
90	15	79750	15.92
120	15	80325	15.96
0	30	83750	16.50
30	30	88050	16.53
60	30	83817	16.27

Uit deze tabel blijkt dat de drijfmest even goed benut werd als de minerale N. Bij de oogst werden op de begroeide perceeltjes ook dieptestalen genomen ter bepaling van de reststikstof in de bodem bij het rooien van de bieten (Tabel 4.6). Hierbij valt op dat de reststikstof bij alle behandelingen laag is, ook op de behandelingen met 15 of 30 ton drijfmest per hectare. De bieten hebben tot laat in het groeiseizoen de stikstof efficiënt opgenomen uit de bodem zodat er weinig stikstof achterbleef in het profiel.

Tabel 4.6: Nitraatstikstofresidu (0-90 cm) op begroeide perceeltjes op 16/10/2000 (oogst) op het proefveld te Sluizen, 2000

bodemiaag	60 kg N ha ⁻¹		150 kg N ha ⁻¹		180 kg N ha ⁻¹	
	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	kg NH ₄ -N ha ⁻¹	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	kg NH ₄ -N ha	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	kg NH ₄ -N ha
0-30 cm	13	5	9	5	9	5
30-60 cm	6	2	6	2	5	2
60-90 cm	3	1	5	1	3	1
0-90 cm	22	8	20	8	17	8

Via het Demoplatform akkerbouwteelten te Velm, Wannegem-Lede en de Moeren werden gedurende 4 jaren 9 demovelden opgevolgd. Er werd op twee verschillende wijzen een bepaald stikstofaanbod gecreëerd, namelijk via uitsluitend minerale meststoffen (ammoniumnitraat 27%N) en via een combinatie van varkensdrijfmest met ammoniumnitraat (Eindrapport 1995-1998).

De conclusies uit dit eindrapport zijn de volgende:

- Voor wat betreft de hoeveelheid reststikstof (0-60 cm) worden geen éénduidige verschillen gevonden tussen de behandelingen met uitsluitend minerale stikstof en deze met een gecombineerde minerale/organische bemesting;
- Na suikerbieten worden over het algemeen lage hoeveelheden reststikstof gemeten;
- Voor deze teelt zien we gemiddeld geen toename van de hoeveelheid reststikstof met toenemende stikstofbemesting tot op een zeker niveau;
- Een stijgende stikstofbemesting resulteert in een verhoogde (luxe) N- opname door de suikerbieten.

Oogstresten

Indien het bietenblad op het veld achterblijft, wat de gangbare landbouwpraktijk is in Vlaanderen, zal een deel van de opgenomen stikstof terug op het veld terecht komen door vrijstelling van stikstof uit de oogstresten. De suikerbieten zijn echter goede N-benutters zodat zij na de oogst een laag nitraatstikstofresidu achterlaten. Een geleidelijke vrijstelling van de stikstof door mineralisatie van het bietenloof bij lage temperaturen (late oogst) zal geen aanleiding geven tot een overschrijding van de norm tijdens de winter.

Voor een beredeneerde bemesting van de volgteelt moet evenwel rekening gehouden worden met de stikstofvrijstelling uit het suikerbietenloof (Tabel 4.2).

Concrete aanbevelingen

Een beredeneerde bemesting van suikerbieten is niet alleen belangrijk vanuit milieu-oogpunt maar tevens vanuit financieel oogpunt (opbrengst en kwaliteit).

Als de totale beschikbare hoeveelheden stikstof hoger zijn dan de stikstofbehoefte van het gewas, worden de suikeropbrengst en de extraheerbaarheid negatief beïnvloed.

Naast het belang van de beschikbare hoeveelheden voor de plant, is de localisatie ervan in de bodem zeer belangrijk. De aanwezigheid van stikstof in de bovenste bodemlagen (0-60 cm) is belangrijk om een goede ontwikkeling van de plant in het begin van de groei te verzekeren. Een hoge stikstofvoorraad in de diepere lagen kan leiden tot een buitensporige bladhergroei op het einde van het seizoen, met een afname van het suikergehalte en de te verwachten financiële opbrengst als gevolg. Veel stikstof in de diepere bodemlagen in het voorjaar kan vermeden

worden door de keuze en een beredeneerde bemesting van de voorteelt en door de inzaai van een groenbemester.

Rijntoediening van minerale stikstof kan het risico op nitraatuitspoeling reduceren.

Voor een beredeneerde bemesting van de volgteelt moet rekening gehouden worden met de stikstofvrijstelling uit het suikerbietenloof.

4.3.5 Aardappelen

Algemene kenmerken

Een aardappelgewas kan een vrij grote hoeveelheid minerale stikstof opnemen (Tabel 4.7).

Tijdens de loofontwikkeling (vooral juni en juli) wordt op relatief korte periode een zeer grote hoeveelheid stikstof vastgelegd in het loof. Nadien, als de knoldikking op gang komt, wordt een grote hoeveelheid N-houdende fotosynthese-producten getransporteerd van het loof naar de knollen. De netto-stikstofopname ligt vanaf dat moment op een laag niveau om zelfs negatief te worden tegen het einde van het groeiseizoen (N-verlies naar de bodem door o.m. afgestorven bladeren).

Het wortelstelsel van de aardappelplant is relatief zwak ontwikkeld. Het merendeel van de wortels bevinden zich meestal in de bovenste 50 cm van het bodemprofiel. Storingen in het bodemprofiel zoals ploegzolen, verdichtingen door de voorjaarswerkzaamheden, kunnen de bewortelingsdiepte sterk beperken. Bij een ongestoorde wortelgroei kunnen de wortels een diepte bereiken van 120 cm.

Aangezien het wortelstelsel van aardappelen zich hoofdzakelijk bevindt in de bovenste 50 cm van het bodemprofiel, moet voor een vlotte groei de stikstof steeds vrij ondiep beschikbaar zijn.

N-bemesting

- *Invloed op opbrengst*

In Tabel 4.7 is op basis van 14 vergelijkingen (periode 1989-1992) op de variëteit Bintje het gemiddeld stikstofgehalte in het gewas, de gemiddelde N-opname en de gemiddelde knolopbrengst in functie van de stikstofbemesting weergegeven. Het stikstofbemestingsadvies bedroeg gemiddeld 210 kg N ha⁻¹ met een spreiding van 156 tot 250 kg N ha⁻¹. Bemesting boven de adviesgift gaf gemiddeld een hoger N-gehalte in loof en knollen en een hogere totale N-opname, maar resulteerde niet in een hogere knolopbrengst.

Tabel 4.7: Gemiddeld stikstofgehalte, N-opname en knolopbrengst bij Bintje op basis van 14 vergelijkingen op verschillende bodemtypen (Bries *et al.*, 1994)

N-bemesting (kg N ha ⁻¹)		N-gehalte (mg N/100 g DS)		N-opname (kg N ha ⁻¹)			Knolopbrengst (kg ha ⁻¹)
		loof	knol	loof	knol	totaal	knol
N-advies + 40 %	294	1708	1572	64	169	233	56361
N-advies	210	1484	1475	48	165	213	56639
N-advies -40%	126	1345	1373	35	149	184	54475
Getuige	0	1122	1049	20	108	128	47486

Verschillende aspecten worden sterk beïnvloed door de stikstofbemesting.

Zo bevordert een ruim aanbod van stikstof de ontwikkeling van het loof. Bij een hoge N-bemesting is laat in het groeiseizoen nog een grote hoeveelheid actief loof aanwezig. Dit kan leiden tot problemen bij de chemische loofdoding. Het natuurlijke afrijpingsproces is duidelijk vertraagd. Algemeen kan gesteld worden dat bij een te hoge stikstofbemesting er meer loof gevormd wordt dan nodig is voor een maximale knolproductie.

Het begin van de knolaanleg situeert zich meestal een zestal weken na planten. Bij een hoog stikstofaanbod wordt de knolaanleg uitgesteld. Indien men vroeg wil oogsten is een lagere stikstofbemesting nodig om een vroege knolaanleg te hebben. Door deling van de stikstofbemesting kan vertraging van de knolaanleg worden verminderd. Bij aardappelen dient de stikstofbemesting dus zeer goed beredeneerd te worden om de loofontwikkeling niet te sterk te stimuleren ten koste van de start van de knolaanleg.

▪ *Invloed op kwaliteit*

Van alle voedingselementen heeft stikstof de belangrijkste invloed op de productie en de kwaliteit van aardappelen. In Tabel 4.8 wordt schematisch weergegeven op welke kwaliteitskenmerken de stikstofbemesting een invloed heeft. Het globaal effect van een hoge N-bemesting op de aardappelkwaliteit is overwegend negatief. De stikstofbemesting bij aardappelen moet evenwichtig zijn; te weinig stikstof geeft onvoldoende opbrengst, te veel stikstof resulteert in kwaliteitsproblemen, uitstel van knolaanleg, afrijpingsproblemen en het risico op nitraatverliezen naar het milieu wordt groter.

De optimale stikstofbemesting varieert sterk naargelang de variëteit. Op vele rassen hebben hoge stikstofbemestingen, zoals gebruikelijk bij Bintje, nefaste gevolgen op de kwaliteit en de bewaarbaarheid en worden tevens geen optimale opbrengsten bekomen. In ieder geval dient de N-bemesting rekening te houden met de variëteit en de bestemming van de aardappelen.

Tabel 4.8: Overzicht van de kwaliteitskenmerken van aardappel welke het sterkst beïnvloed worden door de stikstofbemesting (Perrenaud, 1983; van Loon, 1989)

Kwaliteitskenmerk	Effect op kwaliteit	Omschrijving
Sortering, marktbaar productie	+	toename
Secundaire groei	-	gestimuleerde doorwas
Holle harten	-	
Drogestofgehalte, onderwatergewicht	-	lager gehalte
Zetmeelgehalte	-	lager gehalte
Blauwgevoeligheid	+	minder gevoelig
Bakkleur	-	donkere bakkleur
Textuur van de frites	-	
Nitraatgehalte van de knollen	-	hoger gehalte
Bloemigheid na koken	-	vaster kooktype
Smaak na koken	-	minder goede smaak

▪ *Toediening van organische mest*

Door Harris (1992) en Bries *et al.* (1995) werden zowel proefvelden geciteerd waar de respons voor organische bemesting volledig kon vervangen worden door minerale meststoffen als proefvelden met een duidelijke extra opbrengstverhoging door gebruik van organische bemesting. Een bereedeneerde organische bemesting heeft geen negatieve invloed op de aardappelkwaliteit. Te hoge dosissen organische mest kunnen daarentegen nefast zijn voor de aardappelkwaliteit zowel voor de verse consumptie als voor de aardappelverwerkende nijverheid (Ampe, 1991).

De hoeveelheid toe te dienen dierlijke mest moet aangepast zijn aan de N-behoefte zoals aangegeven door het bemestingsadvies en rekeninghoudend met de bemestingswaarde (samenstelling x werkingscoëfficiënt) van de dierlijke mest. Wegens het risico op een verhoogd nitraatstikstofresidu door laattijdige mineralisatie van de organisch gebonden stikstof in de periode augustus-oktober bij gebruik van organische mest, wordt in de Code goede landbouwpraktijken aanbevolen om maximaal 2/3 van de effectieve stikstof onder vorm van dierlijke mest toe te dienen. Tijdens het groeiseizoen kan dan de N-beschikbaarheid voor het aardappelgewas bepaald worden om na te gaan of bijbemesting nodig is. Aan een zeer late hoge bijbemesting is er evenwel een risico op een verhoogd nitraatstikstofresidu verbonden.

▪ *Toedieningstijdstip en -wijze*

Om stikstofuitspoeling in de periode tussen het strooien van de meststoffen en het begin van intensieve N-opname door het gewas te beperken, is het noodzakelijk om de N-bemesting kort voor het planten toe te dienen. Hoge stikstofgiften kort voor het planten kunnen echter leiden tot zoutschade wat een groeiremming kan veroorzaken zodat minder stikstof wordt benut, hetgeen vermeden kan worden door een deling van de N-dosis.

Wanneer het advies groter is dan 160 kg N ha⁻¹ wordt aangeraden 140 kg N ha⁻¹ te geven kort voor het planten en de overige stikstofbemesting toe te dienen bij het begin van de knolaanleg. Een vervroegde toediening van de startgift (geruime tijd voor planten om het risico op dergelijke groeiremming te vermijden) is niet wenselijk. De stikstof kan dan door de neerslag te diep uitzakken en onbereikbaar worden voor de jonge aardappelplanten (Bries *et al.*, 1995).

N-residu

Aardappelen is een gewas met een hoge stikstofbehoefte en een lage efficiëntie (lage NBI, Tabel 2.30). Van de opgenomen stikstof blijft nog een gedeelte in het loof op het land achter, zodat gemiddeld slechts 35 % van de toegediende stikstof wordt afgevoerd via de knollen (Vos, 1993). Deze lage efficiëntie, samen met de gebruikelijke hoge N-giften, maken dat na aardappelen vaak hoge N-residu's worden gemeten in het bodemprofiel. Dit hangt deels samen met de toestand van het perceel (humusgehalte, mineralisatiecapaciteit) en de klimaatsomstandigheden (najaarsmineralisatie, uitspoeling tot op een diepte waar de wortels van het gewas niet geraken), en deels met de eigenschappen van het gewas (beperkte worteldiepte, relatief vroege afrijping en remming van N-opname).

In Figuur 4.11 worden voor 14 aardappelvelden en voor verschillende N-dosissen (getuige, advies -40%, advies, advies + 40%) het N-residu (nitrische en ammoniakale) in het bodemprofiel (0-90 cm) weergegeven op het moment van de oogst (Bries *et al.*, 1994). De gemiddelde residu's per N-dosis worden verbonden door een curve, die de surpluscurve wordt genoemd. Hieruit kan afgeleid worden vanaf welke N-dosis (verzadigingspunt) het N-residu in de bodem sterk toeneemt. Vanaf dit punt wordt van de toegediende bemesting weinig of niets meer opgenomen door het gewas.

Voor de verschillende proefvelden varieerde het advies van 156 tot 250 kg N ha⁻¹ met een gemiddelde van 216 kg N ha⁻¹. Tot aan de stikstofbemesting gelijk aan het advies ligt het N-residu gemiddeld op een vergelijkbaar niveau. Overbemesting leidt duidelijk tot een aanrijking van het bodemprofiel.

De ligging van de surpluscurve is sterk perceelsafhankelijk. De grote verschillen tussen de proefvelden zijn vooral te wijten aan verschillen in watervoorziening. Op de percelen met een neerslagtekort tijdens het groeiseizoen worden beduidend hogere residu's gemeten omwille van een geringe N-opname. Door berekening kan dit probleem vermeden worden. Op percelen met een ondiepe beworteling is er bovendien meer kans op een verhoogd residu bij de oogst. Ook het jaareffect speelt een belangrijke rol: bij een droogteperiode kunnen de groei en de N-opname snel terugvallen. Samen met de mineralisatie na de loofdoeding kan dit leiden tot een verhoogde hoeveelheid reststikstof bij de oogst.

Het grootste probleem bij de teelt van aardappelen op het vlak van bemesting is de beperkte benutting van de beschikbare stikstof in combinatie met de beperkte wortelontwikkeling. Daarom is het van het grootste belang om optimaal gebruik te maken van de voorraad stikstof die in de bodem aanwezig is. Deze kan gemeten worden op een bepaald tijdstip, maar evenzeer belangrijk blijft de begroting van de hoeveelheid stikstof die ter beschikking komt door mineralisatie. Niet enkel de totale dosis toegediende stikstof is van belang, maar evenzeer de periode van beschikbaarheid voor het gewas. Zo is te verwachten dat bij een toediening van een traagwerkende N-meststof (vb. Entec), de stikstof gedurende een langere periode beschikbaar wordt gesteld van het gewas. Bij het gebruik van meststoffen met nitrificatieremmer wordt de omzetting van ammoniakale-N naar nitrische-N in de bodem vertraagd. De bedoeling hiervan is het beperken van N-verliezen via uitspoeling en het bereiken van een langdurige optimale N-voorziening van het gewas.

Hetzelfde effect wordt bekomen bij fractionering van de N-gift. Bij de eenmalige toediening van het N-advies met bv. Ammoniumnitraat 27%N zijn grotere hoeveelheden beschikbaar aan het begin. Dit kan leiden tot een te forse loofontwikkeling en eventueel uitspoelingsverliezen bij een zeer nat voorjaar.

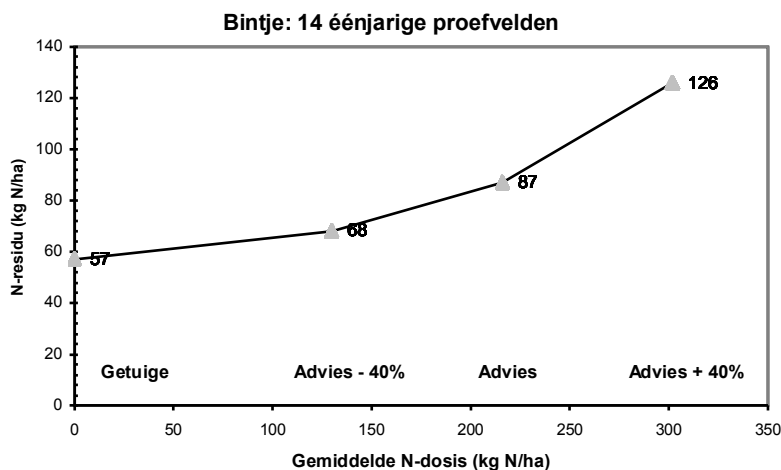
Met als doelstelling het verhogen van de N-efficiëntie en het beperken van het nitraatstikstofresidu bij de oogst is het mogelijk om de basisgift bij het planten te verminderen en vervolgens doelgericht bij te bemesten. Een systeem van beredeneren van de bemesting op basis van een **mineraal N-onderzoek vóór planten** is aangewezen wanneer de inhoud en de bemestingswaarde van de gebruikte mest gekend is op het moment dat ze wordt toegediend. Als

dit niet het geval is, dan biedt het alternatief systeem van bijbemesten op basis van een **N-indexontleding tijdens het groeiseizoen** eveneens een oplossing. Via deze methode wordt aan de hand van de N-reserve en de reeds opgenomen hoeveelheid stikstof een inschatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die het gewas nog nodig heeft voor optimale productie. Een derde alternatief is de bijbemesting op basis van **een chlorofylmeting** van het loof. Een te late bijbemesting verhoogt evenwel het risico op een vertraagde afrijping en een verhoogd nitraatstikstofresidu.

Indien de klimaatsomstandigheden gunstig zijn voor mineralisatie (hoge temperaturen, voldoende bodemvocht), dan kan nog tot ver in het najaar (en dus na de oogst van de aardappelen) een grote hoeveelheid stikstof uit bodemhumus worden vrijgezet door mineralisatie. Zelfs op correct bemeste percelen kan dit fenomeen voor een verhoging van het nitraatstikstofresidu in het najaar leiden.

Groenbemesters

Theoretisch zou de inzaai van een groenbemester N-verliezen tijdens de winterperiode kunnen reduceren. In de praktijk worden aardappelen meestal echter laat geoogst en zijn veel groenbemesters niet meer in staat om een ruime hoeveelheid stikstof op te nemen. Volgens Vos (1993) kan snijrogge, ingezaaid als vanggewas in de tweede helft van september nog 40 tot 60 kg N ha⁻¹ vastleggen en de nitraatuitspoeling meetbaar verlagen. Indien na de aardappelen gerst wordt ingezaaid kan een gedeelte van het N-residu bij de oogst van de aardappelen gerecupereerd worden door dit gewas. Gerst gaat de stikstof tot zeer diep in het profiel benutten.



Figuur 4.11: Gemiddelde mineraal stikstofresidu (kg N ha⁻¹) in het bodemprofiel (0-90 cm) bij de oogst, aardappelproefvelden Bodemkundige Dienst van België (Bries *et al.*, 1994)

Proefveldresultaten

In 2001 werden door het Landbouwcentrum Aardappelen proeven uitgevoerd waarin het effect van de N-bemesting op de opbrengst en kwaliteit van de aardappelen werd onderzocht.

De proefveldlocaties te Wannegem-Lede (PCA) en te Velm (Bodemkundige Dienst van België) zijn een verderzetting van de demonstratieproeven 2078/92 waarbij de meerjarige invloed van de vermindering van de stikstofbemesting op de opbrengst, de kwaliteit en de reststikstof in het bodemprofiel werd onderzocht. Op beide percelen werd reeds gedurende 7 teeltseizoenen een gelijkaardig proefschema aangelegd. In Tabel 4.9 en Tabel 4.10 zijn de opbrengstresultaten en de hoeveelheid nitraatstikstof na de oogst weergegeven voor respectievelijk de proefvelden te Velm en te Wannegem-Lede.

Op beide locaties is het effect van de meerjarige nulbemesting duidelijk merkbaar: er wordt voor deze behandeling een opbrengst van respectievelijk 36.3 en 37.1 ton/ha verse stof behaald. De perceeltjes die gedurende meerdere jaren wel een stikstofbemesting hebben gekregen, behalen tot 50 % meeropbrengst. Op beide locaties wordt er geen duidelijke meeropbrengst behaald bij het gebruik van dierlijke mest wanneer het niveau van totale hoeveelheid werkzame stikstof gelijk blijft.

Op het proefveld te Wannegem-Lede, waar in tegenstelling tot Velm wel behandelingen met een overbemesting (hoger dan het N-advies volgens de N-indexmethode) werden aangelegd, heeft deze overbemesting (advies + 40 %) niet geleid tot significante toename van de totale knolopbrengst. Wel ligt het nitraatstikstofresidu in de laag 0-90 cm hier beduidend hoger. Ook bij het gebruik van dierlijke mest ligt het nitraatstikstofresidu na de oogst hoger dan wanneer enkel minerale meststoffen zijn toegediend.

Concrete aanbevelingen

De efficiëntie van stikstofmeststoffen in de aardappelteelt is vaak gering. Dit is vooral te wijten aan de geringe bewortelingsdiepte en de beperkte bewortelingsintensiteit van het gewas.

Het gebruik van traagwerkende N-meststoffen, een correcte inschatting van de bemestingswaarde bij het gebruik van dierlijke mest, de fractionering van de N-bemesting en de bepaling van de N-bijbemesting na een meting tijdens het groeiseizoen, zijn allemaal factoren die een bijdrage kunnen leveren tot de verhoging van de efficiëntie van de stikstofbemesting en het beperken van de hoeveelheid reststikstof bij de oogst. Fractioneren is aangeraden omdat er bij een te grote beschikbaarheid van stikstof vlak voor het planten zoutschade kan optreden, omdat er uitspoeling kan optreden tussen de periode van strooien en het begin van intensieve N-opname door het gewas of omdat een te grote N-gift de groeiperiode kan verlengen. Het toedienen van traagwerkende meststoffen steunt op hetzelfde principe als een gedeelde gift, namelijk een spreiding van de N-voorziening in functie van de gewasontwikkeling.

De rol van het klimaat is een niet te onderkennen factor: in seizoenen waarbij er voldoende bodemvochtreserves voorhanden zijn, zal de efficiëntie van de N-opname en het opbrengstniveau een stuk hoger zijn.

Omdat tussen het doodspuiten van de aardappelen (de N-opname stopt) en het inzaaien van snijrogge of gerst enkele weken verlopen, wordt aanbevolen om geen drijfmest toe te dienen omdat de bodem immers nog voldoende stikstof beschikbaar stelt door mineralisatie en omdat de opname door snijrogge en vooral door gerst in de herfst en winter beperkt is.

Tabel 4.9: Beschrijving van de behandelingen op het proefveld te Velm en opbrengstresultaten en nitraatstikstofresidubepalingen in functie van de bemesting (oogst op 12 september)

behandeling	dierlijke mest	totale werkzame N	opbrengst relatief*	reststikstof kg N ha ⁻¹
	ton ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹		
geen minerale N	0	0	100	54
geen minerale N	21	95	150	54
geen minerale N	34	153	156	79
advies – 40 %	0	130	156	66
advies – 40 %	21	122	152	80
advies – 40 %	34	153	156	63
advies*	0	209	165	89
advies	21	197	164	114
advies	34	215	158	107
MAP: 200 Nmin*	0	200	165	99
MAP: 275 Ntot	21	200	165	171
MAP: verhoogde	34	203	163	113

* 100 % = 36.3 ton ha⁻¹

Bemestingswaarde N uit dierlijke mest: 45 kg N/10 ton

Tabel 4.10: Beschrijving van de behandelingen op het proefveld te Wansegem-Lede en opbrengstresultaten en nitraatstikstofresidubepalingen in functie van de bemesting op het (oogst op 23 oktober)

behandeling	dierlijke mest	totale werkzame N	opbrengst relatief*	reststikstof kg N ha ⁻¹
	ton ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹		
geen minerale N	0	0	100	34
geen minerale N	20	140	155	42
geen minerale N	32	224	154	52
verscherpt	0	170	156	44
verscherpt	20	170	160	60
geen minerale N	32	224	153	52
advies	0	215	156	56
advies	20	223	156	65
advies	32	224	153	52
MAP: 275 Nmin	0	275	161	124
MAP: 350 Ntot	20	275	152	100
advies + 40 %	32	322	155	139

* 100 % = 37.1 ton/ha

Bemestingswaarde N uit dierlijke mest: 70 kg N/10 ton

4.4 Aanbevelingen grasland

Gras kan onder verschillende uitbatingswijzen worden verbouwd, nl. als maailand, als weide, of in een gemengd systeem van maaien en weiden.

Maaiweiden versus begraaide weiden

Bij maaiweiden zijn er over het algemeen weinig problemen met nitraatuitspoeling. In het kader van de onderzoeksopdracht 'Bemestingsrichtlijnen en controlemethodiek voor de aanwending van dierlijke mest in de landbouw' werd gedurende 4 jaar een graslandproefveld, uitgebaat als maaiweide, opgevolgd te Geel op een zandgrond (Coppens *et al.*, 1997). Het effect van een jaarlijkse toediening van 20 ton ha⁻¹ runderdrijfmest gecombineerd met minerale bemesting werd onderzocht. Bij een toenemende bemesting kon een toename in droge stof opbrengsten en N-afvoer vastgesteld worden wat op een goede N-benutting wijst. Gedurende 4 jaar werd steeds een lage nitraatconcentratie in het grondwater gemeten, ook bij drijfmesttoediening. Ook bij een totale dosis van ruim 400 kg N (in '96) was er geen overschrijding van de grenswaarde van 50 mg NO₃ l⁻¹ in het grondwater.

In het 'Demonstratieproject grasland i.v.m. het verminderd gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen' werd onderzocht wat het effect was van een verminderde stikstofbemesting op maai- en graasweiden op de opbrengsten en kwaliteit van het gras en op het nitraatstikstofresidu na het weideseizoen (Heursel *et al.*, 1999). Hieruit bleek dat het gebruik van organische mest economisch gunstig is. Ecologisch gezien doen zich de meeste problemen voor bij begrazing omdat de return aan stikstof via de faeces en urine groot is en terug op de weide komt waar zij weinig efficiënt als stikstofbron voor grasproductie wordt benut. De afvoer aan stikstof via eiwit in melk en vlees van de dieren is immers vrij gering.

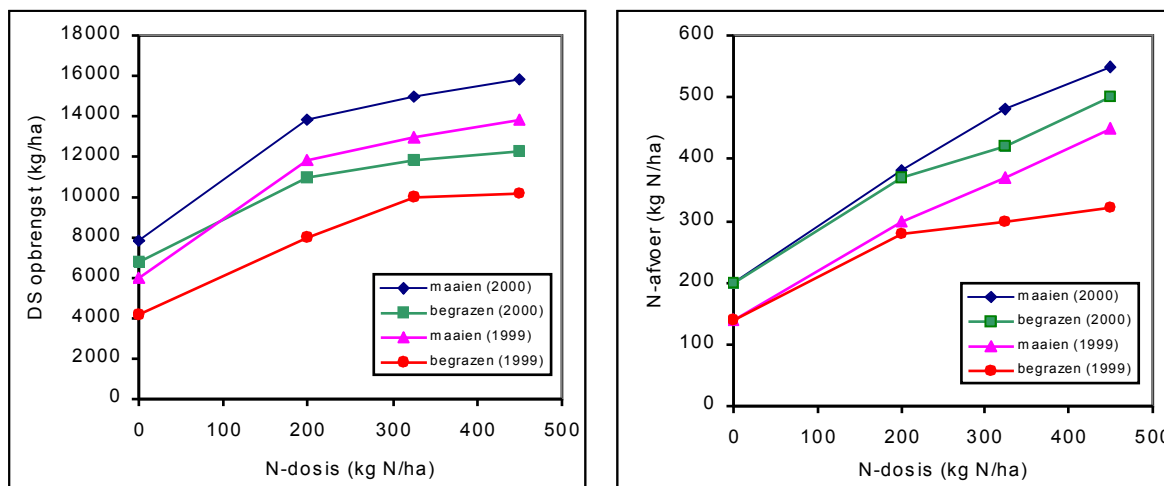
Bij maaiweiden daarentegen wordt via het afvoeren van veel eiwit met het gemaaid gras veel stikstof uit de bodem onttrokken zodat deze uitbatingswijze bij een normale stikstofbemesting geen aanleiding kan zijn tot het vinden van hoge nitraatstikstofresidu's na het weideseizoen (Tabel 4.11).

Tabel 4.11: Gemiddelde droge stof opbrengsten en gemiddelde N-residu in het bodemprofiel (0-60 cm) na de oogst (kg NO₃-N/ha) bij gemaaid grasland; gemiddelde van 5 proefvelden (Merelbeke, Geel, Middelkerke, Tienen, Bree) van 3 proefveldjaren ('96, '97 en '98) (Heursel *et al.*, 1999)

Minerale N (kg N/ha)	Organische mest (ton/ha)	DS opbrengst (kg/ha)			N-residu (0-60 cm) (kg NO ₃ -N/ha)		
		1996	1997	1998	1996	1997	1998
0	0	4300	4000	4400	42	15	34
100		6800	7400	7700	35	15	39
200		8000	10200	10500	38	19	33
300		9500	12000	12400	37	34	50
400		10100	13000	13000	45	32	52
0	20	5600	5900	6000	33	17	28
100		7500	9000	9300	31	15	30
200		8900	10800	11500	31	18	43
300		9900	12600	12500	32	31	48
400		10700	13000	13100	44	36	62
0	40	6100	6500	6600	30	22	35
100		7800	9500	10200	32	19	33
200		9100	11400	12000	39	19	36
300		9900	12900	12800	42	32	56
400		10500	13100	12900	44	44	58

In het kader van het project 'Ontwikkeling van een methode voor de beheersing en verfijning van de stikstofbemesting van grasland gebaseerd op het vochtleverend en het stikstofleverend vermogen van de bodem' (Geypens *et al.*, 2000) werden 4 proefpercelen (2 zandbodems en 2 zandleembodems) intensief opgevolgd gedurende twee jaar (1999 en 2000). Op elk proefveld werden zowel maaien als begrazen als uitbatingssysteem opgevolgd. Verschillende minerale bemestingsdosissen (0 – 200 – 325 – 450 kg N ha⁻¹) werden toegediend. Alle perceeltjes werden eerst gemaaid waarna de begrazingspercelen werden afgesloten van de percelen die uitsluitend gemaaid werden. Voor wat betreft begrazing werden de percelen 5 tot 6 maal begraasd na de eerste maaisnede. De duur van de begrazing door jongvee bedroeg 3 tot 5 dagen.

Uit Figuur 4.12 blijkt dat de drogestofopbrengsten onder begrazing lager liggen ten opzichte van deze bij maaiomstandigheden, voor beide groeiseizoenen. Dit is het gevolg van de grotere droge stofverliezen die optreden onder beweiding: door onregelmatig afeten van het gras waardoor bosjesvorming optreedt, vertrapping van het gras door het vee, Deze figuur geeft ook aan dat de opbrengsten van het tweede proefjaar hoger liggen. Een mogelijke verklaring hiervoor zou de betere watervoorziening kunnen zijn. Dit kan ook de hogere N-opname in het tweede proefjaar verklaren, samen met een vroegere start van begrazen en maaien in 2000. Voor beide jaren werden hogere stikstofopnames gemeten naarmate een hogere bemesting werd toegepast.

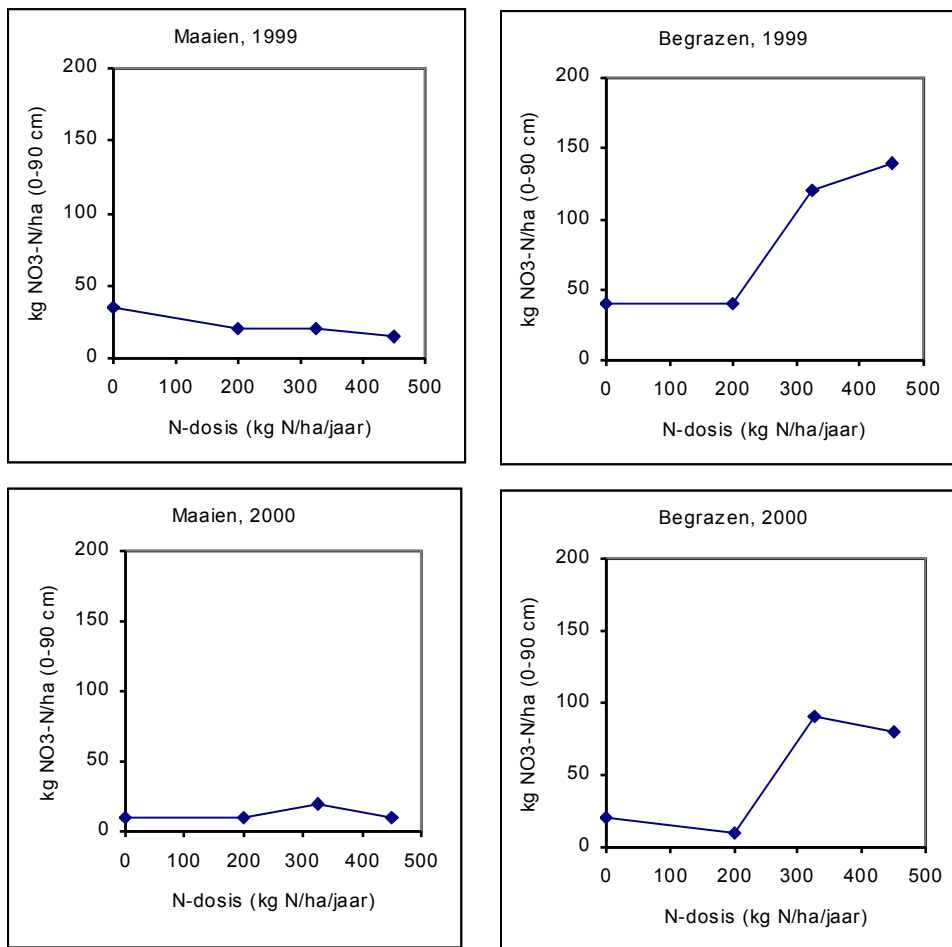


Figuur 4.12: Gemiddelde droge stofopbrengst (kg DS/ha) en N-afvoer (kg N/ha) voor vier proefvelden in 1999 en 2000 in functie van de totale minerale stikstofdosering op jaarbasis (kg N/ha.jaar)(exclusief begrazing) voor maaien en begrazen (Geypens *et al.*, 2000)

Wanneer de optimale stikstofdosering vanuit milieukundig oogpunt wordt gezocht, wordt rekening gehouden met het nitraatstikstofresidu dat op het einde van het groeiseizoen in het profiel wordt teruggevonden en dat onderhevig kan zijn aan uitspoeling. Voor alle percelen werd een surpluscurve opgesteld waarbij het stikstofresidu in het bodemprofiel na het groeiseizoen wordt uitgezet ten opzichte van de toegediende bemesting.

Onder maaiomstandigheden bleek de N-dosis weinig bepalend te zijn voor de hoeveelheid reststikstof die achterblijft in het profiel na het groeiseizoen. In het eerste jaar werd enkel op één perceel een verhoogd nitraatstikstofgehalte gemeten, zelfs bij nulbemesting, vanwege de hoge mineralisatie op dit perceel. In het tweede proefjaar werden onder maaiomstandigheden steeds lage nitraatstikstofgehalten gemeten.

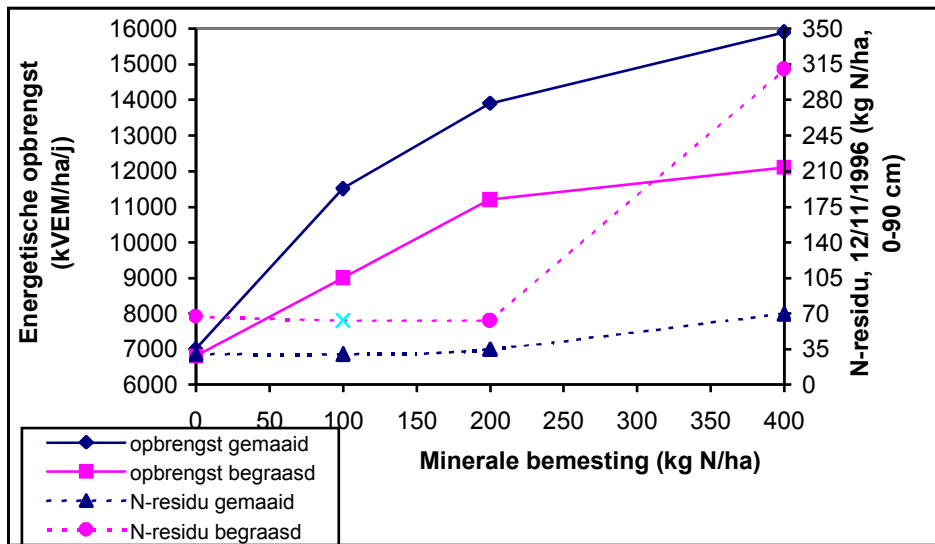
Onder begrazing werden er in functie van de bemestingsdosering wel verhoogde nitraatstikstofgehalten gemeten. De bodemstaalnames gebeurden steeds in de periode 15 oktober - 15 november tot op een diepte van 90 cm. Ter illustratie wordt in Figuur 4.13 de surpluscurve gegeven voor proefveld 221 (zandleem, laag vochtleverend vermogen) voor de twee proefveldjaren (1999 en 2000) en de twee uitbatingswijzen, maaien en begrazing.



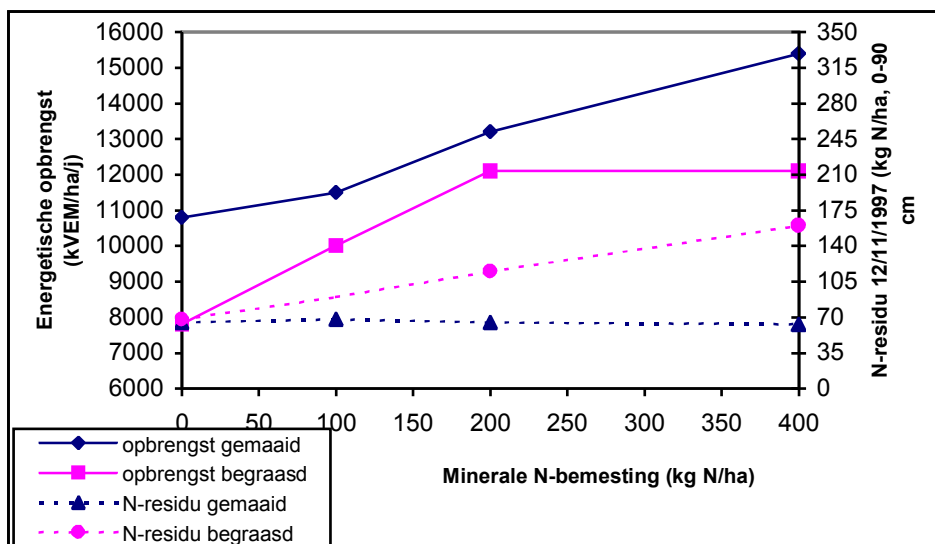
Figuur 4.13: Surpluscurven voor maaien en begrazen voor proefveld 221 (zandleem), proefveldjaren 1999 en 2000 in functie van de totale minerale stikstofdosering op jaarbasis (kg N/ha.jaar)(exclusief begrazing) voor maaien en begrazen (Geypens *et al.*, 2000)

Door Nevens en Reheul (1998) werden begrazings- en maaiproeven aangelegd in 1996 en 1997. De energetische opbrengst ($\text{kVEM ha}^{-1} \text{j}^{-1}$) en de residuele minerale stikstof in de bodem (0-90 cm) bij gemaaid en begraasd grasland met een minerale bemesting van 0, 200 of 400 $\text{kg N ha}^{-1} \text{j}^{-1}$ wordt voor beide jaren weergegeven in Figuren 4.14 en 4.15. Begraasd grasland bracht in deze proeven 18,4 % minder op dan gemaaid grasland. De energetische opbrengst van door jongvee begraasd grasland kende een maximum bij $\pm 200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{j}^{-1}$, voor gemaaid grasland lag dit maximum bij meer dan $400 \text{ kg N ha}^{-1} \text{j}^{-1}$. Een minerale bemesting van $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{j}^{-1}$ was onder begrazing ook het economisch optimum én de grens waarboven het nitraatstikstofresidu sterk toenam en bijgevolg ook het risico op aanzienlijke N-uitspoeling.

Er zijn dus duidelijke verschillen tussen begraasd en gemaaid grasland op gebied van opbrengstrespons, N-export en risico voor uitspoeling.



Figuur 4.14: Energetische opbrengst en residuele minerale stikstof in de bodem (0-90 cm) bij gemaaid en begraasd grasland met 0, 200 of 400 kg minerale N ha⁻¹ j⁻¹ in 1996 (Bron: Nevens en Reheul, 1998)



Figuur 4.15: Energetische opbrengst en residuele minerale stikstof in de bodem (0-90 cm) bij gemaaid en begraasd grasland met 0, 200 of 400 kg minerale N ha⁻¹ j⁻¹ in 1997 (Bron: Nevens en Reheul, 1998)

Graskwaliteit

De stikstofbemesting is een belangrijke factor die de energetische waarde, het eiwitgehalte en de minerale samenstelling van het gras beïnvloeden.

De stikstofbemesting heeft vooral een groot effect op het eiwitgehalte van het gras (Geypens *et al.*, 2000; Nevens en Reheul, 1998; van Burg, 1989). Indien het gras meer stikstof bevat dan het vee nodig heeft, komt het teveel aan eiwit als ureum in de urine van het vee terecht. Urine bevat naarmate het rantsoen eiwitrijker is dan ook meer stikstof. Aangezien urine pleksgewijze op het gras terechtkomt, is er op een urineplek sprake van een extreem hoge stikstofbemesting met als gevolg meer uitspoeling van nitraat en vervluchtiging van ammoniak. Door de hogere concentratie van stikstof in de urine neemt bovendien de kans op urinebrandvlekken toe (van Burg, 1989). Door het ruwvoederrantsoen beter af te stemmen op de eiwitbehoefte van het vee door bijvoorbeeld de helft van de drogestofopname uit gras te vervangen door snijmaïs of andere eiwitarme producten, zal de stikstofbenutting door het vee verbeteren, met als gevolg dat de stikstofuitscheiding in de urine zal afnemen.

Het nitraatgehalte in het gras kan bij hoge en snelle opname ervan leiden tot nitraatvergiftiging van het vee. Bij grote opname wordt het nitraat in de pens omgezet tot nitriet, waardoor hemoglobine omgezet wordt in methemoglobine. Als gevolg hiervan komt de zuurstofopname door het bloed in het gedrang. Als kritische grenswaarde voor rundvee worden waarden vermeld tussen 0.75 % bij kuilgras of hooi en 2 % bij beweiding (van Burg *et al.*, 1989). Uit proeven bleek dat het nitraatgehalte in het gras het hoogst is in de zomer en stijgt bij toenemende bemesting (Geypens *et al.*, 2000; van Burg *et al.*, 1989).

Begraasd grasland

De voorgaande figuren en tabellen toonden aan dat er op maaiweiden weinig problemen te verwachten zijn wat betreft nitraatuitspoeling. Op begraasde weiden bleek dat de situatie enigszins anders is. Bij beweiding keert een groot aandeel van de opgenomen N terug naar het perceel. Ongeveer 80 % van de N die opgenomen wordt door de dieren wordt terug uitgescheiden op het grasland via mest en urine (Addiscott *et al.*, 1991). Vooral het effect van urine op nitraatuitloging naar het grondwater kan zeer belangrijk zijn (Afzal en Adams, 1992). Urine en faeces zijn zeer heterogeen verspreid over de weide (Bogaert *et al.*, 2000). Bovendien gaat het over zeer hoge N-concentraties op een zeer beperkte oppervlakte.

Doordat de mest en urine op een beperkt deel van het perceel worden geconcentreerd krijgt dit deel een plaatselijk hoge N-bemesting die de N-opname, grasgroei en N-verliezen sterk zal beïnvloeden.

In de urineplekken wordt de N-opname en de grasgroei sterk bevorderd door de grote hoeveelheid stikstof die beschikbaar is. Door Van der Putten en Vellinga (1996) werd vastgesteld dat de extra droge stof opbrengst en extra N-opname als gevolg van urinelozingen het hoogst waren bij toedieningen in het voorjaar en afnamen naarmate het groeiseizoen vorderde. Bij een hogere N-basisbemesting namen de extra opbrengsten af.

Uit onderzoek bleek dat de effecten van urinestikstof op de nitraatuitspoeling variëren gedurende het groeiseizoen. Urine-N die vroeg in het groeiseizoen op het gras terechtkomt, wordt deels nog opgenomen door het groeiende gras en draagt dus minder bij aan de nitraatuitspoeling dan de late urineplekken.

Uit proefveldonderzoek met kunsturine bleek dat onder veldjes waaraan vóór augustus urine was toegediend nauwelijks meer minerale stikstof in het bodemprofiel aangetroffen werd dan onder veldjes die niet met urine waren behandeld (Van der Putten en Vellinga, 1996). Urinetoediening na augustus leidde, naarmate de veldjes later in het groeiseizoen waren behandeld, in toenemende mate tot een grotere hoeveelheid N_{\min} in de laag 0-60 cm aan het einde van het groeiseizoen. Ook

uit onderzoek door Sherwood (1986) en Cuttle and Bourne (1993) bleek dat enkel urinetoedieningen vanaf september de hoeveelheid stikstof in het bodemprofiel deden toenemen. Het eerder stoppen van de beweiding aan het eind van het groeiseizoen kan daarom een zinvolle bijdrage leveren aan de vermindering van de nitraatuitspoeling.

Een andere factor die de nitraatuitspoeling beïnvloedt is het beweidingsregime.

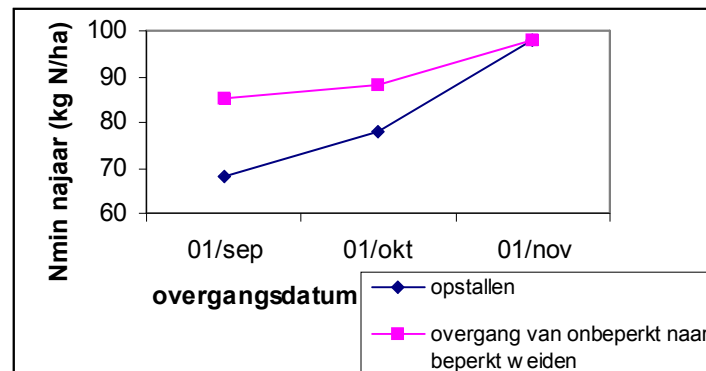
In Vlaanderen wordt het omweidesysteem veel toegepast: de dieren lopen een aantal dagen in een perceel. Daarna gaan ze naar een volgend perceel. Na enkele weken groei kan opnieuw worden beweid of gemaaid. Maaien en weiden wisselen elkaar af. Naast het onbeperkt weiden (het vee weidt 's zomers dag en nacht), komt ook het beperkt weiden vaak voor op intensieve veehouderijbedrijven: het vee weidt overdag en wordt 's nachts op stal bijgevoerd. Ook siëstabeweiding komt voor: de dieren weiden tweemaal per dag gedurende 3 à 4 uren. De dieren kunnen ook het gehele jaar op stal worden gehouden.

Door over te gaan van onbeperkt weiden naar beperkt weiden daalt logischerwijze het aantal urineelozingen en dus de N-excretie door het vee in de weide.

Het vroeger opstallen van het vee heeft een duidelijk effect op de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel op het einde van het groeiseizoen en de nitraatconcentratie in het grondwater.

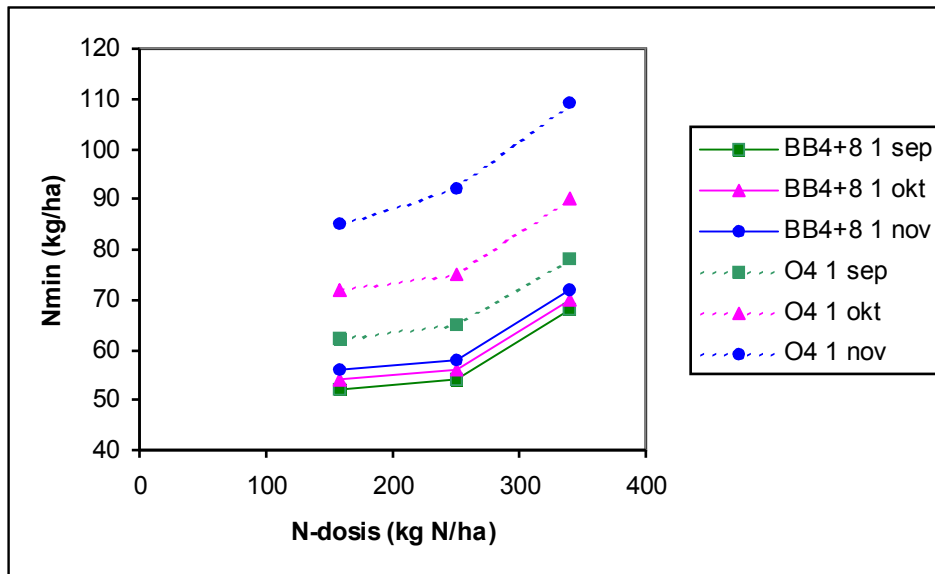
Indien de dieren worden opgesteld op 1 oktober in plaats van 1 november, is de hoeveelheid N_{\min} in het bodemprofiel 20 kg N ha^{-1} lager op het einde van het groeiseizoen volgens modelleringsresultaten van Vellinga *et al.* (1996) (Figuur 4.16).

Als de beweiding in de laatste twee maanden van het groeiseizoen op beperkte wijze wordt voortgezet, in plaats van volledig opstallen op 1 september, is de daling van de hoeveelheid N_{\min} geringer.



Figuur 4.16: De hoeveelheid N_{\min} in de laag 0-100 cm aan het einde van het groeiseizoen bij overgang van onbeperkt weiden naar beperkt weiden van het melkvee of geheel opstallen van alle vee. Veebezetting $2 \text{ melkkoeien ha}^{-1}$ (inclusief jongvee), N-bemesting 400 kg N/ha/jaar , productie $7000 \text{ kg melk koe}^{-1}$ (Vellinga *et al.*, 1996)

Het NURP-model (Nitrogen, URine and Pastures) (Vellinga *et al.*, 1997) wordt in Nederland gebruikt om de nitraatuitspoeling door melkveebedrijven in te schatten. Met de ontwikkelde rekenregels kan de invloed van bemesting, beweidingssysteem, bijvoeding, melkproductie per koe en van vervroegd opstallen op de accumulatie van minerale stikstof op perceelsniveau worden berekend. In Figuur 4.17 wordt het effect van eerder opstallen en van het beweidingssysteem weergegeven. Voornamelijk bij dag-en-nacht beweiding is een verkorting van het begrazingsseizoen een effectieve manier om de accumulatie van minerale stikstof onder urineplekken te beperken (Schils, 2002).



Figuur 4.17: Accumulatie van minerale stikstof in functie van de lengte van het begrazingsseizoen en begrazingssysteem (O4=dag-en-nacht begrazing, BB4=4 uren begrazing, +8= bijvoeding van 8 kg maïs (kg DS koe⁻¹ dag⁻¹) (Schils, 2002)

Scheuren van grasland

Bij het scheuren van ouder grasland kunnen grote hoeveelheden stikstof vrijkomen uit de bodemorganische stof. De hoeveelheid stikstof die vrijgezet wordt stijgt naarmate het grasland ouder is en naarmate het grasland sterker bemest werd (Whitehead, 1995). Graslandvernieuwing in het najaar is af te raden omwille van het risico van het vrijkomen van een grote hoeveelheid stikstof die niet volledig kan worden benut. Het inschakelen van minimum 1 jaar voedergewassen (maïs, voederbieten) vooraleer het grasland te vernieuwen kan deze problematiek doorbreken. In de praktijk wordt regelmatig de vraag gesteld omtrent het optimaal tijdstip van weidescheuren voor de inzaai van een akkerbouwgewas (maïs, voederbieten, ...). Bij scheuren in het najaar kan de zode reeds beginnen te verteren. Indien dit proces te snel op gang komt, kan dit leiden tot een belangrijke nitraataccumulatie in de bouwvoor met het risico van nitraatuitspoeling tijdens de winter. Bij scheuren laat in het voorjaar bestaat de kans dat de zode te traag begint te verteren. Dit kan leiden tot een gebrekkige stikstofvoorziening aan de volgteelt.

In 2000 werd in het kader van het programma LCV gestart met het project 'Beredeneerde stikstofbemesting van maïs op gescheurd grasland'. De proeven werden aangelegd op drie locaties en betroffen een vergelijking van 2 tijdstippen van frezen (januari, april) bij 4 N-bemestingniveaus. (Mertens en Bries, 2001; Mertens en Bries, 2002).

Laat frezen (april) resulteert door N-opname van de graszode in een lagere hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel op het moment van de maïszaai. Zowel bij vroeg als bij laat frezen werd een zeer vlotte stikstoflevering door de ondergewerkte graszode vastgesteld. Uit de proefveldresultaten blijkt dat op de onbemeste percelen steeds een hoge droge stofopbrengst wordt bekomen. In de verschillende proeven was de opbrengstrespons als gevolg van aanvullende stikstofbemesting zeer beperkt. Toediening van een extra N-bemesting leidt, noch onder de vorm van een minerale bemesting, noch onder de vorm van een organische bemesting,

tot significante opbrengstverschillen voor de proefpercelen. De opbrengst op de vroeg gefreesde objecten lag gemiddeld iets hoger dan op de laat gefreesde objecten.

Op de proefvelden is tijdens het groeiseizoen duidelijk het belang van de mineralisatie van de ondergewerkte graszode aangetoond, zodat in de meeste gevallen de ganse groeiperiode aan de N-behoefte van de maïs werd voldaan zonder toediening van stikstof onder minerale of organische vorm. Door najaarsmineralisatie en door de beperkte N-opname van maïs na half augustus, worden in de bodem na de oogst vaak hoge nitraatstikstofresidu's teruggevonden. Dit toont aan dat bij vruchtwisseling door inzaai van maïs na meerjarig grasland, de stikstofmineralisatie maximaal door de maïsteelt moet worden benut, wil men de nitraatstikstofresidunormen respecteren.

Op het Nationaal Centrum voor Grasland- en Groenvoederonderzoek (2^{de} sectie, Melle) liep van 1991 tot 1998 een onderzoek waarin de effecten van vruchtwisseling en wisselbouw op de productiviteit van groenvoeders en op hun benutting van minerale stikstofbemesting onderzocht werden (Nevens en Reheul, 1998).

Uit de proefveldresultaten volgde dat gescheurd tijdelijk grasland (3 jaar oud) in de volgende akkerbouwperiode van 3 jaar degressief 300 kg supplementaire minerale N ha⁻¹ levert: de geschatte N-levering uit gescheurd 3-jarig begraasd grasland in het eerste, tweede en derde jaar na scheuren bedroeg gemiddeld voor 3 cyclussen resp. 163, 83 en 55 kg N ha⁻¹. Whitehead *et al.* (1990) schatten dat de extra mineralisatie uit wortels, stoppels en bodemorganisch materiaal in het eerste jaar akker na scheuren van 3-jarig begraasd grasland 200 kg N ha⁻¹ kan bedragen. Maaien in plaats van beweiden beperkt deze hoeveelheid tot 120 kg N ha⁻¹.

De vrijgestelde stikstof kan goed worden benut mits het toepassen van de juiste vruchtopvolging. Maïs nam in het eerste jaar tijdelijke akker relatief weinig op van de grote hoeveelheid vrijkomende stikstof. De teelt ervan in dat jaar hield dan ook het risico in op een groot mineraal N-residu in de bodem (Tabel 4.12). Voederbieten zijn meer aangewezen als eerste teelt op de tijdelijke akker. Voederbieten nemen door hun hogere productie, hun diepere beworteling en hun langer groeiseizoen beduidend meer stikstof op dan maïs zodat het nitraatstikstofresidu na de oogst van de bieten laag is. Uit de proefveldresultaten bleek dat ook bij voederbieten het eerste jaar na scheuren gewerkt kon worden zonder stikstofbemesting. Uit proeven is gebleken dat de aanwezigheid van voederbiet in deze vruchtwisseling een positief effect heeft op de maïsoopbrengst die op de voederbieten volgt.

Tabel 4.12: Opbrengst, N-export en nitraatstikstofresidu in het eerste jaar tijdelijke akker (TA) na het scheuren van 3-jarig grasland of op blijvende akker (BA) (Nevens en Reheul, 1998).

Jaar			Maïs			Voederbiet		
			Minerale N-bemesting (kg N ha ⁻¹)			Minerale N-bemesting (kg N ha ⁻¹)		
			0	75	180	0	75	180
1990	Opbrengst (kg DS ha ⁻¹)	TA	17507	17535	17931	21763	22512	22041
		BA	11570	16153	16318	16439	18028	20551
	N-export (kg N ha ⁻¹)	TA	169	188	205	238	297	360
		BA	81	130	162	140	151	231
1996	Opbrengst (kg DS ha ⁻¹)	TA	17111	17060	16969	22568	19334	22491
		BA	6750	15023	17846	15403	20485	21836
	N-export (kg N ha ⁻¹)	TA	184	193	201	304	297	376
		BA	45	127	199	137	195	258
	Minerale N in bodem op 8/11/96 (kg N ha ⁻¹ , 0-90 cm)	TA	210	188	345	40	36	44
		BA	18	21	61	19	19	20

Concrete aanbevelingen

Op gemaaid grasland zijn weinig problemen te verwachten voor wat betreft de accumulatie van nitraatstikstof in de bodem, in tegenstelling tot begraasd grasland waar bijkomende beperkingen in het beweidingssysteem en beweidingperiode aan te bevelen zijn om het risico op nitraatuitspoeling te verminderen. Er kan gesteld worden dat de N-uitspoeling onder goed uitgebaat, productief grasland klein is. De grootste uitspoeling komt hier van de N-uitscheiding van de weidende dieren, wanneer deze in hun voeding een overmaat aan eiwit aangeboden krijgen. Er moet dus gestreefd worden naar een evenwichtige voeding. Dit betekent dus dat zowel op maaibeiden als op grasweiden de N-bemesting beredeneerd moet uitgevoerd worden. Opdat een dier zoveel mogelijk mineralen en eiwit in melk en/of vlees zou omzetten moet het de erfelijke aanleg daartoe hebben (via veeselectie) en moet het een juist gebalanceerd rantsoen voorgeschoteld krijgen. Door een groter aandeel zeer energierijke, eerder eiwitarme producten in te schakelen wordt de uitstoot van stikstof in mest en urine gereduceerd.

Er werd aangetoond dat urineplekken die laat in het groeiseizoen ontstaan, sterk kunnen bijdragen aan uitspoeling van nitraatstikstof. Vroeger opstallen van het vee zal dus een gunstig effect hebben op de nitraatconcentratie in het grondwater. Door de overgang van onbeperkte naar beperkte beweiding wordt een bijkomende verbetering nagestreefd. Hierdoor daalt logischerwijze het aantal urinelozingen en dus de N-excretie door het vee in de weide.

Bij het scheuren van ouder grasland voor akkerland kunnen grote hoeveelheden stikstof vrijkomen uit de bodemorganische stof. Het scheuren van ouder grasland dient daarom te gebeuren in het voorjaar en wordt gevolgd door een gewas met een hoge N-opname en een lange groeiperiode. Voederbieten zijn aangewezen als eerste teelt op de tijdelijke akker.

Volgens de Code van goede landbouwpraktijken wordt de laatste N-gift best ten laatste rond 15 augustus toegepast, beslist niet na 1 september. Het is niet aangewezen om na juni nog drijfmest toe te passen: een deel van de gemineraliseerde stikstof uit de drijfmest komt dan immers pas in het najaar vrij waardoor de kans op uitspoeling toeneemt.

4.5 Aanbevelingen groenten

4.5.1 Inleiding

Het latent mineraal N-residu is de hoeveelheid anorganische stikstof aangetroffen in het bodemprofiel, in functie van de bewortelingsdiepte van het gewas, bij een optimale groei en een gefundeerde N-bemesting, op het ogenblik van de maximale N-inhoud van het gewas (Hofman *et al.*, 1983). Het is de kritische hoeveelheid minerale N nodig om in het bodemprofiel een voldoende hoge N-concentratie te verkrijgen opdat voldoende stikstof naar de wortels getransporteerd zou kunnen worden om een maximale opbrengst te bekomen (Wehrmann & Scharpf, 1986). Het weerspiegelt de efficiëntie van een gewas om stikstof te onttrekken aan de bodem. Een benaderende waarde voor het latent N_{\min} -residu kan afgeleid worden uit de relatie tussen gewasopbrengst en de hoeveelheid reststikstof aanwezig in de bodem op het ogenblik van de oogst en dit bij een optimale bemesting.

Evenwel laat volgens Addiscott (1991) een gewas het teveel aan stikstof achter in de bodem wanneer de bemesting hoger is dan een bepaald optimum en wanneer voldaan is aan zijn stikstofbehoefte.

Staalnames bij de oogst van groenten laten een enorme variatie in N_{\min} -residu (25 – 300 kg N ha⁻¹ in 0 - 90 cm) zien. Verschillende oorzaken liggen aan de basis van deze grote verschillen. De meeste groenten hebben in tegenstelling tot akkerbouwgewassen (aardappelen uitgezonderd) een bewortelingsdiepte die beperkt blijft tot 60 cm, waardoor minerale N aanwezig in de onderliggende laag onbenut blijft. Daarenboven kan gesteld worden dat ook de bewortelingsintensiteit van de meeste groenten beperkt is, waardoor de uitputting van de doorwortelde zone laag is. Een aantal groenten wordt eveneens geoogst terwijl de groei in volle gang is. Daarnaast kan ook een inefficiënte distributie van de bemesting tot hoge N_{\min} -residu's bij de oogst leiden (Tabel 4.13). Bij groenten met een grote afstand tussen de rijen vb. knolselder en kolen kan bij breedwerpige bemesting het N-residu tussen de rijen 20 tot 30 kg NO₃-N ha⁻¹ hoger zijn dan in de rijen (Hofman *et al.*, 1990). Anderzijds kan het aanaarden bij o.a. prei aanleiding geven tot een overaanbod van stikstof in de rij waardoor het profiel niet uitgeput geraakt.

Tabel 4.13: Latent N_{\min} -residu voor enkele vollegrondsgroenten (naar Salomez *et al.*, 1995)

Groente	Latent mineraal N-residu (kg N ha ⁻¹)
Spinazie (0-90 cm)	75
Bleekselder (0-60 cm)	100
Erwt (0-30 cm)	50
Bloemkool (0-60 cm)	75
Wortelen (0-60 cm)	50
Prei (0-60 cm)	60
Bonen (0-30 cm)	60
Knolselder (0-60 cm)	50
Kool (0-90 cm)	50
Spruiten (0-90 cm)	25

4.5.2 Het stikstofbijmeststelsysteem

4.5.2.1 Inleiding

In het kader van een kostenbesparende en milieukundig gezonde landbouwwitbating is een stikstofbestedingsadvies een belangrijk instrument. Aanbevelingen voor een stikstofgift zijn gericht op het dichten van de kloof tussen de stikstofvraag van het gewas en het stikstofaanbod in het bodemprofiel, en dit op elk ogenblik van het groeiseizoen. Dit vereist kennis omtrent het stikstofopnamepatroon van het gewas en de stikstofdynamiek in het bodemprofiel. Een bestedingsadvies dat deze factoren integreert, is het 'Stikstofbijmeststelsysteem (NBS)'. Dit stelsysteem vormt een uitbreiding op het N_{\min} -bestedingsadviesstelsysteem, waarbij de perfectionering erin bestaat tijdens het groeiseizoen supplementaire metingen uit te voeren van de minerale stikstof. Dit biedt als fundamenteel voordeel de mogelijkheid in te spelen op de N-mineralisatie uit bodemhumus en recent geïncorporeerd vers organisch materiaal. Ook de potentiële uitspoelingsverliezen in het begin van het groeiseizoen worden op deze manier in rekening gebracht. Naast deze tussentijdse meting(en) is het globale stikstofopnameverloop van een gewas gedurende teeltperiode een tweede uitgangspunt bij dit stelsysteem. Confrontatie van beide gegevens met elkaar vormt meteen de uitgangsbasis voor het uiteindelijke N-advies. Om een efficiënte stikstofbenutting bij gewassen met een lang groeiseizoen te krijgen, is het nodig om bij de berekening van de N-besteding ook de te verwachten stikstofmineralisatie, voor de periode die volgt, in rekening te brengen (Salomez *et al.*, 1995).

4.5.2.2 Het stikstofbijmeststelsysteem voor groenten

Bij het stikstofbijmeststelsysteem wordt op basis van de stikstofopnamepatronen en de latente N_{\min} -residu's van de groenten het groeiseizoen verdeeld in periodes met een verschillende stikstofbehoefte. Voor iedere periode wordt een streefwaarde (= N-opname + latent N_{\min} -residu van de periode die volgt) vooropgesteld en aan het begin van elke periode moet de stikstofreserve tot een bepaalde diepte (30, 60 of 90 cm, afhankelijk van de bewortelingsdiepte van de groente en het meettijdstip) in het bodemprofiel gemeten worden.

De minerale stikstofreserve in het bodemprofiel moet dan eventueel aangevuld worden:

$$N\text{-besteding} = \text{streefwaarde} - N_{\min}$$

$$\text{met } N_{\min} = N_{\min b} - N_{\min v} + N_{\min m}$$

$N_{\min b}$ = de gemeten minerale N-reserve in de bodem

$N_{\min v}$ = de verliezen gedurende de periode die volgt

$N_{\min m}$ = de N-mineralisatie gedurende de periode die volgt

In Figuren 4.18 A tot en met 4.24 A staan de gemiddelde N-opnameverlopen van enkele groenten. De N-opname van spinazie staat in Figuur 4.18 A. Het enkel gearceerde gedeelte geeft aan hoeveel stikstof er tot een bepaald tijdstip reeds is opgenomen; het dubbel gearceerde gedeelte geeft de N-opname aan tussen twee meettijdstippen. In Figuur 4.18 A kan afgelezen worden dat er in teeltweek acht 14 kg N ha^{-1} wordt opgenomen en dat er in totaal over de eerste acht teeltweken 97 kg N ha^{-1} door spinazie wordt opgenomen. Het N-aanbod in de bodem in de doorwortelde laag nl. 0-30 cm met de geldende streefwaarde voor de verschillende periodes van deze groenten staan in Figuren 4.18 B tot en met 4.24 B. Het latente N_{\min} -residu staat in het deel met puntjes, de N-hoeveelheid beschikbaar voor de groente staat in het dubbel gearceerde deel. Uit Figuur 4.18 B blijkt dat bij spinazie de teelt in twee periodes opgedeeld wordt. De streefwaarden in de 0 – 30 cm laag voor de 1^o en 2^o periode zijn respectievelijk $105 - N_{\min}$ en $145 - N_{\min}$ voor spinazie.

4.5.3 Indeling groenten

De beperkte bewortelingsdiepte van de meeste groenten heeft belangrijke consequenties voor het NO₃-N-residu (1 oktober – 15 november) aangezien dit steeds bepaald wordt tot 90 cm diepte. Om het NO₃-N-residu zoveel mogelijk te beperken, is het aangewezen om reeds bij de teelt voorafgaand aan de groenten het residu te beheersen en bij aanvang van de teelt van groenten rekening te houden met de NO₃-N-verdeling in het profiel en de keuze van de teelt af te stemmen op deze verdeling. Overeenstemmend met de gangbare staalnamedieptes, zijnde 30, 60 of 90 cm, kunnen groenten naar bewortelingsdiepte opgedeeld worden in 3 categorieën, zijnde ≤ 30 cm (categorie I), 30 - 60 cm (categorie II) en > 60 cm (categorie III) (Tabel 4.14).

Tabel 4.14: Indeling groenten naar bewortelingsdiepte

Categorie I ≤ 30 cm	Categorie II 30 - 60 cm	Categorie III > 60 cm
Bonen Erwten Sla Spinazie	Andijvie Bleekselder Bloemkool Broccoli Knolselder Prei Rode kool Savooikool Wortelen	Spruitkool Witte kool

Dit impliceert dat de N-opname ook hoofdzakelijk tot deze diepte beperkt zal blijven, waardoor de aanwezige stikstof in de diepere lagen als 'niet-beschikbare stikstof' beschouwd kan worden. Deze NO₃-N-hoeveelheid zal, indien geen uitloging plaatsgrijpt, volledig in het NO₃-N-residu opgenomen worden indien geen specifieke maatregelen genomen worden. Twee systemen kunnen voorgesteld worden:

Teelsysteem I: Teeltkeuze en -periode zodanig afstemmen zodat de oogstdatum voor 15 augustus valt + inzaai van een diepwortelende groenbemester of diepwortelend volggewas ten laatste op 20 augustus. Hierdoor zal de groenbemester of het volggewas voldoende tijd hebben om zich te ontwikkelen en de NO₃-N uit de diepere lagen op te nemen, hoewel de laag van 60 tot 90 cm in sommige gevallen onvoldoende bereikbaar kan zijn voor de wortels.

Teeltsysteem II: Indien afgeweken wordt van teeltsysteem I, dient de teeltkeuze afgestemd te worden op de NO₃-N-verdeling in de bodem en is een NO₃-N-analyse verplicht voor iedere teelt. Dit betekent dat een teelt van groenten behorend tot een bepaalde categorie slechts zou kunnen doorgaan indien aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt (Tabel 4.15).

Tabel 4.15: Bindende voorwaarden, ingedeeld per groentecategorie, voor het verbouwen van groenten met oogstdatum na 15 augustus (teeltsysteem II)

N _{min} -verdeling	Diepte	Maximale NO ₃ -N hoeveelheid bij aanvang teelt kg N ha ⁻¹
Categorie I	30-90	≤ 50
Categorie II	60-90	≤ 25
Categorie III: Geen bijkomende voorwaarden		

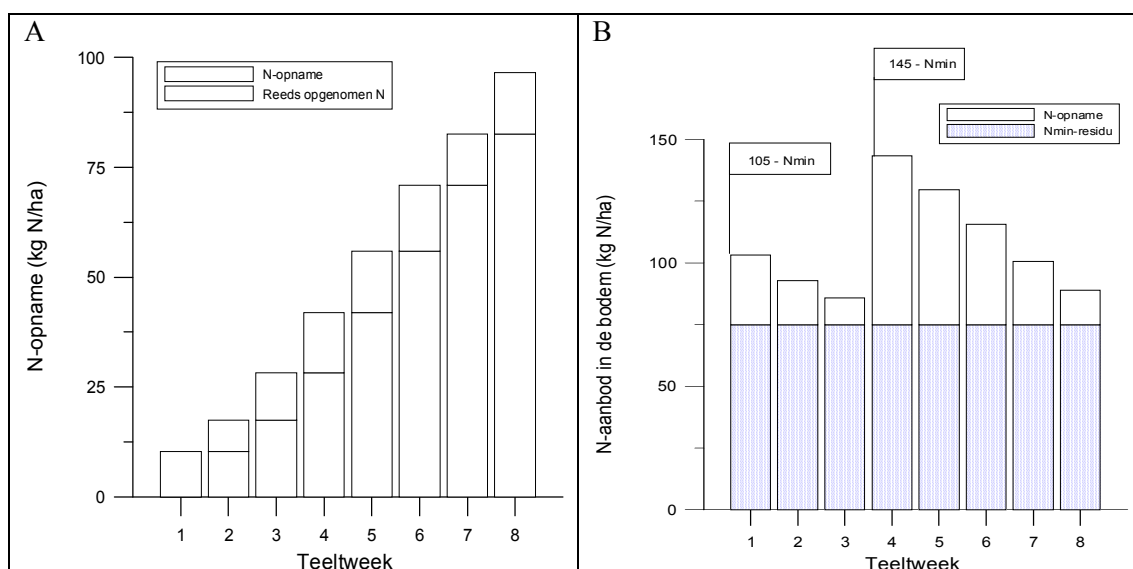
Indien voor een bepaalde categorie aan deze voorwaarden niet voldaan kan worden, dient een andere categorie groente, een teeltsysteem I of een akkerbouwgewas geteeld te worden. Hieronder worden, per categorie, de belangrijkste groenten besproken.

4.5.4 Categorie I

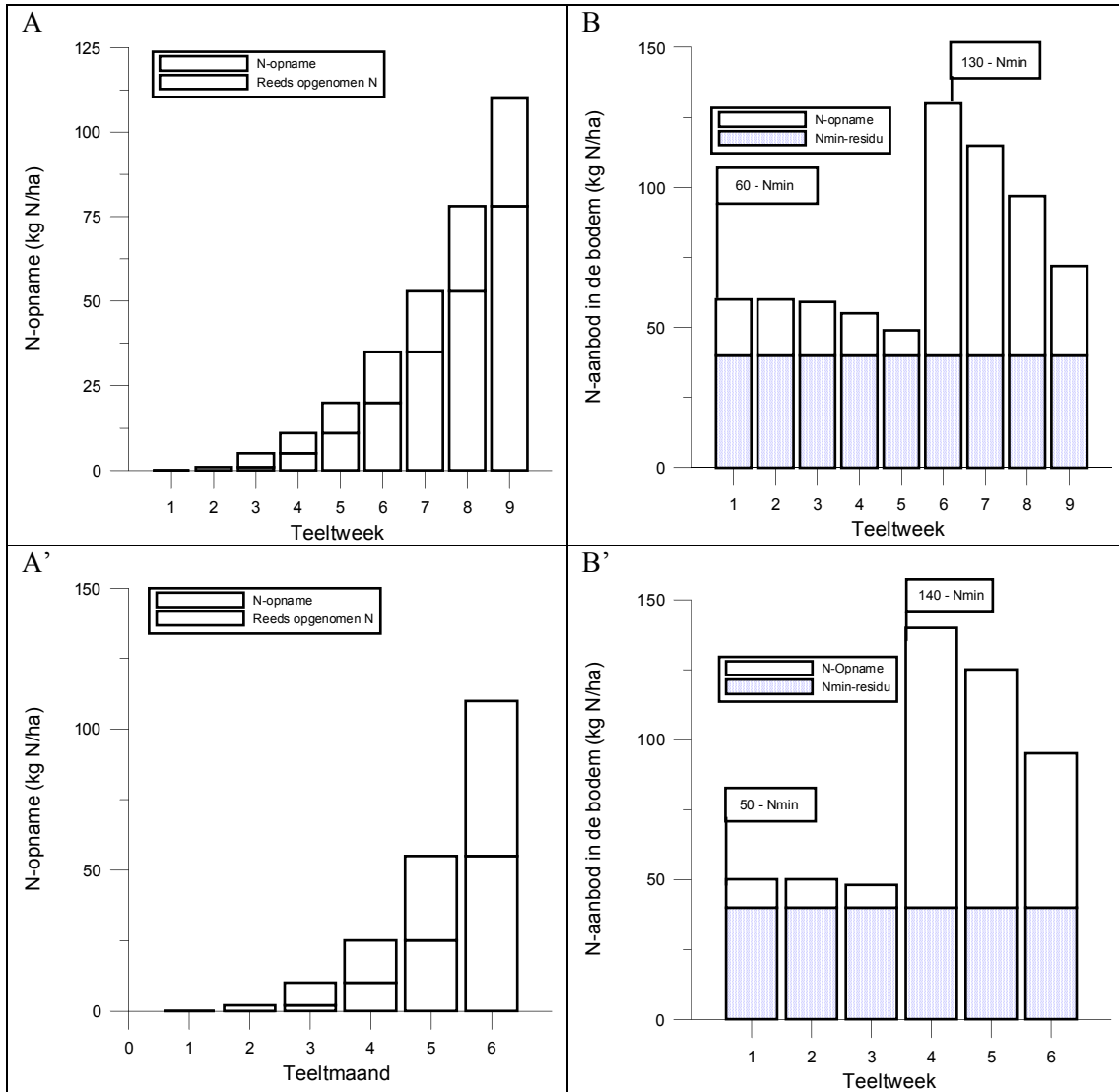
4.5.4.1 Bladgroenten spinazie en sla

De N-behoefte van spinazie en sla is 100 tot 140 kg N ha⁻¹ (Figuur 4.18 en 4.19). Het zijn ondiep wortelende gewassen die geoogst worden op het moment dat de N-opnamesnelheid nog maximaal is (Salomez *et al.*, 1995). Om oogstderving te vermijden, dient dan ook tot aan de oogst voldoende minerale stikstof in het doorwortelbare profiel aanwezig te zijn (Hähndel & Wehrmann, 1986a&b). Als gevolg daarvan is het latent mineraal N-residu voor bladgroenten relatief hoog (Hofman *et al.*, 1990).

Hoewel de N-opname bij de oogst nog maximaal is en er voldoende N_{min} aanwezig moet zijn, is de beschikbare N_{min}-hoeveelheid in de bewortelingszone voor de oogst een factor die in belangrijke mate kan bijdragen tot de nitraataccumulatie in bladgroenten (Van Der Boon *et al.*, 1986). Om die reden dient het N_{min}-residu dan ook beperkt te blijven.



Figuur 4.18: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-30 cm) (B) voor spinazie [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Salomez *et al.*, 1995)



Figuur 4.19: Gemiddeld N-opnameverloop (A en A') en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-30 cm) (B en B') voor een vroege teelt (A en B) en zomerteelt (A' en B') van sla [N-opname (A en A') = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B en B') = N beschikbaar voor opname] (naar Breimer, 1989)

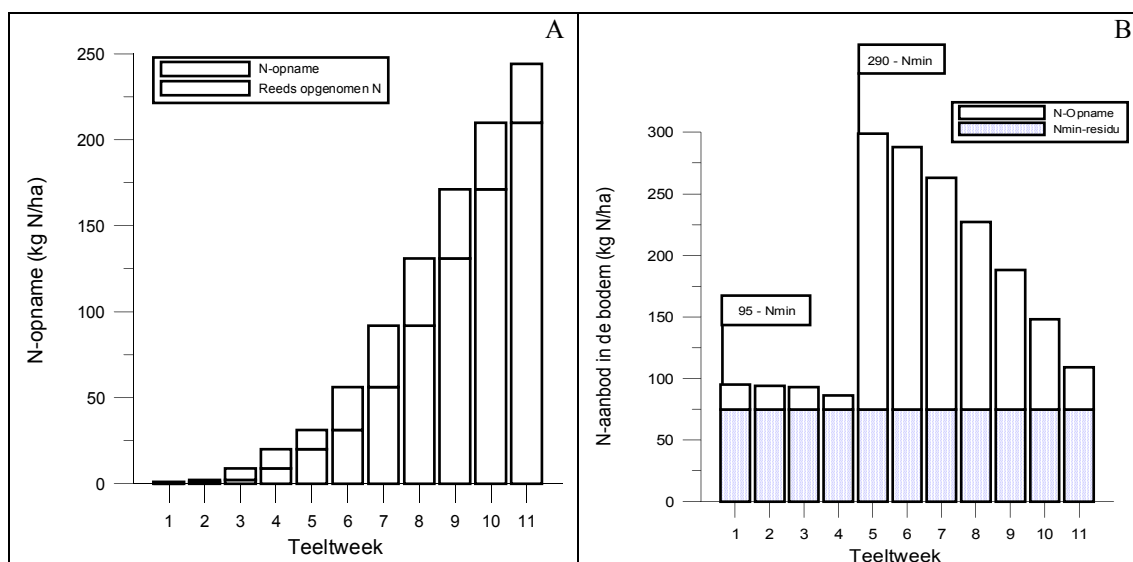
4.5.4.2 Erwten en bonen

Het latent mineraal N-residu van erwten en bonen in de 0 - 60 cm bedraagt 50 - 60 kg NO₃-N ha⁻¹ (Tabel 4.13). De NBI van erwten is hoog (Tabel 2.30). Omdat er in augustus geoogst wordt, kan er mineralisatie van het organisch materiaal van de bodem en de stikstofrijke oogstresten (Tabel 2.31) optreden.

4.5.5 Categorie II

4.5.5.1 Bloemkool en broccoli

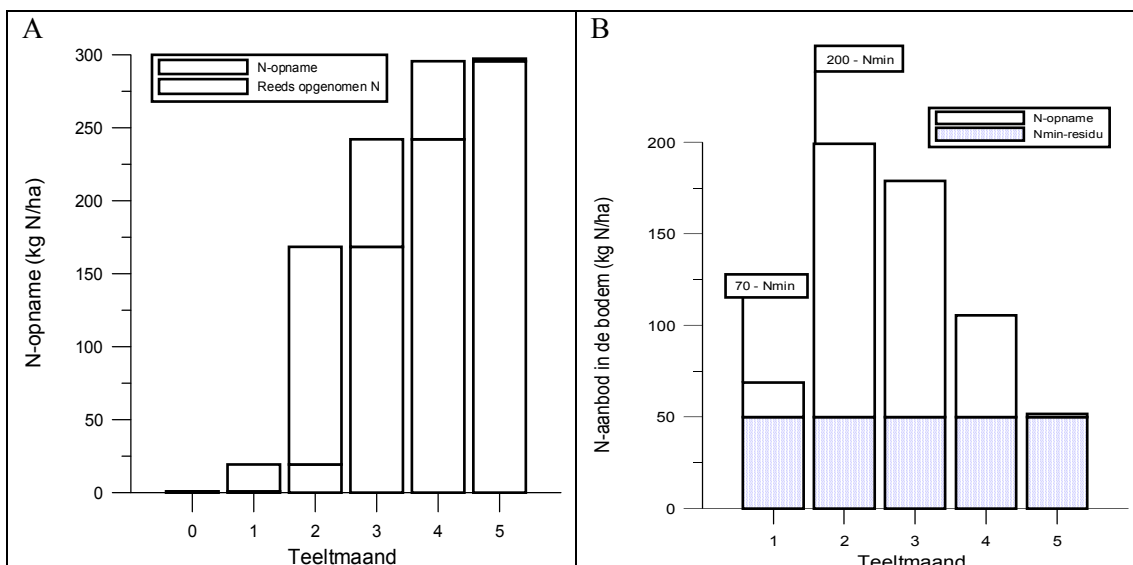
De N-opname van bloemkool en broccoli bedraagt 220 à 250 kg N ha⁻¹ (Figuur 4.20) (Salomez *et al.*, 1995; ENVEG, 2000). Bloemkool en broccoli worden geoogst op een moment dat de N-behoefte nog hoog is (Salomez *et al.*, 1995). Als gevolg daarvan is de NBI van bloemkool en broccoli laag (Tabel 2.30) met ook relatief hoge N-residu's tot gevolg en dito overschrijding van de norm. Uit Tabel 2.32 en 2.33 blijkt reeds dat er veel stikstof kan vrijkomen uit de oogstresten gedurende de winter, hetgeen tot een overschrijding van de vooropgestelde normen kan leiden.



Figuur 4.20: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-60 cm) (B) voor bloemkool [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Salomez *et al.*, 1995)

4.5.5.2 Rode kool en savoikolen

Omdat rode en savoikolen geoogst worden in de afrijpingsfase en de N-opname van deze kolen hoog is (250 tot 300 kg N ha⁻¹) (Figuur 4.21) (Salomez *et al.*, 1995; ENVEG, 2000), kan er bij de oogst een laag stikstofresidu bekomen worden (Demyttenaere *et al.*, 1989; Van Enckevort *et al.*, 2002). De NBI van rode kool is dan ook hoog (Tabel 2.30). Uit Tabel 2.31 blijkt dat de hoeveelheid stikstof die in de oogstresten aanwezig is zeer hoog kan zijn.



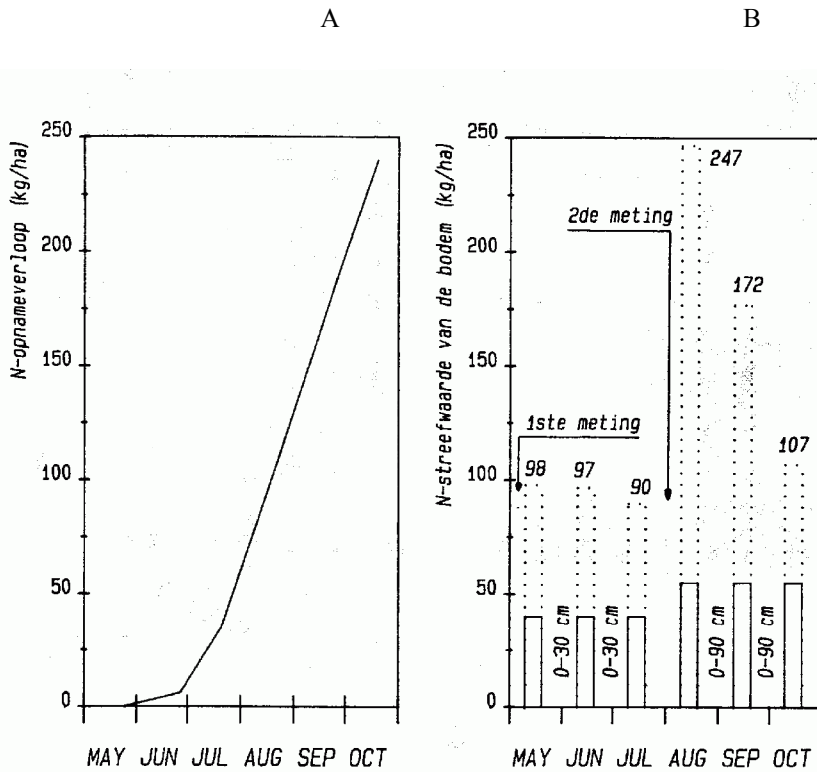
Figuur 4.21: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-75 cm) (B) voor rode kool [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Salomez *et al.*, 1995)

4.5.5.3 Selder

Knolselder

Knolselder is een traaggroeiend knolgewas (Figuur 4.22). De eerste twee maanden na het uitplanten in volle veld blijft de N-opname beperkt tot ongeveer 30 kg N ha^{-1} . Bijgevolg kan de nodige hoeveelheid stikstof in de bovenste 30 cm van het profiel tot 50 kg N ha^{-1} beperkt blijven. Knolselder neemt daarna tot aan de oogst gemiddeld $2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ op. Een maximale knolproductie kan dus enkel gerealiseerd indien tot aan de oogst voldoende minerale stikstof in het doorwortelde bodemprofiel aanwezig blijft. Deze stikstof kan echter voor een deel geleverd worden door de stikstoflevering van de bodem (mineralisatie). Omdat de N-opname de eerste maanden na het uitplanten beperkt blijft, is een gefractioneerde N-bemesting met een beperkte startbemesting aanbevolen (Demyttenaere, 1991).

Knolselder wordt vooral tijdens en na de staalnameperiode 1 oktober – 15 november geoogst. Indien beredeneerd bemest wordt, kan het N_{min} -residu (0-60 cm), zelfs in percelen met een hoge mineralisatiecapaciteit relatief laag zijn. De productie van knolselder kan immers oplopen tot 65 ton verse knol met een totale N-opname (knol + blad) van 250 kg N ha^{-1} . Bij knolselder bedraagt het latent mineraal N-residu $\pm 55 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ tot een diepte van 60 cm. De in- en uitwendige kwaliteitsbepalingen bij de oogst van knolselder leverden geen verschillen op bij variërende organische en minerale N-bemesting (Demyttenaere, 1991). De hoeveelheid stikstof in de oogstresten kan groot zijn en een aanzienlijke hoeveelheid daarvan kan al gedurende de winter mineraliseren (Tabel 2.32).

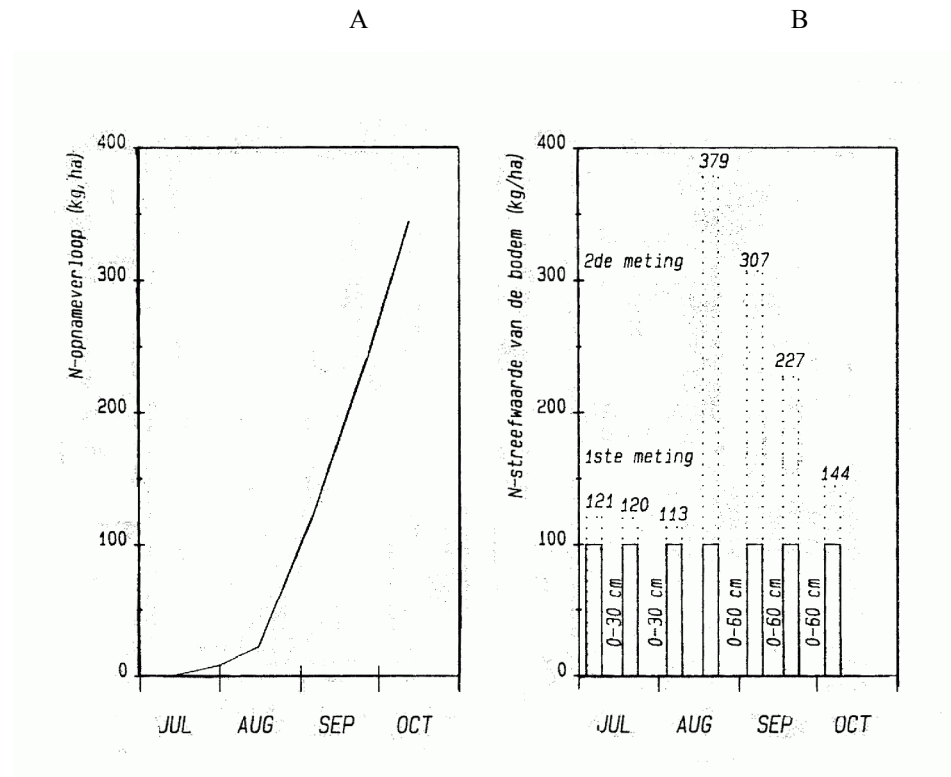


Figuur 4.22: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (B) voor knolselder [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Demyttenaere, 1991)

Bleekselder

Bleekselder is een ondiep wortelend, snelgroeiend bladgewas (Figuur 4.23). Alhoewel bleekselder de eerste 6 weken relatief weinig stikstof opneemt, dient bij het planten, in tegenstelling tot knolselder, voldoende stikstof in het profiel aanwezig te zijn ($\pm 100 \text{ kg N ha}^{-1}$, 0-30 cm). Daarna, tot aan de oogst is er een N-opname $\pm 4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$, waardoor aangeraden wordt om anderhalve maand na het planten een N_{\min} -analyse van de bodem uit te voeren waaruit een N-advies afgeleid wordt (Demyttenaere, 1991).

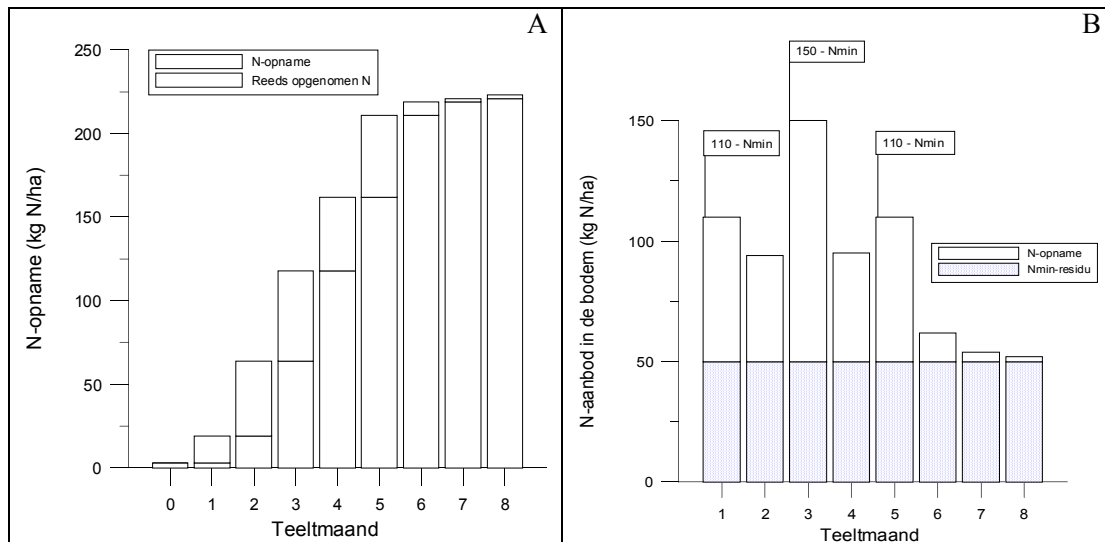
Bleekselder heeft een N-behoefte van 300 tot maximaal 350 kg N ha^{-1} . Een aanzienlijke hoeveelheid van de stikstof in de oogstresten kan al gedurende de winter mineraliseren (Tabel 2.32).



Figuur 4.23: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (B) voor bleekselder [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Demyttenaere, 1991)

4.5.5.4 Prei

Bij een beredeneerde bemesting kan de hoeveelheid residuele nitraatstikstof in de bodem, zelfs in percelen met een hoge mineralisatiesnelheid, laag zijn. De N-opname van winterprei is immers 200 tot 225 kg N ha⁻¹ (Figuur 4.24) (Salomez *et al.*, 1995; ENVEG, 2000; Vandendriessche *et al.*, 1994 en 1995). Het latent mineraal N-residu van winterprei is 50 kg NO₃-N ha⁻¹ (Tabel 4.13). In de praktijk echter worden meestal hoge stikstofresidu's bij de oogst gemeten. Immers, door aanaarden is een deel van de breedwerpig toegediende meststof niet meer beschikbaar, waardoor rijbemesting aan te raden is. Hierbij wordt de minerale N-meststof in de omgeving van de wortels geplaatst, waardoor de procentuele N-beschikbaarheid voor het gewas sterk toeneemt. Afhankelijk van de oogstmethode zullen de hoeveelheden oogstresten die op het land achterblijven sterk variëren.



Figuur 4.24: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-60 cm) (B) voor prei [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Salomez *et al.*, 1995)

4.5.5.5 Wortelen

Het latent mineraal N-residu van wortelen van de 0 – 30 cm bedraagt 50 kg NO₃-N ha⁻¹ (Salomez *et al.*, 1995). De NBI van wortelen is hoog (Tabel 2.30). Omdat de N-opname van wortelen slechts 135 kg N ha⁻¹ is (ENVEG, 2000), kunnen er hoge residu's gemeten worden in bodems met een hoge mineralisatiecapaciteit.

4.5.5.6 Andijvie

De N-behoefte van andijvie is 120 tot 160 kg N ha⁻¹. Andijvie wordt geoogst op het moment dat de N-opnamesnelheid nog maximaal is. Om oogstderiving te vermijden, dient dan ook tot aan de oogst voldoende minerale stikstof in het doorwortelbare profiel aanwezig te zijn (Hähndel & Wehrmann, 1986a&b). Als gevolg daarvan is het latent mineraal N-residu voor andijvie hoog, waardoor de NBI laag is (Tabel 2.30).

De beschikbare N_{min}-hoeveelheid in de bewortelingszone net voor de oogst is een factor die in belangrijke mate kan bijdragen tot de nitraataccumulatie in andijvie (Van Der Boon *et al.*, 1986). Om die reden dient het N_{min}-residu dan ook beperkt te blijven.

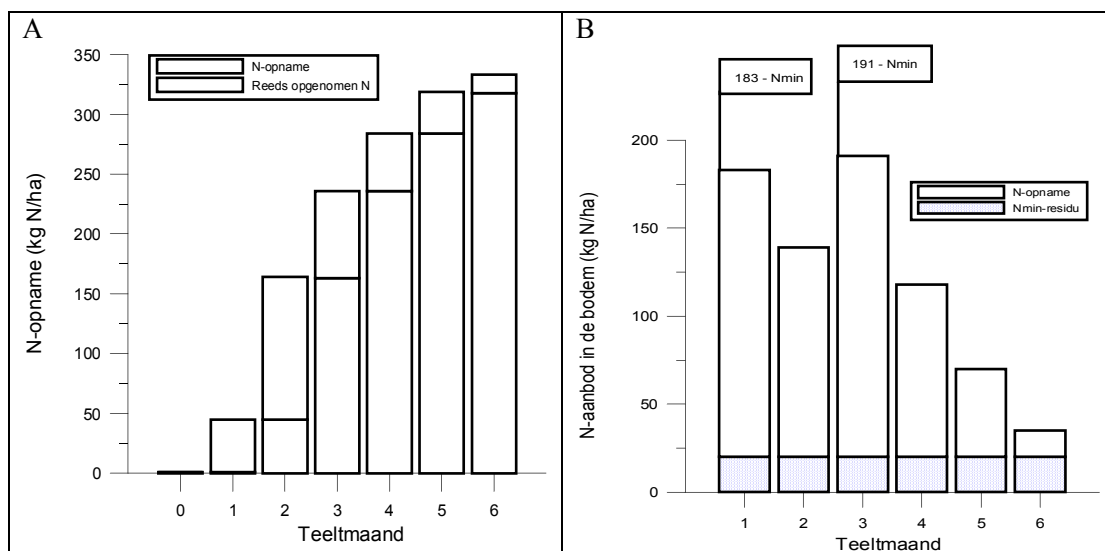
4.5.6 Categorie III

4.5.6.1 Spruitkolen

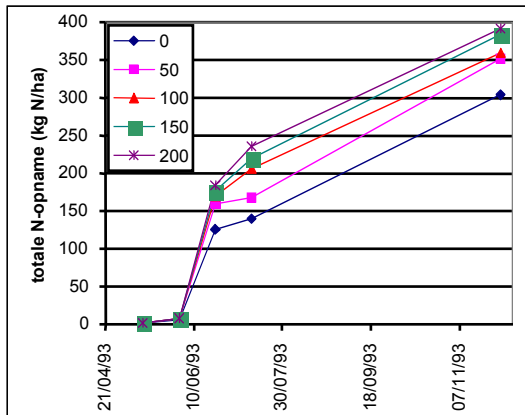
Spruitkool doorwortelt het profiel zeer goed en is in staat om ook de minerale N uit de bodemlaag 60 – 90 cm te benutten. Spruiten worden tijdens de afrijpingsfase geoogst (Salomez *et al.*, 1995), waardoor de stikstofbenutting van spruitkolen hoog is (Tabel 2.30). Het latent mineraal N-residu van spruitkool in de 0 - 90 cm laag is bijgevolg laag nl. 25 kg NO₃-N ha⁻¹ (Hofman *et al.*, 1990). Aangezien de N-opname 275 tot 350 kg N ha⁻¹ bedraagt (Figuur 4.25, 4.26 en 4.27) (Vandendriessche *et al.*, 1994; ENVEG, 2000), kan zelfs bij bodems met een hoge mineralisatiecapaciteit dit lage latent N-residu bij de oogst bereikt worden. Veldproeven met verschillende bemestingsniveaus (Vandendriessche *et al.*, 1994 & 1995) resulteerden voor alle bemeste percelen in een vergelijkbaar mineraal stikstofresidu na de oogst (± 50 kg NO₃-N ha⁻¹ tot 90 cm diepte). De N-opname van spruiten is des te meer uitgesproken naarmate de hoeveelheid stikstof in de bodem (gemineraliseerde en toegediende stikstof) groter is. Dit bewijst de 'N-luxe-consumptie' van spruitkool. Bij een hogere N-opname is de kwaliteit van de spruiten echter minder.

Uit Tabel 2.31 blijkt dat de hoeveelheid stikstof in de oogstresten zeer aanzienlijk is, waardoor aandacht moet besteed worden aan de N-vrijstelling uit deze oogstresten. Bij hoge N-giften komt de bijkomende stikstof bijna uitsluitend in het blad en dus in de oogstrest terecht.

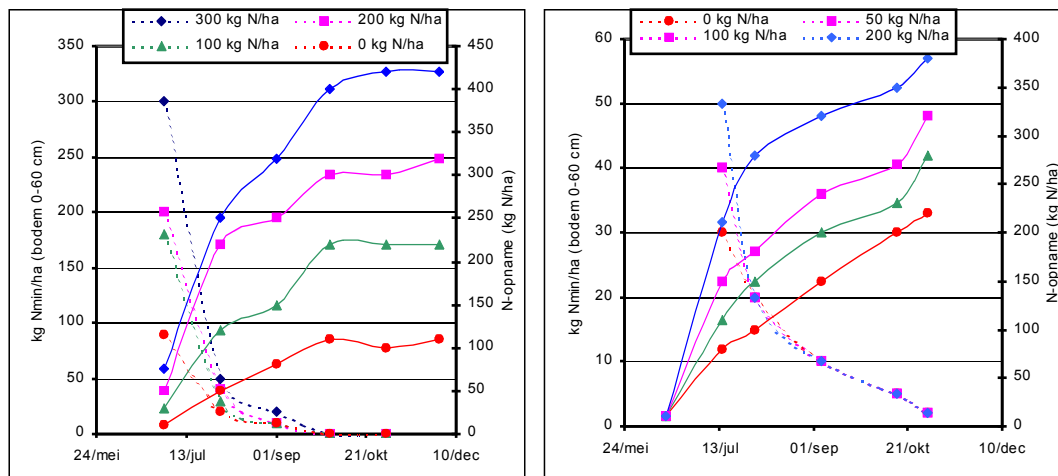
Dit is een belangrijke aanbeveling voor de volgteelt: er dient rekening gehouden te worden met de vrijstelling van stikstof uit de oogstresten van spruitkool.



Figuur 4.25: Gemiddeld N-opnameverloop (A) en streefwaarden voor het stikstofaanbod in de bodem (0-90 cm) (B) voor spruitkool [N-opname (A) = werkelijke N-opname gedurende de aangegeven periode; N-opname (B) = N beschikbaar voor opname] (naar Salomez *et al.*, 1995)



Figuur 4.26: N-opname van het totale spruitkoolgewas in functie van de stikstofbemesting (naar Vandendriessche *et al.*, 1994)



Figuur 4.27: N-opname (kg N/ha) door het gewas (volle lijn) en de minerale stikstofbodemvoorraad (kg Nmin/ha in 0-60 cm) (onderbroken lijn) gedurende de groei van spruitkool bij verschillende stikstofgiften gedurende 1991 (links) en 1992 (rechts) (naar Booijs en Biemond, 1994)

4.5.6.2 Witte kolen

Omdat witte kolen geogst worden in de afrijpingsfase en de N-opname van deze kolen hoog is (250 tot 300 kg N ha⁻¹) (ENVEG, 2000), kan er bij de oogst een laag stikstofresidu bekomen worden (Demyttenaere *et al.*, 1989; Van Enkevort *et al.*, 2002). De NBI van witte kool is dan ook hoog (Tabel 2.30). Uit Tabel 2.31 blijkt dat de hoeveelheid stikstof die in de oogstresten aanwezig is echter zeer hoog kan zijn.

4.5.7 Specifieke aanbevelingen groenten

Zoals uit het voorgaande blijkt, vereisen de verschillende groenten aangepaste bemestingsstrategieën. Een beredeneerde bemesting is noodzakelijk om nitraatuitspoeling bij het begin van de teelt en in het najaar zoveel mogelijk te vermijden. Bij groenten met een lage N-opname bij het begin van de teelt leidt een hoge N-bemesting bij planten of zaaïen tot een lage N-efficiëntie. Het stikstofbijmestingsysteem verhoogt de N-efficiëntie bij groenten. Bij groenten met een grote afstand tussen de rijen is rijbemesting in plaats van breedwerpige bemesting aan te raden.

De latente N-residu's bij de oogst van groenten kunnen hoog zijn. Bovendien is de N-hoeveelheid in de oogstresten van groenten, zoals uit Tabel 2.31 blijkt, vaak hoog tot zeer hoog en kunnen reeds aanzienlijke hoeveelheden na de oogst mineraliseren. Daarom is het noodzakelijk om bij de teelt van groenten bijkomende maatregelen te nemen om de vooropgestelde normen tussen 1 oktober en 15 november te kunnen realiseren.

Bij groenten die vroeg (voor 15 augustus) geoogst worden, moet een diepwortelende navrucht geteeld of een diepwortelende groenbemester ingezaaid worden (teeltsysteem I). Bij bloemkool en broccoli is het telen van een tweede bloemkool- of broccoliteelt een economisch alternatief (Salomez *et al.*, 2000) indien $\leq 25 \text{ NO}_3\text{-N kg ha}^{-1}$ in de 60-90 cm aanwezig is en indien bij de bemesting van de volgteelt rekening wordt gehouden met de N-mineralisatie uit de oogstresten..

Ook bij teeltsysteem II dienen er na de oogst nog maatregelen genomen te worden om aan de vooropgestelde normen te kunnen voldoen. Tot eind augustus kunnen verschillende groenbemesters nog met goed gevolg ingezaaid worden, terwijl vanaf begin september deze mogelijkheden geleidelijk aan beperkt worden. Tot 15 september kan snijrogge nog ingezaaid worden. Om N-mineralisatie van de oogstresten van teeltsysteem II tijdens de herfst- en winterperiode bij een oogst na 15 september tegen te gaan, is het aan te bevelen de groente-oogstresten niet in te ploegen maar van het land te verwijderen. In de praktijk is het verwijderen van de groente-oogstresten echter niet altijd uitvoerbaar. Een alternatief is, om tijdens het inploegen van de groente-oogstresten anorganische, restproducten met een hoge C/N-verhouding (vb. stro) in te ploegen, die de stikstof die uit de groenteoogstresten vrijkomt, immobiliseert.

Het gebruik van nitrificatieremmers zou voor een aantal groenten die veel stikstofrijke oogstresten achterlaten één van de mogelijkheden kunnen zijn om het nitraatstikstofresidu te beperken omdat de gemineraliseerde stikstof uit de gewasresten dan langer onder NH_4^+ -vorm blijft. Een ander alternatief is om de oogstresten van koolgewassen niet onder te werken. Omwille van een mogelijk verhoogde ziektedruk wordt dit in de praktijk niet courant toegepast.

Rotatie-maatregelen kunnen eveneens deel uit maken van een duurzame landbouw.

De proefveldresultaten in dit hoofdstuk gaven aan dat voor een aantal groenten hoge latente minerale N-residu's aangewezen lijken om optimale opbrengsten en kwaliteit te verkrijgen. Samen met de vaak belangrijke oogstresthoeveelheden, die een bijkomende bron voor nitraatstikstof zijn, is het niet evident dat aan de vooropgestelde verstrengde nitraatstikstofresidunormen voldaan kan worden. Hierdoor kan de teelt van een aantal groenten onder druk komen te staan.

Andere auteurs (Addiscott, 1991; Vandendriessche *et al.*, 1989, 1990, 1992, 1994, 1996, 2000) geven evenwel aan dat een gewas het teveel aan stikstof achterlaat in de bodem wanneer de N-bemesting hoger is dan de N-behoefte van het gewas of dat het gewas aan luxe-consumptie doet met zeer stikstofrijke oogstresten als gevolg.

Voor sommige groenten zal, zelfs bij een wetenschappelijk beredeneerde bemesting, de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm moeilijk haalbaar zijn, omdat de N-mineralisatie op deze percelen (meestal als gevolg van een rijke bemestingsgeschiedenis) vaak zeer hoog is, zodat

bepaalde percelen in feite niet meer geschikt zijn voor deze teelten (te ondiep wortelend, te lage N-afvoer, reeds een te hoge stikstofvoorraad bij aanvang van de teelt in de bodem beneden 30 cm). Het hoge N-leverend vermogen van deze bodems, gecombineerd met een hoge stikstofbemestingsdosis, een te grote stikstofvoorraad bij aanvang en stikstofrijke oogstresten, leiden op deze percelen tot hoge residu's na de oogst. Een goede teeltrotatie en bereedeneerde bemesting kunnen hier een oplossing bieden.

4.6 Besluit

Teelten dienen bemest te worden volgens hun behoefte (vanuit economisch, kwalitatief én ecologisch standpunt) en rekening houdend met de beschikbare stikstof in de bodem en de stikstoflevering tijdens het groeiseizoen (mineralisatie van bodemorganische stof, oogstresten en groenbemesters). Planten zullen immers niet meer stikstof opnemen dan nodig (Addiscott, 1991), tenzij bepaalde gewassen die aan 'N-luxeconsumptie' kunnen doen zoals suikerbieten, spruitkool, spinazie, andijvie,...

Bij de start van de teelt is het van belang dat het profiel niet onnodig aangerijkt is, zeker niet de bodemlagen beneden 30 cm, aangezien deze stikstof minder beheersbaar is dan deze in de intensieve wortelzone.

Afstemming van de bemestingsdosissen op de stikstofvoorraad en de mineralisatiecapaciteit van de bodem, kennis van de bemestingswaarde van de toe te dienen organische meststof en een correcte plaatsing van de stikstof en een goede timing van de stikstoftoediening, aangepast aan de stikstofbehoefte van de teelt, verbeteren de stikstofbenutting en beperken het nitraatstikstofresidu.

Voor de bespreking van de problematiek van de relatie tussen de stikstofbemesting en het stikstofresidu bij de oogst van de teelt werd frequent gebruik gemaakt van de surpluscurve en responscurve. De surpluscurve toont de hoeveelheid stikstof die achterblijft in het bodemprofiel ten opzichte van de toegepaste bemesting. Bij lage stikstofdosissen is de hoeveelheid reststikstof vrij constant. Vanaf een bepaald punt (verzadigingspunt) neemt de hoeveelheid reststikstof sterk toe met stijgende stikstofbemesting. Vanaf dit punt wordt van de toegediende stikstofbemesting weinig of nagenoeg niets meer opgenomen door het gewas.

Uit de responscurven kan de (economisch) optimale stikstofbemesting berekend worden. Deze curve geeft de opbrengst weer in functie van de toegepaste bemesting. De meest voorkomende opbrengstcurve is deze waar vanaf een bepaald optimum de opbrengsttoename per eenheid meststof afneemt naarmate meer stikstof wordt toegediend.

Vaak komt de ligging van het verzadigingspunt (surpluscurve) ongeveer overeen met de economisch optimale N-dosis (responscurve), wat vanuit milieukundig én economisch oogpunt interessant is: dan worden immers rendabele producties behaald bij een minimale hoeveelheid reststikstof en kunnen economie en ecologie hand in hand gaan (Addiscott, 1991).

5 Algemeen besluit

Het onderzoek heeft aangetoond dat het WAVE-model, na grondige kalibratie en validatie, een nuttig instrument is dat:

- ✓ kan bijdragen tot een beter inzicht in de procesdynamiek die de respons van complexe systemen bepalen, zoals de nitraatuitspoeling van 'bodem-gewas' systemen;
- ✓ een vrij nauwkeurige predictie toelaat van het effect van wijzigingen in landgebruik en bemestingspraktijk;
- ✓ toelaat een ruimtelijke differentiatie uit te werken van het nitraatstikstofresidu en het perceelsmanagement welke beantwoordt aan de nitraatrichtlijn.

Modellen zijn echter maar een hulpmiddel, en de nauwkeurigheid wordt bepaald door de juistheid waarop in het model de processen zijn beschreven, door de foutmarge op de invoergegevens, modelparameters en door de waarnemingen met dewelke de simulatieresultaten worden vergeleken. Alvorens ze in predictief verband kunnen worden aangewend, is het noodzakelijk dat modellen gekalibreerd worden. Opdat het WAVE-model betrouwbare voorspellingen inzake nitraatuitspoeling zou opleveren, werd het model in dit project verfijnd en uitgebreid getest op basis van metingen op 20 proefvelden, aan de hand van literatuurgegevens en door middel van de bepaling van de mineralisatiecapaciteit en van de denitrificatiepotentiaal van 20 bodems.

Niettegenstaande de beperkingen aan modellen, zijn deze in combinatie met terreingegevens en na kalibratie economisch kosteffectieve en betrouwbare rekeninstrumenten. Zij kunnen zoals in deze bijdrage aangetoond werd, nuttig ingezet worden voor het afleiden van de nitraatstikstofresidunormen in functie van textuur- en gewasgroep, normen die teelttechnisch meestal haalbaar zijn, alsook voor de reconstructie van het perceelsmanagement dat leidt tot de voorgestelde nitraatstikstofresidunorm. Verder leert het op modellen gebaseerd onderzoek dat de voorgestelde nitraatstikstofresidunormen niet sluitend zijn, en geen algemene garantie bieden wat betreft het respecteren van de Europese nitraatrichtlijn aangezien de normen gebaseerd zijn op gemiddelde waarden terwijl de scenarioanalyses per 'bodem-gewas' combinatie een interval opleverden voor het maximaal toelaatbaar nitraatstikstofresidu. De voorgestelde nitraatstikstofresidunormen blijken soms te streng, soms niet streng genoeg naargelang perceelsspecifieke kenmerken.

Tot slot tonen de resultaten van het onderzoek aan dat een bemesting volgens de forfaitaire normen uit den boze is, en dat een perceelsspecifieke, beredeneerde bemesting de regel zou moeten zijn. Een beredeneerde bemesting houdt in dat de bemestingsdosissen rekening houden met de aanwezige stikstofvoorraad in de bodem, met de mineralisatiecapaciteit van de bodem en met de mineralisatie van oogstresten en groenbemesters. Bovendien wordt de stikstofbenutting verbeterd door kennis van de samenstelling en de bemestingswaarde van de toe te dienen organische meststof, door een correcte plaatsing van de stikstof en door een goede timing van de stikstoftoediening, aangepast aan de stikstofbehoefte en het N-opnameverloop van de teelt. Op deze manier kunnen goede opbrengsten behaald worden met een beredeneerde stikstofinput en wordt het risico op nitraatuitspoeling geminimaliseerd.

Ondanks al de kritiek die soms op wiskundige modellen wordt geleverd, kan worden gesteld dat het afleiden van richtwaarden voor de residuele nitraatstikstof in de bodem en de ruimtelijke differentiatie van de nitraatstikstofresidunorm niet mogelijk zou zijn zonder het gebruik van een model, zoals bv. het WAVE-model. De gebruiker moet zich echter steeds bewust blijven van het feit dat modellen een hulpinstrument zijn en dat hij zich niet blindelings mag laten leiden door wat het model als output geeft. De modeloutput dient steeds getoetst te worden aan de

expertkennis van deskundigen en aan praktijkgegevens, hetgeen uitvoerig gebeurd is gedurende dit onderzoeksproject. De resultaten van de scenarioanalyses en de aanwezige expertkennis binnen het consortium, vormden de basis waarop de nitraatstikstofresidunormen en het perceelsmanagement, dat resulteert in deze nitraatstikstofresidunormen, werden afgeleid.

6 Literatuur

Addiscott, T.M., Whitmore, A.P. and Powlson, D.S. (1991). Farming, fertilizers and the nitrate Problem. C.A.B International, Wallingford, Oxon, 170 p.

Afzal, M. and Adams, W.A. (1992). Heterogeneity of soil mineral nitrogen in pasture grazed by cattle. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1160-1166.

Ampe, G. (1991). Invloed van mengmestgiften kort voor het planten op de aardappelkwaliteit. Mededeling 324, Provinciaal onderzoeks- en voorlichtingencentrum voor land- en tuinbouw, Beitem-Roeselare, 4 p.

Bogaert, N., Salomez, J., Vermoesen, A., Hofman, G., Van Cleemput, O. en Van Meirvenne, M. (2000). Within variability of mineral nitrogen in grassland. *Biol. Fert. Soils*, 32: 186-193.

Booij, R. en Biemond, H. (1994). Stikstofhuishouding bij de teelt van prei en spruitkool. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt, PAGV, Lelystad, p 23-36.

Bosch, H. en de Jonge, P. (1989). Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989, 252 p.

Breimer, T. (1988). Oogstresten en uitspoeling beïnvloeden Nmin-voorraad. *Vollegrond*, 10 (6): 12-14.

Breimer, T. (1989). Stikstofbijmeststelsel (NBS) voor enige vollegrondsgroentegewassen. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Akkerbouw en Groenteteelt in de vollegrond, Lelystad, 1-58.

Brevé, M.A., Skaggs, R.W., Parsons, J.E., and Gilliam, J.W. (1997). DRAINMOD-N, a nitrogen model for artificially drained soils. *Trans. ASAE*, 40 (4): 1067-1075.

Bries, J., Geypens, M. en Vandendriessche, H. (1994). Aardappelen N-bemesting en leefmilieu. *Agricon*, 260:7-10.

Bries, J., Vandendriessche, H. en Geypens, M. (1995). Stikstofbemesting in de aardappelteelt. In: Bries, J., Vandendriessche, H. en Geypens, M. (eds.). *Bemesting en berekening van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit*, I.W.O.N.L.

Bries, J., Vanongeval, L. en Coppens, G. (1996). Variaties in samenstelling van dierlijke mest. Beïnvloedende factoren en normen voor een verantwoord gebruik als meststof. KVIV-studiedag 1996.

Bries, J. en Mertens, J. (1998). Effect van verminderde bemesting op de productie van maïs in monocultuur (locatie Tienen). *Landbouwcentrum Voedergewassen 1998*, 7 p.

Bries, J. en Mertens, J. (2000). Maïs in relatie tot de nutriëntcyclus (of ervaringen met intensieve maïsteelt). In: *Het perceel grondig bekeken, studiedag Bodemkundige Dienst van België in samenwerking met ALT*, december 2000.

- Burns, I. G. (1974). A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evaporation. *Journal of Soil Science*, 25: 165-178.
- Campens, V., Lauwers, L., (2002). Kunstmestgebruik en gewasproductie als activiteiten van de nutriëntenemissie. Centrum voor Landbouweconomie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij.
- Carlier, L., Honnay, J.P. en Mouraux, D. (1993). Bodembedekking in de teelten van maïs en suikerbiet. I.W.O.N.L., december 1993, 189 p.
- Carlier, L. (2000). Resultaten betreffende de vermindering van inputs bij voedergewassen. Studiedag Agribex, 9 februari 2000.
- Coppens, G., Bries, J., Vanongeval, L en Geypens, M. (1997). Meerjarig graslandproefveld met het oog op uitbouw van controlemethodiek en monitoring van bemesting in opdracht van AMINAL, Bodemkundige Dienst van België.
- Coppens, G. (2002). Stromest versus mengmest: bemestingswaarde en emissies naar grond- en oppervlaktewater. COTE studienamiddag: stromest versus mengmest, 12 februari 2002.
- Coppens, G. (2002). Stromest versus mengmest: bodemverbeteringsaspecten. COTE studienamiddag: stromest versus mengmest, 12 februari 2002.
- Cuttle, S.P. and Bourne, P.C. (1993). Uptake and leaching of nitrogen from artificial urine applied to grassland on different dates during the growing season. *Plant and Soil*, 150: 77-86.
- Demeyer, P. (1993). Ammoniakvervluchtiging uit de bodem na toediening van ureum en ammoniumhoudende meststoffen. Doctoraatsthesis, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 235 p.
- Demyttenaere, P., Hofman, G., Verstegen, P., Vulsteke, G. en Van Ruymbeke, M. (1989). Need for modifications of the mineral nitrogen balance in the vegetable growing area of West-Flanders, Belgium. *Pedologie*, 39: 261-274.
- Demyttenaere, P. (1991). Stikstofdynamiek in de bodems van de West-Vlaamse groentestreek. Doctoraatsthesis, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 203 p.
- Dendooven, L. (1990). Nitrogen mineralization and nitrogen cycling. Doctoraatsthesis, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, KULeuven, 180 p.
- De Neve, S., Pannier, J. & Hofman, G. (1994). Fractionation of vegetable crop residues in relation to in situ N mineralization. In: Nitrogen mineralization in agricultural soils; proc. symp. held at the Institute for Soil Fertility Research, Haren, NL, 19-20 April 1993 (Neeteson, J.J. and Hassink, J.). AB-DLO Thema's, AB-DLO, Haren, 17-25.
- De Neve, S. & Hofman, G. (1996). Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry*, 28:1451-1457.

De Neve, S. (2000). Modelling and non-destructive real-time monitoring of nitrogen mineralization from vegetable crop residues and from soil organic matter. Doctoraatsthesis, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 181 p.

de Waal, B. & Titulaer, H.H.H. (1993). Control of N supply and irrigation of field grown vegetable crops by computer model and fertigation. Intermediate report EC project No. 8001-CT91-0115, 23 p.

Ducheyne, S., Vanclooster, M. and Feyen, J. (1998a). A systematic calibration and validation procedure applied to an integrated soil-crop model. In: Heineke, H.J., Eckelmann, W., Thomasson, A.J., Jones, R.J.A., Montanarella, L. and Buckley, B. (eds.). Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources. European Soil Bureau Research Report no. 4, EUR17729EN, Office for official publications of the European communities, Luxembourg, p 461-468.

Ducheyne, S., Schadeck, N. and Feyen, J. (1998b). Modellering van de migratie van nutriënten in de bodem. Interne publicatie nr. 52, Instituut voor Land- en Waterbeheer, K.U.Leuven.

Ducheyne, S. (2000). Derivation of the parameters of the WAVE model using a deterministic and a stochastic approach. Doctoraatsthesis. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, K.U.Leuven, 123 p.

El-Sadek, A. A. M. (2002). Engineering approach to water quantity and quality modelling at field and catchment scale. Doctoraatsthesis, Department of Civil Engineering, KULeuven, 251 p.

ENVEG (2000). European community network to investigate environmental problems associated with the nitrogen fertilisation of field grown vegetable crops. → <http://www.hri.ac.uk/enveg/>

Formesyn, M. (1994). Modellering van de C- en N-mineralisatie uit oogstresidu's van groenten. Afstudeerwerk, Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, 135 p.

Geypens, M., Bries, J. en Boon, W. (1992). BEMORGEX: programma en handleiding. Interne publicatie Bodemkundige Dienst van België.

Geypens, M. Vandendriessche, H. Bries, J. en Hendrickx, G. (1994). Experience with a nitrogen-index expert system: a powerful tool in nitrogen recommendation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25 (9,10): 1223-1238.

Geypens, M. en Bries, J. en Meskens, L. (2000). Ontwikkeling van een methode voor de beheersing en verfijning van de stikstofbemesting van grasland gebaseerd op het vochtleverend en stikstofleverend vermogen van de bodem. Betoelaagd onderzoek, Ministerie van Middenstand en Landbouw; Eindverslag onderzoeksperiode 1/9/98-31/8/00.

Hähndel, R. & Wehrmann, J. (1986a). Einfluss der Cl-Ernährung auf Ertrag und Nitratgehalt von Spinat und Kopfsalat. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 149: 303-313.

Hähndel, R. & Wehrmann, J. (1986b). Einfluss der NO₃- bzw. NH₄-Ernährung auf Ertrag und Nitratgehalt von Spinat und Kopfsalat. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 149: 290-302.

Harris, P. (1992). The potato crop. The scientific basis for improvement. Chapman and Hall, 909 p.

Heursel, J., Carlier, L., Verbruggen, L en Grunert, O. (1999). Departement voor Fytotechnie en Ecofysiologie, Merelbeke. Demonstratieproject in verband met het verminderd gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Jaarverslag grasland EG 2078/92: 1996, 1997 en 1998.

Hofman, G. (1983). Minerale stikstofevolucie in zandleemprofielen. Aggregaatsthesi, Faculteit van de Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, 183 p.

Hofman, G., Verloo, M. (1989). Minerale meststoffen. In: De Coster, M. (ed.). Millieuzorg in de landbouw. Monografie Stichting Leefmilieu, Antwerpen, 141-173.

Hofman, G., Demyttenaere, P., Van Meirvenne, M., Ossemerct, C. en Van Ruymbeke, M. (1990). Causes and consequences of differences in latent mineral nitrogen residues in the soil profile. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis, 21 (13-16): 1779-1791.

Hofman, G., Van Meirvenne, M., Demyttenaere, P. en Demeyer, P. (1991). Beschouwingen bij het toedienen van N-meststoffen in de rij. In: Optimale bemestingstechnieken voor landbouw en milieu. KVIV-studiedag, Meise, 17 oktober 1991.

Janssen, P.H.M., Heuberger, P.S.C. and Sanders, R.. (1993). UNCSAM 1.1: A software package for sensitivity and uncertainty analysis; Manual. RIVM Rep. No. 959101004, RIVM, Bilthoven, Nederland.

Lammers, H.W. (1984). Een berekende N-werkingscoëfficiënt voor diverse dierlijke organische mestsoorten. In: De Buffer, jaargang 30, nummer 5, p 169-186.

Legrand, G. en Vanstallen, M. (2000). Stikstofbemesting in suikerbieten. Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet, Tienen.

Leroy, I., Salomez, J., Hofman, G., Van Meirvenne, M., Hartmann, R. & Verplancke, H.(2001). Onderzoek naar de mogelijkheden tot aanwending van mengmest in de Polders gedurende de winter. Project in het kader van het 5b programma Het Meetjesland. 82 p.

Macdonald, A.J., Poulton, P.R., Powlson, D.S. & Jenkinson, D.S. (1997). Effects of season, soil type and cropping on recoveries, residues and losses of N15-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. Journal of Agricultural Science, 129:125-154.

Mary, B., Beaudoin, N., Justes, E. & Machet, J. M. (1999). Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. European Journal of Soil Science, 50:549-566.

Mertens, J. en Bries, J. (2000). Voorlichting in verband met rijenbemesting bij maïs. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 37 p.

Mertens, J. en Bries, J. (2001). Berekenende stikstofbemesting van maïs op gescheurd grasland. Resultaten 2000. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 19 p.

Mertens, J en Bries, J. (2001). Rijenbemesting bij maïs in combinatie met runderdrijfmest. Ministerie van Middenstand en Landbouw, 11 p.

Mertens, J. en Bries, J. (2001). Demoproject duurzame bemesting. Meerjarige evaluatie van de bemestingsstrategie naar opbrengst en stikstofverliezen naar het milieu bij maïs in monocultuur. Resultaten 2000. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 40 p.

Mertens, J. en Bries, J. (2002). Demoproject duurzame bemesting. Meerjarige evaluatie van de bemestingsstrategie naar opbrengst en stikstofverliezen naar het milieu bij maïs in monocultuur. Resultaten 2001. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 37 p.

Mertens, J. en Bries, J. (2002). Beredeneerde stikstofbemesting van maïs op gescheurd grasland. Resultaten 2001. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 23 p.

Moreels, E., Hofman, G. & Van Meirvenne, M. (2001). Nitrate leaching losses and the strain on the environment. In: Role of fertilizers in sustainable agriculture. Proceedings of the 12th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers (CIEC). 21-22 August 2000, Suceava, Romania. (Eds. A. Hera, E. Schnug, M. Dimitru and A. Dorneanu). AGRIS-Redactia Revistelor Agricole, Bucharest, Romania, 497-502.

Neeteson, J.J. (1989). Assessment of fertilizer nitrogen requirement of potatoes and sugar beet. Doctoraatsthesis, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Nederland, 141 p.

Neeteson, J. J. & Carton, O. T. (2001). The environmental impact of nitrogen in field vegetable production. In: Proceedings of Proceedings of the International Conference on Environmental Problems with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetables (Eds. Rahn, C.R., *et al.*). Potsdam, Germany, 21-28.

Nevens, F. en Reheul, D. (1998). Gebruik van toegediende stikstof door grasland en groenvoedergewassen. Fytotechnische mogelijkheden tot optimaal N-gebruik. In: Naar een duurzame grasland- en groenvoederuitbating. Nationaal Centrum voor Grasland- en Groenvoederonderzoek, 221 p.

Ninane, V., Goffart, J.-P., Meeùs-Verdinne, K. Destain, J.-P., Guiot, J. and François, E. (1995). Inbreng van organisch materiaal en de gevolgen op landbouwkundig en milieukundig vlak. In: Geypens, M. en Honnay, J.P. (eds.). Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem. Comité voor Onderzoek van de Organische Stof in de Bodem.

Perrenoud, S. (1983). Potato fertilising for high yield and quality. International Potash Institute, I.P.I. Bulletin 8, Berne, 84 p.

Rahn, C.R., Vaidyanathan, L.V. en Paterson, C.D. (1992). Nitrogen residues from Brassica crops. Aspects of Applied Biology, 30:263-270.

Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Saxton, K.E (1982). Estimation of soil waterproperties. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 25:1316-1328.

Relaes, J. (2000) . Code van goede landbouwpraktijken. Afdeling Land- en Tuinbouwvorming van de Administratie Land- en Tuinbouw, Vlaamse Gemeenschap.

Rijkers, B. en Timmers, H. (1983). Inventarisatie van agrarische afvalstoffen ten behoeve van de Energiekaart NEOM. Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwproducten, Wageningen, 45 p.

Salomez, J., Pannier, J., Deneve, S., Hofman, G., Demyttenaere, P., Verstegen, P., Vanparys, L.; en Sarrazyn, R. (1995). Het belang van de inbreng van groente-oogstresten. In: Geypens, M. & Honnay, J.P. (eds.) Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem, I.W.O.N.L., 105-128.

Salomez, J., De Neve, S. en Hofman, G. (2000). Bloemkool- en broccoliteelt na het nieuwe mestdecreet. 9 p.

Scharpf, H. & Wehrmann, J. (1988). Stickstoffdüngung in Gemüsebau. AID-Heft, Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 42 p.

Schils, R.L.M. (2002). Accumulation of residual mineral nitrogen under grazing regime. In: H.F.M. ten Berge (ed.). A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2, Plant Research International B.V., Wageningen.

Schröder, J.J., Van Dijk, W. en De Groot, W.J.M. (1996). Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44:293-315.

Sherwood, M. (1986). Nitrate leaching following application of slurry and urine to field plots. In: Dam Kofoed, A. Williams, J.H. and L'Hermite, P. (eds). *Efficient Land use of sludge and manure*. Elsevier, London, 150 – 157.

Smit, A.L. (1994). Stikstofbenutting. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboek nr 18, PAGV, Lelystad, 9-22.

Van Burg, P.F.J., Kromwijk, W.A.M., Prins, W.H. (1989). Geen gras zonder stikstof. *Praktijkreeks Veehouderij*. C. Misset, Doetinchem, 80 p.

Vanclooster, M. (1995). Nitrogen transport in soils: Theoretical, experimental and numerical analysis. Doctoraatsthesis. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, KULeuven.

Van Der Boon, J., Pieters, J.H., Slangen, J.H.G. & Titulaer, H.H.H. (1986). The effect of nitrogen fertilization on nitrate accumulation and yield of some field vegetables. In: Lambers, H., Neeteson, J. J. & Stulen, I. (ed.) *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 489-492.

Van der Putten, A.H.J. en Vellinga, Th.V. (1996). De invloed van graslandgebruik op de benutting van de toegediende stikstof. In: J.W.G.M.Loonen en W.E.M. Bach-de-Wit (red.) *Stikstof in Beeld. Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 20.

Vandendriessche, H., Geypens, M., Boon, R., Deventer, J. (1989). Stikstofbemesting van spruitkool op leemgrond. *Onderzoek 1987. Bodemkundige Dienst van België*, juli 1989, p. 55.

Vandendriessche, H., Bries, J., Geypens, M. (1990). Stikstofbemesting op spinazie. Onderzoek in 1990. Rapport van de Bodemkundige Dienst van België, oktober 1990, p 15.

Vandendriessche, H., Geypens, M., Bries, J. (1992). N_INDEX: An expert system for nitrogen fertilization of arable crops. Cost Workshop Gembloux, 22-23 oct. 1992, Abstracts of contributed papers 1, oral, 3 p.

Vandendriessche, H. (1994). Hoe zijn MAP en de intensieve groenteteelt te verzoenen? Studiedag Toekomstperspectieven voor de vollegrondsgroenteteelt. Agribex.

Vandendriessche, H., Bries, J., Smeets, E., Vanongeval, L. & Geypens, M. (1994). Onderzoek naar een zo hoog mogelijk correlerend N-monitoringsysteem in relatie tot kwaliteitsaspecten van de teelt en aanvaardbare N-residu's. Comité voor toegepaste bodemkunde (1993-1995), Sectie 1: Bodemkundige Dienst van België.

Vandendriessche, H., Bries, J., Smeets, E., Vanongeval, L. & Geypens, M. (1995). Onderzoek naar een zo hoog mogelijk correlerend N-monitoringsysteem in relatie tot kwaliteitsaspecten van de teelt en aanvaardbare N-residu's. Comité voor toegepaste bodemkunde (1993-1995), Sectie 1: Bodemkundige Dienst van België.

Vandendriessche, H., Bries, J., Geypens, M. (1996). Experience with fertilizer expert systems for balanced fertilizer recommendations. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 27 (5-8):1199-1209.

Vandendriessche, H. (2000). Cursus bemestingsleer. K.U.Leuven, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen.

Van Dijk, W. (1999). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Publicatie 95, PAV, Lelystad, 59 p.

Van Enckevort, P.L.A., van der Schoot, J.R., van den Berg, W. (2002). Estimation of residual mineral soil nitrogen in arable crops and field vegetables at standard recommended N-rates. In: H.F.M. ten Berge (ed.). A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2, Plant Research International B.V., Wageningen.

Van Loon, C.D. (1989). Enkele kwaliteitsaspecten van consumptieaardappelen in relatie tot de bemesting. Aardappelwereld maart 1989, 18-20.

Van Meirvenne, M. (1991). Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Doctoraatsthesis. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 168 p.

Vanongeval, L., Hendrickx, G. en Geypens, M. (1995). Modelling van de evolutie van het organisch stofgehalte op lange termijn. In: Geypens, M. en Honnay, J.P. (eds). Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem. IWONL-comité voor Onderzoek van de organische stof in de bodem.

Vanongeval, L. (1999). Evolutie van het koolstofgehalte en de bodemvruchtbaarheid onder de MAP-normen, studiedag Provinciale Landbouwdienst Limburg: Bodemvruchtbaarheid en balansen in het nieuwe mestdecreet, 9 maart 1999, Limburghal Genk.

- Vanongeval, L., Bries, J., Meykens, J. Boon, W., Vandendriessche, H. en Geypens, M. (2000). De chemische bodemvruchtbaarheid van het Belgische akkerbouw- en weilandareaal. Bodemkundige Dienst van België, 110 p.
- Vellinga, Th.V., Mooij, M., van der Putten, A.H.J. (1996). De invloed van bemesting en graslandgebruik op de uitspoeling van nitraat. Meststoffen 1996.
- Vellinga, Th. V., Mooij, M., en van der Putten, A.H.J; (1997). Richtlijnen voor bemesting en graslandgebruik ter beperking van nitraatuitspoeling op zandgrond (Nitraat Reductie Planner). Rapport 166. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en, Paarden, Lelystad, 47 p.
- Velthof, G.L., van Erp, P.J., Steevens, J.C.A.(1998). Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. Meststoffen 1997/1998, p 20-28.
- Vereecken, H. (1988). Pedotransfer functions for the generation of the hydraulic properties for Belgian soils. Doctoraatsthesis. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, K.U.Leuven, België, 254 p.
- Ver Elst, P., Vanongeval, L. en Bries, J. (1999). Praktijkgids bemesting suikerbieten. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee.
- Ver Elst, P. (2000). Groenbemesters als stikstofvangplant na granen en stikstofleverancier voor de volgteelt. Landbouwcentrum Granen Vlaanderen. Resultaten wintergerst, wintertarwe en triticale, oogst 2000.
- Ver Elst, P. en Bries, J. (2000). Landbouwcentrum Granen Vlaanderen. Resultaten wintergerst, wintertarwe en triticale, oogst 2000, p78-81.
- Ver Elst, P. en Bries, J. (2001). Landbouwcentrum Granen Vlaanderen. Resultaten wintergerst, wintertarwe en triticale, oogst 2001.
- Vos, J. (1993). Naar een optimale stikstofbemesting van consumptie- en zetmeelaardappelen. In: tthemaboekje nr 16, Teelt van consumptie- en zetmeelaardappelen in relatie tot kwaliteits- en milieueisen, PAGV, Lelystad.
- Wehrmann, J. & Scharpf, H.-C. (1986). The Nmin-method - and aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde, 149: 428-440.
- Wehrmann, J. en Scharpf, H.C. (1987). Reduction of nitrate leaching in a vegetable farm. In: Welte, E. en Szalbocs, I. (eds.). Protection of water quality from harmful emissions with special regard to nitrate and heavy metals. 5th International Symposium of CIEC, Balatonfüred, Hongarije, 247-253.
- Whitehead, D., Bristow, A and Lockyer, D. (1990). Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to the potential for nitrate leaching after ploughing. Plant and Soil, 123: 39-49.
- Whitehead, D.C. (1995). Grassland nitrogen. C.A.B International, Wallingford.
- Whitmore, A.P. (1996). Modelling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. Netherlands Journal of Agricultural Science, 44: 73-86.

7 Bijlagen

7.1 Bijlage 1: Gebruikte symbolen

aa	Aardappelen
br	Braak
G	Gelijke verdeling van het nitraatstikstofresidu = 33 % (0-30 cm), 33 % (30-60 cm), 33 % (60-90 cm)
gr	Gras
H	Hoge verdeling van het nitraatstikstofresidu = 50 % (0-30 cm), 25 % (30-60 cm), 25 % (60-90 cm)
L	Lage verdeling van het nitraatstikstofresidu = 25 % (0-30 cm), 25 % (30-60 cm), 50 % (60-90 cm)
M25	Resultaten met toepassing van de richtwaarde (25 mg NO ₃ ⁻ l ⁻¹) met toepassing van de procesfactor van 2.4
M50	Resultaten met toepassing van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (50 mg NO ₃ ⁻ l ⁻¹) met toepassing van de procesfactor van 2.4
ma	Maïs
SA1a	Scenarioanalyse doelstelling 1 (bepaling van relatie tussen nitraatstikstofresidu en nitraatuitspoeling) uitgevoerd voor de proefvelden die gebruikt zijn voor kalibratie en validatie van de modellen
SA1b	Scenarioanalyse doelstelling 1 (bepaling van relatie tussen nitraatstikstofresidu en nitraatuitspoeling) uitgevoerd voor de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek
SA2	Scenarioanalyse doelstelling 2 (bepaling van relatie tussen nitraatstikstofresidu en perceelsmanagement)
sb	Suikerbieten
wt	Wintertarwe
Z25	Resultaten met toepassing van richtwaarde (25 mg NO ₃ ⁻ l ⁻¹) zonder toepassing van de procesfactor van 2.4
Z50	Resultaten met toepassing van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn (50 mg NO ₃ ⁻ l ⁻¹) zonder toepassing van de procesfactor van 2.4

7.2 Bijlage 2: Output SA1b

Tabel 7.1: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek

	Nummer	Textuur	Bodemserie	Grondwater	Oogstrest	Gewas	Hoge nitraatverdeling				Gelijke nitraatverdeling				Lage nitraatverdeling			
							Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25
DUINEN	1	klei	C2	3-0078	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30
	2	klei	W1	4-0029	tarwe	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30
	3	klei	E1	4-0029	tarwe	geen	40	120	20	50	40	90	20	50	30	90	<20	40
	4	klei	W1	3-0078	geen	gras	40	90	<20	50	30	70	<20	40	20	50	<20	30
	5	klei	A4	4-0029	tarwe	geen	20	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	6	klei	E1	3-0078	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	7	klei	E1	4-0029	suikerbieten	geen	40	90	<20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	8	klei	W1	4-0029	suikerbieten	geen	20	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	30
	9	klei	A4	3-0078	geen	gras	30	70	<20	30	20	50	<20	30	<20	50	<20	20
	10	klei	A2	4-0029	tarwe	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	20	20	50	<20	20
	11	klei	D5	4-0029	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	12	klei	A4	4-0029	suikerbieten	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20
	13	klei	W1	4-0029	mais	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30
	14	klei	A2	4-0029	suikerbieten	geen	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	15	klei	W1	4-0029	aardappelen	geen	30	70	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	30

Tabel 7.1: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwtreek (vervolg)

	Nummer	Textuur	Bodemserie	Grondwater	Oogstrest	Gewas	Hoge nitraatverdeling				Gelijke nitraatverdeling				Lage nitraatverdeling			
							Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25
KEMPEN	1	zand	Zdg	7-0355kb	geen	gras	20	50	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20
	2	zand	Zdg	7-0355kb	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	20	40	<20	20
	3	zand	Zeg	prv5kb	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	4	zand	Zcm	4-0009kb	geen	gras	20	50	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20
	5	zand	Zeg	prv5kb	mais	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	30	70	<20	30
	6	zand	Zcm	4-0009kb	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	7	zand	Zdm	7-0355kb	geen	gras	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	8	zand	Sdm	7-0355kb	geen	gras	20	70	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20
	9	zand	w-Seg	prv5kb	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	30
	10	zand	Zcg	4-0009kb	geen	gras	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	30
	11	zand	Sdg	7-0355kb	geen	gras	20	50	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20
	12	zand	Sepz	prv5kb	geen	gras	40	90	20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30
	13	zand	Scm	4-0009kb	geen	gras	30	70	<20	40	20	50	<20	30	<20	40	<20	20
	14	zand	Zcg	4-0009kb	mais	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	20	20	50	<20	20
	15	zand	Zdgb	7-0355kb	geen	gras	20	50	<20	30	20	50	<20	20	20	50	<20	20
	16	zand	Zdgy	7-0355kb	geen	gras	20	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	17	zand	Sdg	7-0355kb	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	18	zand	Scm	4-0009kb	mais	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	19	zand	Zdm	7-0355kb	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	20	zand	Sdm	7-0355kb	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	20	50	<20	20
LEEMSTREEK	1	leem	Aba1	> 2m diep	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	2	leem	Aba1	> 2m diep	suikerbieten	geen	20	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	3	leem	Aba1	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	20
	4	leem	Abp1	> 2m diep	tarwe	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	5	leem	Abp(c)	> 2m diep	tarwe	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30
	6	leem	Aba1	> 2m diep	mais	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30
	7	leem	Abp1	> 2m diep	suikerbieten	geen	20	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	8	leem	Abp(c)	> 2m diep	suikerbieten	geen	20	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	9	leem	ADp	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	10	leem	Abp1	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	11	leem	Aba0	> 2m diep	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	12	leem	Aba1	> 2m diep	aardappelen	geen	30	70	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	30
	13	leem	Aca1	3-0075u	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30
	14	leem	Ada	1-0262u	tarwe	geen	40	90	<20	50	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	15	leem	Acp1	3-0075u	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30
	16	leem	Abp(c)	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	17	leem	Aca1	3-0075u	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	30	70	<20	30
	18	leem	Ada	1-0262u	geen	gras	50	120	<20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	19	leem	ADp	1-0262u	tarwe	geen	40	90	20	50	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	20	leem	Ada	1-0262u	aardappelen	geen	30	90	<20	40	30	90	<20	40	30	70	<20	30

Tabel 7.1: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwtreek (vervolg)

	Nummer	Textuur	Bodemserie	Grondwater	Oogstrest	Gewas	Hoge nitraatverdeling				Gelijke nitraatverdeling				Lage nitraatverdeling			
							Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25
							ZANDSTREEK	1	zand	Zch	4-0009u	geen	gras	30	70	<20	30	20
	2	zand	Zch	4-0009u	mais	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	3	zand	Sdp1	7-0355u	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	20
	4	zand	Zdh	7-0355u	geen	gras	20	50	<20	20	20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	5	zand	Zdp0	7-0355u	geen	gras	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	6	zand	Zcg	4-0009u	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	7	zand	Zcg	4-0009u	mais	geen	20	50	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	8	zand	Zdp0	7-0355u	mais	geen	20	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	9	zand	Zdh	7-0355u	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	20	50	<20	20
	10	zand	Sep1	7-0355u	geen	gras	30	90	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	11	zand	Sdh	7-0355u	geen	gras	20	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20
	12	zand	Sdp1	7-0355u	mais	geen	30	70	<20	30	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	13	zandleem	Ldc1	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	14	zandleem	Lep1	prv5u	geen	gras	50	120	20	70	40	120	20	50	30	90	<20	40
	15	zand	Sdb	7-0355u	geen	gras	30	70	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20
	16	zandleem	Pdc	7-0355u	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	17	zand	Sch	4-0009u	geen	gras	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	30
	18	zandleem	Ldcz1	1-0262u	geen	gras	40	120	<20	50	40	90	<20	50	30	90	<20	40
	19	zand	Sdh	7-0355u	mais	geen	20	50	<20	20	20	50	<20	20	<20	40	<20	20
	20	zand	Zdb	7-0355u	geen	gras	30	70	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20
ZANDLEMSTREEK	1	zandleem	Ldc	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	2	leem	Aba1	> 2m diep	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	3	leem	Aba1	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	4	leem	Aba1	> 2m diep	mais	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	5	zandleem	Ldc	1-0262u	mais	geen	40	90	<20	40	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	6	zandleem	Ldc	1-0262u	tarwe	geen	40	90	<20	40	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	7	zandleem	Ldp	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	90	<20	40
	8	zandleem	Ldc	1-0262u	aardappelen	geen	30	90	<20	40	30	90	<20	40	30	70	<20	30
	9	klei	Eep	prv5u	geen	gras	50	120	<20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	10	zandleem	Lca	3-0075u	geen	gras	40	90	<20	50	30	70	<20	40	20	50	<20	30
	11	zandleem	Ldcz	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	12	zandleem	Lep	prv5u	geen	gras	50	120	20	70	40	120	20	50	30	90	<20	40
	13	zandleem	Lca	3-0075u	tarwe	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	14	zandleem	Pcc	4-0009u	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30
	15	leem	Adp	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40
	16	zandleem	Pdc	7-0355u	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	17	leem	Acp	3-0075u	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30
	18	zandleem	Lca	3-0075u	mais	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30
	19	zandleem	Ldc	1-0262u	suikerbieten	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30
	20	zandleem	Pcc	4-0009u	mais	geen	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20

Tabel 7.1: Hoogst toelaatbare nitraatstikstofresidu's voor de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwtreek (vervolg)

	Nummer	Textuur	Bodemserie	Grondwater	Oogstrest	Gewas	Hoge nitraatverdeling				Gelijke nitraatverdeling				Lage nitraatverdeling			
							Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25	Z50	M50	Z25	M25
							WEIDESTREEK											
1	leem	Aba1	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30	
2	leem	nuGbbx	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20	
3	leem	Abp	> 2m diep	geen	gras	30	70	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	
4	klei	nEbbk	> 2m diep	geen	gras	40	90	<20	50	30	70	<20	40	20	50	<20	30	
5	leem	Gbax1	> 2m diep	geen	gras	20	70	<20	30	20	50	<20	30	<20	40	<20	20	
6	leem	Aba1	> 2m diep	mais	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30	
7	leem	ADa1	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40	
8	leem	Aba0	> 2m diep	geen	gras	30	70	<20	30	20	50	<20	20	<20	40	<20	20	
9	leem	Gbbx3	> 2m diep	geen	gras	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	<20	30	<20	<20	
10	leem	(x)Aba	> 2m diep	geen	gras	20	70	<20	30	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	
11	leem	AbB	> 2m diep	geen	gras	30	70	<20	40	20	70	<20	30	<20	50	<20	20	
12	leem	Gbax3	> 2m diep	geen	gras	20	50	<20	20	<20	50	<20	20	<20	30	<20	<20	
13	leem	Aba1	> 2m diep	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30	
14	leem	Aba0	> 2m diep	mais	geen	30	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20	
15	leem	Abp	> 2m diep	mais	geen	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20	
16	leem	AbB	> 2m diep	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30	
17	leem	nuGbbx	> 2m diep	mais	geen	30	70	<20	40	30	70	<20	40	20	50	<20	30	
18	leem	Gbax1	> 2m diep	mais	geen	30	70	<20	30	20	70	<20	30	20	50	<20	20	
19	leem	ADp1	1-0262u	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40	
20	leem	AFp	prv5u	geen	gras	50	120	20	70	40	120	<20	50	30	90	<20	40	
POLDERS																		
1	klei	OU2	3-0078	geen	gras	30	90	<20	40	20	70	<20	30	20	50	<20	20	
2	klei	E1	4-0029	tarwe	geen	40	120	20	50	40	90	20	50	30	90	<20	40	
3	klei	E1	3-0078	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40	
4	klei	D5	4-0029	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30	
5	klei	C2	3-0078	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30	
6	klei	D5	3-0078	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30	
7	klei	F1	3-0078	geen	gras	40	90	20	50	30	90	<20	40	30	70	<20	30	
8	klei	B1	3-0078	geen	gras	50	120	20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	30	
9	klei	OU2	3-0078	tarwe	geen	30	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20	
10	klei	C1	4-0029	geen	gras	40	90	<20	50	30	90	<20	40	20	70	<20	30	
11	klei	C1	3-0078	tarwe	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30	
12	klei	A4	4-0029	tarwe	geen	20	70	<20	30	20	50	<20	30	20	50	<20	20	
13	klei	E1	4-0029	mais	geen	40	120	20	50	40	90	20	50	30	90	<20	40	
14	klei	F1	4-0029	tarwe	geen	50	120	20	50	40	90	20	50	30	90	<20	40	
15	klei	B2	3-0078	geen	gras	50	150	20	70	50	120	20	50	30	90	<20	40	
16	klei	E1	4-0029	suikerbieten	geen	40	90	<20	50	40	90	<20	50	30	70	<20	40	
17	klei	D5	4-0029	mais	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	40	20	70	<20	30	
18	klei	D5	4-0029	suikerbieten	geen	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	70	<20	30	
19	klei	Dk5	3-0078	geen	gras	30	90	<20	40	30	70	<20	30	20	50	<20	30	
20	klei	A4	3-0078	geen	gras	30	70	<20	30	20	50	<20	30	<20	50	<20	20	

7.3 Bijlage 3: overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse

Aan de hand van deze tabellen kan de invloed van textuur, hydrologie, gebruik, oogstrest, gewas, nitraatstikstofresidu en verdeling van nitraatstikstofresidu op de onzekerheid bepaald worden, maar de waarden in de kolommen onder 'gem. nitraat-N-conc. in waterflux' kunnen niet gebruikt worden om te bepalen of een scenario volgens één van de drie standpunten (ondergrens, mediaan of bovengrens) aan de nitraatrichtlijn voldoet!

breedte B.I.:	breedte van het betrouwbaarheidsinterval = bovengrens – ondergrens
$\frac{\text{breedte B.I.}}{\text{nitraatresidu}}$:	verhouding tussen de breedte van het betrouwbaarheidsinterval en het nitraatstikstofresidu

Tabel 7.2: Overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse (zonder procesfactor)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-conc. in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	breedte B.I. nitraat-N-residu
							ondergrens	mediaan	bovengrens		
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	5.89	6.80	7.84	1.95	0.097
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	8.18	9.51	11.02	2.84	0.095
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	10.45	12.22	14.23	3.78	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	12.74	14.92	17.43	4.70	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	17.21	20.34	23.83	6.61	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	21.77	25.77	30.25	8.48	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	28.63	33.88	39.85	11.22	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	35.41	42.02	49.48	14.06	0.094
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	20	6.07	6.99	8.04	1.97	0.098
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	30	8.41	9.81	11.36	2.95	0.098
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	40	10.77	12.63	14.69	3.92	0.098
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	50	13.13	15.44	18.02	4.88	0.098
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	70	17.80	21.02	24.66	6.87	0.098
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	90	22.51	26.63	31.26	8.76	0.097
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	120	29.63	35.07	41.24	11.61	0.097
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	150	36.61	43.49	51.22	14.61	0.097
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	20	6.67	7.73	8.94	2.26	0.113
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	30	9.33	10.89	12.63	3.30	0.110
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	40	11.97	14.05	16.39	4.42	0.110
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	50	14.64	17.21	20.15	5.50	0.110
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	70	19.88	23.54	27.61	7.73	0.110
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	90	25.19	29.87	35.09	9.90	0.110
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	120	33.21	39.36	46.31	13.10	0.109
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	150	41.14	48.86	57.55	16.41	0.109
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.45	7.07	7.78	1.33	0.066
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	30	8.01	8.92	9.96	1.95	0.065
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	40	9.57	10.78	12.18	2.62	0.065
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	50	11.15	12.67	14.45	3.30	0.066
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	70	14.29	16.54	19.07	4.78	0.068
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	90	17.57	20.52	23.88	6.30	0.070
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	120	22.65	26.64	31.28	8.63	0.072
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	150	27.83	32.99	38.98	11.16	0.074
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.78	7.28	7.83	1.05	0.052
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	30	8.01	8.72	9.53	1.51	0.050
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	40	9.22	10.17	11.29	2.07	0.052
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	50	10.46	11.69	13.20	2.74	0.055
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	70	13.07	15.11	17.86	4.80	0.069
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	90	16.16	19.61	24.03	7.87	0.087
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	120	22.40	27.77	34.01	11.61	0.097
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	150	29.37	36.30	44.18	14.82	0.099
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.16	7.06	8.10	1.94	0.097
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	8.44	9.77	11.28	2.84	0.095
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	10.71	12.48	14.49	3.78	0.094
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	13.00	15.19	17.69	4.70	0.094
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	17.47	20.60	24.09	6.61	0.094
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	22.03	26.03	30.52	8.49	0.094
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	28.89	34.15	40.12	11.23	0.094
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	35.69	42.30	49.75	14.07	0.094
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.22	7.18	8.26	2.04	0.102
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	30	8.62	10.02	11.60	2.98	0.099
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	40	11.00	12.86	14.97	3.96	0.099
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	50	13.40	15.70	18.33	4.93	0.099
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70	18.09	21.38	25.03	6.94	0.099
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	90	22.88	27.07	31.78	8.91	0.099
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	120	30.07	35.60	41.86	11.78	0.098
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	150	37.21	44.14	51.97	14.76	0.098
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.75	7.66	8.70	1.95	0.097
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	9.04	10.37	11.88	2.84	0.095
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	11.31	13.08	15.09	3.78	0.094
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	13.60	15.79	18.29	4.70	0.094
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	18.07	21.20	24.69	6.61	0.094
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	22.63	26.63	31.11	8.48	0.094
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	29.48	34.74	40.70	11.22	0.094
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	36.27	42.88	50.34	14.06	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	12.51	13.42	14.45	1.95	0.097
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	14.79	16.13	17.64	2.84	0.095
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	17.07	18.83	20.85	3.78	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	19.35	21.54	24.05	4.70	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	23.83	26.96	30.44	6.61	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	28.38	32.38	36.86	8.48	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	35.24	40.49	46.46	11.22	0.094
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	42.03	48.63	56.09	14.06	0.094

Tabel 7.2: Overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse (zonder procesfactor) (vervolg)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-conc. in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	breedte B.I. nitraat-N-residu
							ondergrens	mediaan	bovengrens		
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	4.68	5.51	6.46	1.78	0.089
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	6.77	8.00	9.38	2.61	0.087
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	8.86	10.48	12.33	3.47	0.087
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	10.96	12.96	15.26	4.31	0.086
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	15.06	17.93	21.13	6.07	0.087
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	19.24	22.91	27.02	7.78	0.086
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	25.53	30.35	35.82	10.29	0.086
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	31.75	37.81	44.65	12.90	0.086
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	5.87	6.71	7.68	1.80	0.090
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	7.99	9.23	10.62	2.63	0.088
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	10.09	11.73	13.58	3.49	0.087
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	12.21	14.23	16.55	4.34	0.087
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	16.35	19.24	22.46	6.11	0.087
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	20.56	24.27	28.41	7.85	0.087
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	26.90	31.76	37.28	10.38	0.086
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	33.18	39.29	46.19	13.01	0.087
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.73	7.92	9.28	2.54	0.127
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	9.74	11.49	13.47	3.73	0.124
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	12.72	15.06	17.68	4.96	0.124
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	15.74	18.61	21.91	6.18	0.124
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	21.62	25.73	30.31	8.70	0.124
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	27.62	32.87	38.76	11.14	0.124
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	36.63	43.55	51.39	14.76	0.123
klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	45.56	54.24	64.05	18.50	0.123
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.73	7.88	9.20	2.46	0.123
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	9.63	11.34	13.32	3.69	0.123
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	12.58	14.88	17.45	4.87	0.122
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	15.55	18.36	21.56	6.01	0.120
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	21.27	25.27	29.72	8.44	0.121
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	27.10	32.20	37.92	10.82	0.120
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	35.84	42.56	50.17	14.33	0.119
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	44.51	52.95	62.46	17.95	0.120
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	6.49	7.53	8.72	2.23	0.112
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	9.12	10.67	12.43	3.31	0.110
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	11.77	13.83	16.15	4.38	0.109
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	14.43	16.96	19.86	5.43	0.109
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	19.60	23.21	27.24	7.64	0.109
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	24.86	29.48	34.65	9.79	0.109
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	32.77	38.85	45.73	12.96	0.108
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	40.62	48.25	56.85	16.24	0.108
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20	5.41	6.06	6.80	1.39	0.070
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	30	7.04	7.99	9.07	2.02	0.067
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	40	8.66	9.92	11.38	2.72	0.068
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	50	10.30	11.90	13.76	3.46	0.069
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70	13.59	15.98	18.70	5.11	0.073
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	90	17.09	20.27	23.92	6.83	0.076
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	22.58	26.97	32.10	9.52	0.079
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	150	28.27	34.01	40.72	12.44	0.083
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20	5.38	6.10	6.90	1.52	0.076
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	30	7.17	8.19	9.37	2.20	0.073
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	40	8.93	10.30	11.88	2.95	0.074
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	50	10.71	12.43	14.45	3.74	0.075
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70	14.26	16.83	19.73	5.47	0.078
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	90	18.01	21.40	25.27	7.26	0.081
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	23.85	28.48	33.87	10.02	0.084
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	150	29.85	35.87	42.85	13.00	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	8.13	8.97	9.93	1.80	0.090
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	10.24	11.48	12.88	2.63	0.088
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	12.35	13.98	15.83	3.49	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	14.46	16.48	18.80	4.34	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	18.60	21.49	24.71	6.11	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	22.81	26.52	30.66	7.85	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	29.15	34.01	39.53	10.38	0.086
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	35.43	41.54	48.44	13.01	0.087
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20	8.29	9.28	10.40	2.11	0.105
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	30	10.77	12.22	13.85	3.08	0.103
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	40	13.23	15.14	17.31	4.08	0.102
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	50	15.71	18.07	20.78	5.08	0.102
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70	20.55	23.93	27.70	7.15	0.102
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	90	25.47	29.82	34.66	9.19	0.102
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	120	32.90	38.58	45.04	12.14	0.101
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	150	40.24	47.39	55.47	15.23	0.102

Tabel 7.3: Overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse (met procesfactor)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-conc. in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	breedte B.I. nitraat-N-residu
							ondergrens	mediaan	bovengrens		
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.45	2.83	3.27	0.81	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.41	3.96	4.59	1.19	0.040
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.35	5.09	5.93	1.57	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.31	6.22	7.26	1.96	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.17	8.48	9.93	2.76	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.07	10.74	12.60	3.53	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	11.93	14.12	16.60	4.68	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	14.76	17.51	20.62	5.86	0.039
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	20	2.53	2.91	3.35	0.82	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	30	3.50	4.09	4.73	1.23	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	40	4.49	5.26	6.12	1.63	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	50	5.47	6.43	7.51	2.03	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	70	7.41	8.76	10.28	2.86	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	90	9.38	11.10	13.03	3.65	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	120	12.35	14.61	17.18	4.84	0.040
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	gem.: 33% - 33% - 33%	150	15.25	18.12	21.34	6.09	0.041
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	20	2.78	3.22	3.72	0.94	0.047
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	30	3.89	4.54	5.26	1.37	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	40	4.99	5.85	6.83	1.84	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	50	6.10	7.17	8.39	2.29	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	70	8.28	9.81	11.50	3.22	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	90	10.50	12.45	14.62	4.12	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	120	13.84	16.40	19.30	5.46	0.045
zandleem	nat	akker	tarwe	geen	laag: 25% - 25% - 50%	150	17.14	20.36	23.98	6.84	0.046
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.69	2.95	3.24	0.55	0.028
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.34	3.71	4.15	0.81	0.027
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	40	3.99	4.49	5.08	1.09	0.027
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	50	4.64	5.28	6.02	1.38	0.028
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	70	5.95	6.89	7.95	1.99	0.028
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	90	7.32	8.55	9.95	2.63	0.029
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	120	9.44	11.10	13.03	3.60	0.030
zandleem	nat	akker	tarwe	grasachtige	hoog: 50% - 25% - 25%	150	11.59	13.75	16.24	4.65	0.031
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.83	3.03	3.26	0.44	0.022
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.34	3.63	3.97	0.63	0.021
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	40	3.84	4.24	4.71	0.86	0.022
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	50	4.36	4.87	5.50	1.14	0.023
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	70	5.44	6.30	7.44	2.00	0.029
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	90	6.73	8.17	10.01	3.28	0.036
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	120	9.33	11.57	14.17	4.84	0.040
zandleem	nat	akker	tarwe	bladrijke	hoog: 50% - 25% - 25%	150	12.24	15.13	18.41	6.17	0.041
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.57	2.94	3.37	0.81	0.040
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.52	4.07	4.70	1.19	0.040
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.46	5.20	6.04	1.57	0.039
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.42	6.33	7.37	1.96	0.039
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.28	8.59	10.04	2.76	0.039
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.18	10.85	12.72	3.54	0.039
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	12.04	14.23	16.72	4.68	0.039
zandleem	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	14.87	17.62	20.73	5.86	0.039
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.59	2.99	3.44	0.85	0.042
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.59	4.17	4.83	1.24	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.58	5.36	6.24	1.65	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.58	6.54	7.64	2.05	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.54	8.91	10.43	2.89	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.53	11.28	13.24	3.71	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	120	12.53	14.83	17.44	4.91	0.041
zandleem	nat	akker	mais	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	150	15.50	18.39	21.65	6.15	0.041
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.81	3.19	3.62	0.81	0.041
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.77	4.32	4.95	1.19	0.040
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.71	5.45	6.29	1.57	0.039
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.67	6.58	7.62	1.96	0.039
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.53	8.83	10.29	2.76	0.039
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.43	11.10	12.96	3.53	0.039
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	12.29	14.48	16.96	4.68	0.039
zandleem	nat	akker	aardappelen	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	15.11	17.87	20.97	5.86	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	5.21	5.59	6.02	0.81	0.041
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	6.16	6.72	7.35	1.19	0.040
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	7.11	7.85	8.69	1.57	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	8.06	8.97	10.02	1.96	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	9.93	11.23	12.68	2.76	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	11.83	13.49	15.36	3.53	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	14.68	16.87	19.36	4.68	0.039
zandleem	nat	akker	bloemkool	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	17.51	20.26	23.37	5.86	0.039

Tabel 7.3: Overzicht van de resultaten van de onzekerheidsanalyse (met procesfactor) (vervolg)

textuur	hydrologie	gebruik	oogstrest	gewas	verdeling van nitraat-N-residu in bodemprofiel	nitraat-N-residu (kg N ha ⁻¹)	gem. nitraat-N-conc. in waterflux (mg NO ₃ -N l ⁻¹)			breedte B.I. (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	breedte B.I. nitraat-N-residu	
							ondergrens	mediaan	bovengrens			
zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	1.95	2.30	2.69	0.74	0.037	
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	2.82	3.33	3.91	1.09	0.036
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	3.69	4.37	5.14	1.44	0.036
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	4.56	5.40	6.36	1.79	0.036
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	6.27	7.47	8.80	2.53	0.036
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	8.02	9.55	11.26	3.24	0.036
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	10.64	12.64	14.92	4.29	0.036	
	zandleem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	13.23	15.75	18.60	5.37	0.036
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.45	2.80	3.20	0.75	0.038
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.33	3.84	4.43	1.10	0.037
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.21	4.89	5.66	1.45	0.036
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	5.09	5.93	6.89	1.81	0.036
leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	6.81	8.02	9.36	2.55	0.036	
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	8.56	10.11	11.84	3.27	0.036
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	11.21	13.23	15.53	4.32	0.036
	leem	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	13.82	16.37	19.25	5.42	0.036
	klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.81	3.30	3.87	1.06	0.053
		klei	droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	4.06	4.79	5.61	1.56
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	5.30	6.27	7.37	2.07	0.052
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	6.56	7.76	9.13	2.57	0.051
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	9.01	10.72	12.63	3.62	0.052
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	11.51	13.70	16.15	4.64	0.052
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	15.26	18.15	21.41	6.15	0.051
klei		droog	akker	tarwe	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	18.98	22.60	26.69	7.71	0.051
zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.81	3.28	3.83	1.03	0.051	
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	4.01	4.73	5.55	1.54	0.051
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	5.24	6.20	7.27	2.03	0.051
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	6.48	7.65	8.98	2.50	0.050
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	8.86	10.53	12.38	3.52	0.050
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	11.29	13.42	15.80	4.51	0.050
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	14.93	17.73	20.90	5.97	0.050
	zand	droog	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	18.55	22.06	26.03	7.48	0.050
zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.70	3.14	3.63	0.93	0.047	
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	3.80	4.45	5.18	1.38	0.046
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	4.90	5.76	6.73	1.82	0.046
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	6.01	7.07	8.27	2.26	0.045
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	8.17	9.67	11.35	3.18	0.045
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	10.36	12.28	14.44	4.08	0.045
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	13.66	16.19	19.06	5.40	0.045
	zand	nat	akker	mais	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	16.92	20.10	23.69	6.77	0.045
zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.25	2.53	2.83	0.58	0.029	
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	30	2.93	3.33	3.78	0.84	0.028
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	40	3.61	4.13	4.74	1.13	0.028
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	50	4.29	4.96	5.73	1.44	0.029
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70	5.66	6.66	7.79	2.13	0.030
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	90	7.12	8.44	9.97	2.85	0.032
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	9.41	11.24	13.38	3.97	0.033
	zand	droog	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	150	11.78	14.17	16.96	5.18	0.035
zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	20	2.24	2.54	2.88	0.64	0.032	
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	30	2.99	3.41	3.90	0.92	0.031
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	40	3.72	4.29	4.95	1.23	0.031
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	50	4.46	5.18	6.02	1.56	0.031
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	70	5.94	7.01	8.22	2.28	0.033
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	90	7.51	8.92	10.53	3.02	0.034
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	120	9.94	11.86	14.11	4.18	0.035
	zand	nat	weide	geen	gras	hoog: 50% - 25% - 25%	150	12.44	14.95	17.85	5.42	0.036
leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	20	3.39	3.74	4.14	0.75	0.038	
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	30	4.27	4.78	5.37	1.10	0.037
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	40	5.14	5.83	6.60	1.45	0.036
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	50	6.03	6.87	7.83	1.81	0.036
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	70	7.75	8.96	10.30	2.55	0.036
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	90	9.50	11.05	12.78	3.27	0.036
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	120	12.15	14.17	16.47	4.32	0.036
	leem	droog	akker	suikerbieten	geen	hoog: 50% - 25% - 25%	150	14.76	17.31	20.18	5.42	0.036
leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	20	3.46	3.87	4.33	0.88	0.044	
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	30	4.49	5.09	5.77	1.28	0.043
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	40	5.51	6.31	7.21	1.70	0.042
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	50	6.54	7.53	8.66	2.11	0.042
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	70	8.56	9.97	11.54	2.98	0.043
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	90	10.61	12.42	14.44	3.83	0.043
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	120	13.71	16.08	18.77	5.06	0.042
	leem	droog	akker	suikerbieten	tarwe	hoog: 50% - 25% - 25%	150	16.77	19.75	23.11	6.34	0.042

7.4 Bijlage 4: Resultaten van SA2

Tabel 7.4: Gemiddelde jaarlijkse cumulatieve waarden voor de stikstofprocessen in de scenario's met permanente gewassen.

Teelt	Textuur	Bemesting	Aantal	N opname (kg N/ha)		Denitrificatie (kg N/ha)		Nitrificatie (kg N/ha)		Mineralisatie (kg N/ha)		Immobilisatie (kg N/ha)	
				Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev	Gemiddelde	Stdev
permanent gras	niet-zand	450 kg N/ha/j	853	355	47	6	7	329	36	132	35	0	0
permanent gras	zand	450 kg N/ha/j	438	347	40	1	2	335	46	134	45	0	0
permanent gras	zand	350 kg N/ha/j	437	280	42	1	1	272	45	117	45	0	0
monocultuur maïs	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	387	229	19	4	7	200	27	79	26	-1	0
monocultuur maïs	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	387	199	35	3	4	222	31	115	31	-1	0
monocultuur maïs	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	387	135	24	2	2	101	23	42	23	-1	1
monocultuur maïs	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	387	154	36	2	2	187	30	105	30	-1	0
monocultuur maïs	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	368	234	18	1	2	219	45	96	45	-2	0
monocultuur maïs	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	368	209	37	1	1	242	46	132	46	-1	0
monocultuur maïs	zand	verlaagd: maximaal chemisch	368	147	39	1	1	119	44	59	44	-1	0
monocultuur maïs	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	368	166	43	1	1	207	46	122	46	-1	0
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	54	258	27	8	11	242	31	111	31	0	0
suikerbieten	niet-zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	54	248	32	7	9	265	33	136	33	0	0
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal chemisch	54	181	33	5	5	163	29	90	29	0	0
suikerbieten	niet-zand	verlaagd: maximaal dierlijk	54	196	38	5	5	231	33	136	33	0	0
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal chemisch	11	250	44	1	1	242	41	109	40	0	0
suikerbieten	zand	forfaitaire norm: maximaal dierlijk	11	237	47	1	1	265	42	134	41	0	0
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal chemisch	11	169	41	1	1	163	40	88	39	0	0
suikerbieten	zand	verlaagd: maximaal dierlijk	11	182	44	1	1	231	41	134	41	0	0

