

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

N-(eco)²

Eindrapport deel 2

**Opbouw databank
Mineralisatie en denitrificatie
Proefveldonderzoek
Kalibratie en validatie**

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**

P/00/001

Inhoud

VOORWOORD	4
1 AFBAKENING EN KARAKTERISERING VAN DE SIMULATIEËNHEDEN	6
1.1 INLEIDING.....	6
1.2 OPBOUW VAN DE GEOGRAFISCHE DATABANK.....	7
1.3 AFBAKENING VAN ELEMENTAIRE SIMULATIEËNHEDEN.....	8
1.3.1 <i>Identificatie van de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties</i>	8
1.3.2 <i>Identificatie van de meest voorkomende ‘bodem-gewasrotatie’ combinaties</i>	18
1.4 BODEMKUNDIGE KARAKTERISERING VAN DE SIMULATIEËNHEDEN: AARDEWERK-GBIS.....	29
1.4.1 <i>Van Aardewerk-BIS naar Aardewerk-gBIS</i>	29
1.4.2 <i>Geografische databevraging</i>	31
1.5 KARAKTERISERING SIMULATIEËNHEDEN MET NEERSLAG- EN PET-GEGEVENS.....	39
1.6 KARAKTERISERING SIMULATIEËNHEDEN MET GRONDWATERSTANDSVERLOOP O.B.V. DE DRAINAGEKLASSE EN HET NEERSLAGOVERSCHOT.....	40
1.6.1 <i>Inleiding</i>	40
1.6.2 <i>Tijdreeksmodellen</i>	41
1.6.3 <i>Methodologie</i>	43
1.6.4 <i>Genereren van een 30-jarig grondwaterstandsverloop</i>	47
1.6.5 <i>Ruimtelijke extrapolatie van gesimuleerd grondwaterstandsverloop</i>	50
1.7 BESLUIT.....	70
2 MINERALISATIE	72
2.1 INLEIDING.....	72
2.2 EXPERIMENTELE BEPALING VAN DE MINERALISATIECAPACITEIT.....	72
2.2.1 <i>Materiaal en methoden</i>	72
2.2.2 <i>Effect van monstervoorbehandeling op de mineralisatie</i>	73
2.2.3 <i>Resultaten en bespreking</i>	74
2.2.4 <i>Regressieanalyse</i>	80
2.2.5 <i>Besluit</i>	84
2.3 HET MINERALISATIEPROCES IN WAVE.....	85
2.3.1 <i>Inleiding</i>	85
2.3.2 <i>Mineralisatie van bodem-organische stof</i>	86
2.3.3 <i>Mineralisatie uit recent toegediend organisch materiaal</i>	89
2.4 BESLUIT.....	92
3 DENITRIFICATIE	93
3.1 INLEIDING.....	93
3.2 EXPERIMENTELE BEPALING VAN DE DENITRIFICATIEPOTENTIAAL.....	93
3.2.1 <i>Materiaal en methoden</i>	93
3.2.2 <i>Resultaten</i>	94
3.2.3 <i>Bespreking</i>	94
3.2.4 <i>Regressieanalyse</i>	100
3.2.5 <i>Besluit</i>	102
3.3 HET DENITRIFICATIEPROCES IN WAVE.....	103
3.3.1 <i>Kalibratie van WAVE op basis van proefveld Hélécine</i>	104
3.3.2 <i>Omrekening denitrificatiepotentiaal naar $k_{denit,pot}$</i>	107
3.4 BESLUIT.....	109
4 BESPREKING VAN DE PROEFVELDRESULTATEN	110
4.1 INLEIDING.....	110
4.2 BODEMKUNDIGE KARAKTERISATIE VAN DE PROEFVELDEN.....	110
4.2.1 <i>Kleibodems</i>	110
4.2.2 <i>Leembodems</i>	112
4.2.3 <i>Zandleembodems</i>	114
4.2.4 <i>Zandbodems</i>	118
4.3 EVOLUTIE VAN DE MINERALE STIKSTOF TIJDENS DE WINTER.....	121

4.3.1	<i>Staalname en analysetechniek</i>	121
4.3.2	<i>Bespreking proefveldmetingen</i>	122
4.3.3	<i>Verband tussen het nitraatstikstofgehalte in het bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater</i>	154
4.4	BESLUIT	158
5	KALIBRATIE EN VALIDATIE VAN DE MODELLEN	159
5.1	INLEIDING.....	159
5.2	HISTORISCHE PROEFVELDEN	159
5.3	NIEUWE PROEFVELDEN	160
5.3.1	<i>Inleiding</i>	160
5.3.2	<i>Werkwijze kalibratie en validatie</i>	161
5.3.3	<i>Resultaten</i>	163
5.3.4	<i>Bespreking</i>	190
5.4	BESLUIT	194
6	LITERATUUR	195
7	BIJLAGEN	199
BIJLAGE 1:	OVERZICHT VAN DE BODEMZONES EN VAN DE BODEMZONE-GROEPERINGSNIVEAUS	199
BIJLAGE 2:	OVERZICHT VAN DE GROEPERINGSNIVEAUS VAN KAARTEENHEDEN (VAN ORSHOVEN <i>ET AL.</i> , 1988).....	201
BIJLAGE 3:	OVERZICHT GRAFIEKEN MINERALISATIESNELHEID K	203
BIJLAGE 4:	OVERZICHT REFERENTIES GEBRUIKT BIJ DE MODELLERING VAN MINERALISATIE VAN OOGSTRESTEN EN VAN GEWASGROEI VAN GROENBEMESTERS EN GRAS.....	211
BIJLAGE 5:	PF CURVEN VAN DE 20 GESELECTEERDE PROEFVELDEN	216
BIJLAGE 6:	EVOLUTIE VAN HET AMMONIUMGEHALTE IN HET BODEMPROFIEL	219
BIJLAGE 7:	INVLOED VAN DE TEXTUUR	233
BIJLAGE 8:	PARAMETERS WAVE EN DRAINMOD	237

Voorwoord

Het onderzoeksproject N-(eco)² heeft als belangrijkste doelstelling de minerale stikstofresiduwaarde(n) te definiëren die resulteren in nitraatstikstofgehalten in oppervlakte- en grondwater die niet hoger zijn dan 11.3 mg NO₃-N l⁻¹. Het doel is om de huidige nitraatstikstofresidunorm van 90 kg NO₃-N ha⁻¹ te evalueren en mogelijk aan te passen door een geïntegreerde combinatie van modellering, metingen en expertkennis.

De resultaten van scenarioanalyses, samen met de informatie bekomen op 20 proefvelden en de aanwezige expertkennis binnen het consortium, vormen de basis waarop de nitraatstikstofresidunorm(en) en het exploitatieschema dat resulteert in deze nitraatstikstofresidunorm(en), worden afgeleid.

De op ‘modellen, proefvelden en expertkennis’ gebaseerde methodologie voor het afleiden van nitraatstikstofresidunormen in de bodem, moet toepasbaar zijn op een zo groot mogelijk areaal in Vlaanderen. Om de meest voorkomende ‘bodem-gewas(rotatie)-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen vast te stellen, werd een oppervlakteanalyse uitgevoerd per landbouwstreek. De resultaten van deze afbakeningsfase worden weergegeven in Hoofdstuk 1. In dit hoofdstuk wordt eveneens de opbouw van een databank besproken die voor de in Vlaanderen meest voorkomende situaties alle gegevens bevat die noodzakelijk zijn voor het uitvoeren van de modelsimulaties.

Opdat de scenarioanalyses betrouwbare resultaten inzake nitraatuitspoeling zouden opleveren, is het zeer belangrijk dat de stikstoftransformatieprocessen in de bodem voldoende nauwkeurig beschreven worden door de modellen. Hiertoe werden de mineralisatiecapaciteit en denitrificatiepotentiaal van de verschillende bodemhorizonten van de 20 proefvelden experimenteel bepaald. De resultaten worden respectievelijk in Hoofdstuk 2 en 3 besproken. Tevens wordt besproken hoe de in het labo bepaalde mineralisatiecapaciteit en denitrificatiepotentiaal worden ingepast in de modellen.

In Hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op de metingen op de 20 geselecteerde proefvelden die representatief werden geacht voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen. Op deze proefvelden werden er gedurende 2 winterperiodes bodemstalen genomen en werden analyses uitgevoerd op grond-, bodem- en drainagewater. De bodemkundige karakterisatie van de proefvelden en de evolutie van nitraatstikstof in de bodem en in het bodem-, grond-, en drainagewater worden in dit hoofdstuk toegelicht.

De meetgegevens van de 20 proefvelden en de uit de experimenten afgeleide mineralisatie- en denitrificatiesnelheid werden gebruikt voor de kalibratie en validatie van de modelleringstools WAVE en DRAINMOD-N. Deze benadering is essentieel om met hoge zekerheid te kunnen stellen dat de modelleringstools, die in de scenarioanalyse worden aangewend, betrouwbaar zijn. De simulatieresultaten worden voorgesteld in Hoofdstuk 5.

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

In het eerste deelrapport wordt de kennis inzake N-transformatieprocessen uit literatuur en uit eerder uitgevoerde modelsimulaties en proefveldonderzoek overzichtelijk samengebracht en wordt de achtergrond van de wiskundige modellen verduidelijkt.

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 het 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 (AMINAL)
- 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 Gijsegem (ALT-VOLT)
- K. Van Hoof (VMM)

1 Afbakening en karakterisering van de simulatieëenheden

1.1 Inleiding

De op ‘modellen, proefvelden en expertkennis’ gebaseerde methodologie voor het afleiden van nitraatstikstofresidunormen in de bodem, moet toepasbaar zijn op een zo groot mogelijk areaal in Vlaanderen. Vandaar dat een juiste vaststelling van de meest voorkomende ‘bodem-gewas(rotatie)-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen belangrijk was. Voor deze combinaties dienden modelvoorspellingen gedaan te worden inzake nitraatuitspoeling voor een tijdsreeks van 30 jaar. Om deze simulaties mogelijk te maken dienden de weerhouden ‘bodem-gewas’ combinaties gekarakteriseerd te worden met alle inputgegevens (bodemparameters, klimaatgegevens, grondwaterstandsverloop) die het model in staat stellen de beoogde modeloutput te genereren. Hiertoe werd een databank, het N-(eco)²-GIS, opgebouwd waardoor de voor het model vereiste inputgegevens automatisch opvraagbaar zijn voor het uitvoeren van scenarioanalyses.

Dit hoofdstuk handelt specifiek over de bepaling, de ruimtelijke afbakening en de karakterisering van de voor Vlaanderen en voor de problematiek van de stikstofuitspoeling meest relevante ‘bodem-gewas-klimaat’ combinaties of landeenheden. Met karakterisering wordt bedoeld: het koppelen van de landeenheden aan de nodige invoergegevens voor het WAVE-model. Op deze wijze worden de landeenheden opgewaardeerd tot simulatieëenheden.

Deze taak omvat volgende 5 subtaken:

1. opbouw van een geografische databank;
2. identificatie en afbakening van elementaire simulatieëenheden + keuze van 20 representatieve proefvelden;
3. bodemkundige karakterisering van de simulatieëenheden;
4. karakterisering van de simulatieëenheden met neerslag- en PET-gegevens (potentiële evapotranspiratie);
5. karakterisering van de simulatieëenheden met een grondwaterstandsverloop o.b.v. de drainageklasse en het neerslagoverschot.

In dit hoofdstuk worden de werkmethode en de resultaten van deze 5 subtaken besproken.

1.2 Opbouw van de geografische databank

Binnen een Arc-Info(Librarian)/Arcview omgeving werd een geografische databank opgebouwd met de beschikbare relevante data voor de identificatie, afbakening en karakterisering van de simulatieëenheden. Om deze identificatie, afbakening en karakterisering zo geautomatiseerd mogelijk te realiseren, werden procedures ontwikkeld onder de vorm van Avenue- en AML-scripts en met Excel. Samen met de databank vormen deze het N-(eco)²-GIS. Eén van de bouwstenen van het N-(eco)²-GIS is Aardewerk-gBIS, dat toelaat om de digitale bodemkaart te combineren met de bestaande Aardewerk-BIS-tabellen om aldus de bodemkaartenheden te karakteriseren met bodemprofiel- en horizontinformatie. Het Aardewerk-gBIS komt aan bod in §1.4.

De geografische databank bevat volgende gegevens:

1. bodemkaart van Vlaanderen (bron: OC-GIS Vlaanderen, 1999);
2. geregistreerde landbouwgebruikspcelen '97, '98, '99 en '00 (bron: VLM, Mestbank);
3. afbakening van de landbouwstreken;
4. situering van de weerstations van Koksijde, Ukkel en Kleine Brogel;
5. tabellen met 40-jarige (1960–2000) tijdsreeksen van dagelijkse weersgegevens in de drie weerstations (neerslag en ET₀ op dagbasis) (bron: KMI);
6. de Aardewerk-BIS-tabellen met bodemkenmerken afgeleid van bodemprofiel- en horizontobservaties en –analyses (Van Orshoven *et al.*, 1991);
7. het resultaat van de overlegging van de bodemkaart en de bodemzones, waaraan ook een aantal attributen werden toegevoegd in functie van het verbinden van de bodemkaart met de Aardewerk-BIS-tabellen.

Na afloop van dit project, worden ook de resultaten van de scenarioanalyses in de databank geïntegreerd met het oog op cartografische voorstelling en ruimtelijke analyse van de simulatieresultaten.

Met het N-(eco)²-GIS kunnen:

- » de belangrijkste bodems, gewassen, gewasrotaties en hun combinaties in de verschillende landbouwstreken in Vlaanderen bepaald worden (zie §1.3);
- » gegevens geleverd worden over:
 - profielopbouw, samenstelling en hydraulische functies van de bodem (zie §1.4);
 - tijdsreeksen van klimaatparameters (zie §1.5);
 - tijdsreeksen van grondwaterstandsverloop (zie §1.6).
- » de simulatieresultaten ruimtelijk voorgesteld en geanalyseerd worden (eindrapport 4).

1.3 Afbakening van elementaire simulatieëenheden

De scenarioanalyses met het stikstofbalansmodel zullen uitgevoerd worden voor de voor Vlaanderen meest relevante situaties. Daarom wordt nagegaan welke combinaties van een bepaalde bodem (kernserie (textuur-drainageklasse-profielontwikkelingsklasse)) met een bepaalde teelt het vaakst voorkomen in Vlaanderen.

Deze analyse is ook belangrijk voor de selectie van 20 nieuwe proefvelden die gebruikt werden voor de kalibratie en validatie van het stikstofbalansmodel. De 20 proefvelden moeten immers representatief zijn voor de in Vlaanderen meest voorkomende 'bodem-gewas-hydrologie' combinaties.

1.3.1 Identificatie van de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties

Basisgegevens en werkwijze

De in Vlaanderen meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties werden bepaald voor de verschillende landbouwstreken in Vlaanderen: de Kempen, de Vlaamse Zandstreek, de Polders, de Duinen, de Zandleemstreek, de Leemstreek en de Weidestreek. De afbakening van de verschillende landbouwstreken is aangegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1: Afbakening van de landbouwstreken in het Vlaams Gewest (bron: VLM)

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. De resultaten van de oppervlakteanalyse voor 'bodem-gewas' combinaties worden hierna tabelmatig weergegeven.

Resultaten: Meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties in Vlaanderen

In de onderstaande tabellen (Tabel 1.1 t.e.m. Tabel 1.7) worden per landbouwtreek de 40 meest voorkomende combinaties 'bodem-gewas' aangegeven. De procentuele oppervlakte van elke 'bodem-gewas' combinatie (kolom 'Area (%)') is uitgedrukt ten opzichte van de oppervlakte die volgens de Mestbank in landbouwgebruik was in 1998 (= totale oppervlakte van de aangegeven landbouwgebruikspcelen). Per landbouwtreek is tevens aangegeven hoeveel verschillende combinaties 'bodem-gewas' er voorkomen.

Uit de onderstaande tabellen blijkt dat de 40 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties steeds minstens de helft van de geregistreerde landbouwoppervlakte beschrijven. In de weidestreek wordt maar liefst 95 % van de geregistreerde landbouwoppervlakte beschreven door de 40 meest voorkomende combinaties 'bodem-gewas'. De leemstreek wordt ook gekenmerkt door een redelijk grote homogeniteit; de 40 meest voorkomende combinaties 'bodem-gewas' vertegenwoordigen er 75 % van de geregistreerde landbouwoppervlakte. In de andere landbouwtreken wordt ongeveer de helft tot 65 % van de geregistreerde landbouwoppervlakte beschreven door de 40 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties.

De dominante bodemkernseries en de meest voorkomende teelten liggen in de lijn van de verwachtingen:

- In de Kempen en de Zandstreek komen vooral (lemige) zandbodems voor (texturen Z, S, L en P). Gras en maïs zijn duidelijk de meest voorkomende teelten;
- In de zandleemstreek zijn leem- en zandleembodems dominant (texturen L, A en P). Naast gras en maïs, nemen ook wintertarwe, aardappelen, suikerbieten, wintergerst en fruitbomen een aanzienlijk deel van het landbouwareaal in;
- De leemstreek wordt vooral gekenmerkt door leembodems (textuur A). De meest voorkomende teelten zijn wintertarwe, suikerbieten, fruitbomen, wintergerst, aardappelen, vlas, cichorei, gras en maïs;
- In de weidestreek komen naast leembodems ook veel stenige bodems voor (textuur G). Gras is hier duidelijk de meest frequente teelt; verder komen ook maïs, fruitbomen, aardappelen, suikerbieten en wintertarwe voor;
- De Polders en de duinen worden gekenmerkt door zwaardere texturen dan de rest van Vlaanderen. De meeste bodems zijn klei- tot zware-klei-bodems. De belangrijkste teelten zijn gras en wintertarwe. Ook maïs, wintertarwe en aardappelen komen vrij frequent voor.

Op basis van de tabellen met de 40 meest voorkomende combinaties 'bodem-gewas' per landbouwtreek, worden in Tabel 1.8 de meest relevante 'bodem-gewas' combinaties voor Vlaanderen nog eens samengevat. Weidestreek en Duinen zijn uit dit overzicht weggelaten, omdat het oppervlakteaandeel van deze landbouwtreken in Vlaanderen, zeer klein is. Op basis van deze samenvattende tabel werden 20 nieuwe proefvelden geselecteerd die gebruikt werden voor de kalibratie en validatie van het stikstofbalansmodel.

Tabel 1.1: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Kempen (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. Area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Zdg	gras	11.738	8.226	8.226	6,4	6,4
2	Zdg	maïs	8.353	6.121	14.347	4,7	11,1
3	Zeg	gras	7.718	5.828	20.175	4,5	15,7
4	Sdg	gras	4.895	3.519	23.695	2,7	18,4
5	Zeg	maïs	5.267	3.445	27.140	2,6	21,1
6	Seg	gras	4.591	3.279	30.419	2,5	23,6
7	Sep	gras	5.300	2.908	33.328	2,2	25,9
8	Sdg	maïs	3.549	2.588	35.917	2,0	27,9
9	Sdm	gras	4.732	2.584	38.502	2,0	29,9
10	Sdc	gras	3.346	2.275	40.778	1,7	31,7
11	Zcm	gras	4.375	2.238	43.016	1,7	33,4
12	Scm	gras	3.863	2.227	45.244	1,7	35,2
13	Zcg	gras	3.680	2.189	47.433	1,7	36,9
14	Scm	maïs	3.723	2.160	49.594	1,6	38,5
15	Zcm	maïs	3.970	2.104	51.698	1,6	40,2
16	Sfp	gras	3.702	2.026	53.725	1,5	41,8
17	Zdm	gras	3.996	1.995	55.720	1,5	43,3
18	Scf	maïs	2.837	1.993	57.714	1,5	44,9
19	Pfp	gras	3.510	1.960	59.674	1,5	46,4
20	Sdm	maïs	3.800	1.928	61.603	1,5	47,9
21	Zcg	maïs	3.009	1.911	63.514	1,4	49,4
22	Sdc	maïs	2.672	1.647	65.161	1,2	50,7
23	Scf	gras	2.363	1.611	66.773	1,2	51,9
24	Seg	maïs	2.800	1.564	68.337	1,2	53,1
25	Sec	gras	2.375	1.361	69.698	1,0	54,2
26	Zep	gras	2.045	1.313	71.012	1,0	55,2
27	Zdm	maïs	2.853	1.312	72.324	1,0	56,2
28	Pep	gras	2.121	1.293	73.618	1,0	57,2
29	Sep	maïs	2.672	1.273	74.891	0,9	58,2
30	Sbm	maïs	1.821	1.126	76.017	0,8	59,1
31	Zbm	maïs	2.123	1.105	77.122	0,8	60,0
32	Sem	gras	2.128	986	78.109	0,7	60,7
33	Zbm	gras	1.870	976	79.086	0,7	61,5
34	Pdc	gras	1.257	975	80.062	0,7	62,2
35	Sbf	maïs	1.350	907	80.969	0,7	63,0
36	Sec	maïs	1.595	810	81.779	0,6	63,6
37	Zbf	maïs	1.141	797	82.577	0,6	64,2
38	Peg	gras	820	788	83.365	0,6	64,8
39	Sbm	gras	1.232	781	84.147	0,6	65,4
40	OB	gras	7.020	777	84.924	0,6	66,0
Totaal: 2.419 combinaties					128.529		

Tabel 1.2: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Vlaamse Zandstreek (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Zch	gras	9.477	4.380	4.380	2,4	2,4
2	Ldc	gras	6.221	3.733	8.114	2,0	4,4
3	Zch	maïs	7.465	3.644	11.758	2,0	6,4
4	Zdh	gras	7.525	3.562	15.321	1,9	8,4
5	Pdc	gras	6.421	3.442	18.762	1,9	10,3
6	Sdh	gras	6.726	3.200	21.962	1,7	12,1
7	SdP	gras	5.849	2.822	24.784	1,5	13,6
8	Sep	gras	6.354	2.762	27.546	1,5	15,1
9	Zdh	maïs	5.889	2.649	30.195	1,4	16,6
10	Lep	gras	5.785	2.602	32.797	1,4	18,0
11	ZdP	gras	4.834	2.552	35.349	1,4	19,4
12	Zcg	maïs	4.445	2.416	37.765	1,3	20,8
13	Pep	gras	5.591	2.311	40.076	1,2	22,0
14	Zcg	gras	4.959	2.298	42.374	1,2	23,3
15	Ldc	maïs	4.008	2.256	44.630	1,2	24,5
16	ZdP	maïs	4.308	2.216	46.846	1,2	25,8
17	Sdb	gras	4.422	2.158	49.004	1,1	27,0
18	Pdc	maïs	4.054	2.086	51.091	1,1	28,1
19	Sdp	gras	4.710	2.085	53.175	1,1	29,3
20	Sdh	maïs	4.187	2.067	55.242	1,1	30,4
21	Pcc	gras	4.577	2.039	57.281	1,1	31,5
22	SdP	maïs	3.667	1.751	59.032	0,9	32,5
23	Sch	gras	4.312	1.734	60.766	0,9	33,4
24	Sdc	gras	3.563	1.732	62.498	0,9	34,4
25	Eep	gras	3.599	1.717	64.214	0,9	35,3
26	Sdb	maïs	3.865	1.609	65.823	0,8	36,2
27	Pcc	maïs	3.093	1.536	67.359	0,8	37,1
28	Efp	gras	3.208	1.522	68.881	0,8	37,9
29	Scs	gras	3.808	1.500	70.380	0,8	38,7
30	Scm	gras	2.963	1.465	71.845	0,8	39,5
31	OB	gras	11.431	1.462	73.307	0,8	40,3
32	Zdb	gras	2.866	1.453	74.761	0,8	41,1
33	Sch	maïs	2.847	1.376	76.136	0,7	41,9
34	Scs	maïs	2.733	1.315	77.451	0,7	42,6
35	Sdp	maïs	3.321	1.272	78.723	0,7	43,3
36	Sep	maïs	3.510	1.253	79.976	0,6	44,0
37	Ldp	gras	3.044	1.203	81.179	0,6	44,7
38	Zdb	maïs	2.725	1.193	82.372	0,6	45,3
39	Zcm	gras	2.695	1.124	83.495	0,6	46,0
40	Pdp	gras	2.904	1.073	84.569	0,5	46,5
Totaal: 4.388 combinaties					181.506		

Tabel 1.3: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Zandleemstreek (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul.area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Ldc	gras	18.089	8.419	8.419	3,7	3,7
2	Aba	wintertarwe	9.466	5.756	14.175	2,5	6,3
3	Ldc	maïs	10.377	5.170	19.346	2,3	8,6
4	Lhc	gras	8.776	5.138	24.484	2,2	10,8
5	Aba	gras	11.099	5.125	29.609	2,2	13,1
6	Aba	maïs	9.230	4.612	34.221	2,0	15,2
7	Ldc	wintertarwe	6.700	4.175	38.396	1,8	17,0
8	Ldc	aardappelen	5.586	3.475	41.871	1,5	18,6
9	Lca	gras	7.591	3.352	45.223	1,4	20,1
10	Lca	wintertarwe	5.587	3.247	48.470	1,4	21,5
11	Ldp	gras	10.006	3.161	51.631	1,4	22,9
12	Lhc	maïs	5.170	2.697	54.328	1,2	24,1
13	Lep	gras	7.891	2.677	57.005	1,1	25,3
14	Eep	gras	5.517	2.602	59.607	1,1	26,5
15	Lca	maïs	5.718	2.588	62.195	1,1	27,6
16	Acp	gras	10.149	2.503	64.697	1,1	28,7
17	Pdc	gras	7.129	2.494	67.192	1,1	29,8
18	Aca	gras	6.287	2.439	69.631	1,0	30,9
19	Ldc	suikerbieten	3.717	2.373	72.004	1,0	32,0
20	Pcc	gras	6.352	2.225	74.229	0,9	33,0
21	Adp	gras	7.900	2.163	76.392	0,9	33,9
22	Aba	suikerbieten	2.746	2.155	78.547	0,9	34,9
23	Lca	aardappelen	3.292	2.057	80.605	0,9	35,8
24	Lhc	wintertarwe	3.594	2.048	82.652	0,9	36,7
25	Aba	aardappelen	3.053	2.001	84.653	0,8	37,6
26	Lca	suikerbieten	2.994	1.980	86.633	0,8	38,5
27	Abp	gras	7.659	1.977	88.611	0,8	39,4
28	Aep	gras	5.244	1.914	90.525	0,8	40,2
29	Pcc	maïs	4.061	1.905	92.430	0,8	41,1
30	Pdc	maïs	4.228	1.804	94.234	0,8	41,9
31	Lba	wintertarwe	3.318	1.773	96.008	0,7	42,6
32	Aba	wintergerst	3.095	1.566	97.573	0,7	43,3
33	Ada	gras	3.582	1.513	99.086	0,6	44,0
34	Lhc	fruit (bomen)	2.097	1.474	100.560	0,6	44,7
35	Aca	maïs	3.800	1.415	101.975	0,6	45,3
36	Abp	wintertarwe	4.928	1.363	103.338	0,6	45,9
37	OB	gras	13.367	1.353	104.691	0,6	46,5
38	Aca	wintertarwe	2.834	1.340	106.031	0,6	47,1
39	Ldp	wintertarwe	3.713	1.332	107.363	0,5	47,7
40	Lbp	gras	2.530	1.311	108.674	0,5	48,3
Totaal: 4.217 combinaties					228.964		

Tabel 1.4: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Leemstreek (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. Area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Aba	wintertarwe	9.492	7.013	7.013	11,9	11,9
2	Aba	suikerbieten	5.660	4.430	11.443	7,5	19,4
3	Abp	wintertarwe	6.559	3.024	14.468	5,1	24,5
4	Aba	fruit (bomen)	3.898	2.527	16.994	4,3	28,8
5	Aba	gras	4.822	2.328	19.322	3,9	32,7
6	Abp	suikerbieten	3.922	2.021	21.344	3,4	36,2
7	Aba	wintergerst	2.804	1.860	23.204	3,2	39,3
8	Aba	maïs	3.655	1.768	24.972	3,0	42,3
9	Abp	gras	4.137	1.403	26.375	2,4	44,7
10	Ada	wintertarwe	1.419	1.120	27.495	1,9	46,6
11	Ada	gras	1.861	1.040	28.536	1,8	48,3
12	Aca	gras	1.897	968	29.503	1,6	50,0
13	Abp	fruit (bomen)	2.289	893	30.396	1,5	51,5
14	Aba	aardappelen	935	826	31.222	1,4	52,9
15	Abp	wintergerst	1.903	784	32.006	1,3	54,2
16	Acp	gras	2.611	780	32.786	1,3	55,5
17	Aca	wintertarwe	1.231	769	33.555	1,3	56,8
18	Adp	gras	2.229	744	34.299	1,3	58,1
19	Abp	maïs	2.283	708	35.006	1,2	59,3
20	Ada	maïs	1.096	670	35.677	1,1	60,4
21	Aca	maïs	1.225	619	36.296	1,0	61,5
22	Ada	aardappelen	603	594	36.889	1,0	62,5
23	Aba	vlas	372	578	37.467	1,0	63,5
24	Ada	suikerbieten	674	573	38.041	1,0	64,4
25	Aba	chicorei	671	510	38.550	0,9	65,3
26	AbB	wintertarwe	1.723	488	39.038	0,8	66,1
27	Acp	gras	1.144	462	39.500	0,8	66,9
28	Adp	wintertarwe	1.059	453	39.953	0,8	67,7
29	Afp	gras	932	430	40.383	0,7	68,4
30	Aba	Erwten/bonen voor industrie	349	428	40.811	0,7	69,1
31	Aca	suikerbieten	519	366	41.177	0,6	69,8
32	ADp	gras	786	353	41.530	0,6	70,4
33	OB	gras	2.334	344	41.874	0,6	70,9
34	Abp	aardappelen	666	332	42.206	0,6	71,5
35	AbB	suikerbieten	969	327	42.534	0,6	72,1
36	Ahp	gras	785	327	42.861	0,6	72,6
37	Acp	wintertarwe	1.051	310	43.170	0,5	73,1
38	OT	gras	783	306	43.477	0,5	73,6
39	Aba	fruit(struiken + aardbeien)	568	279	43.755	0,5	74,1
40	Abp	vlas	333	261	44.016	0,4	74,6
	Totaal: 1.472 combinaties				59.032		

Tabel 1.5: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Weidestreek (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. Area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Gbb	gras	873	460	460	17,1	17,1
2	Aba	gras	494	409	869	15,2	32,3
3	Gba	gras	396	219	1.088	8,1	40,5
4	Ebb	gras	377	180	1.268	6,2	47,2
5	Abp	gras	390	154	1.422	5,7	53,0
6	Aba	maïs	182	141	1.564	5,2	58,2
7	Gbp	gras	322	105	1.668	3,9	62,1
8	Gbb	maïs	187	91	1.759	3,3	65,5
9	AbB	gras	235	89	1.848	3,3	68,8
10	ADa	gras	148	78	1.926	2,9	71,7
11	Aba	fruit(bomen)	83	66	1.992	2,4	74,2
12	Aba	wintertarwe	95	61	2.053	2,2	76,4
13	Gba	maïs	94	58	2.111	2,1	78,6
14	Abp	maïs	139	41	2.152	1,5	80,1
15	Aba	aardappelen	44	37	2.189	1,3	81,5
16	AbB	maïs	83	36	2.225	1,3	82,9
17	Gbp	maïs	80	30	2.255	1,1	84,0
18	ADp	gras	62	30	2.285	1,1	85,1
19	AFp	gras	96	27	2.312	1,0	86,1
20	Aba	suikerbieten	24	23	2.335	0,8	87,0
21	Abp	wintertarwe	61	17	2.352	0,6	87,6
22	Ebb	maïs	38	15	2.367	0,5	88,2
23	Gbb	wintertarwe	23	15	2.382	0,5	88,7
24	AbB	wintertarwe	39	15	2.396	0,5	89,2
25	OB	gras	302	14	2.411	0,5	89,8
26	OT	gras	53	14	2.425	0,5	90,3
27	Agp	gras	58	14	2.439	0,5	90,8
28	ADa	maïs	34	14	2.453	0,5	91,4
29	GDa	gras	25	12	2.465	0,4	91,8
30	Abp	fruit(bomen)	41	12	2.476	0,4	92,2
31	OB	Stal-gebouwen	82	11	2.487	0,4	92,6
32	GFp	gras	32	10	2.498	0,3	93,0
33	Gbb	fruit(bomen)	16	10	2.508	0,3	93,4
34	Gba	fruit(bomen)	11	10	2.518	0,3	93,8
35	Aba	braak	14	8	2.526	0,3	94,1
36	AbB	suikerbieten	16	8	2.534	0,3	94,4
37	Abp	suikerbieten	21	7	2.541	0,2	94,6
38	Abp	aardappelen	23	7	2.548	0,2	94,9
39	Aba	Stal-gebouwen	44	6	2.554	0,2	95,1
40	Ebb	wintertarwe	11	6	2.560	0,2	95,3
Totaal: 165 combinaties					2.683		

Tabel 1.6: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Polders (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. Area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	OU2	gras	3.563	3.236	3.236	4,9	4,9
2	E1	wintertarwe	1.810	2.062	5.298	3,1	8,0
3	A5	wintertarwe	1.570	2.011	7.309	3,0	11,1
4	A5	gras	2.429	1.835	9.144	2,7	13,9
5	E1	gras	2.305	1.716	10.860	2,6	16,5
6	D5	wintertarwe	1.369	1.399	12.260	2,1	18,6
7	C2	gras	1.052	1.147	13.406	1,7	20,4
8	D5	gras	1.538	995	14.401	1,5	21,9
9	F1	gras	1.298	961	15.362	1,4	23,3
10	B1	gras	1.394	925	16.287	1,4	24,8
11	OU2	wintertarwe	1.529	913	17.200	1,3	26,1
12	Edp	wintertarwe	849	897	18.096	1,3	27,5
13	C1	gras	711	859	18.956	1,3	28,8
14	OB	gras	3.683	718	19.674	1,0	29,9
15	C1	wintertarwe	440	683	20.357	1,0	31,0
16	A4	wintertarwe	651	669	21.025	1,0	32,0
17	E1	maïs	720	662	21.687	1,0	33,0
18	F1	wintertarwe	811	656	22.343	1,0	34,0
19	B2	gras	820	640	22.983	0,9	35,0
20	OU1	gras	856	615	23.598	0,9	35,9
21	Bb2	wintertarwe	420	584	24.182	0,8	36,8
22	P6	gras	670	575	24.757	0,8	37,7
23	A5	maïs	707	572	25.329	0,8	38,5
24	Bb2	gras	591	564	25.893	0,8	39,4
25	Edp	suikerbieten	468	543	26.436	0,8	40,2
26	E1	suikerbieten	555	529	26.965	0,8	41,0
27	Edp	aardappelen	509	492	27.458	0,7	41,8
28	Uep	wintertarwe	613	479	27.936	0,7	42,5
29	OG1	gras	531	471	28.407	0,7	43,2
30	Ldp	wintertarwe	653	457	28.865	0,7	43,9
31	Udp	wintertarwe	304	422	29.287	0,6	44,5
32	A5	suikerbieten	395	405	29.692	0,6	45,2
33	Edp	gras	679	392	30.084	0,6	45,8
34	D5	maïs	506	389	30.473	0,5	46,4
35	D5	suikerbieten	399	387	30.861	0,5	46,9
36	Dk5	gras	453	387	31.248	0,5	47,5
37	A4	gras	811	383	31.631	0,5	48,1
38	Ldp	gras	751	378	32.009	0,5	48,7
39	Eep	wintertarwe	644	373	32.381	0,5	49,3
40	D15	gras	414	372	32.754	0,5	49,8
Totaal: 2.411 combinaties					65.676		

Tabel 1.7: Meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in de Duinen (1998)

	Bodemserie	Teelt	Aantal percelen	Area (ha)	Cumul. Area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	C2	gras	129	131	131	5,7	5,7
2	Bc2	wintertarwe	35	80	211	3,5	9,2
3	W1	wintertarwe	99	70	281	3,0	12,3
4	E1	wintertarwe	48	64	345	2,8	15,1
5	W1	gras	71	61	407	2,6	17,8
6	A5	wintertarwe	67	60	466	2,6	20,4
7	A4	wintertarwe	91	57	523	2,5	22,9
8	Db	gras	61	44	567	1,9	24,9
9	Da	gras	67	42	609	1,8	26,7
10	B1	gras	61	40	650	1,7	28,5
11	OB	gras	90	40	690	1,7	30,2
12	Bco	aardappelen	12	33	723	1,4	31,7
13	G2	gras	21	31	754	1,3	33,0
14	Em	wintertarwe	43	30	784	1,3	34,3
15	Bc3	wintertarwe	23	29	813	1,2	35,6
16	E1	gras	35	29	842	1,2	36,9
17	B2	gras	40	28	870	1,2	38,1
18	A5	suikerbieten	33	27	897	1,1	39,3
19	E1	suikerbieten	12	27	924	1,1	40,5
20	B1	wintertarwe	47	27	951	1,1	41,7
21	A5	gras	40	27	977	1,1	42,8
22	C1	gras	24	25	1.003	1,1	44,0
23	W1	suikerbieten	38	25	1.028	1,1	45,1
24	A4	gras	45	25	1.053	1,0	46,2
25	G2	wintertarwe	39	25	1.077	1,0	47,2
26	Bco	gras	23	24	1.101	1,0	48,3
27	Bco	wintertarwe	19	23	1.125	1,0	49,3
28	Pm	wintertarwe	45	22	1.147	0,9	50,3
29	E1	wintertarwe	6	21	1.168	0,9	51,2
30	A2	wintertarwe	47	21	1.189	0,9	52,1
31	Bco	suikerbieten	11	19	1.208	0,8	53,0
32	Bco	maïs	16	19	1.227	0,8	53,8
33	B2	wintertarwe	31	19	1.246	0,8	54,6
34	B3	wintertarwe	18	18	1.264	0,8	55,4
35	Db	maïs	29	18	1.282	0,8	56,2
36	D5	wintertarwe	26	18	1.300	0,7	57,0
37	Bc2	suikerbieten	13	17	1.317	0,7	57,8
38	A4	suikerbieten	39	17	1.334	0,7	58,5
39	B3	gras	15	16	1.350	0,7	59,2
40	Bc2	aardappelen	8	16	1.366	0,6	59,9
Totaal: 398 combinaties					2.279		

Tabel 1.8: Overzicht van de meest voorkomende combinaties 'bodem – gewas' in Vlaanderen

Landbouwtreek	bodemkernserie	textuur	drainageklasse	teelt (1998)	area (ha)	area (%)
Kempen	Zdg	zand	d	gras	8.226	6,4
	Zdg	zand	d	maïs	6.121	4,7
	Zeg	zand	e	gras	5.828	4,5
	Sdg	zand	d	gras	3.519	2,7
	Zeg	zand	e	maïs	3.445	2,6
Vlaamse Zandstreek	Zch	zand	c	gras	4.380	2,4
	Ldc	zandleem	d	gras	3.733	2,0
	Zch	zand	c	maïs	3.644	2,0
	Zdh	zand	d	gras	3.562	1,9
	Pdc	zandleem	d	gras	3.442	1,9
Zandleemstreek	Ldc	zandleem	d	gras	8.419	3,7
	Aba	leem	b	wintertarwe	5.756	2,5
	Ldc	zandleem	d	maïs	5.170	2,3
	Lhc	zandleem	h	gras	5.138	2,2
	Aba	leem	b	gras	5.125	2,2
Leemstreek	Aba	leem	b	wintertarwe	7.013	11,9
	Aba	leem	b	suikerbieten	4.430	7,5
	Abp	leem	b	wintertarwe	3.024	5,1
	Aba	leem	b	fruit (bomen)	2.527	4,3
	Aba	leem	b	gras	2.328	3,9
Polders	OU2	klei	d	gras	3.236	4,9
	E1	klei	d	wintertarwe	2.062	3,1
	A5	klei	d	wintertarwe	2.011	3,0
	A5	klei	d	gras	1.835	2,7
	E1	klei	d	gras	1.716	2,6

Op basis van deze veel voorkomende 'bodem-gewas' combinaties in Vlaanderen, werden volgende proefvelden geselecteerd (Tabel 1.9):

Tabel 1.9: Overzicht van de 20 geselecteerde proefvelden

Proefveldnr.	Textuur	Teelt 2000	Situering proefveld
1	klei	gras	Oostende
2	klei	wintertarwe	assende
3	klei	suikerbiet	Sint-Laureins
4	klei	aardappelen	Knokke-Heist
258	leem	aardappelen	Kumtich
259	leem	wintertarwe	Tongeren
260	leem	erwt+groenbemester	Tongeren
266	leem	wintertarwe + groenbemester	Leefdaal
262	zandleem	maïs	Ottenburg
263	zandleem	wintertarwe	Geetbets
264	zandleem	wintertarwe	Bekkevoort
265	zandleem	gras	Tielt-Winge
7	zandleem	prei	Elverdinge
8	zandleem	bloemkool	Elverdinge
5	zand	maïs	Assenede
6	zand	gras	Sint-Laureins
255	zand	maïs	Kasterlee
256	zand	aardappelen	Kasterlee
257	zand	gras	Oostmalle
261	zand	gras	Lichtaart

1.3.2 Identificatie van de meest voorkomende 'bodem-gewasrotatie' combinaties

Basisgegevens en werkwijze

Voor simulatie over opeenvolgende groeiseizoenen is het in beschouwing nemen van teeltopeenvolgingen relevanter dan de combinatie 'bodem-gewas' in 1 bepaald jaar. De opeenvolging van gewassen heeft immers een invloed op de stikstofdynamiek in de bodem en op het nitraatstikstofresidu. Bovendien kunnen bepaalde gewassen in een bepaald jaar slechts beperkt worden geteeld, terwijl ze in rotatiecycli toch een belangrijke plaats kunnen innemen. Specifiek wordt hierbij gedacht aan de groententeelt (prei, bloemkool, spruiten, bonen, ...), die geacht wordt niet onbelangrijk te zijn, en die enkel in de Leemstreek (erwten/bonen op Aba-bodem (30ste plaats met 0.7 % van de landbouwoppervlakte)) in de 40 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties voorkomt.

Voor de rotatieanalyse werd gebruik gemaakt van de geregistreerde landbouwgebruikspcelen van de jaren 1997, 1998, 1999 en 2000. Hiermee kan een vrij groot aandeel van de landbouwoppervlakte gekarakteriseerd worden met een teeltopeenvolging van (minstens) 3 jaren. Per landbouwstreek werden uit de N-(eco)²-databank de nodige datalagen geëxtraheerd:

- coverage met de bodemgegevens (versie 1999);
- coverage met de aangegeven landbouwgebruikspcelen (teeltgegevens) van 1997;
- coverage met de aangegeven landbouwgebruikspcelen (teeltgegevens) van 1998;
- coverage met de aangegeven landbouwgebruikspcelen (teeltgegevens) van 1999;
- coverage met de aangegeven landbouwgebruikspcelen (teeltgegevens) van 2000.

Omdat het maken van een overlay tussen de polygonencoverages met de percelen van de verschillende jaren leidt tot het ontstaan van veel kleine ‘nonsense polygonen’ op de perceelsgrenzen, werden de perceelsdatasets (polygonen) van 1997, 1998 en 1999 omgezet naar puntenbestanden. Elk perceel wordt daarin weergegeven door zijn labelpoint (centraal punt). Bij zeer onregelmatige percelen kan het voorkomen dat het labelpoint van een perceel buiten het perceel valt, maar dit komt zeer weinig voor. Er is dan ook verder geen rekening mee gehouden. Een overlay tussen de puntenlagen enerzijds en de perceelslaag van 2000 (commando INTERSECT in Arc-Info) laat toe te bepalen welke labelpoints van de percelen van 1997, 1998 en 1999 in welke percelen van 2000 liggen. Dit laat toe de opeenvolging van teelten te bepalen voor de percelen die in 2000 werden aangegeven (we gaan ervan uit dat deze aangifte het meest volledig is).

De overlay tussen de bodemgegevens en de landbouwgebruikspcelen van 2000 (waarvoor de gewasopeenvolging voor minstens 3 opeenvolgende jaren gekend is), resulteert in een coverage waarop een oppervlakteanalyse kan gebeuren voor elke combinatie ‘bodemserie – gewasopeenvolging’.

Om de gewasopeenvolging te uniformiseren (bv. wintertarwe-suikerbieten-wintertarwe-cichorei = suikerbieten-wintertarwe-cichorei-wintertarwe) werd een procedure ontwikkeld in ArcMacroLanguage (AML, de programmeertaal van ArcInfo). De resultaten van de geuniformiseerde rotatieanalyse per landbouwstreek zijn weergegeven in onderstaande tabellen. Bij de analyse werden alle percelen betrokken waarvoor teeltgegevens van minstens 3 jaar beschikbaar zijn.

Resultaten

Tabel 1.10 geeft de landbouwoppervlakte in de verschillende landbouwstreken zoals aangegeven bij de Mestbank in 1997, 1998, 1999 en 2000 (referentiejaar) en de oppervlakte van de aangegeven percelen waarvoor een teeltgegevensreeks van minstens 3 opeenvolgende jaren beschikbaar is. De registratie van 1997 is de minst volledige, zodat de 3-jarige rotatie in de meeste gevallen de jaren '98-'99-'00 betreft. Wanneer de teeltregistratie voor het jaar 2000 als teelt “permanent grasland” vermeldt, dan wordt dit als een driejarige rotatie beschouwd, ook al werd het perceel niet geregistreerd in '97 of '98.

Tabel 1.10: Totale oppervlakte van de geregistreerde landbouwgebruikspcelen in 1997, 1998, 1999 en 2000, evenals de totale oppervlakte van de percelen waarvoor teeltgegevens over een periode van minstens 3 opeenvolgende jaren beschikbaar zijn

Landbouwstreek	Landbouw -opp. (ha) in 2000	Oppervlakte van de aangegeven landbouwgebruikspcelen (in ha en % t.o.v. de totale landbouwoppervlakte in de landbouwstreek in 2000)									
		1997 (ha)	1997 (%)	1998 (ha)	1998 (%)	1999 (ha)	1999 (%)	2000 (ha)	2000 (%)	3-jarige teeltopeen volging (ha)	3-jarige teeltopeen volging (%)
Kempen	134.284	84.743	63	128.529	96	130.790	97	134.284	100	123.205	92
VI. Zandstreek	188.283	122.544	65	181.506	96	183.322	97	188.283	100	165.944	88
Zandleemstreek	232.141	160.371	69	228.964	98	229.676	99	232.141	100	200.704	86
Leemstreek	61.446	35.096	57	59.032	96	59.487	97	61.446	100	48.830	87
Weidestreek	2.947	934	32	2.683	91	2.850	96	2.947	100	2199	74
Duinen	2.374	1.296	55	2.279	97	2.251	96	2.140	100	1890	88
Polders	66.437	36.947	56	66.420	99	65.570	99	66.437	100	58.980	89

In Tabellen 1.11 t.e.m. 1.17 zijn per landbouwstreek de meest voorkomende combinaties 'bodem - gewasrotatie' weergegeven. Area (%) is uitgedrukt ten opzichte van de oppervlakte die volgens de Mestbank in landbouwgebruik was in 2000 en waarvoor teeltgegevens beschikbaar zijn voor minstens 3 jaren. Voor elke landbouwstreek is ook het totaal aantal verschillende combinaties 'bodem - gewasrotatie' aangegeven. Omdat permanent grasland ook als 3-jarige teeltrotatie werd meegerekend (ook al was het perceel niet geregistreerd in '97 en/of '98 en/of '99), is het mogelijk dat een combinatie 'bodemsérie / gras (permanent)' over een grotere oppervlakte voorkomt dan diezelfde bodem met grasland in 1998 (§1.3.1).

Tabel 1.11: Meest voorkomende combinaties ‘bodem-gewasrotatie’ in de Kempen

	Bodemserie	Rotatie (≥ 3 jaar)	Area (ha)	Cumul.area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Zdg	gras (permanent)	6772,4	6772,4	5,50	5,50
2	Zeg	gras (permanent)	4904,2	11676,5	3,98	9,48
3	Zdg	monocultuur maïs	3727,8	15404,4	3,03	12,50
4	Seg	gras (permanent)	2664,8	18069,2	2,16	14,67
5	Sdg	gras (permanent)	2517,7	20586,8	2,04	16,71
6	Sep	gras (permanent)	2414,6	23001,4	1,96	18,67
7	Sdm	gras (permanent)	2194,4	25195,8	1,78	20,45
8	Zeg	maïs (permanent)	2100,3	27296,1	1,70	22,15
9	Zcm	gras (permanent)	1871,8	29167,9	1,52	23,67
10	Sfp	gras (permanent)	1847,7	31015,6	1,50	25,17
11	Sdc	gras (permanent)	1798,0	32813,6	1,46	26,63
12	Scm	gras (permanent)	1771,8	34585,3	1,44	28,07
13	Zcg	gras (permanent)	1762,7	36348,0	1,43	29,50
14	Zdm	gras (permanent)	1694,6	38042,6	1,38	30,88
15	Pfp	gras (permanent)	1637,5	39680,1	1,33	32,21
16	Sdg	monocultuur maïs	1555,8	41235,9	1,26	33,47
17	Scm	monocultuur maïs	1321,3	42557,2	1,07	34,54
18	Zcm	monocultuur maïs	1312,1	43869,4	1,06	35,61
19	Sdm	monocultuur maïs	1177,6	45047,0	0,96	36,56
20	Scf	monocultuur maïs	1171,7	46218,7	0,95	37,51
21	Zep	gras (permanent)	1092,8	47311,6	0,89	38,40
22	Scf	gras (permanent)	1070,2	48381,8	0,87	39,27
23	Sdc	monocultuur maïs	1051,7	49433,5	0,85	40,12
24	Pep	gras (permanent)	1050,5	50484,0	0,85	40,98
25	Zcg	monocultuur maïs	1004,5	51488,4	0,82	41,79
26	Seg	monocultuur maïs	1003,9	52492,3	0,81	42,61
27	Sec	gras (permanent)	969,3	53461,6	0,79	43,39
28	Pdc	gras (permanent)	873,8	54335,4	0,71	44,10
29	Zdm	monocultuur maïs	819,0	55154,4	0,66	44,77
30	Zbm	gras (permanent)	784,4	55938,8	0,64	45,40
31	Sem	gras (permanent)	766,6	56705,4	0,62	46,02
32	OBM	gras (permanent)	697,7	57403,1	0,57	46,59
33	Peg	gras (permanent)	689,7	58092,8	0,56	47,15
34	X	gras (permanent)	650,7	58743,5	0,53	47,68
35	Sbm	gras (permanent)	594,0	59337,6	0,48	48,16
36	V	gras (permanent)	562,3	59899,9	0,46	48,62
37	Sbm	monocultuur maïs	507,7	60407,6	0,41	49,03
38	Sep	monocultuur maïs	498,6	60906,2	0,40	49,43
39	Pec	gras (permanent)	491,1	61397,3	0,40	49,83
40	Sdf	gras (permanent)	473,9	61871,3	0,38	50,22
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging voor ≥ 3 jaarj):</i>			<i>16.860</i>	<i>123.205</i>		

Tabel 1.12: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Vlaamse Zandstreek

	<i>Bodemserie</i>	<i>Rotatie (≥ 3 jaar)</i>	<i>Area (ha)</i>	<i>Cumul. Area (ha)</i>	<i>Area (%)</i>	<i>Cumul. Area (%)</i>
1	Sdp	gras (permanent)	3562,98	3562,98	2,15	2,15
2	Ldc	gras (permanent)	3108,06	6671,04	1,87	4,02
3	Pdc	gras (permanent)	2694,70	9365,74	1,62	5,64
4	Sdh	gras (permanent)	2473,91	11839,65	1,49	7,13
5	Lep	gras (permanent)	2276,29	14115,94	1,37	8,51
6	Sep	gras (permanent)	2220,00	16335,94	1,34	9,84
7	Pep	gras (permanent)	1894,50	18230,44	1,14	10,99
8	Efp	gras (permanent)	1834,92	20065,35	1,11	12,09
9	Eep	gras (permanent)	1559,05	21624,40	0,94	13,03
10	Sdb	gras (permanent)	1549,33	23173,73	0,93	13,96
11	Pcc	gras (permanent)	1532,00	24705,73	0,92	14,89
12	Sdc	gras (permanent)	1330,05	26035,78	0,80	15,69
13	Sch	gras (permanent)	1304,07	27339,85	0,79	16,48
14	Pdp	gras (permanent)	1195,80	28535,65	0,72	17,20
15	Scm	gras (permanent)	1175,42	29711,07	0,71	17,90
16	OB	gras (permanent)	1147,77	30858,83	0,69	18,60
17	Sc	gras (permanent)	1091,07	31949,90	0,66	19,25
18	Ldp	gras (permanent)	1036,61	32986,51	0,62	19,88
19	Lfp	gras (permanent)	994,95	33981,46	0,60	20,48
20	Lhc	gras (permanent)	857,98	34839,44	0,52	20,99
21	OB	stal-gebouwen	699,59	35539,03	0,42	21,42
22	SdG	gras (permanent)	684,83	36223,86	0,41	21,83
23	ZbG	gras (permanent)	582,17	36806,03	0,35	22,18
24	Zcc	gras (permanent)	511,24	37317,27	0,31	22,49
25	Lcc	gras (permanent)	489,22	37806,50	0,29	22,78
26	Pfp	gras (permanent)	487,99	38294,49	0,29	23,08
27	Sdm	gras (permanent)	481,70	38776,19	0,29	23,37
28	Uep	gras (permanent)	477,27	39253,46	0,29	23,65
29	Ufp	gras (permanent)	456,62	39710,09	0,28	23,93
30	Shp	gras (permanent)	412,56	40122,65	0,25	24,18
31	Zbh	gras (permanent)	397,44	40520,09	0,24	24,42
32	Zbm	gras (permanent)	357,77	40877,86	0,22	24,63
33	Pdb	gras (permanent)	356,47	41234,33	0,21	24,85
34	Pcm	gras (permanent)	343,85	41578,18	0,21	25,06
35	Php	gras (permanent)	329,20	41907,37	0,20	25,25
36	Lda	gras (permanent)	322,87	42230,24	0,19	25,45
37	Sbc	gras (permanent)	310,95	42541,20	0,19	25,64
38	Pbc	gras (permanent)	300,66	42841,86	0,18	25,82
39	Scb	gras (permanent)	298,69	43140,55	0,18	26,00
40	Phc	gras (permanent)	294,50	43435,04	0,18	26,17
...						
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging voor ≥ 3 jaarj):</i>			<i>49.743</i>	<i>165.944</i>		

Tabel 1.13: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Zandleemstreek

	Bodemserie	Rotatie	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Ldc	gras (permanent)	3.223,4	3.223,4	3,0	3,0
2	Lhc	gras (permanent)	2.036,3	5.259,7	1,9	4,9
3	Lca	gras (permanent)	1.521,2	6.780,9	1,4	6,3
4	Aba	gras (permanent)	1.473,5	8.254,4	1,4	7,7
5	Ldp	gras (permanent)	1.367,8	9.622,2	1,3	9,0
6	Lep	gras (permanent)	1.074,9	10.697,1	1,0	10,0
7	Eep	gras (permanent)	915,0	11.612,2	0,9	10,8
8	Pdc	gras (permanent)	797,1	12.409,3	0,7	11,5
9	Ldc	monocultuur maïs	787,6	13.196,9	0,7	12,3
10	Pcc	gras (permanent)	768,9	13.965,8	0,7	13,0
11	Aca	gras (permanent)	688,4	14.654,2	0,6	13,6
12	Adp	gras (permanent)	674,0	15.328,2	0,6	14,3
13	Abp	gras (permanent)	663,4	15.991,7	0,6	14,9
14	Acp	gras (permanent)	637,4	16.629,0	0,6	15,5
15	Ada	gras (permanent)	633,8	17.262,9	0,6	16,1
16	OB	gras (permanent)	596,7	17.859,6	0,6	16,6
17	Aep	gras (permanent)	589,7	18.449,2	0,5	17,2
18	OB	stallen	573,5	19.022,8	0,5	17,7
19	Lbp	gras (permanent)	556,6	19.579,4	0,5	18,2
20	Lba	gras (permanent)	496,4	20.075,8	0,5	18,7
21	Ldc	stallen	446,8	20.522,6	0,4	19,1
22	Lhc	monocultuur maïs	442,1	20.964,8	0,4	19,5
23	Aba	monocultuur maïs	441,2	21.406,0	0,4	19,9
24	Lhc	fruit(bomen)	439,2	21.845,3	0,4	20,3
25	Lhp	gras (permanent)	424,7	22.269,9	0,4	20,7
26	Ldc	fruit(bomen)	416,8	22.686,7	0,4	21,1
27	Ldc	aardappelen / wintertarwe / suikerbieten	360,4	23.047,1	0,3	21,4
28	Efp	gras (permanent)	324,6	23.371,7	0,3	21,7
29	Lca	monocultuur maïs	322,4	23.694,0	0,3	22,0
30	LDx	gras (permanent)	318,8	24.012,9	0,3	22,3
31	Pcc	monocultuur maïs	317,0	24.329,9	0,3	22,6
32	Lda	gras (permanent)	314,6	24.644,5	0,3	22,9
33	Afp	gras (permanent)	300,1	24.944,7	0,3	23,2
34	Ldc	suikerbieten / wintertarwe / aardappelen	290,5	25.235,1	0,3	23,5
35	Lcp	gras (permanent)	285,5	25.520,7	0,3	23,7
36	Pdc	monocultuur maïs	282,7	25.803,4	0,3	24,0
37	Ahp	gras (permanent)	271,6	26.075,0	0,3	24,3
38	Lca	aardappelen / wintertarwe / suikerbieten	263,4	26.338,4	0,2	24,5
39	Aba	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	248,8	26.587,3	0,2	24,7
40	Aba	mais / wintertarwe / mais	247,4	26.834,6	0,2	25,0
...				...		
Totaal # combinaties : 36.760				200.704		

Tabel 1.14: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Leemstreek

Bodem-serie	Rotatie (≥ 3 jaar)	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)	
1	Aba	fruit(bomen) (permanent)	2120,05	2120,05	4,34	4,3
2	Aba	gras (permanent)	1836,81	3956,86	3,76	8,1
3	Abp	gras (permanent)	1135,87	5092,73	2,33	10,4
4	Ada	gras (permanent)	942,96	6035,69	1,93	12,4
5	ADp	gras (permanent)	936,19	6971,87	1,92	14,3
6	Aca	gras (permanent)	798,67	7770,54	1,64	15,9
7	Abp	fruit(bomen) (permanent)	758,51	8529,06	1,55	17,5
8	Acp	gras (permanent)	712,60	9241,66	1,46	18,9
9	Aba	? / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	515,93	9757,59	1,06	20,0
10	Afp	gras (permanent)	483,73	10241,32	0,99	21,0
11	Aba	wintergerst / suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe	460,80	10702,13	0,94	21,9
12	Aep	gras (permanent)	423,89	11126,02	0,87	22,8
13	Aba	suikerbieten / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	419,49	11545,51	0,86	23,6
14	Aba	suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe / wintertarwe	334,70	11880,21	0,69	24,3
15	Ahp	gras (permanent)	306,02	12186,22	0,63	25,0
16	Aba	? / wintergerst / suikerbieten / wintertarwe	304,94	12491,16	0,62	25,6
17	OB	gras (permanent)	302,65	12793,81	0,62	26,2
18	Aba	? / suikerbieten / wintertarwe / wintergerst	295,90	13089,71	0,61	26,8
19	Aba	wintertarwe / wintergerst / suikerbieten / suikerbieten	291,12	13380,83	0,60	27,4
20	Aba	suikerbieten / wintertarwe / wintergerst / wintergerst	288,07	13668,90	0,59	28,0
21	Aba	? / wintertarwe / wintergerst / suikerbieten	283,67	13952,57	0,58	28,6
22	OT	gras (permanent)	269,80	14222,37	0,55	29,1
23	Aba	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / aardappelen	245,84	14468,21	0,50	29,6
24	Abp	? / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	227,71	14695,92	0,47	30,1
25	Aba	wintertarwe / wintertarwe / suikerbieten / suikerbieten	227,49	14923,41	0,47	30,6
26	Aba	? / suikerbieten / wintertarwe / suikerbieten	205,38	15128,80	0,42	31,0
27	Abp	suikerbieten / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	195,26	15324,06	0,40	31,4
28	Aba	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / cichorei	194,06	15518,12	0,40	31,8
29	Aba	wintertarwe / vlas / wintertarwe / suikerbieten	174,08	15692,20	0,36	32,1
30	Abp	wintergerst / suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe	174,05	15866,25	0,36	32,5
31	Ada	fruit(bomen) (permanent)	160,85	16027,10	0,33	32,8
32	Aba	? / wintertarwe / wintertarwe / suikerbieten	158,21	16185,32	0,32	33,1
33	Abp	? / wintergerst / suikerbieten / wintertarwe	146,85	16332,17	0,30	33,4
34	AbB	gras (permanent)	146,24	16478,41	0,30	33,7
35	Ldc	gras (permanent)	137,91	16616,32	0,28	34,0
36	Abp	suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe / wintertarwe	135,33	16751,64	0,28	34,3
37	Abp	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / aardappelen	131,34	16882,98	0,27	34,6
38	Abp	? / wintertarwe / wintergerst / suikerbieten	128,23	17011,22	0,26	34,8
39	Abp	? / suikerbieten / wintertarwe / wintergerst	126,60	17137,82	0,26	35,1
40	ADp	fruit(bomen) (permanent)	124,16	17261,98	0,25	35,4
...				...		
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging voor ≥ 3 jaar):</i>				<i>48.830</i>		
					<i>13.368</i>	

Tabel 1.15: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Weidestreek

Bodemserie		Rotatie (≥ 3 jaar)	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	Gbb	gras (permanent)	362,92	362,92	16,5	16,5
2	Aba	gras (permanent)	265,25	628,17	12,1	28,6
3	Gba	gras (permanent)	142,72	770,89	6,5	35,1
4	Ebb	gras (permanent)	131,12	902,00	6,0	41,0
5	Abp	gras (permanent)	115,46	1017,47	5,3	46,3
6	Gbp	gras (permanent)	81,83	1099,30	3,7	50,0
7	Aba	mais / mais / mais / mais	74,26	1173,56	3,4	53,4
8	AbB	gras (permanent)	61,99	1235,55	2,8	56,2
9	Aba	fruit(bomen) (permanent)	52,18	1287,73	2,4	58,6
10	ADa	gras (permanent)	45,48	1333,21	2,1	60,6
11	Aba	? / gras / gras / gras (tijdelijk)	35,72	1368,93	1,6	62,2
12	Gbb	mais / mais / mais / mais	33,99	1402,92	1,5	63,8
13	Gbb	? / gras / gras / gras (tijdelijk)	30,26	1433,18	1,4	65,2
14	Gba	mais / mais / mais / mais	27,78	1460,97	1,3	66,4
15	ADp	gras (permanent)	21,77	1482,74	1,0	67,4
16	AbB	mais / mais / mais / mais	20,72	1503,46	0,9	68,4
17	Abp	mais / mais / mais / mais	19,20	1522,66	0,9	69,2
18	AFp	gras (permanent)	17,99	1540,65	0,8	70,1
19	Gbp	mais / mais / mais / mais	14,53	1555,17	0,7	70,7
20	Gba	gras / gras / gras / gras (tijdelijk)	12,65	1567,82	0,6	71,3
21	Aba	gras / gras / gras / gras (tijdelijk)	12,57	1580,39	0,6	71,9
22	OB	gras (permanent)	12,07	1592,46	0,5	72,4
23	GDa	gras (permanent)	11,30	1603,76	0,5	72,9
24	Gbb	? / mais / gras / gras (tijdelijk)	11,12	1614,88	0,5	73,4
25	ADa	? / gras / gras / gras (tijdelijk)	11,00	1625,88	0,5	73,9
26	Aba	? / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	10,79	1636,67	0,5	74,4
27	Gbb	fruit(bomen) (permanent)	10,31	1646,98	0,5	74,9
28	Gbb	mais / wintertarwe / mais / wintertarwe	10,22	1657,20	0,5	75,4
29	OB	stal-gebouwen	10,20	1667,40	0,5	75,8
30	Aba	? / aardappelen / suikerbieten / wortelen industrie	9,80	1677,20	0,4	76,3
31	Ebb	? / gras / gras / gras (tijdelijk)	9,57	1686,77	0,4	76,7
32	ADa	mais / mais / mais / mais	9,56	1696,33	0,4	77,1
33	Abp	fruit(bomen) (permanent)	9,09	1705,42	0,4	77,5
34	Ebb	? / mais / mais / gras (tijdelijk)	9,07	1714,50	0,4	78,0
35	Gba	fruit(bomen) (permanent)	9,01	1723,51	0,4	78,4
36	Gbb	? / wintertarwe / mais / mais	8,75	1732,25	0,4	78,8
37	Gbb	? / mais / mais / wintertarwe	8,74	1740,99	0,4	79,2
38	OT	gras (permanent)	8,26	1749,25	0,4	79,5
39	Agp	gras (permanent)	8,15	1757,39	0,4	79,9
40	Aba	aardappelen / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	8,06	1765,45	0,4	80,3
...				...		
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging van ≥ 3 jaar): 460</i>				<i>2199</i>		

Tabel 1.16: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Polders

	Bodemserie	Rotatie (≥ 3 jaar)	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	OU2	gras (permanent)	2355,81	2355,81	4,0	4
2	E1	gras (permanent)	1175,58	3531,38	2,0	6
3	A5	gras (permanent)	1156,30	4687,69	2,0	8
4	C2	gras (permanent)	925,61	5613,30	1,6	9,6
5	F1	gras (permanent)	695,73	6309,03	1,2	10,8
6	D5	gras (permanent)	687,46	6996,49	1,2	12
7	B1	gras (permanent)	682,17	7678,66	1,2	13,2
8	OB	gras (permanent)	561,82	8240,48	1,0	14,2
9	C1	gras (permanent)	558,24	8798,71	0,9	15,1
10	OU1	gras (permanent)	465,31	9264,02	0,8	15,9
11	Bb2	gras (permanent)	451,04	9715,06	0,8	16,7
12	B2	gras (permanent)	450,06	10165,12	0,8	17,5
13	P6	gras (permanent)	427,07	10592,19	0,7	18,2
14	OG1	gras (permanent)	359,07	10951,26	0,6	18,8
15	DI5	gras (permanent)	252,52	11203,77	0,4	19,2
16	A4	gras (permanent)	246,33	11450,11	0,4	19,6
17	Dk5	gras (permanent)	234,75	11684,86	0,4	20
18	F2	gras (permanent)	229,91	11914,77	0,4	20,4
19	Sdp	gras (permanent)	211,20	12125,97	0,4	20,8
20	Ldp	gras (permanent)	208,39	12334,36	0,4	21,2
21	G2	gras (permanent)	196,23	12530,58	0,3	21,5
22	OT	gras (permanent)	195,00	12725,58	0,3	21,8
23	Eep	gras (permanent)	183,47	12909,05	0,3	22,1
24	Uep	gras (permanent)	174,24	13083,29	0,3	22,4
25	Edp	gras (permanent)	169,09	13252,38	0,3	22,7
26	Udp	gras (permanent)	162,13	13414,50	0,3	23
27	Pdp	gras (permanent)	160,20	13574,70	0,3	23,3
28	Pep	gras (permanent)	159,90	13734,61	0,3	23,6
29	OU2	? / gras / gras / gras (tijdelijk)	154,92	13889,53	0,3	23,9
30	Bb3	gras (permanent)	147,77	14037,30	0,3	24,2
31	ON	gras (permanent)	146,48	14183,78	0,2	24,4
32	OU2	gras (permanent)	2355,81	2355,81	4,0	28,4
33	E1	gras (permanent)	1175,58	3531,38	2,0	30,4
34	A5	gras (permanent)	1156,30	4687,69	2,0	32,4
35	C2	gras (permanent)	925,61	5613,30	1,6	34
36	F1	gras (permanent)	695,73	6309,03	1,2	35,2
37	D5	gras (permanent)	687,46	6996,49	1,2	36,4
38	B1	gras (permanent)	682,17	7678,66	1,2	37,6
39	OB	gras (permanent)	561,82	8240,48	1,0	38,6
40	C1	gras (permanent)	558,24	8798,71	0,9	39,5
...				...		
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging voor ≥ 3 jaarj):</i>				58.980		
				18.852		

Tabel 1.17: Meest voorkomende combinaties 'bodem-gewasrotatie' in de Duinen

	Bodem-serie	Rotatie (≥ 3 jaar)	Area (ha)	Cumul. area (ha)	Area (%)	Cumul. Area (%)
1	C2	gras (permanent)	124	123,90	6,56	6,56
2	Db	gras (permanent)	38	161,95	2,01	8,57
3	Da	gras (permanent)	38	199,86	2,01	10,57
4	B1	gras (permanent)	36	235,45	1,88	12,46
5	Bc2	? / wintertarwe / aardappelen / wintertarwe	34	269,43	1,80	14,26
6	B2	gras (permanent)	33	302,78	1,76	16,02
7	W1	gras (permanent)	27	330,07	1,44	17,46
8	C1	gras (permanent)	27	357,30	1,44	18,90
9	G2	gras (permanent)	27	384,48	1,44	20,34
10	W1	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe	25	409,86	1,34	21,69
11	Bco	gras (permanent)	22	431,58	1,15	22,83
12	E1	gras (permanent)	20	451,72	1,07	23,90
13	W1	? / gras / gras / gras	19	471,19	1,03	24,93
14	OB	gras (permanent)	19	489,98	0,99	25,92
15	A5	gras (permanent)	18	507,81	0,94	26,87
16	Bco	? / aardappelen / suikerbieten / wintertarwe	17	524,37	0,88	27,74
17	B3	gras (permanent)	16	540,09	0,83	28,58
18	Bco	? / wintertarwe / wintertarwe / wintertarwe	14	553,73	0,72	29,30
19	A4	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe	13	566,45	0,67	29,97
20	Bc3	? / wintertarwe / aardappelen / wintertarwe	12	578,91	0,66	30,63
21	A4	gras (permanent)	12	591,17	0,65	31,28
22	A5	wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe / wintertarwe	12	602,86	0,62	31,90
23	A5	suikerbieten / wintertarwe / aardappelen / wintertarwe	12	614,41	0,61	32,51
24	Bc3	? / wintertarwe / vlas / wintertarwe	11	625,53	0,59	33,10
25	A2	gras (permanent)	11	636,57	0,58	33,68
26	Bco	? / cichorei / aardappelen / wintertarwe	11	647,20	0,56	34,24
27	Bc2	? / wintertarwe / vlas / suikerbieten	10	657,63	0,55	34,79
28	Bc2	? / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	10	667,66	0,53	35,33
29	A5	aardappelen / wintertarwe / suikerbieten / erwten/bonen voor industrie	10	677,37	0,51	35,84
30	Bc2	? / wintertarwe / wintertarwe / wintertarwe	9	686,68	0,49	36,33
31	Bc3	? / suikerbieten / wintertarwe / vlas	9	695,94	0,49	36,82
32	Bco	? / aardappelen / ajuin / suikerbieten	9	705,20	0,49	37,31
33	A4	ander vlinderbloemig gewas / vlas / wintertarwe / suikerbieten	9	714,34	0,48	37,80
34	Bco	? / suikerbieten / wintertarwe / aardappelen	9	723,46	0,48	38,28
35	E1	? / wintertarwe / suikerbieten / wintertarwe	9	732,42	0,47	38,75
36	Bc2	? / suikerbieten / suikerbieten / wintertarwe	9	741,05	0,46	39,21
37	Bco	? / mais / vlas / aardappelen	9	749,64	0,45	39,66
38	G2	? / gras / erwten/bonen voor industrie / wintertarwe	9	758,19	0,45	40,12
39	Em	andere / aardappelen / gras / suikerbieten	8	766,24	0,43	40,54
40	E1	? / suikerbieten / braak / groenten voor de industrie	8	774,15	0,42	40,96
...						
<i>Totaal # combinaties (met teeltopeenvolging voor ≥ 3 jaarj) : 994</i>				1890		

Bespreking resultaten

In de Kempen wordt naast gras ook maïs op continue basis geteeld. In de 40 meest voorkomende combinaties ‘gewasrotaties–bodemsrie’, komen geen echte rotaties voor. Het gaat steeds om permanent grasland of maïsteelt. De eerste 10 combinaties ‘bodems–gewasrotatie’, zijn bovendien nagenoeg identiek aan de eerste 10 combinaties ‘bodems–gewas’. Hetzelfde fenomeen doet zich voor in de Vlaamse Zandstreek: het grasland heeft er een haast permanent karakter.

In de Zandleemstreek heeft naast gras en fruit (boomgaarden), ook maïs een redelijk permanent karakter. Wintertarwe komt meestal voor in een rotatie met aardappelen en suikerbieten.

In de Leemstreek zijn een Aba-bodem met permanente fruitteelt (boomgaarden) en met permanent grasland de meest voorkomende combinaties. Andere frequent voorkomende rotaties zijn wintertarwe / suikerbieten / met een derde gewas (waaronder wintergerst, aardappelen, vlas, cichorei en maïs). Ook afwisselend wintertarwe – maïs komt regelmatig voor.

In de Weidestreek is gras uiteraard de meest voorkomende teelt (permanent). Ook maïsteelt komt een aantal keer voor in de top-40, hetzij permanent, hetzij in rotatie met wintertarwe of gras. Net zoals in de Leemstreek komen wintertarwe, aardappelen, suikerbieten, cichorei en zomergerst vooral in rotatie voor. In de Weidestreek komen één maal groenten voor (wortelen) in een rotatie met aardappelen en suikerbieten op een Aba-bodem (30ste plaats).

In de Polders en de Duinen overheerst permanent grasland. Rotaties van wintertarwe, aardappelen en suikerbieten komen ook frequent voor. In de Duinen komen binnen de 40 meest voorkomende ‘bodems–gewasrotatie’ combinaties ook een aantal rotaties voor met erwten/bonen, vlas, cichorei en ajuin.

Het aandeel van de groententeelt in het Vlaamse landbouwareaal is dus relatief klein, ook wanneer rekening gehouden wordt met gewasrotaties. Enkel in de Weidestreek en de Duinen, komen in de 40 meest voorkomende ‘bodems–gewasrotatie’ combinaties ook rotaties met groenten of erwten/bonen voor.

Er dient eveneens opgemerkt te worden dat het aantal mogelijke combinaties ‘bodems–gewasrotatie’ enorm groot is. De 40 meest voorkomende combinaties beschrijven in de verschillende landbouwstreken 25 tot 80 % van de landbouwooppervlakte waarvoor voor 3 jaar teeltgegevens beschikbaar zijn (Polders 23 % - Zandleemstreek 25 % - Zandstreek 33 % - Leemstreek 37 % - Duinen 41 % - Kempen 54 % - Weidestreek 83 %). De Polders zijn het meest gevarieerd; de Weidestreek is het meest homogeen.

Opvallend is ook het voorkomen van combinaties zoals OB (bebouwde) en OT (vergraven bodems) met gras. Steekproeven met ortho-foto’s (OC/GIS Vlaanderen) van de betreffende gebieden tonen aan dat het in deze gevallen dikwijls over militair gebied gaat (Kempen), oevers en droge vertakkingen van stromen (Vlaamse Zandstreek, Weidestreek) en grasveldjes dicht tegen steden of achter behuizingen (Kempen, Vlaamse Zandstreek, Zandleemstreek).

1.4 Bodemkundige karakterisering van de simulatieëenheden: Aardewerk-gBIS

Om simulatieëenheden bodemkundig te karakteriseren, werd binnen een GIS-omgeving (ArcView 3.2) een koppeling gemaakt tussen de digitale bodemkaart en de Aardewerk-BIS-tabellen.

1.4.1 Van Aardewerk-BIS naar Aardewerk-gBIS

De databank 'Aardewerk' bevat meer dan 13.000 profielbeschrijvingen, met gegevens over horizontdiepte en -dikte, over de textuurfracties en de mediaan van de granulometrische verdeling, over het koolstofgehalte, soms ook over het limonietgehalte, de diverse uitwisselingscapaciteiten en het kalkgehalte van de beschreven bodemhorizonten. De hydraulische parameters zijn niet opgemeten in het kader van het profileringsproject en zijn dus ook niet opgenomen in de databank. De profiel- en horizontgegevens in de Aardewerk-databank werden verzameld door het Centrum voor Grondonderzoek van het I.W.O.N.L. in het kader van het nationaal bodemkarteringsproject (1950-1970).

De profiel- en horizontgegevens uit Aardewerk zijn verwerkt tot synthetische profielen en horizonten en opgenomen in een zogenaamd bodeminformatiesysteem (Aardewerk-BIS) (Van Orshoven, 1992). Dit DOS-gestuurd programma laat toe om van een bepaalde bodemserie de horizontopeenvolgingen en de horizontkenmerken op te vragen. Het Aardewerk-BIS heeft echter geen visualisatie- en batchverwerkingsmogelijkheden. Daarom werd Aardewerk-gBIS geprogrammeerd als een ArcView-applicatie, die het mogelijk maakt:

- ☞ de Aardewerk-BIS-tabellen te verbinden met de digitale bodemkaart, zodat aan de gekarteerde bodemeenheden ook bodemkenmerken kunnen verbonden worden;
- ☞ relevante bodemprofiel- en -horizontgegevens uit de Aardewerk-BIS-tabellen op te vragen voor elke willekeurige polygoon op de bodemkaart (geografische opvraag- en analysemogelijkheden). Naast het opvragen van gegevens uit Aardewerk, werden in Aardewerk-BIS en Aardewerk-gBIS ook pedotransferfuncties opgenomen, zodat de hydraulische eigenschappen van de horizonten kunnen geschat worden op basis van predictor-gegevens die in Aardewerk aanwezig zijn;
- ☞ ruimtelijke bevragings- en cartografische rapporteringsfunctionaliteit toe te voegen.

De profielbeschrijvingen van de Aardewerk-databank werden in het Aardewerk-BIS statistisch geresumeerd. Dit gebeurde op 3 niveaus. In het Aardewerk-gBIS werd de link tussen de bodemkaart en de Aardewerk-BIS-tabellen eveneens geprogrammeerd op deze 3 niveaus (identiek als in Aardewerk-BIS). De niveaus corresponderen met de regionale en bodemkundige precisie. Op niveau 1 wordt in de Aardewerk-BIS-tabellen een horizontopeenvolging (sequentie) opgezocht voor een identieke bodem in dezelfde bodemzone als de geselecteerde bodem op de bodemkaart. Wanneer dergelijke profielbeschrijving / horizontsequentie niet beschikbaar is in de Aardewerk-BIS-tabellen, dan wordt gezocht naar een horizontsequentie voor een gelijkaardige bodem in een ruimer geografisch gebied (niveau 2); de kaart- of legende-eenheid wordt verruimd, waardoor het aantal observaties in de groepering toeneemt en de statistische interpretatie ondersteund wordt. Wanneer ook dan geen horizontsequentie gevonden wordt, wordt in een nog ruimere geografische regio gezocht (niveau 3).

In Bijlage 1 is een overzicht gegeven van de toegepaste groeperingen van bodemzones en kaarteenheden (bodemseries).

Het principe wordt geïllustreerd in onderstaand voorbeeld:

Bv: Bodemserie: Ldp1
 Bodemzone: 23 (Centraal Hageland)
 Er is in Aardewerk-BIS geen bodemprofiel opgenomen van een Ldp1-bodem in bodemzone 23. Er is dus geen match op niveau 1.
 Er is echter wel een profiel beschreven van een bodem met gelijkaardige kenmerken:

- ↳ Textuurklasse: L of A
- ↳ substraat: geen
- ↳ drainageklasse: d
- ↳ fase: 1
- ↳ profielontwikkeling: p
- ↳ bodemzone: geaggregeerde bodemzone 12 (Leemzanden van Noord-Hageland, Noord en Centraal Hageland, waarvan bodemzone 23 (Centraal Hageland) deel uitmaakt)

Er zijn in Aardewerk 3 profielbeschrijvingen van een bodem met deze kenmerken. De horizontopeenvolging van deze bodems is Apc_Cc_C, Apc_Cc_P_Bt, en Apc_Cc_R.
 Er is dus voor bodemserie Ldp1 in bodemzone 23 een match op niveau 2.

Het zoeken van relevante bodemkenmerken op verschillende niveaus, heeft uiteraard consequenties voor de nauwkeurigheid van de gegevens. Een match op niveau 1 levert de meest betrouwbare data. Een match op niveau 2 levert data van een gelijkaardige bodem uit een grotere regio; de spreiding rond de gemiddelde kenmerken zal groter zijn. Bij een match op niveau 3 moet nog een grotere onzekerheid in acht genomen worden.

Er dient ook opgemerkt te worden dat het geaggregeerde niveau voor het zoeken van een relevante horizontopeenvolging (sequentie), weer vervalt wanneer de horizontkenmerken opgevraagd worden. Het Aardewerk-gBIS is, net zoals het Aardewerk-BIS, opgebouwd op 3 niveaus volgens een 2-traps-model. Dit houdt in dat voor de beschouwde bodemeenheid in de beschouwde regio in de eerste trap de mogelijke sequenties van horizonten worden opgezocht. Hieruit wordt één sequentie geactiveerd. Bij het opvragen van de horizontkenmerken (trap 2) worden de horizonten niet per sequentie gekarakteriseerd maar wel voor alle sequenties van de serie (Bijlage 2).

Een bodem met textuur Z, kan dus misschien een relevante horizontenopeenvolging of –sequentie hebben op niveau 3 (textuur Z of S), terwijl de horizontgegevens enkel voor een textuur-Z-bodem gezocht worden. Het is m.a.w. mogelijk dat voor een bepaalde bodem een match gevonden wordt op niveau 2 of 3 voor de sequentie, terwijl er toch geen horizontgegevens beschikbaar zijn.

Om uit Aardewerk data te verkrijgen die bruikbaar zijn als input voor het stikstofbalansmodel WAVE, dient er voor een bepaalde bodemserie zowel een match te zijn op sequentieniveau, als op horizontniveau. Onderstaande Tabel 1.18 geeft indicatief aan voor welk aandeel van de oppervlakte een match kan gevonden worden op de verschillende niveaus. Het gaat hier om resultaten voor het bekken van de Molenbeek/Markebeek (grotendeels het grondgebied van de gemeente Maarkedal, Zandleemstreek). Hoewel het slechts resultaten betreft voor een klein gebied (3635 ha), geeft onderstaande tabel toch al een goede indruk van de te verwachten matchingresultaten.

In het bekken van de Molenbeek / Markebeek wordt voor bijna 50 % van de gekarteerde oppervlakte relevante profiel- en horizontgegevens gevonden op niveau 1. Voor 23 % van de gekarteerde oppervlakte is er een sequentiematch op niveau 2, waarvan voor het grootste deel ook horizontgegevens beschikbaar zijn op niveau 2 (17 %). Voor 27 % van de oppervlakte is een sequentie beschikbaar op niveau 3, en voor het grootste deel hiervan zijn ook gegevens per bodemhorizont beschikbaar (25 %). Voor 1 % van de oppervlakte wordt helemaal geen match met Aardewerk gevonden.

Dit betekent dat in totaal voor 3 % van de gekarteerde oppervlakte in het studiegebied geen horizontgegevens beschikbaar zijn. Voor 97 % van de gekarteerde oppervlakte zijn gegevens over sequentie en bodemhorizonten beschikbaar.

Tabel 1.18: Aandeel van de gekarteerde oppervlakte in het bekken van de Molenbeek/Markebeek waarvoor er een match is tussen de bodemkaart en de Aardewerk-BIS-tabellen (op verschillende niveaus)

Totale oppervlakte van het stroomgebied van de Molenbeek/Markebeek : 3536 ha				
Niet gekarteerde/vergraven oppervlakte (series OB, OT, ON, OE, OBF en OBW): 238 ha				
Gekarteerde oppervlakte: 3298 ha (= 100%)				
Match sequentie	match horizonten	Aantal polygonen	Oppervlakte (ha)	% van oppervlakte
niveau 1	niveau 1	495	1608	49 %
	niveau 2	0	0	0 %
	niveau 3	0	0	0 %
niveau 2	niveau 2	302	575	17 %
	niveau 3	163	195	6 %
niveau 3	niveau 3	476	809	25 %
	nomatch	45	67	2 %
nomatch	nomatch	54	44	1 %



Totaal	dubbele match (op gelijk welk niveau)	3187	97 %
	geen dubbele match op niveau 3	111	3 %
	waarvan:		
	↗ sequentie-match, maar geen (volledige) horizontenmatch	67	
↗ geen sequentiematch	44		


1.4.2 Geografische databevraging

In de Aardewerk-gBIS-applicatie wordt de library met de bodemkaart en complementaire gegevens geactiveerd en kan een bepaalde regio geselecteerd worden 'Area of interest', zoals in Figuur 1.2 voor een stukje van het grondgebied van de gemeente Bierbeek.

De grafische interface van het Aardewerk-gBIS-project verschilt nauwelijks met die van het originele ArcView pakket. Daardoor blijven alle standaard geografische bevragingen op het studiegebied mogelijk.

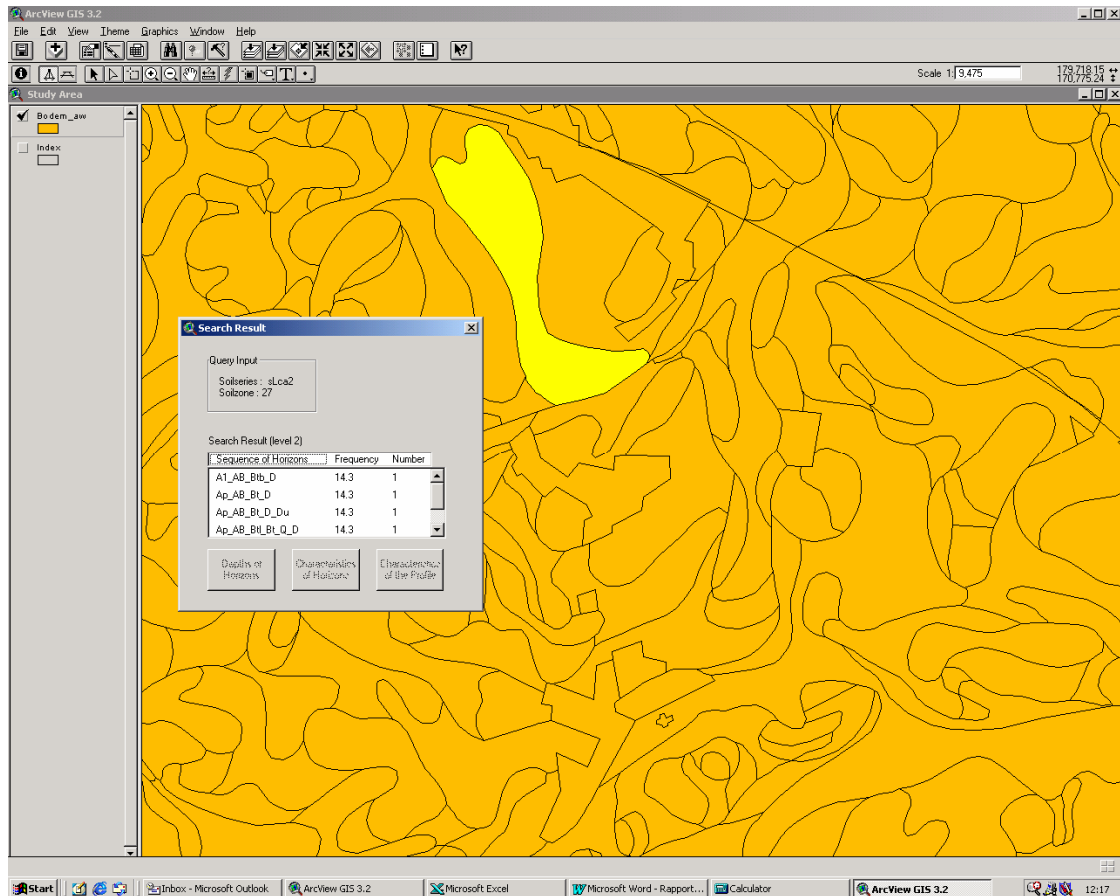
Interactief gegevens uit Aardewerk-BIS opvragen voor één geselecteerde bodemeenheid

Voor interactieve databevraging werden er twee nieuwe functies toegevoegd aan de toolbar van ArcView 3.2:  .

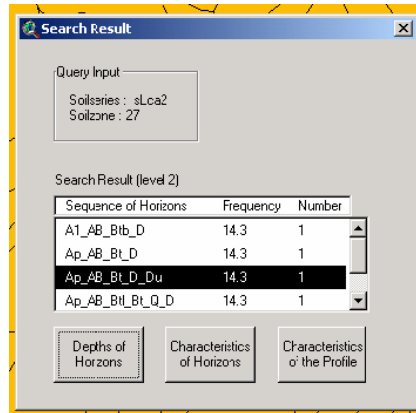
De tool  laat toe één polygoon uit de bodemkaart te selecteren en data uit de Aardewerk-BIS-tabellen op te vragen die de geselecteerde bodem kunnen kenmerken. Door de knop te activeren en vervolgens een polygoon in het kaartblad te selecteren, worden in de Aardewerk-BIS-tabellen alle profielbeschrijvingen geselecteerd die dezelfde bodemzone en dezelfde bodemserie hebben als de geselecteerde polygoon. Indien op niveau 1 geen relevante profielbeschrijving wordt

gevonden, wordt gezocht op niveau 2 (cfr supra, §1.4.1). Indien ook op dit niveau geen gegevens worden gevonden, wordt gezocht op niveau 3. Indien ook dan geen relevante profielbeschrijvingen aanwezig zijn, komt er een melding dat er “geen match is tussen de bodemkaart en de Aardewerkdatabase”.

In het resulterende dialoogvenster (zie Figuur 1.3) worden de relevante horizontsequenties weergegeven. De gebruiker kan vervolgens een bepaalde horizontsequentie selecteren en daar verdere bevragingen op toepassen.



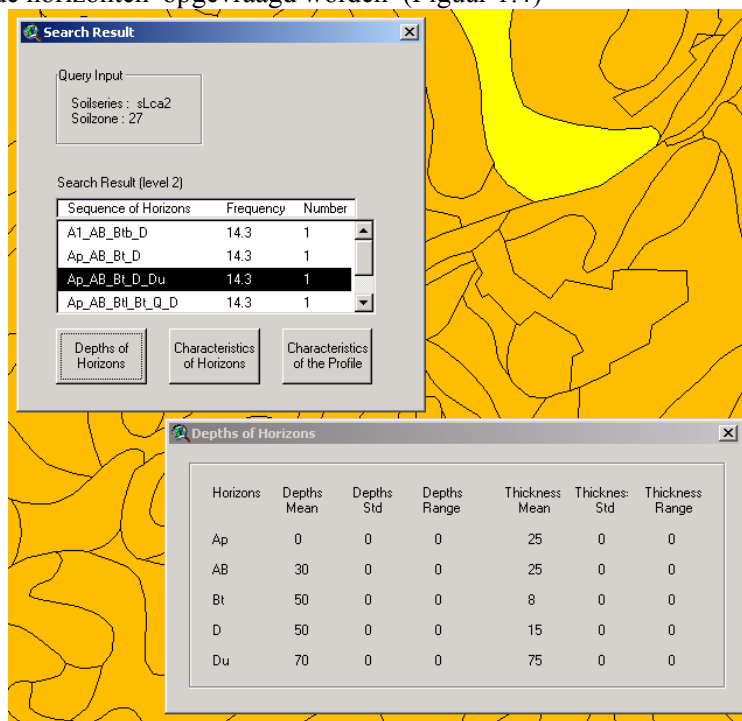
Figuur 1.2: ArcView-beeld: een polygoon uit de bodemkaart is geselecteerd. De dialoogbox geeft de zoekresultaten (in dit geval horizontsequenties op niveau 2) voor de geselecteerde bodempolygoon.



Figuur 1.3: Sequenties of horizontopeenvolging van de bodemprofielbeschrijvingen met relevante informatie voor de geselecteerde polygoon. Selectie van 1 sequentie laat toe bijkomende informatie over dit profiel en de horizonten op te vragen via de 3 knoppen onderaan de dialoogbox.

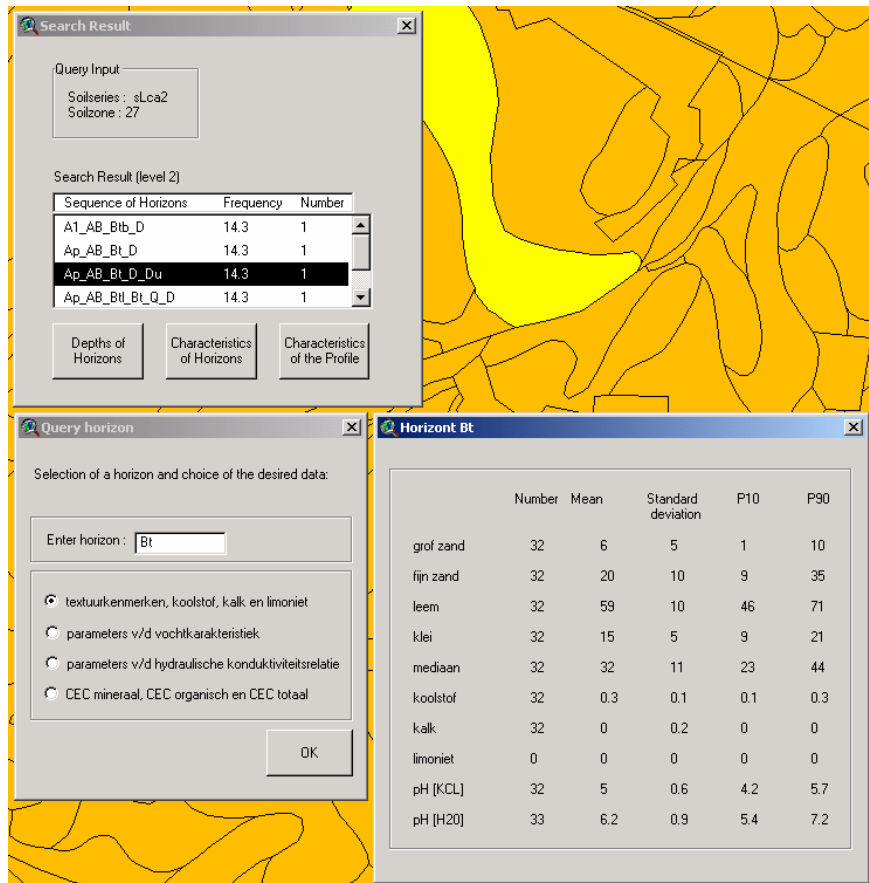
Van het gekozen profiel kunnen volgende data opgevraagd worden:

- ↳ Via de knop “depths of horizons” kunnen dikte en diepte (incl. spreidingsmaten) van de verschillende horizonten opgevraagd worden (Figuur 1.4)

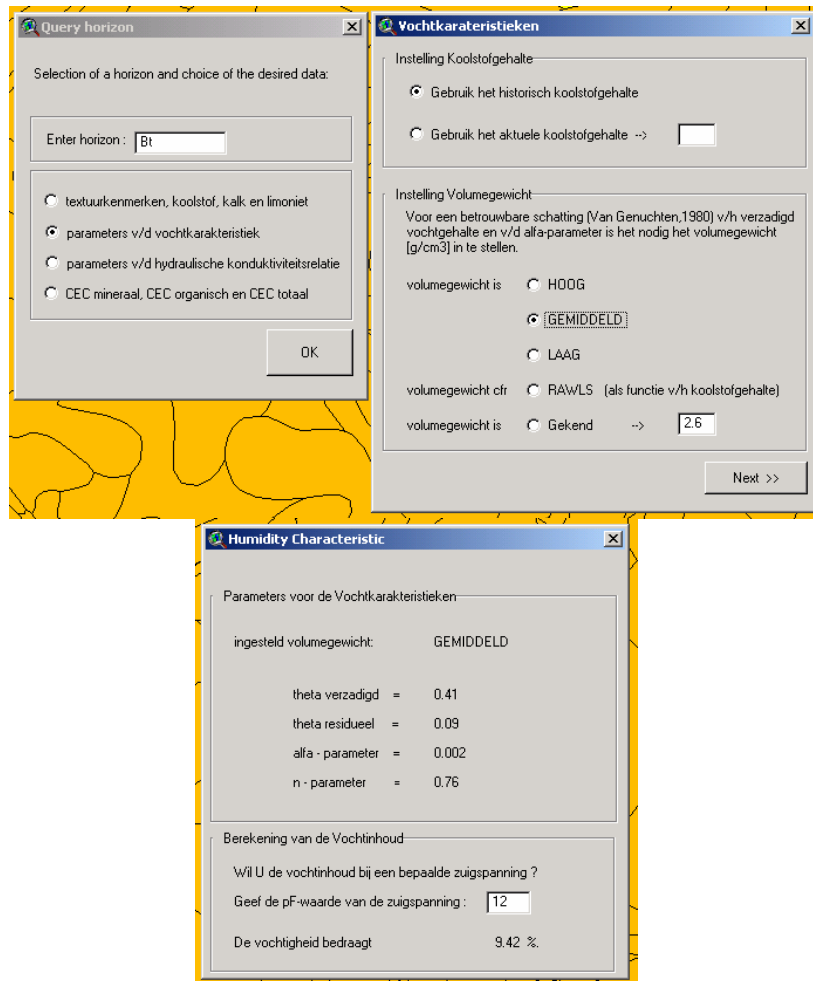


Figuur 1.4: Dikte en diepte van de horizonten

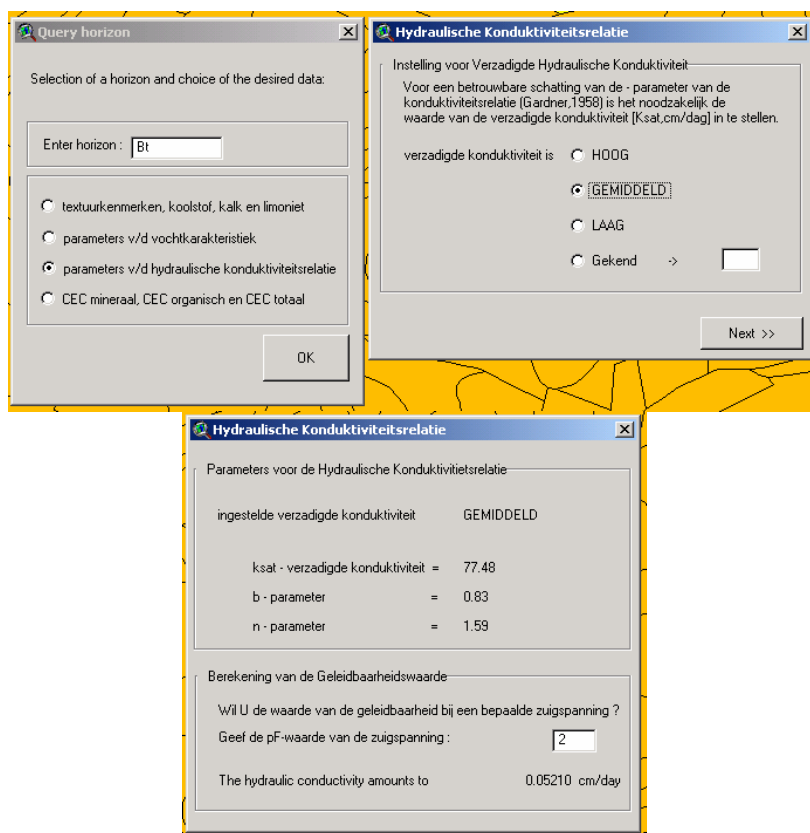
- ↳ Via de button “characteristics of horizons” kunnen horizontkenmerken opgevraagd (of afgeleid) worden:
 - ↳ textuurkenmerken, koolstof-, kalk- en limonietgehalte, pH (Figuur 1.5),
 - ↳ parameters van de vocht karakteristiek of pF-curve (schatting o.b.v. een aantal andere bodemkenmerken) (Figuur 1.6),
 - ↳ parameters van de hydraulische conductiviteit (schatting o.b.v. een aantal andere bodemkenmerken) (Figuur 1.7),
 - ↳ kationenuitwisselingscapaciteit (organisch, mineraal en totaal) (Figuur 1.8).



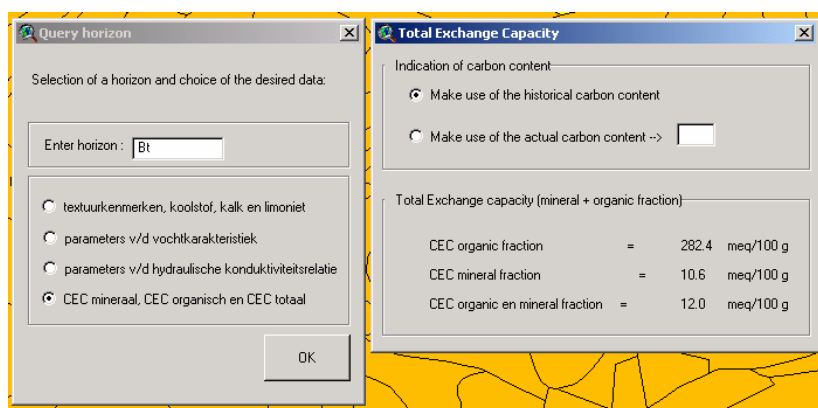
Figuur 1.5: Textuurkenmerken, koolstof-, kalk- en limonietgehalte, pH van de geselecteerde horizont



Figuur 1.6: Instelling van een aantal parameters (koolstofgehalte, volumegewicht) voor het schatten van de vocht karakteristiek. Het is ook mogelijk het vochtgehalte te berekenen bij een gewenste pF-waarde van de zuigspanning.

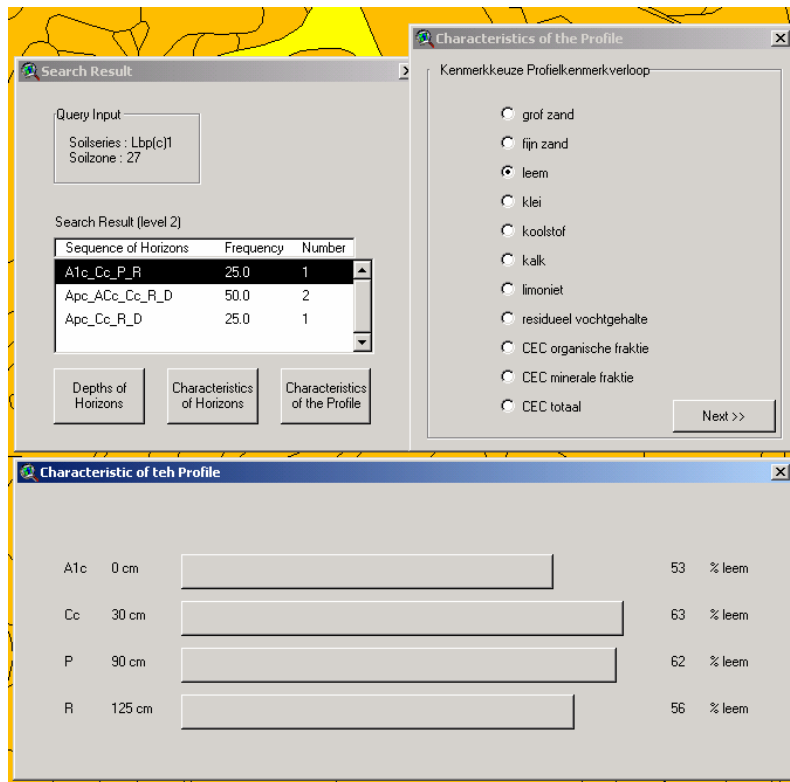


Figuur 1.7: Schatting van de parameters van de hydraulische conductiviteit o.b.v. een aantal bodemparameters




Figuur 1.8: Schatting van de kationenuitwisselingscapaciteit

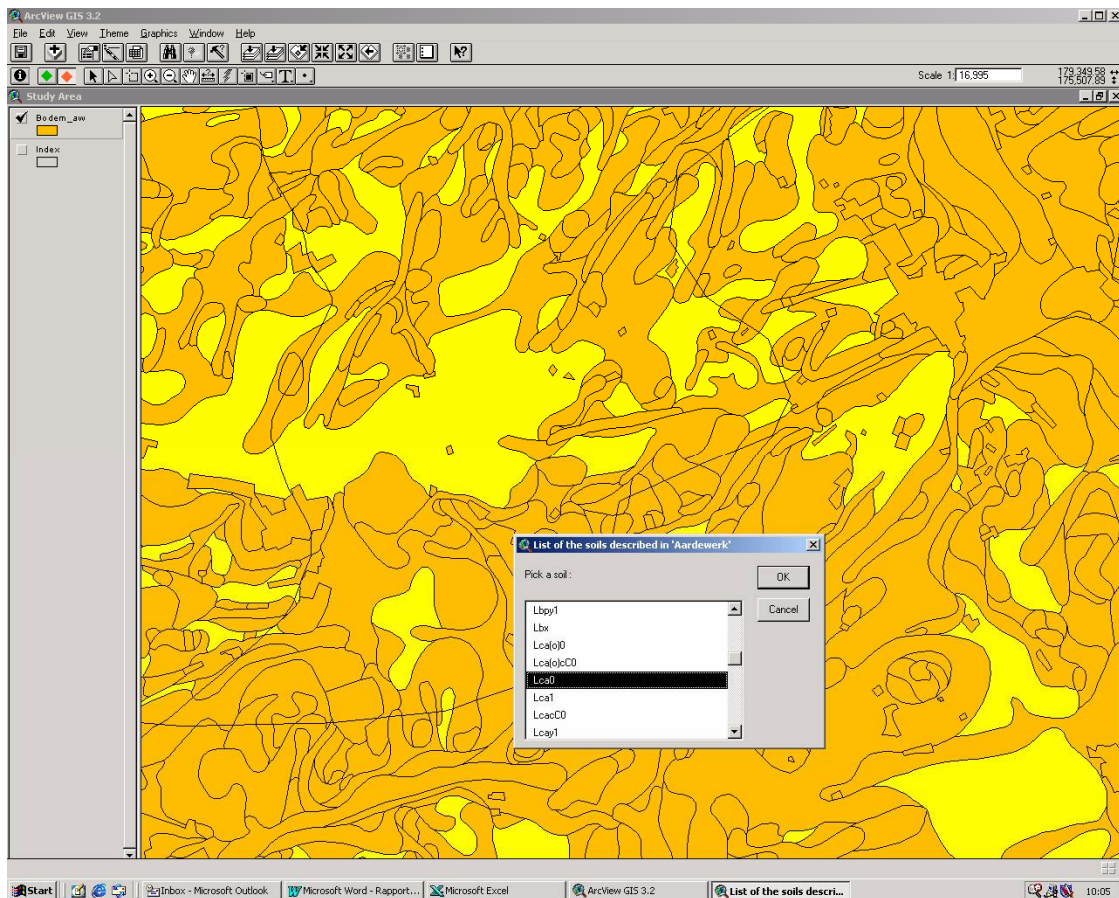
- ↳ Via de button “characteristics of the profile” kan van een aantal parameters het verloop met de diepte in het profiel grafisch weergegeven worden (grafisch + cijfermatig) (Figuur 1.9):



Figuur 1.9: Verloop van het % silt in een bodemprofiel

Opvragen van de locatie van een profielbeschrijving uit de Aardewerk-BIS-database

De tweede button die aan de ArcView-interface werd toegevoegd (), laat toe om een bodemserie die voorkomt in de Aardewerk-BIS-tabellen, te selecteren en op de bodemkaart de polygonen op te lichten die als deze bodemserie gekarteerd werden (Figuur 1.10). Hier worden enkel de bodems geselecteerd waarbij er een match is op niveau 1. Er wordt geen rekening gehouden met de geografische ligging van de bodem (bodemzone).



Figuur 1.10: Dialoogbox met alle bodemseries beschreven in Aardewerk-BIS + geografische situering van de geselecteerde bodemserie

Batch processing en input voor het stikstofbalansmodel 'WAVE'

Eens de Aardewerk-BIS-data vlot ophaalbaar zijn in een GIS-omgeving, werd een verdere integratie met het water- en stikstofbalansmodel WAVE ook mogelijk. Naast interactieve databevraging is nl. ook batchverwerking mogelijk, zodat de gewenste gegevens geautomatiseerd opgevraagd en weggeschreven kunnen worden als dbase-tabellen (programmatie op maat). Het N-(eco)²-GIS laat toe kaartenheden te identificeren die binnen de geselecteerde begrenzing voorkomen, de kaartenheden te karakteriseren met de bodemgegevens en deze info in dbf-formaat aan te bieden aan het stikstofbalansmodel.

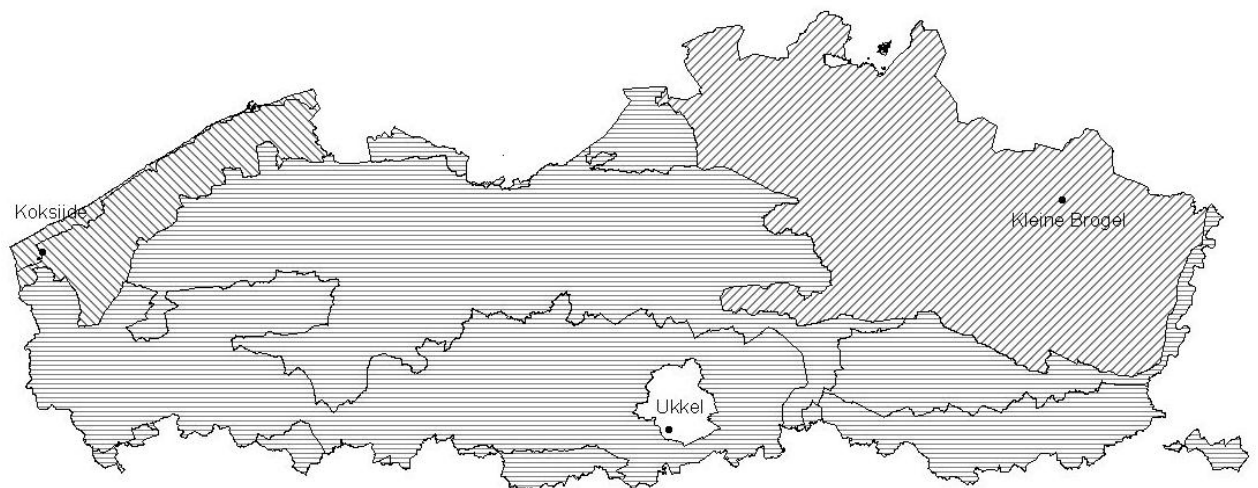
De bodemparameters en tabellen die nodig zijn als input voor het stikstofbalansmodel 'WAVE', worden besproken in deel 4 van dit eindrapport.

1.5 Karakterisering simulatieëenheden met neerslag- en PET-gegevens

Gezien de noodzaak van lange tijdsreeksen voor simulatiedoeleinden, zijn voor dit project enkel de klimatologische data van de weerstations in Kleine-Brogel, Koksijde en Ukkel direct beschikbaar en bruikbaar. Daarom wordt elke landbouwstreek toegewezen aan één van deze 3 stations:

- ☞ Het meteorostation van Kleine Brogel wordt als representatief beschouwd voor de Kempen.
- ☞ Het meteorostation van Ukkel wordt als representatief beschouwd voor de Vlaamse Zandstreek, de Zandleemstreek, de Leemstreek, de Weidestreek en de Scheldepolders.
- ☞ Het meteorostation van Koksijde wordt als representatief beschouwd voor de (Kust)Polders en de Duinen.

Figuur 1.11 geeft aan welk klimaatstation als representatief wordt beschouwd voor welke regio.



Figuur 1.11: Locatie van de meteo-stations en toewijzing van elke landbouwstreek aan een station

De tabellen met tijdsreeksen van weersgegevens in de drie stations maken deel uit van het N-(eco)²-GIS, zodat elke simulatieëenheid kan gekarakteriseerd worden met neerslag- en PET-(potentiële evapotranspiratie) gegevens.

1.6 Karakterisering simulatieëenheden met grondwaterstandsverloop o.b.v. de drainageklasse en het neerslagoverschot

In dit deel van de opdracht werd het N-(eco)²-GIS uitgebreid met een zo realistisch als mogelijk (ondiep, freatisch) grondwaterstandsverloop voor de meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties in Vlaanderen.

1.6.1 Inleiding

Het dynamisch gedrag van de grondwaterstand wordt op de bodemkaart vereenvoudigd tot een drainageklasse. De drainageklasse werd bij de bodemkartering (1950-1970) toegekend op basis van de diepte waarop morfologisch gley- en reductieverschijnselen voorkwamen in de bodem, en wordt geacht een indicatie te geven van de historische gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand.

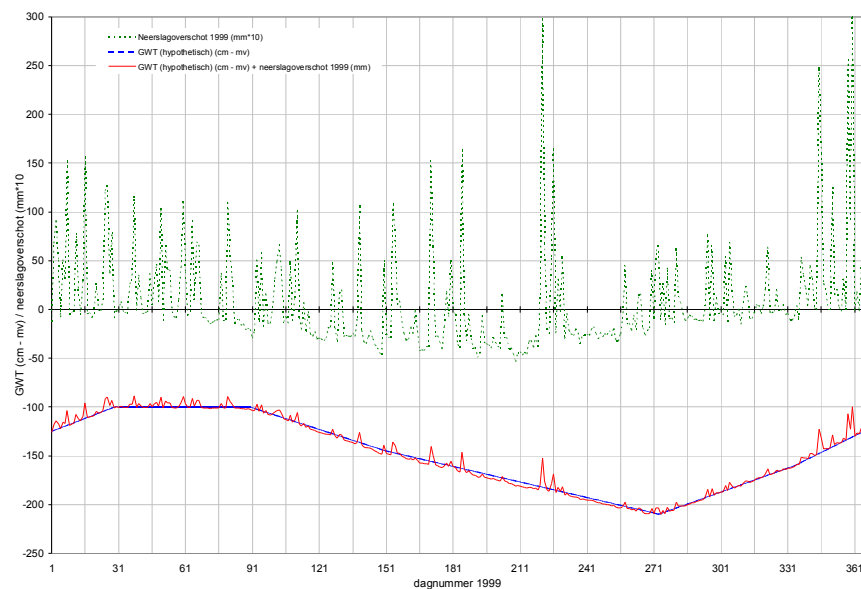
Voor heel wat toepassingen (bv. WAVE-model) is een gemiddelde grondwaterstand echter niet voldoende als input; er zijn grondwaterstandsgegevens op dagbasis nodig voor een lange periode (30 jaar). Aangezien dergelijke uitgebreide meetreeksen onbestaande zijn, moet zo'n datareeks 'geschat' worden.

De meest eenvoudige schatting zou zijn om gebruik te maken van een *hypothetisch grondwaterstandsverloop*. Daarbij wordt bijvoorbeeld de laagste grondwaterstand (zoals afgeleid uit de drainageklasse) vastgesteld op 1 oktober, om dan lineair te stijgen tot 1 april (hoogste grondwaterstand volgens de drainageklasse), om dan weer te dalen tot het laagste niveau (bv. Van Orshoven *et al.*, 1993).

Een verfijning van deze benadering zou kunnen zijn om voor het genereren van een grondwaterstandsverloop op dagbasis dit *hypothetisch grondwaterstandsverloop aan te passen op basis van het dagelijkse neerslagoverschot* (Figuur 1.12). Dit is echter niet zo eenvoudig als het op het eerste zicht lijkt, want het basisgrondwaterstandsverloop is al gedeeltelijk het resultaat van een verwacht neerslagoverschot/-tekort in een bepaalde periode van het jaar. Wanneer men erin zou slagen om de neerslagoverschot-factor uit het hypothetisch grondwaterstandsverloop te extraheren, dan zou op dit 'neerslagonafhankelijke' verloop het reële dagelijkse neerslagoverschot kunnen gesuperponeerd worden. In theorie bekomt men dan een potentieel grondwaterstandsverloop, in functie van het reële neerslagoverschot.

Dit verloop is echter verre van realistisch, aangezien:

- × de responstijd op het neerslagoverschot van de grondwaterstand afhankelijk is van veel (onbekende) factoren: textuurkenmerken, hydraulische kenmerken, de verzadigingstoestand van de bodem, gewas, enz.
- × de dynamiek van het grondwater niet zo'n extremen kent als de dynamiek van het neerslagoverschot.
- × ...



Figuur 1.12: Genereren van een dagelijks grondwaterstandsverloop door aanpassing van een hypothetisch jaarlijks grondwaterstandsverloop voor bodemserie Zbm onder gras met het neerslagoverschot op dagbasis (1999)

Een realistischer grondwaterstandsverloop dan het hiervoor vermelde, kan gegenereerd worden door gebruik te maken van empirische tijdreeksmodellen. Tijdreeksmodellen worden frequent gebruikt voor de analyse van hydrologische tijdreeksen. Op basis van een beperkt aantal grondwaterstandsmetingen kan m.b.v. een tijdreeksmodel een dagelijkse stijghoogte gegenereerd worden voor een langere tijdsperiode. Basisgegevens hiervoor zijn een (korte) tijdreeks met reële waarnemingen van de grondwaterstand én een dagelijkse waarde van het neerslagoverschot. De grondwaterstandsmetingen worden gebruikt om de parameters van het tijdreeksmodel te kalibreren. Het gekalibreerde tijdreeksmodel kan dan gebruikt worden om de tijdreeks te extrapoleren (vooruit en/of achteruit in de tijd) op voorwaarde dat er dagelijkse gegevens over het neerslagoverschot beschikbaar zijn.

1.6.2 Tijdreeksmodellen

Beschikbare modellen

Het dynamisch gedrag van de watertafel kan beschreven worden op basis van het neerslagoverschot door gebruik te maken van empirische tijdreeksmodellen zoals:

- ✘ *Transfer function-noise models (TFN)* : Gehrels *et al.* (1994); Knotters en Van Walsum (1997); Van Geer and Zuur (1997);
- ✘ *Transfer function models*: Tankersley *et al.* (1993);
- ✘ *Dynamic regression models (DR)* of *autoregressive-exogenous variables models (ARX)*: Knotters and De Gooijer (1999);
- ✘ *ARMAX models*: Bierkens *et al.* (1998);
- ✘ *Threshold autoregressive self-exciting open-loop models (TARSO)*: Knotters and De Gooijer (1999).

TFN-modellen en DR-modellen beschrijven een lineair verband tussen input (neerslagoverschot) en output (watertafeldiepte). Een TFN-model bestaat uit 2 delen: een gedeelte dat de

transferfunctie beschrijft (functioneel verband tussen input en output), en een gedeelte dat de 'ruis' beschrijft (de variatie in output die niet kan verklaard worden door de variatie in input). Vanuit fysisch oogpunt is echter eerder een niet-lineair verband te verwachten tussen neerslagoverschot en watertafeldiepte. SWATRE is een fysisch model, dat deze niet-lineaire verbanden beschrijft. Dit model heeft echter inputgegevens nodig over neerslag, evapotranspiratie, drainageniveaus en bodemfysische eigenschappen. Deze gegevens zijn over het algemeen zeer onzeker en bovendien zeer duur om te verzamelen. In empirische modellen daarentegen is enkel input nodig van het neerslagoverschot.

Knotters en Van Walsum (1997), Knotters en De Gooijer (1999) en Bierkens en Walvoort (1998) vergeleken de simulatieresultaten van empirische modellen en fysische modellen. Uit deze studie blijkt dat empirische modellen even goede simulatieresultaten opleveren dan fysische modellen. Empirische modellen hebben als voordeel dat ze enkel het neerslagoverschot als input nodig hebben, terwijl fysische modellen bijkomende data nodig hebben, o.a. over fysische bodemeigenschappen. Aangezien dergelijke inputdata vaak onzeker zijn, zijn de simulatieresultaten niet beter dan bij de empirische modellen. Binnen de empirische modellen, presteren de niet-lineaire modellen beter dan de lineaire modellen.

Keuze van methode voor simulatie van grondwaterstandsverloop in Vlaanderen

Aangezien de fysische bodemkenmerken ter hoogte van de grondwaterpeilputten niet gemeten zijn, dienen we gebruik te maken van een empirisch model, waarbij geen bodemparameters nodig zijn als input van het model. Een algemeen probleem bij het gebruik van empirische tijdreeksmodellen is het feit dat de geobserveerde grondwaterstandsmetreeks moet bestaan uit metingen met gelijke tijdsintervallen, wat natuurlijk vaak niet het geval is. Er is dus een methode nodig waarbij de gaten kunnen opgevuld worden in de onregelmatig gemeten meetreeks. In veel hydrologische toepassingen, en ook in deze hier, is de inputvariabele het neerslagoverschot, wat gewoonlijk geobserveerd wordt als een dagelijks gemiddelde. Als het neerslagoverschot geobserveerd is als een dagelijks gemiddelde en de responstijd van de outputvariabele is ook in de grootteorde van dagen, is het zinvol om de outputvariabele ook te modelleren met een tijdsinterval van 1 dag. Het belangrijkste probleem bij het gebruik van een empirisch model met een tijdsstap van een dag, terwijl de outputvariabele geobserveerd werd met een lagere en/of onregelmatige frequentie, is de kalibratie van het ruisgedeelte van het TFN-model (het is bijvoorbeeld problematisch om autocovariantiefunctie voor het ruismodel te schatten op basis van onregelmatig geobserveerde data). Om dit probleem op te lossen hebben Bierkens *et al.* (1999) een methode voorgesteld om TFN-modellen die tijdsreeksen genereren met dezelfde frequentie als de inputvariabele (neerslagoverschot, dagwaarden dus), te kalibreren m.b.v. sporadisch of onregelmatig geobserveerde grondwaterstandsmetreeksen.

Voor de kalibratie van het tijdreeksmodel zijn dus reële grondwaterstandsmetreeksen nodig. Grondwaterstandsmetingen gebeuren in Vlaanderen nog niet op een gecoördineerde en gebiedsdekkende wijze. Er gebeuren metingen door AMINAL (Afdeling Water), door het Instituut voor Natuurbehoud, door steden en gemeenten, door studie bureaus, watermaatschappijen, Tot op vandaag zijn voor Vlaanderen dus enkel fragmentaire en zeer verspreide gegevens aanwezig over het ondiep grondwaterstandsverloop.

Gezien het redelijk beperkt aantal meetplaatsen, is niet voor elk type bodem in Vlaanderen een grondwaterstandsmetreeks beschikbaar, en zeker niet voor elke combinatie 'bodem-gewas(rotatie)'. Daarom wordt er getracht om voor zoveel mogelijk bodems (combinatie 'textuur-drainageklasse') over een grondwaterstandsmetreeks te beschikken als basis voor de kalibratie van het tijdreeksmodel. Teelten worden voorlopig buiten beschouwing gelaten; enkel weiland of akkerland worden onderscheiden. Voor sommige bodems zijn meerdere meetreeksen beschikbaar. In dat geval wordt slechts 1 meetreeks gebruikt voor de kalibratie van het tijdreeksmodel; de andere meetreeksen dienen ter validatie van het resultaat.

Omdat ook wij enkel beschikken over onregelmatige meetreeksen van het grondwaterstandverloop (gemiddeld 1 meting per maand), is de techniek van Bierkens *et al.* (1999) voor ons de enige bruikbare methode.

1.6.3 Methodologie

Het ARX-model van Bierkens *et al.* (1999)

Het TFN (of TR (Transfer-ruis)) model met het neerslagoverschot als enige invoer ziet er als volgt uit:

$$H_t = H_t^* + N_t \quad (1)$$

$$H_t^* = \sum_{i=1}^r \delta_i H_{t-i}^* + \sum_{j=0}^s \omega_j P_{t-j-b} \quad (2)$$

$$(N_t - \mu) = \sum_{k=1}^p \phi_k (N_{t-k} - \mu) + \varepsilon_t + \sum_{l=1}^q \theta_l \varepsilon_{t-l} \quad (3)$$

met:

- H_t : stijghoogte van het grondwater op tijdstip t
- H_t^* : stijghoogte op tijdstip t verklaard door het neerslagoverschot
- P_t : het gemiddelde neerslagoverschot tussen tijdstip $t-1$ en tijdstip t . P_t wordt berekend uit de gemiddelde neerslag minus de gemiddelde Makkink-referentieverdamping.
- N_t : het ruisproces (residuen) op tijdstip t
- ε_t : een discreet witte-ruisproces met gemiddelde 0 en variantie σ_ε^2
- μ : een constante: het gemiddelde van N_t
- δ_i : de autoregressieve parameters van het transfermodel tot op orde r
- ω_j : de 'moving average' parameters van het transfermodel tot op orde s
- ϕ_k : de autoregressieve parameters van het ruismodel tot op orde p
- θ_l : de moving average parameters van het ruismodel tot op orde q
- b : de tijdsvertraging tussen invoer en uitvoer

Vergelijking (2) is het transfermodel (deterministisch gedeelte), vergelijking (3) het ruismodel (het stochastisch gedeelte) en vergelijking (1) het transfer-ruismodel (TR-model).

Om het eenvoudig te houden, beperkt het model van Bierkens zich tot TR-modellen met $r=1$, $s=0$, $p=1$, $q=0$ en $b=0$. Dat wil zeggen dat de stijghoogte van het grondwater op een bepaalde dag bepaald wordt door de stijghoogte de dag tevoren en het neerslagoverschot de laatste 24 uur. Het model houdt met andere woorden geen rekening met eventueel langere of kortere responstijden bij verschillende bodemtypes. Enkel de neerslagevenementen van de laatste dag, worden in rekening gebracht bij het berekenen van de relatieve stijging of daling van de grondwatertafel.

$$H_t = H_t^* + N_t \quad (4)$$

$$H_t^* = \delta_1 H_{t-1}^* + \omega_0 P_t \quad (5)$$

$$(N_t - \mu) = \phi_1 (N_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t \quad (6)$$

Een speciaal geval van het TR-model (4) wordt verkregen als de autoregressieve parameter van het ruismodel (6) gelijk is aan die van het transfermodel (5): $\phi_1 = \delta_1$. Het TR-model krijgt dan volgende vorm:

$$H_t - \mu = a_1 (H_{t-1} - \mu) + b_0 P_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

Vergelijking (7) staat bekend als een ARMAX(1,0)-model (Hipel en McLeod, 1994).

Voor het genereren van een 30-jarig grondwaterstandsverloop, met neerslagoverschot als invoer, wordt gebruik gemaakt van dit ARX(1,0)-model (ARX: autoregressive exogeneous variable)

met H_t : grondwaterstand

P_t : gemiddeld neerslagoverschot tussen t-1 en t

a_1 en b_0 : autoregressieve parameters

ε_t : fouteterm (verondersteld onafhankelijk in de tijd, gemiddelde 0 en eindige en constante variantie σ_ε^2).

Het 95 % voorspellingsinterval wordt als volgt berekend:

$$H_t \pm 1.96 \frac{\sigma_\varepsilon^2}{(1 - a_1^2)}$$

Deze parameters kunnen op hun beurt vertaald worden naar fysische grootheden (drainageweerstand = $\gamma = b_0 / (1 - a_1)$; effectieve porositeit = $\phi = -\Delta t / (\gamma \ln(a_1))$; regionale grondwaterflux : $q_b = (\mu - H_s) / \gamma$) (met H_s het drainageniveau). Dit kan interessant zijn om het effect van een ingrijpen in één van deze grootheden op de grondwatertafel te bepalen. We zullen dit hier echter verder niet gebruiken.

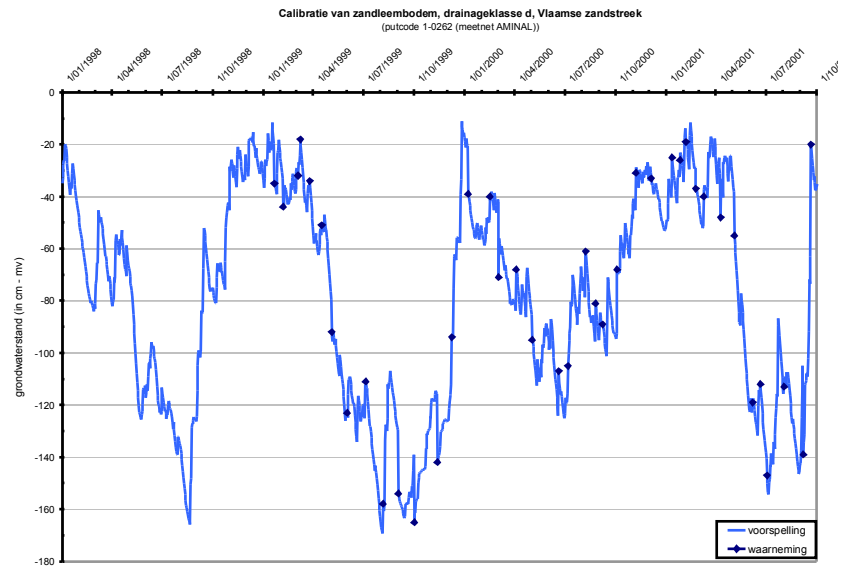
De autoregressieve parameters van het ARX(1,0)-model worden gekalibreerd met een Kalmanfilter-algoritme (Bierkens *et al.*, 1999) op een (minstens tweejarige) tijdreeks van grondwaterstanden opgemeten in Vlaanderen. Deze tijdreeks vertoont een onregelmatige frequentie, met een gemiddeld aantal metingen van 1 tot 2 per maand. Bierkens *et al.* (1999) hebben aangetoond dat (op 1 locatie voor de periode 1981-1995) een gemiddelde waarnemingsfrequentie van 1 maal per maand voldoende is om het TR-model met een tijdsstap van 1 dag te kalibreren. Om te weten of 1 meting per maand ook in Vlaanderen volstaat om een betrouwbaar dagelijks grondwaterstandsverloop te genereren, ontbreken jarenlange dagelijkse grondwaterstandsmetreeksen ter validatie.

Kalibratie van de autoregressieve parameters: Kalmanfilter

Het Kalmanfilter kan gebruikt worden om de parameters van het ARX-model te schatten.

Zoals uitgelegd in Bierkens (1998) worden met het Kalmanfilter voorspellingen gedaan met het deterministische gedeelte van het model. Hier gebeurt dat met dezelfde tijdsstap als de invoerreeksen. Voor het neerslagoverschot is dat 1 dag. Om de zoveel tijdstappen (bv. om de 15 dagen) is er naast een voorspelling van het deterministisch model ook een waarneming beschikbaar. Op dat moment wordt de voorspelling bijgesteld met behulp van de waarneming, namelijk door een gewogen gemiddelde te nemen van de modelvoorspelling en de waarneming. Naarmate de meetfout kleiner is in vergelijking tot de grootte van de voorspelfout krijgt de waarneming meer gewicht en vice versa. De bijgestelde voorspelling van de grondwaterstand x_t wordt dan als beginvoorwaarde voor de volgende tijdsstap gebruikt. Doordat de modelvoorspellingen regelmatig worden bijgesteld met behulp van waarnemingen, zijn voorspellingen met het Kalmanfilter gemiddeld nauwkeuriger dan die van het deterministische model alleen.

Voor een zandleembodem met drainageklasse d in de Vlaamse Zandstreek konden we beschikken over grondwaterstandsmetingen gedurende een periode van 2,6 jaar (20/01/1999 – 06/09/2001). De resultaten van de kalibratie zijn geïllustreerd in Figuur 1.13 en Tabel 1.19.



Figuur 1.13: Voorspellingen met het TR-model binnen het Kalmanfilter-algoritme en waarnemingen van de stijghoogte voor een Sd-bodem in de Vlaamse Zandstreek

Tabel 1.19: Output van het Kalmax-programma (kalibratie van de autoregressieve parameters)

Outputfile *.cal

Time (days)	pred. (cm)	update (cm)	M (cm ²)	p (cm ²)	meas. (cm)	innov. (cm)
.000	-35.0000	-35.0000	.000000	.000000		
1.000	-32.7314	-32.7314	4.34311	4.34311		
2.000	-27.7348	-27.7348	6.06911	6.06911		
3.000	-26.0452	-26.0452	7.34550	7.34550		
...		
384.000	-19.6016	-19.6016	19.9807	19.9807		
385.000	-22.0574	-35.0000	19.9807	.000000	-35.0000	-12.9426
386.000	-34.6485	-34.6485	4.34311	4.34311		
...		
400.000	-32.9701	-32.9701	14.3550	14.3550		
401.000	-32.6827	-44.0000	14.6695	.000000	-44.0000	-11.3173
402.000	-43.2073	-43.2073	4.34311	4.34311		
...		

Hierin is kolom 1 het dagnummer
kolom 2 de voorspelde grondwaterstand op dag x (cm - mv)
kolom 3 de gekalibreerde grondwaterstand op dag x (cm - mv)
kolom 4 de variantie van de fout op 'pred'
kolom 5 de variantie van de fout op 'update'
kolom 6 de meetwaarde op dag x (indien een meting beschikbaar is)
kolom 7 de innovatie (= meas.-pred.)

Outputfile *.opt

number of iterations:	50			
.976110	7.774940	-107.957200	18.983650	335.819500
.975379	7.849586	-107.739100	18.783120	335.816900
.976090	7.793060	-108.300000	18.862640	335.821800
.974938	7.871655	-107.543400	19.591570	335.842000
.975934	7.843091	-107.649600	18.608680	335.849700
.272150	16.420790	13.136880		

waarbij de 5^e rij parameters (meest geoptimaliseerd) gebruikt wordt als input voor het ARX-model (van links naar rechts respectievelijk a_1, b_0, μ en σ_ϵ)

Schatting van de parameters van het ARX-model (ARX = autoregressive exogenous variable)

Uit het Kalmanfilter hebben we op de tijdstippen t dus zowel de beschikking over modelvoorspellingen van de stijghoogte als waarnemingen. Het verschil tussen de waarneming en de modelvoorspelling met het Kalmanfilter wordt *innovatie* genoemd (Tabel 1.19). Naast de innovatie levert het Kalmanfilter-algoritme op elk meettijdstip t ook een schatting van de innovatievariantie σ^2 .

Uit de innovaties en de innovatievarianties kunnen de parameters van de toestandsvergelijking worden geschat. Dit betekent dus dat de parameters van zowel het transfermodel als dat van het ruismodel kunnen worden geschat (met een tijdsstap van 1 dag), zelfs als maar op een beperkt aantal tijdstippen waarnemingen beschikbaar zijn.

In Tabel 1.20 worden de autoregressieve parameters en de afgeleide fysische grootheden weergegeven voor hetzelfde meetpunt.

Tabel 1.20: Autoregressieve parameters en afgeleide fysische grootheden als resultaat van de kalibratie met KALMAX

Meetpunt	ϕ (-)	γ (d)	H_s (cm)	q_b (cm/d)	a_1	b_0	μ	σ_ϵ
AMINAL 1-0262	0.127	323.91	-120	0.0372	.976	7.843	-107.65	18.608

1.6.4 Genereren van een 30-jarig grondwaterstandsverloop

Op basis van bovenvermelde autoregressieve parameters kan (m.b.v. het programma ARXINTER) een realisatie van een mogelijk grondwaterstandsverloop getrokken worden uit een aantal realisaties (simulaties) voor een tijdsreeks die langer is dan die waarop het model gekalibreerd is en waarvoor de neerslagoverschotwaarden op dagbasis beschikbaar zijn. Deze realisatie wijkt natuurlijk af van het 'gekalibreerde' grondwaterstandsverloop in de periode waarop gekalibreerd werd.

Er kunnen zowel realisaties van het grondwaterstandsverloop voor een periode van 30 jaar worden berekend (stochastische simulatie) als een deterministisch verloop met 95 %-voorspellingsinterval.

Bij de simulatie van het grondwaterstandsverloop, worden grondwaterstanden afgeroomd op het niveau van het maaiveld. Dit wil zeggen dat zodra een voorspelling boven het maaiveld komt, deze de waarde nul krijgt.

Tabel 1.21: Voorbeeld van de parameterfile voor ARXINTER (*.PAR)

```

0.975934 7.843091 -107.649600 18.608680 ! (a1 b0 mu sigma_eps uit *.OPT KALMAX)
-1685 ! (seed, negative integer)
1 ! (simmode°, 1 normal or 2 empirical)
empfile.txt ! (file with empirical eps if
simmode=2)
5 ! (number of critical levels, max. 10)
-20 -40 -60 -80 -100 ! (critical levels)
5 ! (number of critical periods)
1 5 10 20 30 ! (critical periods)
1 4 ! (first day and month of season)
30 9 ! (last day and month of season)
1 ! (nsim, number of realisations)
1 1 1971 ! (begin of simulation period)
meteo.prn (inputfile met meteodata)
outfill1.txt (results of stochastic simulation)
outfil2.txt (results of risk calculation**)
outfil3.txt (results of determ. trace, 95%
interval)
logfile.txt

```

° De simmode wil zeggen dat bij de simulatie ofwel uit een normale verdeling wordt getrokken met gemiddelde 0 en standaardafwijking σ_{eps} (optie 1), ofwel uit een lijst van empirisch bepaalde fouten (optie 2).
** Outfil2.txt bevat de overschrijdingskans van een bepaalde grondwaterstand.

Tabel 1.22: Input van de meteodata in het programma ARXINTER via file meteo.prn

12328	5	0.1	5		
	1	1	1968	0.80	0.18
	2	1	1968	1.40	0.20
	3	1	1968	4.00	0.19
..

Hierin is: 12328 het aantal data
 5 het aantal kolommen
 0.1 de conversiefactor van mm/dag naar cm/dag
 4 en 5 de kolomnummers voor resp neerslag (mm/dag) en
 referentiegewasverdamping volgens Makkink (mm/dag)
 In kolom 1 staat het dagnummer, in kolom 2 het maandnummer, in
 kolom 3 het jaar.

De outputfile outfil1.txt (van ARXINTER) bevat een mogelijk stochastisch grondwaterstandsverloop voor een periode van 30 jaar. Het is één van de vele mogelijk realisaties. Uit 100 van dergelijke potentiële grondwaterstandsverlopen kan met behulp van een post-processing-programma (STATSIM5) ook de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand berekend worden. De outputfile outfil3.txt bevat het deterministisch grondwaterstandsverloop (= gemiddeld verloop + 95 % betrouwbaarheidsinterval op dat verloop).

Tabel 1.23: Voorbeeld van outfil1.txt van ARXINTER: een stochastisch grondwaterstandsverloop

1971	1	30
-39.2536		
-51.2598		
-40.0849		
-54.1034		
-51.0003		
-64.8769		
-32.2235		
.....		

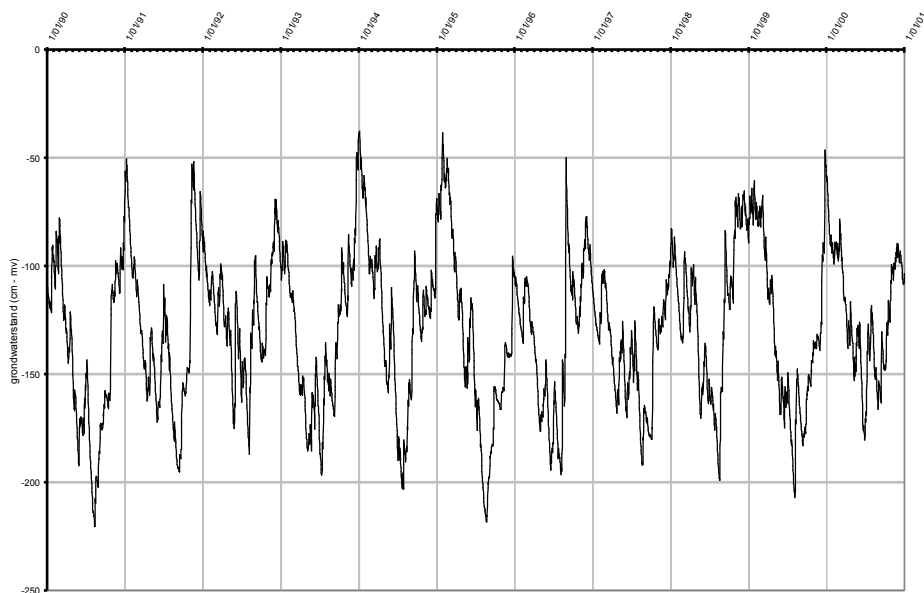
waarbij rij 1 = startdatum stochastisch verloop
 rij 2 e.v.: dagelijkse grondwaterstand

Tabel 1.24: Voorbeeld van outfil3.txt van ARXINTER: het deterministisch verloop met 95 % betrouwbaarheidsinterval

....					
1976	6	5	-321.83	-154.57	0.00
1976	6	6	-323.76	-156.50	0.00
1976	6	7	-326.29	-159.04	0.00
1976	6	8	-329.20	-161.95	0.00
1976	6	9	-332.69	-165.43	0.00
1976	6	10	-335.08	-167.82	-0.57
1976	6	11	-337.29	-170.03	-2.77
1976	6	12	-339.79	-172.54	-5.28
1976	6	13	-341.48	-174.22	-6.97
....					

waarbij kolom 1 = jaar
 kolom 2 = maand
 kolom 3 = dag
 kolom 4 = 2,5 % onderschreiding
 kolom 5 = gemiddeld grondwaterstandsverloop
 kolom 6 = 97,5 % onderschreiding
 Dus: In 95% van de gevallen zal de reële grondwaterstand zich situeren tussen de waarde in kolom 4 en de waarde in kolom 6 (de range is dan ook wel groot)

Figuur 1.14 geeft een grafische voorstelling van de output van ARXINTER (gemiddeld deterministisch verloop).



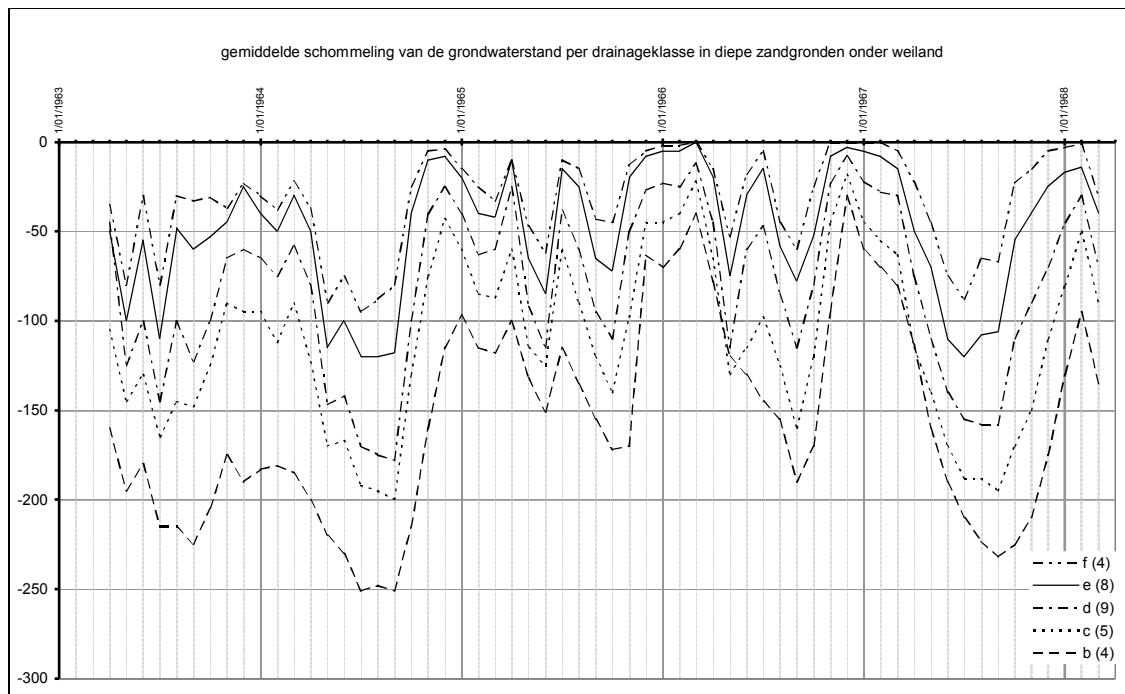
Figuur 1.14: Potentieel (deterministisch) grondwaterstandsverloop voor de periode 01/1990 t.e.m. 12/2000 t.h.v. meetpunt AMINAL 4-0084 (Zbh-bodem)

1.6.5 Ruimtelijke extrapolatie van gesimuleerd grondwaterstandsverloop

Op basis van het hiervoor besproken KALMAX- en ARX-model is het dus mogelijk om op basis van een onregelmatige grondwaterstandsmeetreeks van enkele jaren, een grondwaterstandsverloop op dagbasis te genereren (extrapolatie in de tijd).

Een tweede stap bestaat erin om deze grondwaterstandsverlopen ook ruimtelijk te extrapoleren, en aan te geven welk grondwaterstandsverloop realistisch kan zijn voor een bepaalde combinatie 'bodem-landgebruik-klimaat'.

Onderzoek van Vandamme (1971) heeft aangetoond dat in de provincie Antwerpen de schattingen van de drainageklasse op de bodemkaart aan een reël verschil in grondwaterstand beantwoorden; het onderscheid tussen de verschillende drainageklassen is duidelijk (Figuur 1.15). Vandamme (1971) is op basis van 5-jarige grondwaterstandsmeetreeksen ook nagegaan of de reële fluctuaties beantwoorden aan de vooropgestelde normen en de geschatte fluctuaties bij de bodemkundige opnamen in het veld. Dit blijkt wel min of meer het geval te zijn. Tabel 1.25 geeft een vergelijking van de grondwaterstandsfluctuaties per drainageklasse in de Belgische bodemkartering en op basis van zijn veldmetingen.



Figuur 1.15: Gemiddelde schommelingen van de grondwaterstand bij verschillende drainageklassen in diepe zandgronden onder weiland (Vandamme, 1971)

Tabel 1.25: Vergelijking van de grondwaterstandsfluctuaties per drainageklasse in de Belgische bodemkartering en op basis van reële veldmetingen (Vandamme, 1971)

Normen voor de indeling in drainageklassen van de zandige gronden textuur Z (zand) en S (lemig zand)		drainageklassen						
		a zeer droog	b droog	c matig droog	d matig nat	e nat	f zeer nat	g uiterst nat
gemiddeld hoogste waterstand (GHG)	bodemkartering	>120	90-120	60-90	40-60	20-40	<20	.*
	veldsituatie	>120	80-120	50-80	20-50	<20	<20	<20
	veldsituatie ifv lb	>120	80-120	50-80	20-50	<20	.*	.*
gemiddeld laagste waterstand (GLG)	bodemkartering	.*	.*	.*	>120	80-120	40-80	<40
	veldsituatie	>240	180-240	150-180	120-150	80-120	50-80	<50
	veldsituatie ifv lb	.*	.*	.*	>120	80-120	50-80	<50

* De indeling in drainageklassen voor de bodemkaart werd gemaakt vanuit agrarisch perspectief. De GHG is zeer belangrijk voor de ontwikkeling van het wortelstelsel en is beslissend voor een noodzaak tot kunstmatige drainage. De GLG is van minder belang voor de drogere drainageklassen, vanaf 'c' en droger. In deze normaal te droge gronden spelen textuur en humusgehalte een belangrijke rol. Voor de hydromorfe gronden (e,f,g) waar de GHG uiteraard te hoog is, treedt de invloed van de GLG op de voorgrond. Het bodemvolume, waarover de wortels zich in de zomer kunnen ontwikkelen, is immers van zeer groot belang. De d-gronden nemen een middenpositie in; hier is zowel de GHG als de GLG van belang voor de gewasgroei.

Het onderzoek van Vandamme (1971) wijst dus op een duidelijk verband tussen het grondwaterstandsverloop en de drainageklasse. De meetgegevens van Vandamme (1971) zijn echter al enkele tientallen jaren oud, en beantwoorden dus nog in grotere mate aan de situatie zoals die was ten tijde van de bodemkartering. Antropogeen ingrijpen heeft er sindsdien voor gezorgd dat het niveau van het grondwater over het algemeen gedaald is. Bovendien kunnen ingrepen van allerlei aard (drainage, ruilverkaveling, grondwaterwinning, enz.) ervoor zorgen dat de drainageklasse van de bodem geen indicatie meer is voor het huidige grondwaterpeil. Daarom dienen we ons te baseren op grondwaterstandsmetingen van vandaag.

Via verschillende instanties zijn grondwaterstandsmetreeksen beschikbaar: AMINAL afdeling water, de Bodemkundige Dienst van België, gepubliceerde gegevens (o.a. Vandamme, 1971), en het N-(eco)²-project zelf. Het Instituut voor Natuurbehoud beschikt eveneens over veel gegevens, maar daarover konden we niet beschikken in het kader van deze studie.

De meetpunten van AMINAL zijn het meest bruikbaar voor kalibratie van het ARX-model; de grondwaterstand wordt er minstens maandelijks opgemeten (soms frequenter) en de reeksen zijn voldoende lang (minstens 2 jaar). De grondwaterstandsmetingen uit andere bronnen (BDB en N-(eco)²) zijn minder bruikbaar voor kalibratie van het ARX-model omdat ze zeer onvolledig zijn (enkel metingen in de winter) of niet lang genoeg (slechts 1 jaar). Daarom werd in eerste instantie verder gewerkt met de grondwaterstandsmetingen van het AMINAL-meetnet. Er werd nagegaan in welke bodemserie de verschillende peilputten van AMINAL liggen, en in hoeverre er een verband is tussen grondwaterstand en drainageklasse. Van elk punt met een gekend grondwaterstandsverloop dient dus de textuur en de drainageklasse gekend te zijn. Gezien de middenschalige resolutie van de bodemkaart en de inherente vaagheid van grenzen tussen bodemkaartenheden, was een terreincontrole wenselijk. Via veldwerk werd de fysische veldsituatie van een bepaald meetpunt nagegaan, en werd beoordeeld in hoeverre dit grondwaterstandsverloop representatief was voor die bepaalde bodem. Een representatief beoordeeld grondwaterstandsverloop werd dan ook 'toegewezen' aan elders gesitueerde bodems met gelijkaardige textuur- en drainagekenmerken en gelijkaardig landgebruik.

Onderstaande Tabel 1.26 geeft de bodem- en omgevingskenmerken weer van de op terrein gecontroleerde AMINAL-meetpunten.

Tabel 1.26: Veldsituatie voor een selectie van AMINAL-meetpunten

Punt	Putcode / Plaats / landgebruik	bodemserie volgens bodemkaart	bodemserie volgens terrein	Grondwaterstands-verloop + indicatieve drainageklasse*	opmerkingen / omgevings-factoren
1	1-0513 / Bornem / gazon	Pep	Pe..	Te diep (c) **	vlakbij vijver
2	1-0262 / Tisselt / weilandje	Pdh	Ld..	+/- OK (d/e)	grachten
3	1-0509 / Bonheiden / bosje langs weg	Lec	wS/Ldp	Te diep (c)	verstoord
4	2-0010 / Boortmeerbeek / bos-mais	sLdp	sLep	Te diep (c)	gracht
5	2-0107 / Hever / park	OT	wLdp2/3	+/- OK (d)	verstoord
6	7-0172 / Neerpelt / bos, gras	Zdg	Zc..	Te diep (b)	rand natuurgebied
7	7-0174 / Lommel / gras	OB	Zc..	Te diep (a)	aan voetbalveld, in wegberm, verstoord
8	7-0176 / Overpelt / industrieterrein	Zag	OB		volledig vergraven en gedraineerd
9	7-0038 / Achel / heide	Zcg	Zd..	OK	beek vlakbij
10	7-0357 / Bocholt / braakliggend (bramen, gras, ...)	Zeg	Zd..	Te diep (c)	langs beek, aan voetbalveld, rand landbouwgebied
11	7-0355 / Bree (Tongerlo) / wegberm, maisakker	Zdg	Zd..	OK	vergraven, sterk verstoord, gracht
12	7-0112 / Kinrooi / bos	Sec	Ze..	Te diep (c, d), hoewel grondwater bij terreinbezoek veel ondieper zat dan metingen AMINAL (30cm ~ e)	bos, gracht, in RVKgebied Kinrooi
13	7-0110 / Kinrooi / berm met houtkant	Zbf	Zd..	Te diep (a)	sterk verstoord (wegberm), naast gracht
14	7-0139 / Maaseik / bos met veel grachten	Seg	Se..	OK	veel grachten in bos
15	7-0349 / As / bos	Sfp	Sf..	Te diep (b), hoewel grondwater bij terreinbezoek veel ondieper zat dan metingen AMINAL (40cm)	beekvallei

* Indicatieve drainageklasse: de drainageklasse op basis van de reële grondwaterstand gemeten door AMINAL (en niet o.b.v. de gley- en reductieverschijnselen in de bodem).

**te diep: het grondwater zit in realiteit veel dieper (~ drainageklasse c) dan de drainageklasse op de bodemkaart insinueert (drainageklasse e).

Een deel van de punten zijn gesitueerd in klimaatszone 'Kleine Brogel' (3, 5-15); een deel van de punten zijn gesitueerd in de klimaatszone 'Ukkel' (1, 2 en 4). Punten 3 en 5 liggen echter in een 'uitloper' van klimaatszone 'Kleine Brogel', zodat deze punten ook als representatief voor de klimaatszone 'Ukkel' kunnen gebruikt worden.

Nagenoeg alle punten zijn verstoord/gedraineerd (grachten, vergraven terreinen).

Het patroon van het grondwaterstandsverloop is gelijkaardig voor de meeste punten (bv. sterke stijging in de extreem natte maand sep-01). In punten 6, 7, 8 en 15 is het grondwaterstandsverloop minder- of zelfs niet-seizoensgebonden (irrigatie/drainagebuizen).

De morfologische drainageklasse overschat de diepte van het grondwater op vrij systematische wijze.

Er werd gezocht naar een relevant grondwaterstandsverloop voor de 20 meest voorkomende 'bodem-gewas' combinaties per landbouwstreek. Het beperkt aantal beschikbare

grondwaterstandsverlopen en terreinwaarnemingen, laat niet toe om een duidelijk verschil te detecteren in het grondwaterstandsverloop naargelang het bodemgebruik. Er werd voor de meeste landbouwstroken (uigezonderd de polders en de duinen) dan ook geen onderscheid gemaakt tussen een grondwaterstandsverloop onder grasland, en één onder akkerland. Op basis van de op het veld gecontroleerde AMINAL-meetpunten, kan een relevant grondwaterstandsverloop geselecteerd worden voor

- L/A/E/Ud-bodems: meetpunt 1-0262
- Z/S/Pd-bodems: meetpunt 7-0355

Er blijven dus nog heel wat combinaties ‘bodem-gewas’ over waarvoor op basis van bovenstaande terreinobservaties van AMINAL-meetpunten geen grondwaterstandsverloop kan gegenereerd worden. Daarom zullen we gebruik moeten maken van andere gegevens, waaronder de metingen op de proefvelden van het N-(eco)²-project, en enkele AMINAL-meetpunten die niet op terrein geverifieerd werden.

Er zijn grondwaterstandsmetingen beschikbaar van de proefvelden die in het kader van het N-(eco)²-project werden opgevolgd. Voor deze velden werd de grondwaterstand echter enkel in de winterperiode gemeten, waardoor er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om het ARX-model op basis van die metingen te kalibreren. Daarom werden deze meetreeksen aangevuld met grondwaterstandsmetingen van AMINAL-meetpunten in dezelfde regio, die een gelijkaardig grondwaterstandsverloop kennen (in de periode waarvan er voor beide meetreeksen wel metingen beschikbaar zijn). Op basis van de vervolledigde meetreeksen, kan het ARX-model dan gekalibreerd worden, wat een geschat grondwaterstandsverloop oplevert voor een aantal locaties in de Kempen, de Zandleemstreek en de Polders:

- L/A/E/U/Z/S/Pe-bodems: proefveld 5 (Zep, maisakker, Assenede)

Voor de resterende veel voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties werden grondwaterstandsverlopen uit het AMINAL-meetnet geselecteerd die niet op terrein gecontroleerd werden. De bodem- en omgevingskenmerken van de meetpunten werden in de mate van het mogelijke bepaald op basis van de BWK (biologische waarderingskaart), de bodemkaart, de perimeters van de ruilverkavelingsgebieden en de registratie van de landbouwgebruikspercelen van de Mestbank. Op basis van die gegevens en de inzichten die tijdens het veldwerk werden opgedaan, werden uit de beschikbare AMINAL-meetpunten de meest plausibele grondwaterstandsverlopen geselecteerd. Op basis daarvan werd een potentieel grondwaterstandsverloop op dagbasis gegenereerd voor:

- L/A/E/Uc-bodems: meetpunt 3-0075 (Lca, grasland, Oostvleteren)
- Z/S/Pc-bodems: meetpunt 4-0009
- Polderbodems equivalent aan L/A/E/Ud-bodems onder weiland: meetpunt 3-0078 (E1, grasland, Keiem)
- Polderbodems equivalent aan L/A/E/Ud-bodems onder akkerland: meetpunt 4-0029 (Edp, akker, Assenede)

Onderstaande tabel geeft een overzicht van welk grondwaterstandsverloop als representatief kan beschouwd worden voor welke veel voorkomende combinatie ‘bodem-gewas-klimaatzone’ in Vlaanderen. De gebruikte grondwaterstandsmetreeksen voor de klimaatzones Ukkel en Kleine Brogel zijn dezelfde; het gesimuleerde grondwaterstandsverloop werd wel gegenereerd met de weersgegevens van de verschillende weerstations, zodat het grondwaterstandsverloop in beide klimaatzones licht verschillend is (30075u = versie klimaatzone Ukkel, 30075kb = versie klimaatzone Kleine Brogel). De grondwaterstandsverlopen voor de polderbodems (3-0078 en 4-0029) werden gegenereerd met de neerslag- en ET₀-gegevens van het weerstation Koksijde. De grondwaterstandsverlopen die als input voor WAVE gebruikt worden, zijn dus telkens

gegenereerd met de neerslag- en ET_0 -gegevens van het desbetreffende weerstation (station Kleine Brogel voor de Kempen, station Koksijde voor de zeepolders en de duinen, station Ukkel voor de andere landbouwstreken).

Tabel 1.26: Overzicht van welk grondwaterstandsverloop als representatief beschouwd kan worden voor welke veel voorkomende combinatie ‘bodem-gewas-klimaatzone’

	polders en duinen		Zandstreek, zandleemstreek, leemstreek, kempen, weidestreek									
			L/A/E/U					Z/S/P				
	d gras	d akker	a	b	c	d	e-h	a	b	c	d	e-h
vrije drainage			x	x				x	x			
AMINAL 3-0075					x							
AMINAL 4-0009										x		
AMINAL 1-0262						x						
AMINAL 7-0355											x	
proefveld 5							x					x
AMINAL 3-0078	x											
AMINAL 4-0029		x										

Bij het gebruik van de met het ARX-model gegenereerde grondwaterstandsverlopen in WAVE, is gebleken dat het stikstofbalansmodel onrealistische N-fluxen genereert wanneer het grondwater zeer ondiep komt (< 10 cm onder het maaiveld). Dit was het geval bij de grondwaterstandsverlopen op basis van meetpunten AMINAL 1-0262 en proefveld 5. Om dit euvel te verhelpen, werd voor deze 2 grondwaterstandsreeksen de drainageweerstand (factor b_0 in het ARX-model, zie Tabel 1.27) een beetje verlaagd, zodat bij hoge neerslagoverschotten de grondwatertafel minder sterk stijgt. Dit levert minder sterk fluctuerende grondwaterstandsreeksen op, die wel bruikbaar zijn voor gebruik in WAVE.

Onderstaande Tabel 1.27 geeft de door het KALMAX-programma geschatte parameters van het ARX-model (zie §1.6.3) voor de verschillende grondwaterstandsreeksen die in het kader van het N-(eco)²-project als relevant worden beschouwd voor een bepaalde (veel voorkomende) combinatie ‘bodem-landgebruik-klimaat’ in Vlaanderen.

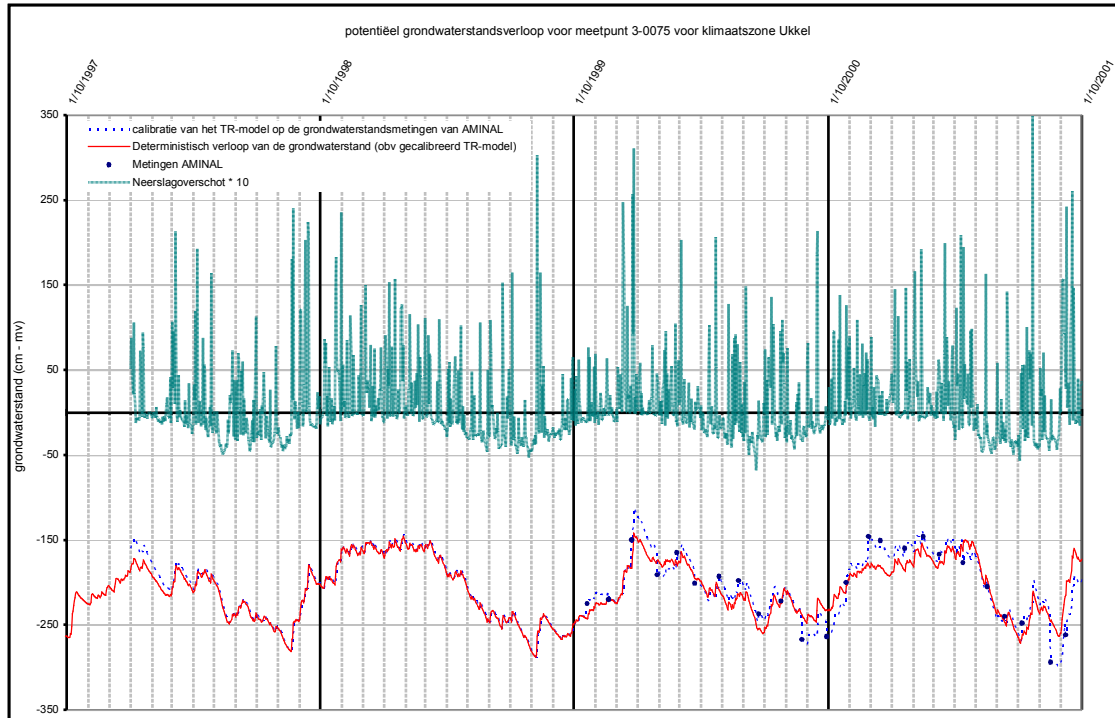
Tabel 1.27: Geschatte parameters van het ARX-model verkregen door kalibratie van het TR-model op grondwaterstandsreeksen van AMINAL en proefvelden van N-(eco)²

Grondwaterstandsreeks	a_1	b_0	μ	σ_ε
AMINAL 3-0075u	0.974199	6.997022	-230.896000	27.770570
AMINAL 3-0075kb	0.979110	7.013433	-234.995100	21.007660
AMINAL 4-0009u	0.973891	7.062073	-159.873400	11.334620
AMINAL 4-0009kb	0.972478	6.174181	-160.695400	15.015930
AMINAL 1-0262u	0.975753	5.814950 (ipv 7.8*)	-109.920700	19.533950
AMINAL 1-0262kb	0.973340	5.130823 (ipv 7.1*)	-105.173900	33.609940
AMINAL 7-0355u	0.988252	4.855408	-158.694200	5.644559
AMINAL 7-0355kb	0.991030	2.876004	-155.177200	6.083005
proefveld5u	0.954195	4.452266 (ipv 5.4*)	-63.663460	23.831380
proefveld5kb	0.958102	3.866759 (ipv 4.7*)	-64.358410	22.721090
AMINAL 3-0078	0.983783	6.933885	-178.610200	26.009760
AMINAL 4-0029	0.981302	6.488541	-175.249000	11.206710

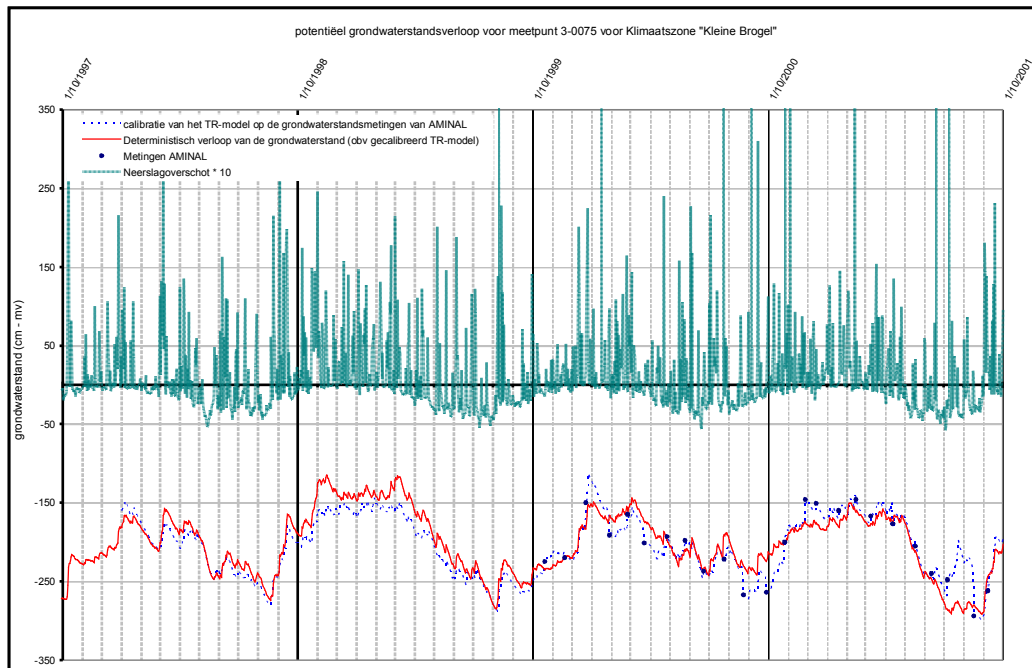
* b_0 -waarde die berekend werd met het KALMAX-programma. Voor de realisatie van een potentieel grondwaterstandsverloop dat bruikbaar is in het stikstofbalansmodel WAVE, werd deze waarde verlaagd (~ verlaging van de drainageweerstand), zodat de grondwaterstand minder fluctueert en minder hoog komt.

Onderstaande figuren (Figuur 1.16 t.e.m. Figuur 1.27) geven voor elke grondwaterstandsreeks:

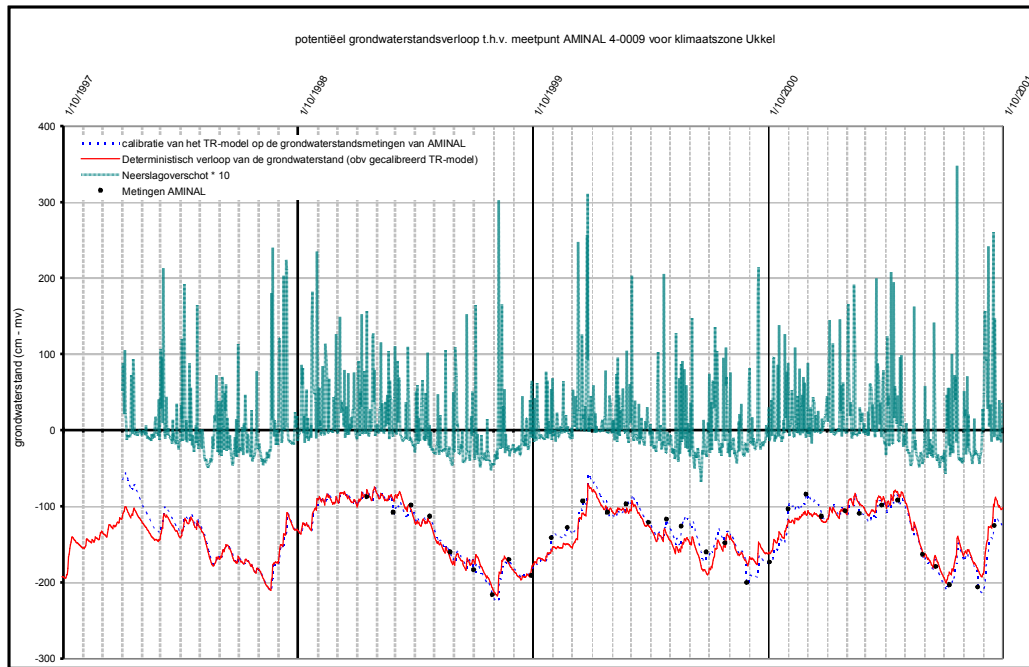
- de grondwaterstandsmetingen op basis waarvan het ARX-model gekalibreerd werd (AMINAL-metingen + metingen op proefvelden N-(eco)²),
- het gekalibreerd grondwaterstandsverloop (o.b.v. Kalmanfilter algoritme en reële grondwaterstandsmetingen),
- het gesimuleerd grondwaterstandsverloop (o.b.v. het gekalibreerd ARX-model),
- het neerslagoverschot (in mm*10).



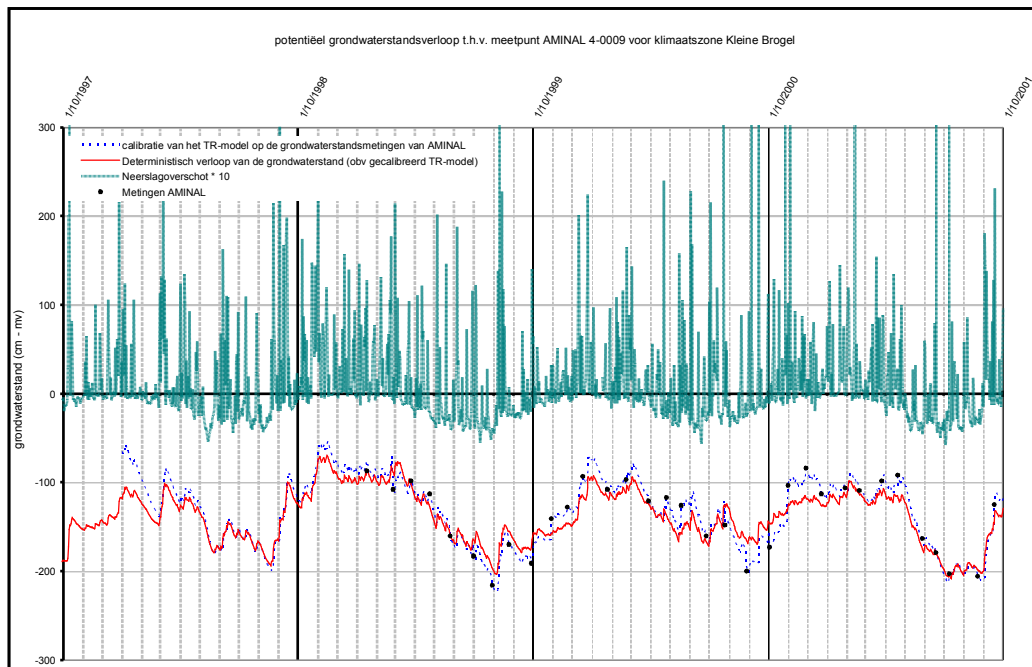
Figuur 1.16: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop voor L/A/E/U-bodems met drainageklasse c in de zandstreek, zandleemstreek, leemstreek of weidestreek (AMINAL 3-0075u)



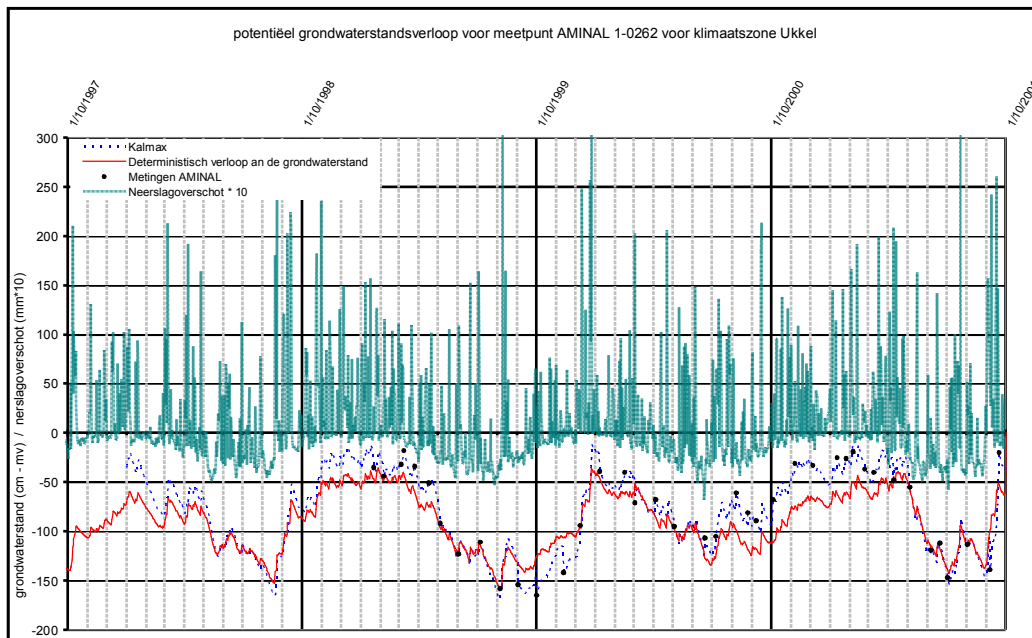
Figuur 1.17: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor L/A/E/U-bodems met drainageklasse c in de kempen (AMINAL 3-0075kb)



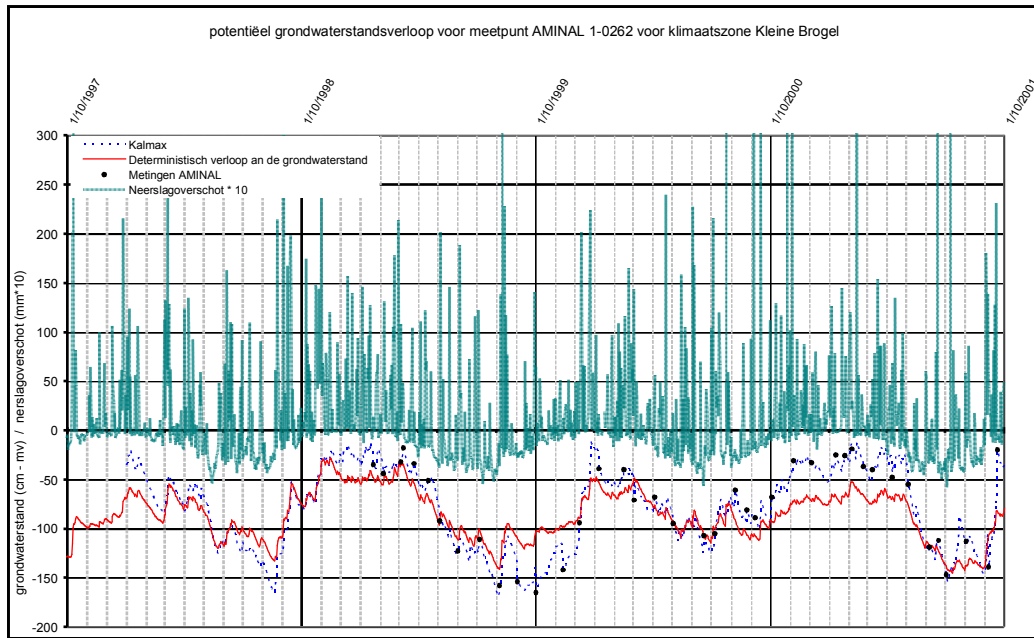
Figuur 1.18: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop voor Z/S/P-bodems met drainageklasse c in de zandstreek, zandleemstreek, leemstreek of weidestreek (AMINAL 4-0009u)



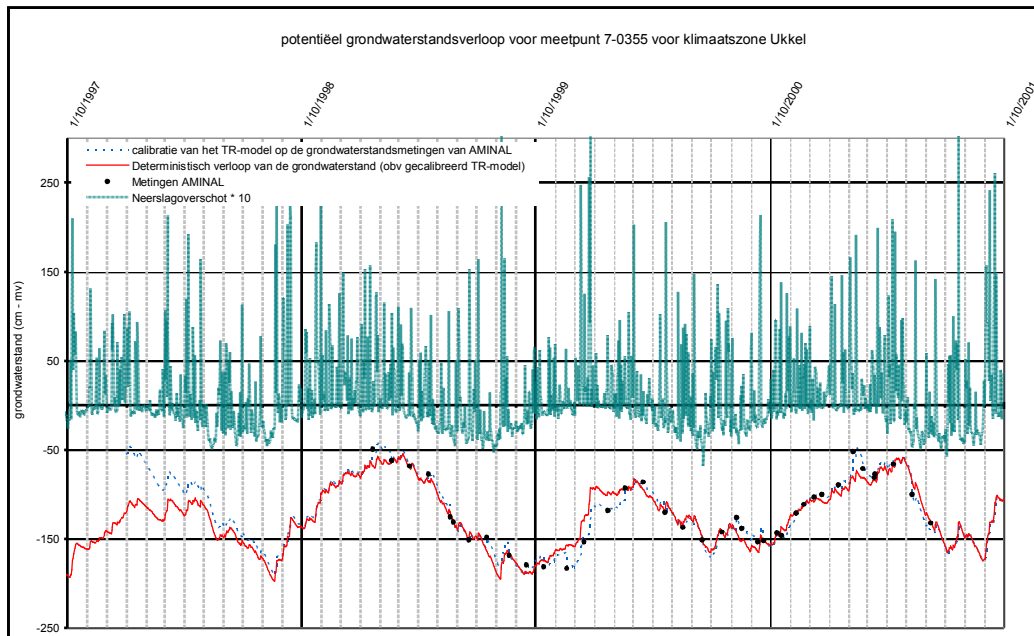
Figuur 1.19: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + N-(eco)²), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor Z/S/P-bodems met drainageklasse c in de kempen (AMINAL 4-0009kb)



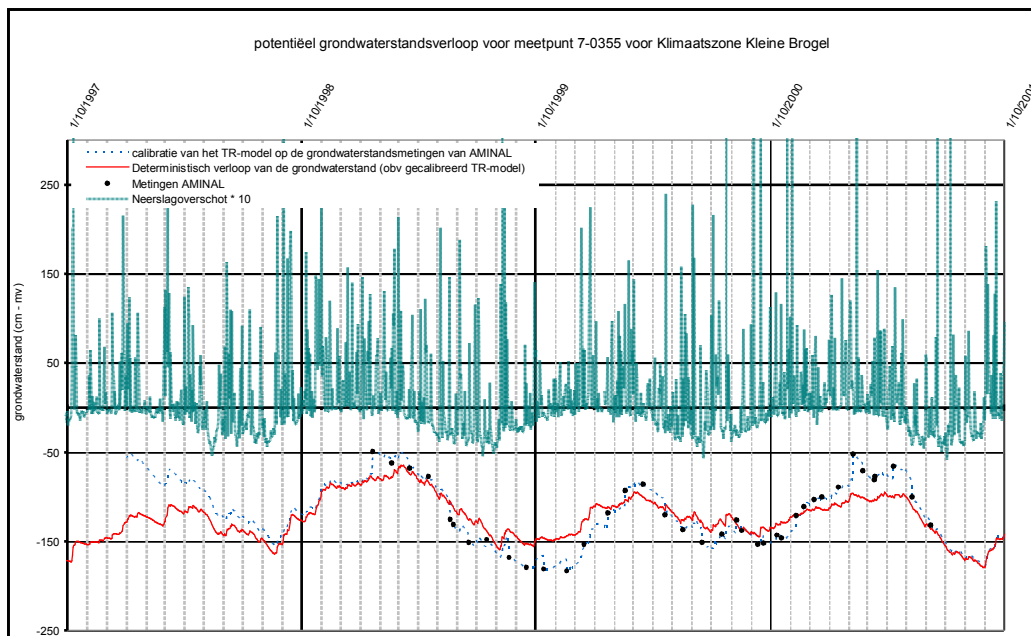
Figuur 1.20: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + N-(eco)²), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor L/A/E/U-bodems met drainageklasse d in de zandstreek, zandleemstreek, leemstreek of weidestreek (AMINAL 1-0262u)



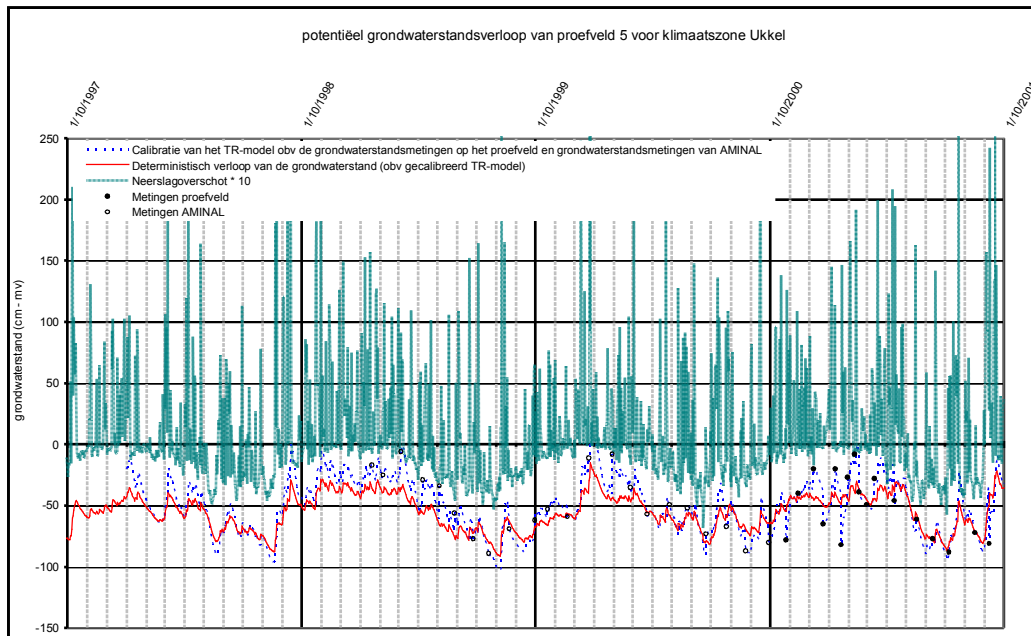
Figuur 1.21: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + N-(eco)²), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor L/A/E/U-bodems met drainageklasse d in de kempen (AMINAL 1-0262kb)



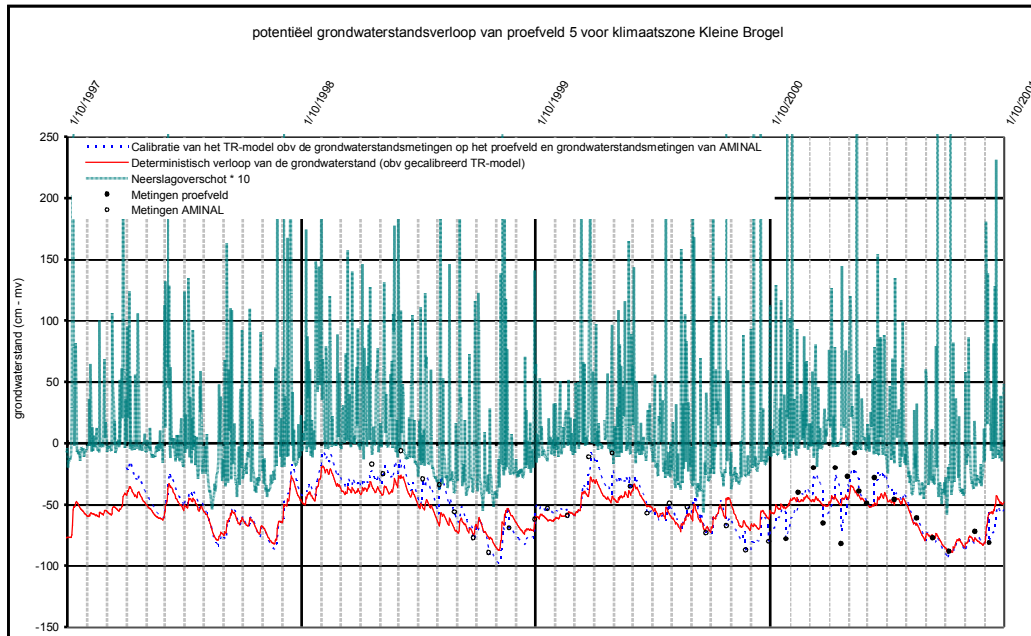
Figuur 1.22: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor Z/S/P-bodems met drainageklasse d in de zandstreek, zandleemstreek, leemstreek of weidestreek (AMINAL 7-0355u)



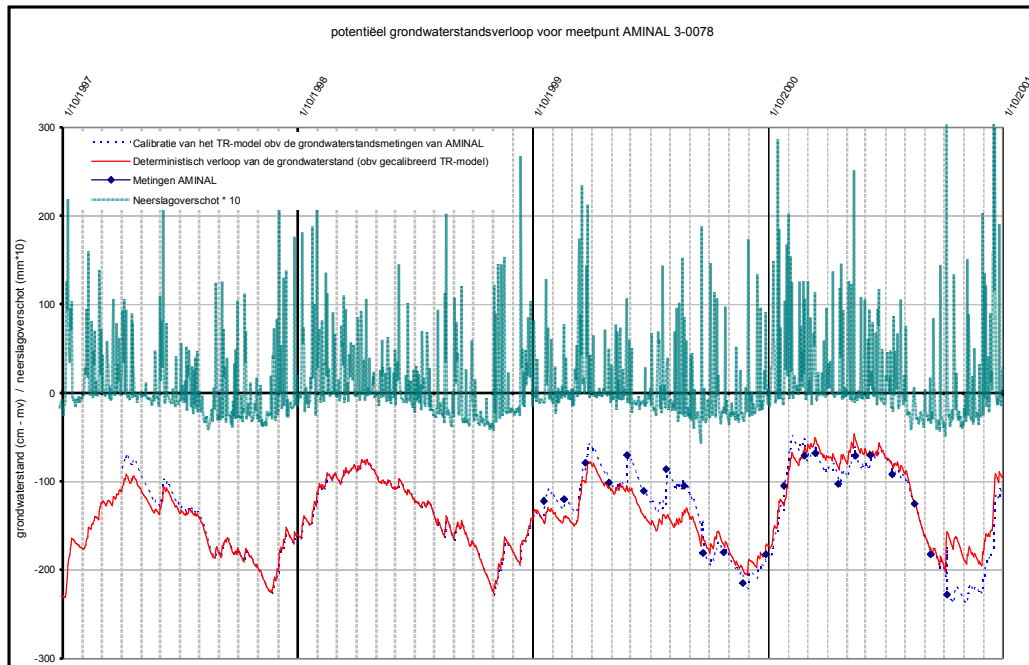
Figuur 1.23: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor Z/S/P-bodems met drainageklasse d in de kempen (AMINAL 7-0355kb)



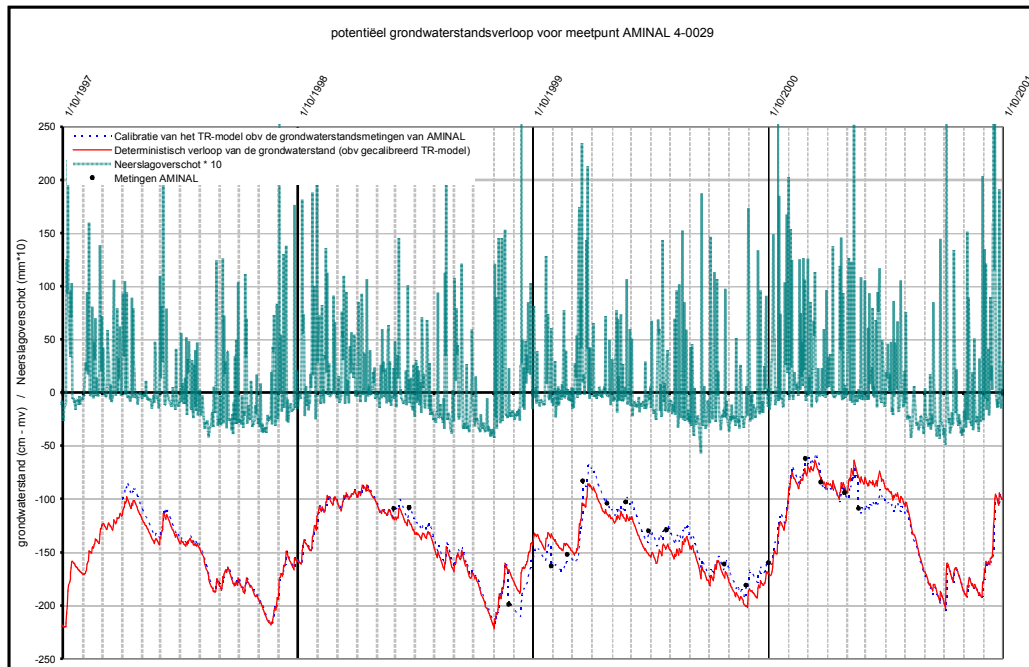
Figuur 1.24: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor L/A/E/U/Z/S/P-bodems met drainageklassen e, f, g en h in de zandstreek, zandleemstreek, leemstreek of weidestreek (proefveld 5u)



Figuur 1.25: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001 voor L/A/E/U/Z/S/P-bodems met drainageklassen e, f, g en h in de kempen (proefveld 5kb)

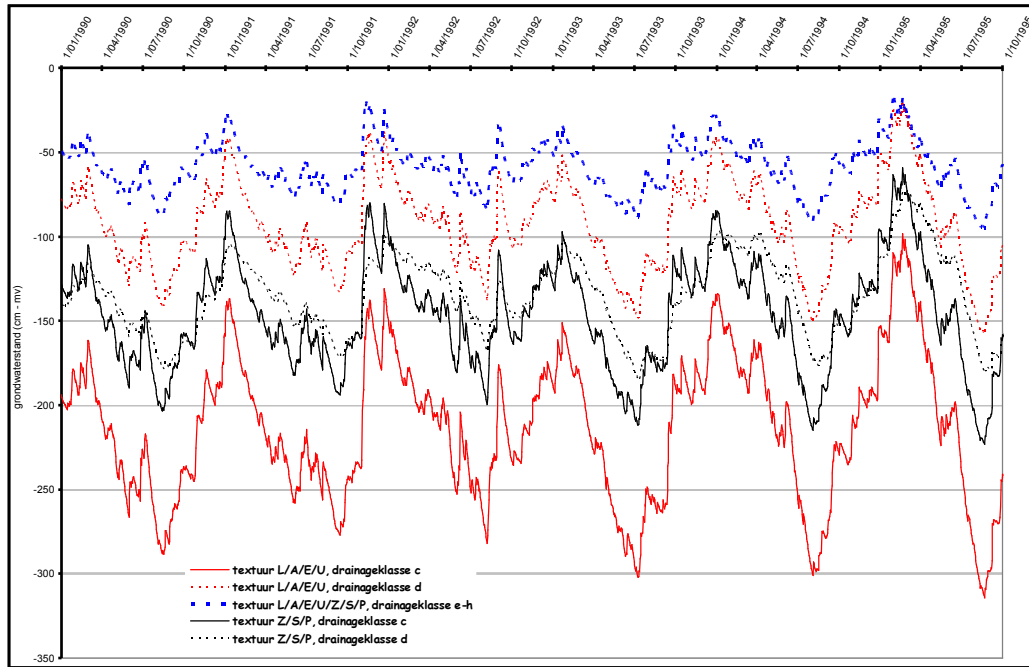


Figuur 1.26: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor kleirijke polderbodems met drainageklassen d onder grasland (AMINAL 3-0078)

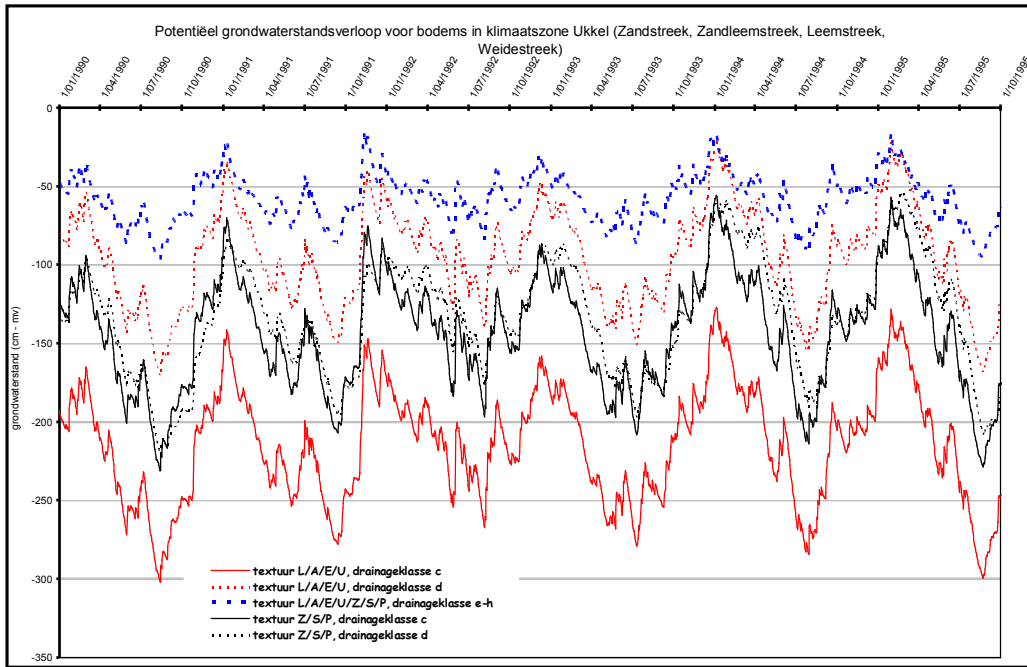


Figuur 1.27: Neerslagoverschot, grondwaterstandsmetingen (AMINAL + $N-(eco)^2$), gekalibreerd grondwaterstandsverloop en gesimuleerd grondwaterstandsverloop (1/10/1997-1/10/2001) voor kleirijke polderbodems met drainageklasse d onder akkerland (AMINAL 4-0029)

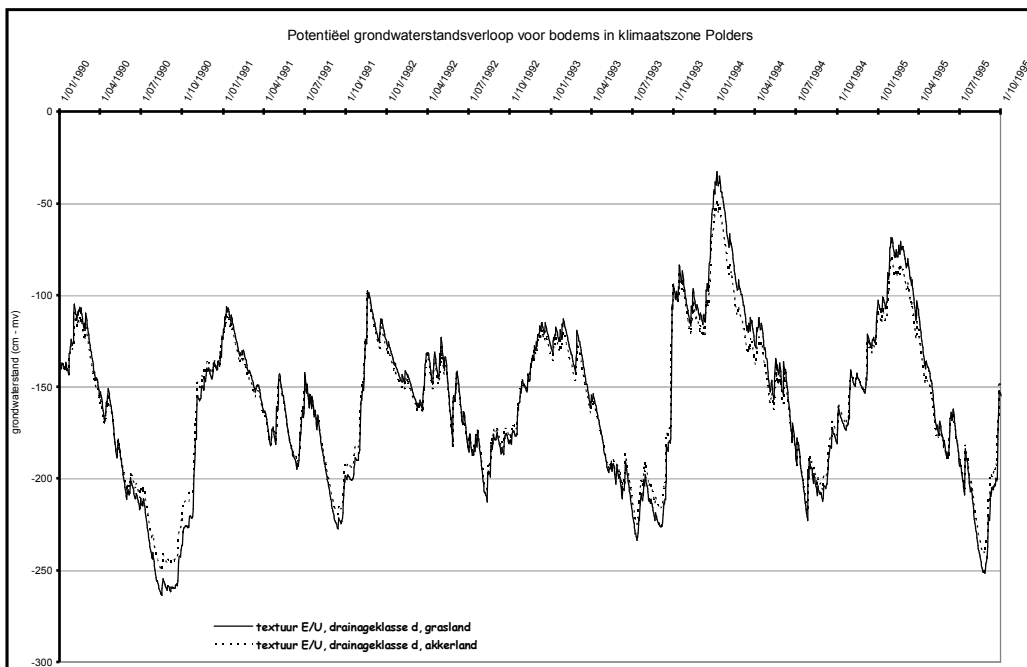
Onderstaande figuren geven per klimaatszone een overzicht van de gesimuleerde grondwaterstandsverlopen voor de verschillende texturen en drainageklassen.



Figuur 1.28: Gesimuleerde grondwaterstandsverlopen voor bodems in de Kempen



Figuur 1.29: Gesimuleerde grondwaterstandsverlopen voor bodems in de Zandstreek, de Zandleemstreek, de Leemstreek en de Weidestreek



Figuur 1.30: Gesimuleerde grondwaterstandsverlopen voor bodems in de Polders

1.7 Besluit

In deze deeltaak werden simulatieëenheden gedefinieerd als ‘bodempkernserie / gewas(rotatie) / klimaat’ combinaties. Die simulatieëenheden werden gekarakteriseerd met (1) bodemeigenschappen die relevant zijn voor de simulatie van water- en stikstoftransport en –transformatie in de bodem, (2) een grondwaterstandsverloop en (3) klimaatsgegevens (neerslag en ET_0).

Alle informatie voor de afbakening en karakterisatie van de simulatieëenheden is opgenomen in het “N-(eco)²-GIS”. Dat bestaat uit

- een *geografisch bodeminformatiesysteem*, het “Aardewerk-gBIS”, dat toelaat:
 - bodemkaarten te selecteren op de digitale bodemkaart;
 - de geselecteerde bodemkaarten te beschrijven met de meest waarschijnlijke horizontopvolging (sequentie);
 - de kenmerken van de horizonten in de geselecteerde sequentie op te vragen (horizontcode, diepteligging, dikte, textuurkenmerken, koolstofgehalte, parameters van de pF-curve en van de K(h)-curve);
 - de kenmerken van de horizonten weg te schrijven in een DBF of ASCII-bestand dat als invoer kan dienen voor batchverwerking met bv. WAVE.

· *teeltinformatie*: geregistreerde landbouwgebruikspercelen 1997, 1998, 1999 en 2000.

· *klimaatsgegevens*: neerslag en ET_0 voor de weerstations Ukkel, Kleine Brogel en Koksijde.

· *grondwaterstandsreeksen*:

De grondwaterstandsreeksen zijn gegenereerd door gebruik te maken van een tijdreeksmodel (ARX-model van Bierkens *et al.*, 1998, 1999). Op basis van beschikbare grondwaterstandsmetingen en gegevens over het dagelijks neerslagoverschot kan een grondwaterstandsverloop op dagbasis gegenereerd worden voor een periode van 30 jaar. Er zijn echter onvoldoende grondwaterstandsreeksen beschikbaar om voor elke ‘bodempkern-gewas’ combinatie in Vlaanderen een potentiële grondwaterstandsverloop te genereren. De grondwaterstandsgegevens zijn dus niet gebiedsdekkend. Er is wel een grondwaterstandsverloop beschikbaar voor de 20 meest voorkomende ‘bodempkern-gewas’ combinaties van elke landbouwstreek.

· *procedures*:

Het N-(eco)²-GIS bevat ook een aantal procedures (scripts in Avenue en AML, Excel-sheets) die een de data-analyse automatiseren en vereenvoudigen.

Het N-(eco)²-GIS is gebruikt om:

1. een gebiedsdekkende oppervlakteanalyse te maken van ‘bodempkern-gewas(rotatie)’ combinaties in Vlaanderen.
Voor de 20 meest voorkomende ‘bodempkern-gewas’ combinaties per landbouwstreek wordt met het stikstofbalansmodel WAVE de relatie tussen NO_3 -N-residu en N-gehalte in het percolatiewater (op 90 cm diepte) bepaald (deel 4 van het eindrapport). Voor elke veel voorkomende ‘bodempkern-gewas’ combinatie wordt het maximaal toelaatbaar N-residu berekend opdat de maximaal toegelaten NO_3 -N-concentratie in het percolatiewater ($11.3 \text{ mg } NO_3\text{-N l}^{-1}$) niet zou overschreden worden. De identificatie van de meest voorkomende ‘bodempkern-gewas’

combinaties in Vlaanderen werd ook gebruikt bij het selecteren van 20 nieuwe proefvelden die gebruikt werden voor kalibratie en validatie van het WAVE-model.

2. de relatie tussen 'bodem-gewas-klimaat-perceelsmanagement' combinaties en $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu te bepalen voor alle percelen in zes kleine hydrografische bekkens. Via het N-(eco)²-GIS kunnen voor de geselecteerde kaartenheden volgende gegevens geleverd worden: teeltrotatie in de periode 1997-2000, het meest relevante klimaatstation met neerslag en ET_0 -gegevens, bodemkenmerken uit het Aardewerk-gBIS, een potentieel grondwaterstandsverloop (deel 4 van het eindrapport).
3. de resultaten van de modelberekeningen ruimtelijk voor te stellen en te analyseren (welk N-residu is waar toegelaten?, waar wordt de norm overschreden?, over welke oppervlakte gaat het?, ...) (deel 4 van het eindrapport).

2 Mineralisatie

2.1 Inleiding

Opdat de modellen betrouwbare resultaten inzake nitraatuitspoeling zouden opleveren, is het zeer belangrijk dat de stikstoftransformatieprocessen in de bodem voldoende nauwkeurig beschreven worden door de modellen.

Om een juiste inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid nitraat die uitspoelt, dient immers rekening gehouden te worden met een vrijzetting van stikstof door mineralisatie. Door dit proces wordt organische stikstof door microbiële activiteit omgezet tot minerale stikstof.

In een eerste fase van dit project werd een kritische analyse van de beschikbare literatuurgegevens uitgevoerd om de bestaande kennis omtrent mineralisatie te inventariseren. Een overzicht van deze literatuurstudie is terug te vinden in deel 1 van het eindrapport.

Naast dit literatuuronderzoek werd een incubatieproef opgezet met als doel de N-mineralisatiesnelheid uit bodem-organische stof en de potentiële mineralisatiecapaciteit te bepalen van de verschillende bodemhorizonten van de 20 geselecteerde proefvelden.

Aan de hand van de resultaten van deze incubatieproef werd de afbraakconstante van de humus pool in WAVE berekend. Daarnaast werd een pedotransferfunctie afgeleid om aan de hand van eenvoudig te bepalen bodemparameters de N-mineralisatiesnelheid en –capaciteit te schatten.

Naast de mineralisatie van stikstof uit bodem-organische stof, komt er ook een belangrijke hoeveelheid minerale stikstof vrij uit recent ingebracht organisch materiaal. De vrijzetting van stikstof uit oogstresten en organische meststoffen wordt in dit hoofdstuk behandeld.

2.2 Experimentele bepaling van de mineralisatiecapaciteit

2.2.1 Materiaal en methoden

Er werden 20 proefvelden, representatief voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen, geselecteerd. Op elk van deze velden werd per horizont een bodemstaal genomen dat nadien gedroogd en gezeefd werd. Voor een uitgebreide karakterisatie van de onderzochte bodems, wordt verwezen naar Hoofdstuk 4.

Van alle horizonten werden 7 substalen afzonderlijk geïncubeerd. Hiertoe werd 500 g grond afgewogen en water toegediend om 60 % WFPS¹ te bereiken op veldichtheid. Vervolgens werd telkens 100 g grond (droog gewicht) gecompacteerd tot veldichtheid. De substalen werden bovenaan afgesloten met een geperforeerde Parafilm en verzameld in plastic bakken waarin zich een laag water bevond, dit om uitdroging van de bodem tegen te gaan. Na een week pre-incubatie op 25°C in het donker werd onder dezelfde omstandigheden gestart met het incubatie-experiment. Het NH₄-N- en NO₃-N-gehalte in de bodemstalen werd tot 36 weken opgevolgd.

Bij het begin van de pre-incubatie werd een eerste analyse van de minerale stikstof in de bodem gemaakt: 20 g grond werd geëxtraheerd met 100 ml 1N KCl (2 uur end-over-end schudden); de

¹ Water Filled Pore Space. Wanneer de bodemstalen gecompacteerd zijn tot de densiteit die ze op het veld hadden, wordt 60% van het porievolume ingenomen door water.

bovenstaande vloeistof werd gecentrifugeerd, waarna de $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ in het extract colorimetrisch bepaald werden (autoanalyser Skalar). Op dezelfde wijze is de minerale stikstof in de bodemstalen gemeten na 0, 6, 9, 12, 24 en 36 weken voor de A-horizonten en na 0, 4, 8, 12, 20 en 32 weken voor de B- en C-horizonten. De resultaten zijn grafisch weergegeven i.f.v. de tijd, waaruit door regressieanalyse de mineralisatiesnelheid en –capaciteit van de bodems werd berekend.

2.2.2 Effect van monstervoorbehandeling op de mineralisatie

Voor de incubatieproef werden de bodems, afkomstig van de 20 proefvelden, gedroogd op 45°C en gezeefd op 2 mm zodanig dat de oorspronkelijke bodemstructuur verstoord werd. De vertaling van de labo-resultaten naar veldomstandigheden kan bijgevolg een probleem vormen op de meer gestructureerde leem- en kleibodems, voor zandgronden stelt dit probleem zich in mindere mate. De mineralisatiesnelheid die in het labo bepaald wordt, zou een overschatting kunnen zijn van de reële mineralisatie op het veld. Er werd daarom onderzocht of een reductiefactor zou moeten ingebouwd worden voor de resultaten van de incubatieproef voor de zwaardere gronden. Om deze vraag te beantwoorden werd een literatuurstudie uitgevoerd waarin het effect van drogen en zeven op de mineralisatie werd nagegaan.

De incubatie van verstoorde monsters leidt tot een verschillend mineralisatiepatroon vergeleken met ongestoorde bodemstalen. Drogen en opnieuw bevochtigen van de bodem geeft aanleiding tot een flush in de microbiële activiteit, terwijl het zeven bodemaggregaten vernietigt, de fysische protectie van de organische stof vermindert en zo de netto-mineralisatie doet toenemen. Dit heeft tot gevolg dat de lineaire mineralisatiekinetiek in ongestoorde bodemmonsters wijzigt in een 1^o orde kinetiek bij de incubatie van verstoorde bodemstalen (Nordmeyer en Richter, 1985; Cabrera en Kissel, 1988). Hierdoor kan ook de potentiële mineralisatie voor veldomstandigheden overschat worden, uitgaande van een incubatie-experiment met verstoorde bodemmonsters. Stenger *et al.* (1995) bekwamen gemiddelde mineralisatiesnelheden voor verstoorde monsters die ongeveer het dubbele bedroegen dan voor ongestoorde stalen. In deze studies werden de incubaties wel opgezet volgens de Stanford en Smith methode (1972), waarbij het bodemstaal gemengd werd met kwartzand (1:1). Dit geeft een extra verstoring van de fysische eigenschappen van de bodem, hetgeen niet is gebeurd in de incubaties uitgevoerd in het kader van deze studie.

Het effect van drogen en zeven op de mineralisatie is reeds herhaalde malen beschreven en telkens werd geconcludeerd dat dit effect slechts het begin van de incubatie beïnvloedt. Nordmeyer en Richter (1985) vonden een mineralisatieflush gedurende de eerste 20 dagen van de incubatie, waarna een lineair verloop werd bekomen zoals bij de ongestoorde stalen. Hassink (1992) stelt dat een stijging in de mineralisatiesnelheid na zeven of drogen en herbevochtigen enkel voor een korte periode aanhoudt. Het effect van verstoring verdween na 1 tot 2 weken incubatie en was duidelijk groter voor leem- en kleibodems dan voor zandgronden. Bij Cabrera en Kissel (1988) verdween het effect van de monster-voorbehandeling binnen de eerste 28 dagen van de incubatie. In een studie van Franzluebbbers (1999) was het effect van drogen op de mineralisatie enkel significant gedurende de eerste 3 dagen van de incubatie: drogen veroorzaakt een flush in de C- en N-mineralisatie waarbij dit effect reeds na 3 dagen afzwakt; 90 % van de flush in de C-mineralisatie veroorzaakt door drogen treedt op binnen de eerste 10 dagen van de incubatie. De mineralisatie van organische stof vrijgekomen door de vernietiging van aggregaten (door bv. zeven) gebeurt eveneens gedurende deze eerste 10 dagen. Franzluebbbers (1999) kwam tot het besluit dat de basale bodemrespiratie voor gedroogde en gezeefde bodems geschat kan worden na een 10-daagse pre-incubatieperiode.

Stenger *et al.* (1995) hebben getracht mineralisatiesnelheden voor ongestoorde bodems af te leiden uit de meer praktische incubatie van verstoorde monsters. Hun regressieanalyse resulteerde in lineaire modellen voor de berekening van de gemiddelde mineralisatiesnelheid van ongestoorde monsters uit de gemiddelde snelheden bekomen uit de incubatie van verstoorde bodemstalen. De grote ruimtelijke variatie in het veld limiteert echter het gebruik van deze vergelijkingen. Daarenboven kenden de verstoorde en ongestoorde monsters een verschillende voorbehandeling, wat een invloed heeft op de dynamiek van de microbiële biomassa en zo ook op hun activiteit.

Samengevat kan er gesteld worden dat drogen en zeven een invloed heeft op de C- en N-mineralisatie in de bodem en dat dit het sterkst tot uiting komt in de leem- en kleibodems. Dit effect is echter van korte duur. De invoering van een reductiefactor om de mineralisatiesnelheid om te zetten naar veldomstandigheden heeft bovendien zijn beperkingen en mag enkel gedaan worden uitgaande van een brede range ongestoorde monsters. Daarom werd geopteerd om de mineralisatiesnelheid van de bodemorganische stof te berekenen uit de resultaten van de incubatieproef, waarbij de regressie start vanaf week 6.

2.2.3 Resultaten en bespreking

In de vorige paragraaf werd aangetoond dat de voorbehandeling van de bodemstalen - drogen en zeven - een invloed heeft op de C- en N- mineralisatie in de bodem. Er werd daarom voorgesteld de mineralisatiesnelheid van de bodemorganische stof te berekenen met een regressie vanaf week 6 van de incubatie, wanneer de mineralisatie is teruggevallen op een basaal niveau en de invloed van het drogen en zeven op de mineralisatie te verwaarlozen is.

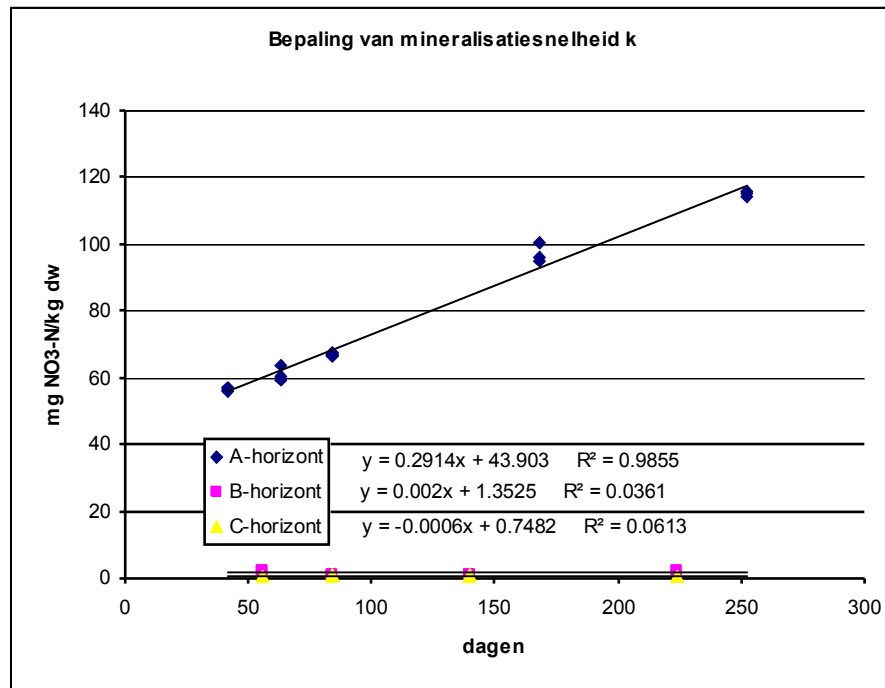
Voor alle geselecteerde proefvelden is per horizont de mineralisatiesnelheid k berekend uitgaande van een lineaire regressie ($N_t = N_i + k \cdot t$) tussen week 6 en 36 voor de A-horizont en tussen week 8 en 32 voor de diepere bodemlagen. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 2.1. In Bijlage 3 zijn de meetresultaten van de 20 proefvelden weergegeven.

De bekomen 0-de orde snelheidsconstante k wordt uitgedrukt in mg N gemineraliseerd per kg droge grond per dag (Tabel 2.1). De $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalten liggen na 6 weken incubatie beneden de detectielimiet ($< 1 \text{ mg NH}_4\text{-N kg}^{-1} \text{ dg}^2$), zodat de berekening van k enkel gebaseerd is op een verandering in $\text{NO}_3\text{-N}$.

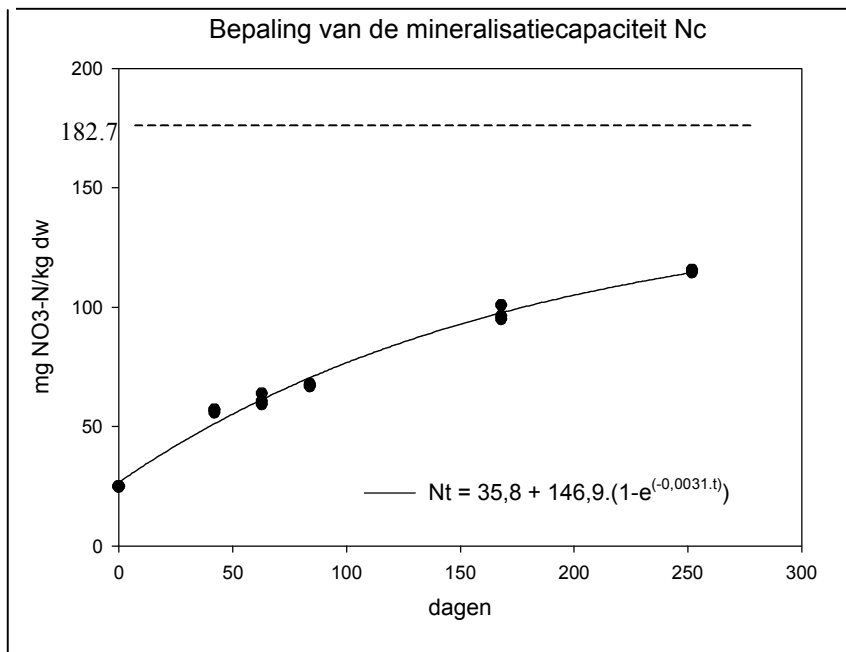
De mineralisatiecapaciteit N_c van de bodem is bepaald door de asymptoot aan de exponentiële curve $N_t = N_i + N_o \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$, gefit door de resultaten tussen week 0 en 36 van de A-horizonten (Figuur 2.2) en wordt gegeven door $N_i + N_o$ (Tabel 2.2). De verkregen 1-ste orde snelheidsconstante k is sterk afhankelijk van de hoeveelheid minerale stikstof op tijdstip 0, hetgeen beïnvloed werd door de voorbehandeling van de stalen. Bij de verdere bespreking zal dan ook enkel de 0-de orde mineralisatiesnelheid in acht worden genomen. De velden Sint-Laureins (gras) en Lichtaart kenden na 36 weken incubatie nog steeds een lineaire toename in $\text{NO}_3\text{-N}$, zodat voor deze velden geen 1-ste orde kinetiek kon worden afgeleid.

Voor de omzetting van de nulde orde mineralisatiesnelheid k , bepaald d.m.v. de incubatieproef, naar k_{hum} , de afbraaksnelheid van de humus pool in de simulatiemodellen, wordt verwezen naar § 2.3.2.

² dg = droog gewicht



Figuur 2.1: Voorbeeld van een lineaire regressie door de resultaten van de incubatie tussen week 6 en 36 voor de A-horizont; tussen week 8 en 32 voor de B- en C-horizont (veld Oost-Malle). De mineralisatiesnelheid k wordt gegeven door de helling van de regressielijn.



Figuur 2.2: Voorbeeld van een exponentiële regressie door de resultaten van de incubatie tussen week 0 en 36 (veld Oost-Malle). De mineralisatiecapaciteit N_c wordt gegeven door $N_i + N_o$ in de vergelijking $N_t = N_i + N_o \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$.

Tabel 2.1: De 0-de orde mineralisatiesnelheid k voor de 20 proefvelden, gegroepeerd per textuurklasse; k_1 geeft de mineralisatiesnelheid in de A-horizont, k_2 , k_3 en k_4 staan voor de mineralisatiesnelheid in de diepere bodemlagen

Veld	Locatie - textuur (voortelt)	k_1	k_2	k_3	k_4
			(mg N kg ⁻¹ dg dag ⁻¹)		
1	Oostende - klei (gras)	0.9662	-	-	-
4	Knokke-Heist – klei (aardappelen)	0.6743	-	-	-
2	Assenede - klei (tarwe)	0.2244	0.0060	0.0090	-
3	Sint-Laureins – klei (suikerbiet)	0.1642	-	0.0112	-
260	Tongeren - leem (groenbemester)	0.2611	-	-	-
258	Kumtich - leem (aardappel-wintertarwe)	0.2412	-	-	-
259	Tongeren - leem (wintertarwe)	0.2142	-	-	-
266	Leefdaal - leem (groenbemester)	0.1767	-	-	-
265	Tielt-Winge – zandleem (gras)	0.4321	0.0295	-	-
7	Elverdinge – zandleem (prei)	0.3071	-	-	-
8	Elverdinge – zandleem (bloemkool)	0.2615	-	-	-
262	Ottenburg – zandleem (maïs)	0.1889	0.0038	0.0047	0.0039
263	Geetbets – zandleem (tarwe)	0.1886	-	-	-
264	Bekkevoort – zandleem (tarwe-gras)	0.1064	-	-	-
6	Sint-Laureins – zand (gras)	0.5529	-	-	-
5	Assenede - zand (maïs)	0.4744	0.0934	-	-
261	Lichtaart - zand (gras)	0.4475	-	-	-
255	Kasterlee - zand (maïs)	0.3701	-	-	-
257	Oost-Malle – zand (gras)	0.2914	-	-	-
256	Kasterlee - zand (aardappelen)	0.2095	-	-	-

Tabel 2.1 toont aan dat de N-mineralisatie hoofdzakelijk gebeurt in de A-horizont van de bodem. Er zijn slechts 5 velden waar een significante netto-mineralisatie plaatsvindt in de diepere bodemlagen ($\alpha = 0,05$). Dit resulteert bij Assenede (tarwe), Sint-Laureins, Ottenburg en Tielt-Winge in een extra mineralisatie van 7 %. Assenede (maïs) geeft in de B-horizont tot 20 % extra mineralisatie, hetgeen te verklaren is door het relatief hoge C- en N-gehalte in deze laag: deze B-horizont bevat 1,69 % C en 0,10 % N, terwijl de gemiddelde waarden van de diepere horizonten resp. 0,38 % en 0,04 % bedragen.

In Tabel 2.3 worden de 0-de orde mineralisatiesnelheid k , de mineralisatiecapaciteit N_c , de hoeveelheid C en N, de C/N-verhouding en de fractie mineraliseerbare stikstof van de bodems samengevat. Bij de klei-, leem- en zandleembodems nemen globaal gezien zowel k als N_c af met dalend C- en N-gehalte in de bodem. Dit hangt samen met het bemestingsverleden van de velden: gronden met een armere uitgangsgeschiedenis zoals Sint-Laureins (suikerbiet), Leefdaal en Bekkevoort hebben de laagste mineralisatiesnelheid en –capaciteit, de proefvelden met een hoog organisch stofgehalte (Oostende, Knokke-Heist, Tielt-Winge) hebben een hoger mineralisatiepotentieel. Grafisch is dit weergegeven in de Figuren 2.3 en 2.4.

Tabel 2.2: De 1-ste orde mineralisatiesnelheid k en mineralisatiecapaciteit N_c voor de A-horizont van de 20 proefvelden, gegroepeerd per textuurklasse

Veld	Locatie – textuur (teelt 2000)	k (dag ⁻¹)	N_c (mg N kg ⁻¹ dg)
1	Oostende - klei (gras)	0.0038	488.4
4	Knokke-Heist - klei (aardappelen)	0.0038	339.7
2	Assenede - klei (tarwe)	0.0036	132.5
3	Sint-Laureins - klei (suikerbiet)	0.0035	95.1
260	Tongeren – leem (groenbemester)	0.0043	149.0
258	Kumtich – leem (aardappel-wintertarwe)	0.0045	130.3
259	Tongeren – leem (wintertarwe)	0.0048	125.5
266	Leefdaal – leem (groenbemester)	0.0064	93.8
265	Tielt-Winge - zandleem (gras)	0.0049	249.4
7	Elverdinge - zandleem (prei)	0.0045	156.7
8	Elverdinge - zandleem (bloemkool)	0.0031	154.6
262	Ottenburg - zandleem (maïs)	0.0040	122.4
263	Geetbets - zandleem (tarwe)	0.0059	112.4
264	Bekkevoort - zandleem (tarwe-gras)	0.0070	60.6
6	Sint-Laureins - zand (gras)	-	-
5	Assenede - zand (maïs)	0.0013	446.6
261	Lichtaart - zand (gras)	-	-
255	Kasterlee - zand (maïs)	0.0019	299.4
257	Oost-Malle - zand (gras)	0.0031	182.7
256	Kasterlee - zand (aardappelen)	0.0055	114.4

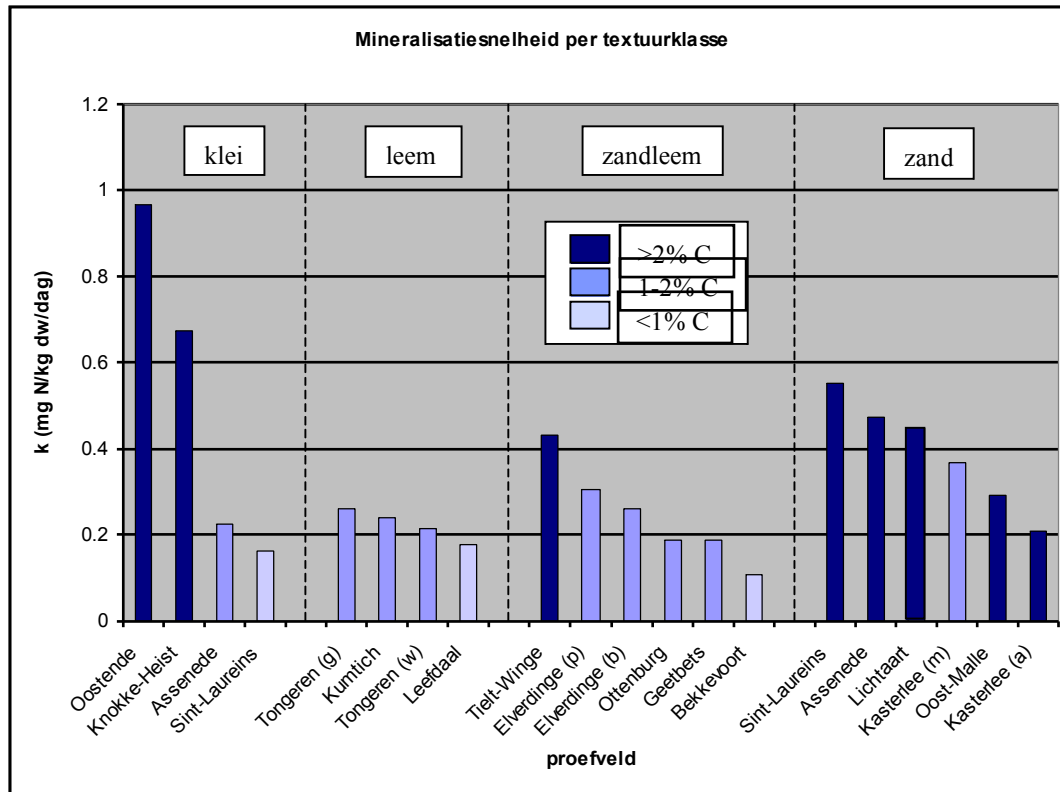
Deze trend is niet terug te vinden in de zandbodems. Oost-Malle en Kasterlee (aardappelen) zijn de velden met de laagste mineralisatiesnelheid en –capaciteit, terwijl ze het op één na hoogste C-gehalte hebben. Het veld te Kasterlee (maïs) was een maaibeide die in het voorjaar van 2000 gescheurd werd. Dit veld heeft vergeleken met de andere textuurklassen in de range 1-2 % C een hoge k : 0,37 mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹ tegenover gemiddeld 0,24 mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹ bij klei, leem en zandleem.

Daarnaast verschilt ook de C/N-verhouding in de zandgronden van de andere texturen. Bij de klei-, leem- en zandleemgronden varieert de C/N tussen 8,1 en 12,4 met een gemiddelde van 10,8. De C/N-verhouding bij de zandgronden ligt hoger en varieert binnen ruimere grenzen: tussen 13.7 en 22.8. Bovendien bedraagt in Assenede en Kasterlee (maïs) de mineraliseerbare stikstoffractie resp. 29 % en 25 % van de totale N-pool, met een gemiddelde waarde van 11 % bij de andere textuurklassen.

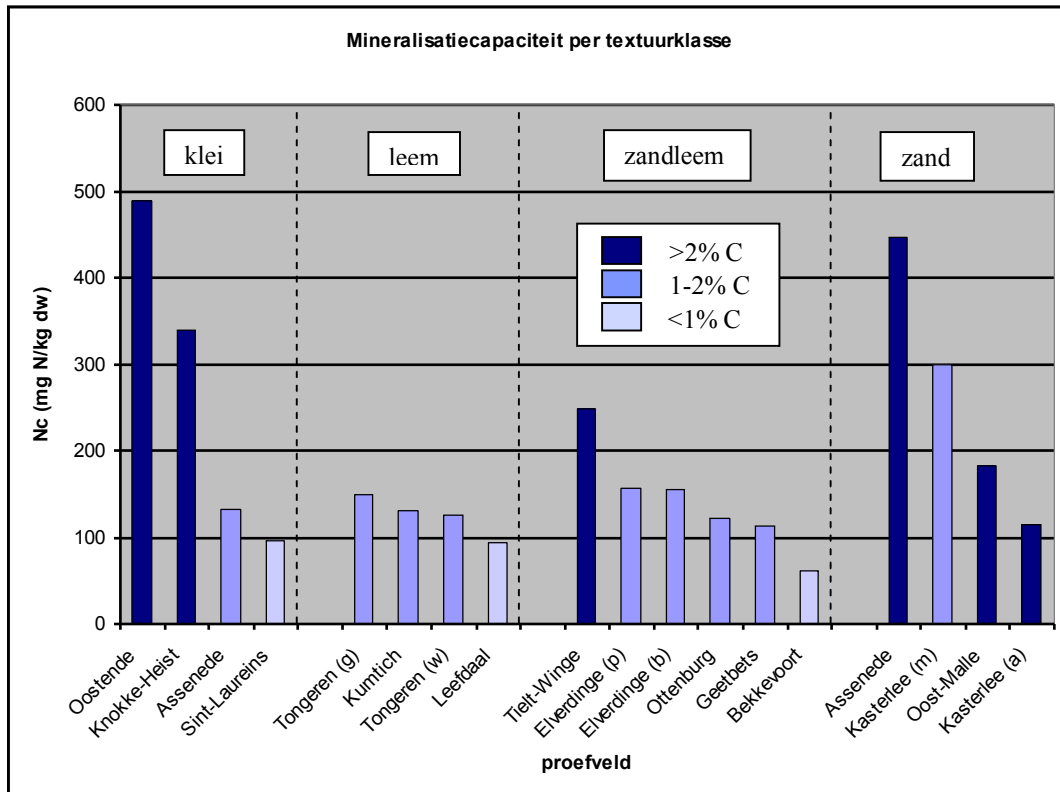
Tabel 2.3: Overzicht van de 0-de orde mineralisatiesnelheid k , de mineralisatiecapaciteit N_c , de hoeveelheid C (%) en N (%), de C/N-verhouding en de fractie mineraliseerbare N (%) in de A-horizont van de 20 geselecteerde proefvelden, gegroepeerd per textuurklasse

Veld	Locatie – textuur (teelt 2000)	k (mg N $\text{kg}^{-1} \text{dg}$ dag^{-1})	N_c (mg N $\text{kg}^{-1} \text{dg}$)	C (%)	N (%)	C/N	N_c/N (%)
1	Oostende - klei (gras)	0.9662	488.4	4.3	0.398	10.9	12.3
4	Knokke-Heist - klei (aardappelen)	0.6743	339.7	2.8	0.250	11.0	13.6
2	Assenede - klei (tarwe)	0.2244	132.5	1.2	0.123	9.6	10.8
3	Sint-Laureins - klei (suikerbiet)	0.1642	95.1	0.9	0.079	11.6	12.0
260	Tongeren - leem (groenbemester)	0.2611	149.0	1.4	0.152	9.2	9.8
258	Kumtich - leem (aardappel-tarwe)	0.2412	130.3	1.3	0.128	10.2	10.2
259	Tongeren - leem (wintertarwe)	0.2142	125.5	1.6	0.133	12.0	9.4
266	Leefdaal - leem (groenbemester)	0.1767	93.8	0.9	0.111	8.1	8.4
265	Tielt-Winge - zandleem (gras)	0.4321	249.4	2.6	0.210	12.4	11.9
7	Elverdinge - zandleem (prei)	0.3071	156.7	1.3	0.116	11.0	13.5
8	Elverdinge - zandleem (kool)	0.2615	154.6	1.1	0.088	12.2	17.6
262	Ottenburg - zandleem (maïs)	0.1889	122.4	1.2	0.101	11.9	12.1
263	Geetbets - zandleem (tarwe)	0.1886	112.4	1.4	0.129	10.9	8.7
264	Bekkevoort - zandleem (tarwe)	0.1064	60.6	0.7	0.068	10.3	8.9
6	Sint-Laureins - zand (gras)	0.5529	-	2.6	0.185	14.1	-
5	Assenede - zand (maïs)	0.4744	446.6	2.3	0.152	14.9	29.4
261	Lichtaart - zand (gras)	0.4475	-	3.0	0.149	20.1	-
255	Kasterlee - zand (maïs)	0.3701	299.4	1.8	0.118	15.3	25.4
257	Oost-Malle - zand (gras)	0.2914	182.7	2.8	0.205	13.7	8.9
256	Kasterlee - zand (aardappelen)	0.2095	114.4	2.9	0.145	22.8	7.9

Deze waarnemingen tonen aan dat in de niet-zandgronden het koolstofgehalte en de totale hoeveelheid stikstof in de bodem nauw gerelateerd zijn aan de mineralisatiesnelheid en -capaciteit. Het zijn echter niet de enige twee factoren die een rol spelen zoals blijkt uit de resultaten van enkele zandgronden. Hier zou de toediening van drijfmest een bijkomende verklarende factor kunnen zijn. Dit vertaalt zich in een minder uitgesproken relatie met de andere bodemparameters, waardoor ook de voorspelling van de mineralisatiesnelheid minder nauwkeurig zal kunnen gebeuren. De regressieanalyse (zie § 2.2.4) bevestigt deze hypothese.



Figuur 2.3: De mineralisatiesnelheid k ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg}^{-1}$) voor de verschillende bodems, gegroepeerd per textuurklasse en % C



Figuur 2.4: De mineralisatiecapaciteit N_c (mg N kg⁻¹ dg) voor de verschillende bodems, gegroepeerd per textuurklasse en % C

2.2.4 Regressieanalyse

De tweede doelstelling van het mineralisatieonderzoek was het opstellen van een pedotransferfunctie. Hiervoor is een regressieanalyse uitgevoerd tussen de 0de-orde mineralisatiesnelheid van de A-horizonten en de volgende bodemeigenschappen: pH, C, N, C/N-verhouding, dichtheid, het initieel ammonium-, nitraat- en totale minerale stikstofgehalte van de bodem, de percentages zand, leem en klei, en het vochtgehalte en de vochtspanning op 60 % WFPS.

Eerst werden de gegevens van alle 20 proefvelden samen geanalyseerd. Dit resulteerde in het volgende model :

$$k = -0,0474 + 0,00025 \cdot N \quad (R^2 = 0,81)$$

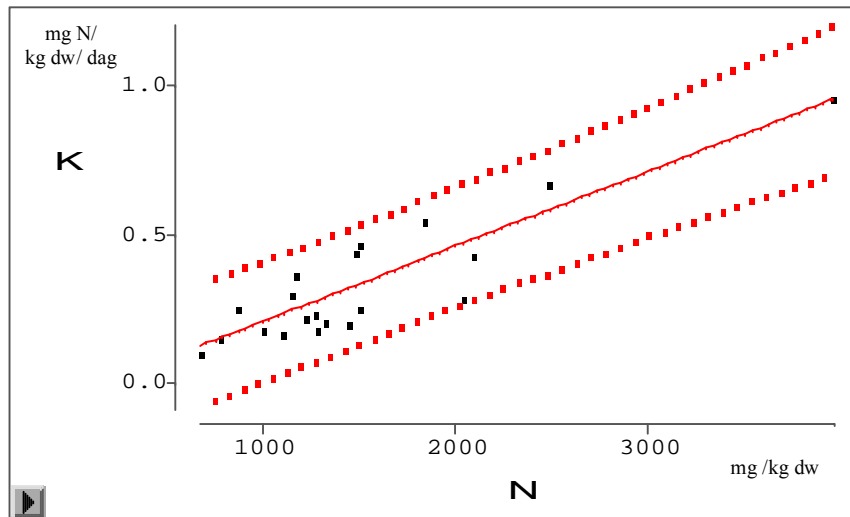
met k [mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹]
en N [mg kg⁻¹ dg]

waarbij de totale variatie in de mineralisatiesnelheid voor 81 % verklaard kan worden door de totale hoeveelheid N in de bodem. Grafisch is dit voorgesteld in Figuur 2.5. De toevoeging van een extra parameter aan het model (de pH) gaf slechts een verbetering in R² van 4 % en was nog niet significant op $\alpha = 0,05$ (P = 0,0456). Daarom wordt voorgesteld de functie met enkel de totale N als verklarende variabele te behouden.

Op basis van dit model kan een 95 % predictie-interval berekend worden. Dit zijn de grenzen waartussen k met 95 % zekerheid zal liggen voor een bepaald N-gehalte van een onbekende bodem:

$$k = -0,0474 + 0,00025 \times N \pm \left(2,101 \times 0,0934 \times \sqrt{1 + \frac{1}{20} + \frac{(N - 1520)^2}{10296200}} \right)$$

Zo zal k bijvoorbeeld voor 1500 mg N kg⁻¹ dg liggen tussen 0,14 en 0,54 mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹.

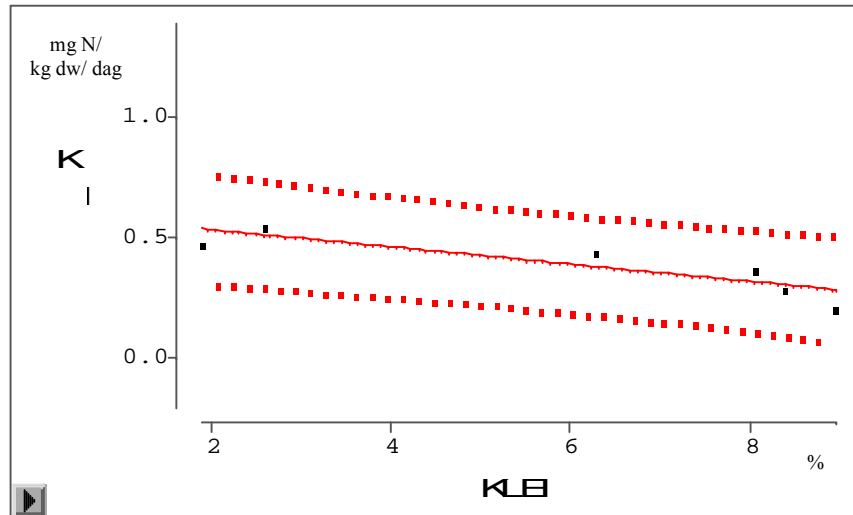


Figuur 2.5: De mineralisatiesnelheid k (mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹) i.f.v. de totale hoeveelheid N in de bodem (mg kg⁻¹ dg) met bijhorend 95 % predictie-interval

Zoals eerder aangegeven is in zandgronden de relatie met de opgemeten bodemparameters minder uitgesproken. Het verband met de totale stikstof in de bodem is volledig verdwenen ($R^2 = 0,01$). Op het significantieniveau $\alpha = 0,05$ wordt het best mogelijke regressiemodel voor zandbodems gegeven door (Figuur 2.6):

$$k = 0,6075 - 0,0358 \cdot \% \text{ Klei} \quad (R^2 = 0,77)$$

De regressielijn verloopt echter bijna horizontaal: k varieert weinig i.f.v. het kleigehalte, zodat het model maar weinig bijdraagt in de verklaring van k .

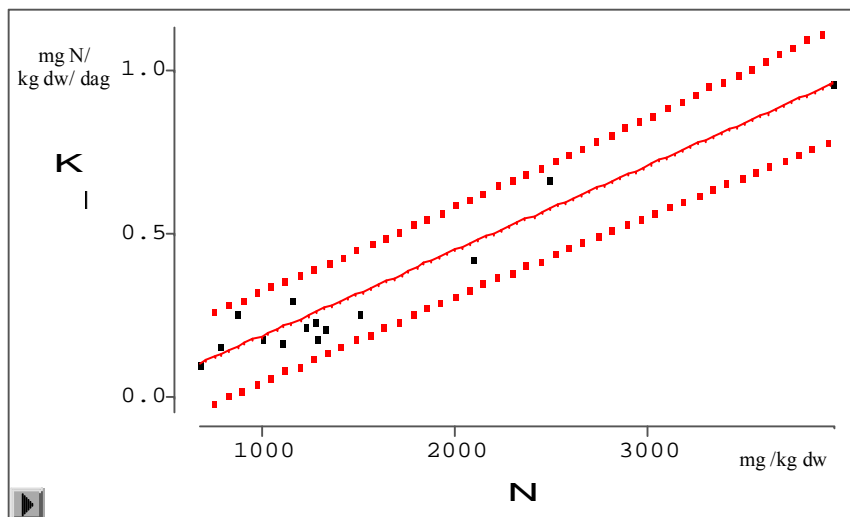


Figuur 2.6: De mineralisatiesnelheid k ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg dag}^{-1}$) voor de zandgronden i.f.v. het kleigehalte in de bodem (%) met bijhorend 95 % predictie-interval

Een lineaire regressie tussen de mineralisatiesnelheid van de niet-zandgronden en het totale N-gehalte in de bodem geeft dan weer een verbetering van 13 % in R^2 vergeleken met het model dat alle bodems omvat; het predictie-interval wordt gemiddeld met 32 % verkleind (Figuur 2.7):

$$k = -0,0752 + 0,00026 \cdot N \quad (R^2 = 0,94)$$

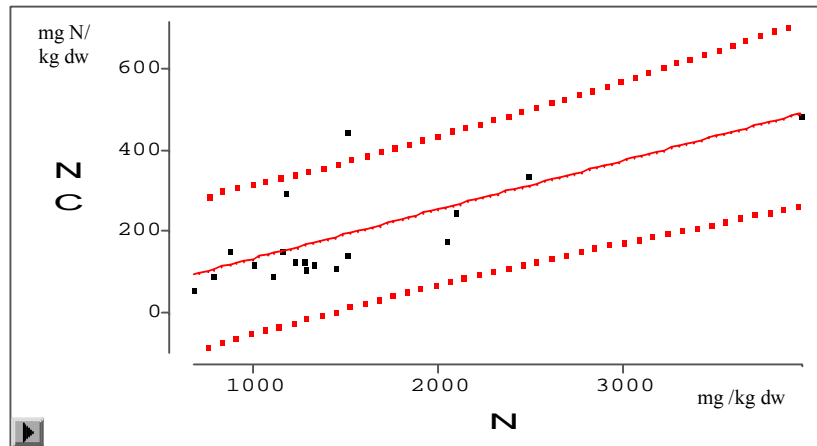
Voor $1500 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dg}$ ligt k nu tussen $0,20$ en $0,47 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dg dag}^{-1}$.



Figuur 2.7: De mineralisatiesnelheid k ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg dag}^{-1}$) voor de niet-zandgronden i.f.v. de totale hoeveelheid stikstof in de bodem ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dg}$) met bijhorend 95 % predictie-interval

Er werd eveneens een regressieanalyse uitgevoerd ter bepaling van de mineralisatiecapaciteit N_c van de bodems. Ook hier blijkt de hoeveelheid totale N in de bodem de belangrijkste parameter die de variatie in de mineralisatiecapaciteit verklaart (Figuur 2.8):

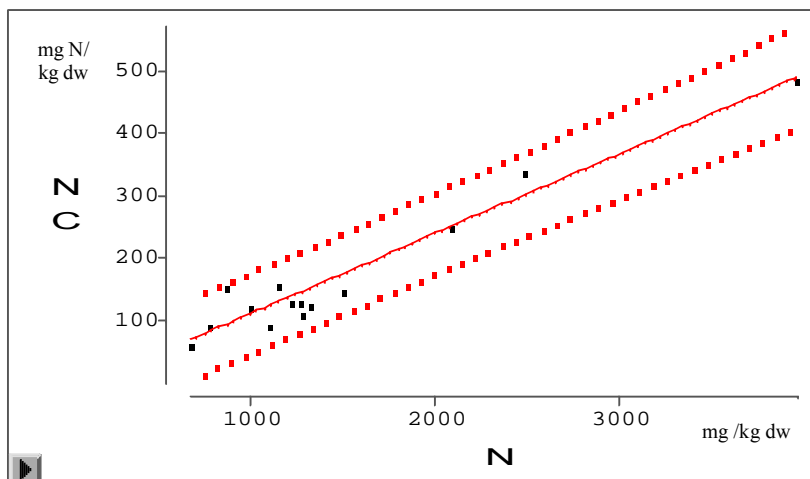
$$N_c = 10,6059 + 0,1206 \cdot N \quad (\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg}) \quad (R^2 = 0,57)$$



Figuur 2.8: De mineralisatiecapaciteit N_c ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg}$) i.f.v. de totale hoeveelheid N in de bodem ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dg}$) met bijhorend 95 % predictie-interval

De onzekerheid in deze relatie is ook hier weer grotendeels het gevolg van de resultaten in de zandgronden. Een statistische analyse van de mineralisatiecapaciteit van enkel de zandgronden heeft weinig zin, aangezien slechts 4 waarden beschikbaar zijn. Maar wanneer de mineralisatiecapaciteit van de klei-, leem en zandleemgronden uitgezet wordt i.f.v. de hoeveelheid N in de bodem wordt de invloed van de zandgronden duidelijk. R^2 neemt toe van 0,57 tot 0,94 en het predictie-interval verkleint met 64 % (Figuur 2.9):

$$N_c = -19,2217 + 0,1285 \cdot N \quad (\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg}) \quad (R^2 = 0,94)$$



Figuur 2.9: De mineralisatiecapaciteit N_c ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ dg}$) voor de niet-zandgronden i.f.v. de totale hoeveelheid N in de bodem ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dg}$) met bijhorend 95 % predictie-interval

2.2.5 Besluit

De mineralisatiesnelheid k in de bodem varieert tussen 0,11 en 0,97 mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹ in de bovenste horizont. Als in de diepere bodemlagen voldoende C en N aanwezig is, kan een niet te verwaarlozen extra mineralisatie optreden (tot 20 %, veld Assenede maïs). De mineralisatiecapaciteit N_c van de A-horizont ligt tussen 61 en 488 mg N kg⁻¹ dg. Deze waarden voor k en N_c zijn bekomen onder optimale labo-omstandigheden en zullen aan de hand van een temperatuurs- en vochtreductiefunctie, die beiden ingebouwd zijn in de N-simulatiemodellen, omgerekend worden naar waarden die gelden onder veldomstandigheden (§2.3.2).

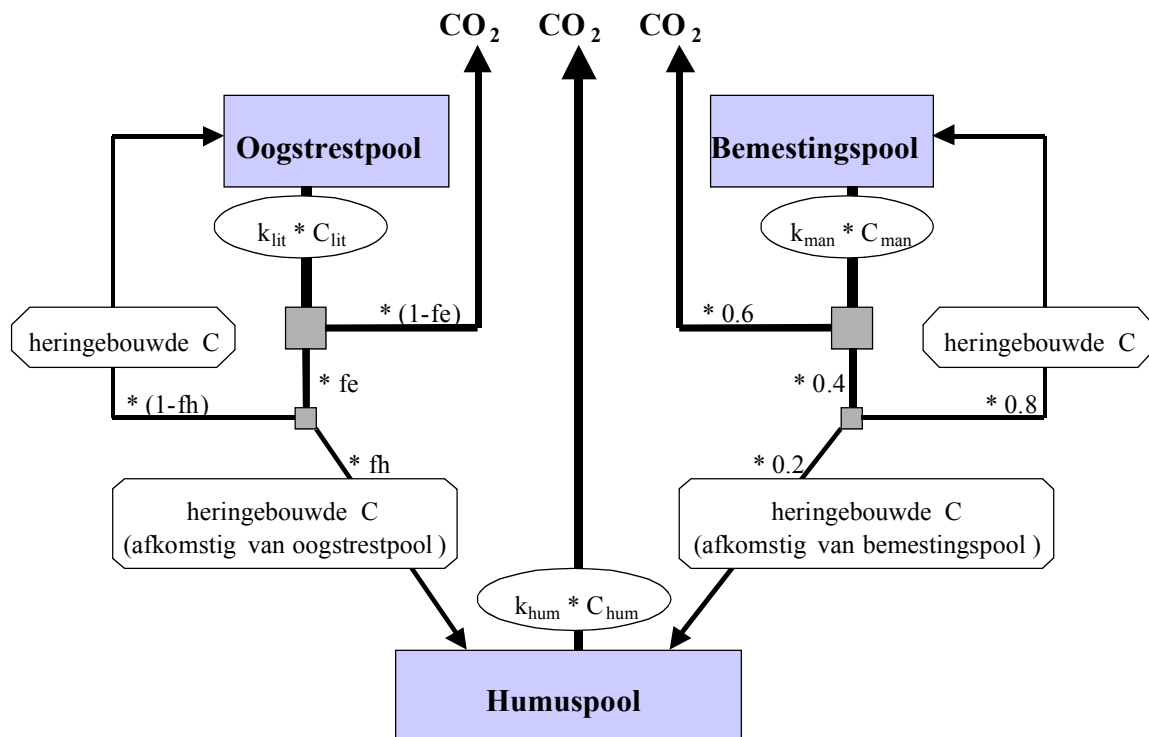
Wanneer de resultaten per textuurklasse bekeken worden, valt in de klei-, leem- en zandleembodems een duidelijke relatie waar te nemen tussen de mineralisatiesnelheid en -capaciteit en het organisch stofgehalte van de bodem: k en N_c nemen af met dalende % C en % N. Dit hangt samen met de bemestingsgeschiedenis van de velden: rijke gronden (Oostende, Knokke-Heist, Tielt-Winge) hebben de hoogste k en N_c ; de bodems met een armer bemestingsverleden (Sint-Laureins, Leefdaal, Bekkevoort) mineraliseren het traagst. In de zandgronden is deze relatie niet terug te vinden en spelen naast de hoeveelheid C en N in de bodem nog andere factoren een rol. Zo zou de N-mineralisatie ook bepaald worden door de hoeveelheid en samenstelling van de drijfmest die werd toegediend.

Uit de regressieanalyse blijkt dat de N-mineralisatiesnelheid en -capaciteit van een bodem hoofdzakelijk bepaald worden door de hoeveelheid totale stikstof in de grond. Deze relatie komt het duidelijkst tot uiting in de klei-, leem- en zandleembodems. Om k en N_c te voorspellen met 1 enkele pedotransferfunctie geldig voor alle bodems, zal een breed predictie-interval in acht genomen moeten worden. Voor een gemiddelde hoeveelheid stikstof van 1500 mg kg⁻¹ dg bedraagt k ($0,33 \pm 0,20$) mg N kg⁻¹ dg dag⁻¹, d.w.z. een predictie-interval van $k \pm 60$ %. Vertaald naar N-mineralisatie op het veld (0-30 cm; dichtheid 1,4 g cm⁻³) in de winterperiode (3 maanden met een gemiddelde temperatuur van 5°C) geeft dit $14 \pm 8,7$ kg N_{min} ha⁻¹. Zonder de zandgronden op te nemen in het model verkleint het predictie-interval tot $k \pm 40$ %, d.i. een mineralisatie van $14 \pm 5,9$ kg N_{min} ha⁻¹.

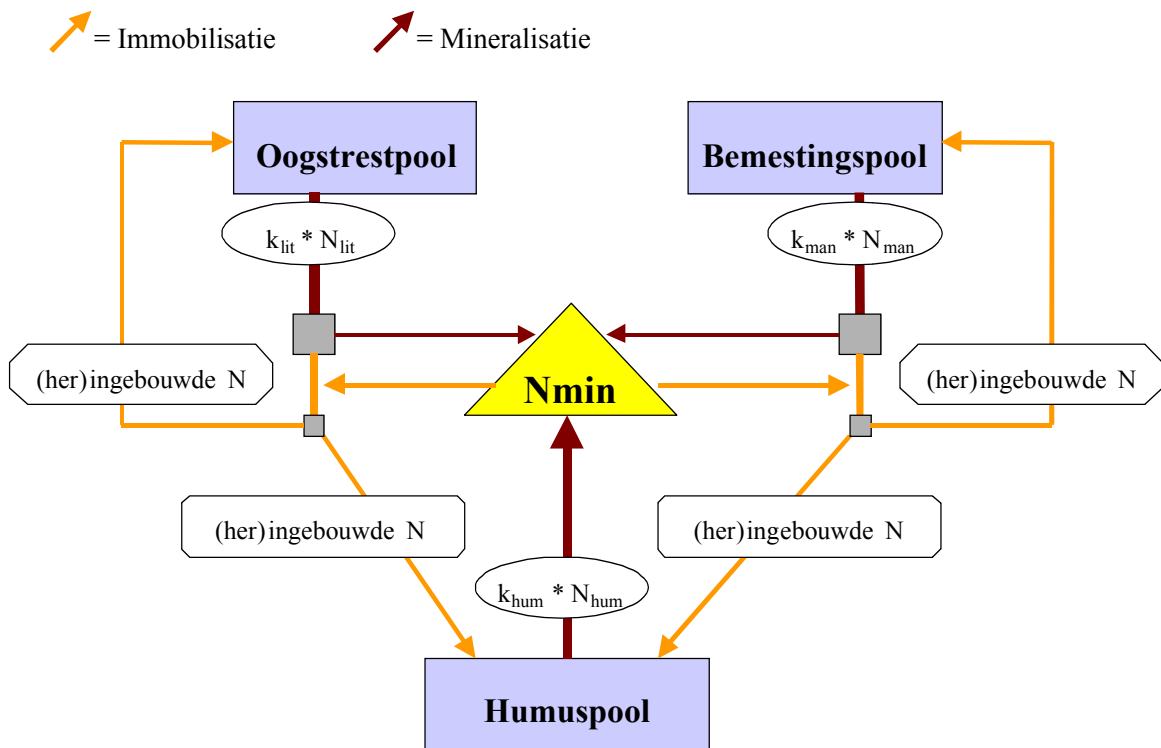
2.3 Het mineralisatieproces in WAVE

2.3.1 Inleiding

Het schema van de koolstof- en stikstof-mineralisatie in WAVE wordt in de Figuren 2.10 en 2.11 weergegeven. Het totale organische koolstofgehalte (zowel de reeds aanwezige als de vers toegediende organische koolstof) wordt verdeeld over drie pools, namelijk de oogstrestpool, bemestingspool en de humuspool. Deze laatste pool bevat het humusmateriaal en is veruit de grootste pool. De oogstrestpool en bemestingspool bevatten gemakkelijker afbreekbaar materiaal. De afbraakconstanten van deze pools zijn dan ook veel hoger dan die van de humuspool. De organische stikstof in elke pool wordt berekend via de C/N-verhouding en het C-gehalte van elke pool.



Figuur 2.10: Schema van de koolstof-mineralisatie in WAVE



Figuur 2.11: Schema van de stikstof-mineralisatie-immobilisatie in WAVE

2.3.2 Mineralisatie van bodem-organische stof

Omrekening van resultaten incubatieproef naar k_{hum}

De resultaten van de incubatieproef (§2.2) werden gebruikt om de afbraakconstante k_{hum} van de humuspool te berekenen. Deze k_{hum} moet als invoer in model ingegeven worden. In WAVE is er enkel mineralisatie en geen immobilisatie in de humuspool. Door denitrificatie en nitrificatie kan een deel van de gemineraliseerde stikstof verloren gaan. We veronderstellen echter dat alle ammonium nitrificeert tot nitraat en dat de denitrificatie verwaarloosbaar is. In deze situatie kunnen we de mineralisatie in de humuspool beschouwen als netto-mineralisatie. Aangezien hoogstens 3 % van de organische stikstof mineraliseert per jaar, wordt tevens verondersteld dat de organische stikstof heel het jaar constant blijft.

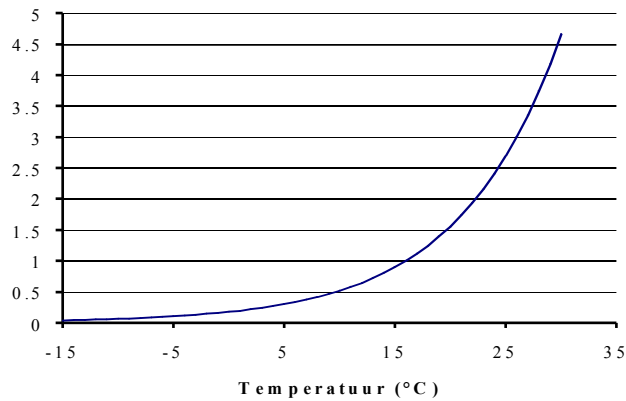
De mineralisatie in WAVE wordt berekend door middel van volgende relatie:

$$\text{Mineralisatie in humuspool op dag } i = k_{hum} \cdot \text{REDTEMP}_i \cdot \text{REDWAT}_i \cdot N_{hum,i}$$

In deze relatie worden twee reductiefuncties in rekening gebracht, respectievelijk een reductiefunctie op basis van de temperatuur (REDTEMP) en het vochtgehalte (REDWAT).

De temperatuursreductiefunctie wordt als volgt berekend:

$REDTEMP = 3^{[(T-16)/10]}$ met T de temperatuur in °C (Figuur 2.12).



Figuur 2.12: Reductiefunctie voor temperatuur (REDTEMP) gebruikt in WAVE

Voor een vochtgehalte gelegen tussen de vochtgehalten overeenkomend met pF2 en pF3, is REDWAT gelijk aan 1 (bijgevolg is er in dit vochttraject geen reductie door het vochtgehalte). In het interval van $\theta(pF3)$ tot en met $\theta(pF5.18)$ wordt REDWAT lineair geïnterpoleerd tussen 1 en 0 en in het interval van $\theta(pF0)$ tot en met $\theta(pF2)$ tussen 0.5 en 1.

De mineralisatiesnelheid k zoals bepaald in het incubatie-experiment wordt omgerekend naar een k_{hum} (dag^{-1}) gebruikt in het WAVE-model aan de hand van volgende formule:

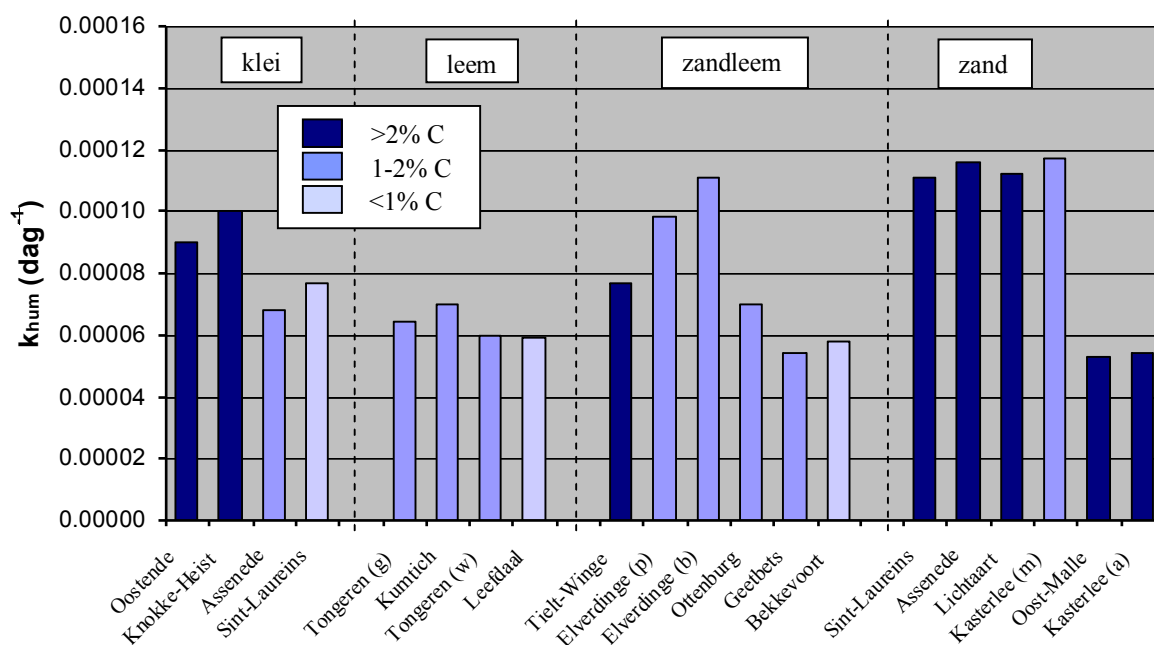
$$k_{hum} = \frac{k}{\%N \cdot 2.68 \cdot 10000}$$

Hierin is k de mineralisatiesnelheid bepaald in de incubatieproef ($mg\ N\ kg^{-1}\ dg\ dag^{-1}$) (Tabel 2.1) en % N is het gemeten percentage stikstof in de bodemhorizont van een bepaald proefveld. De factor 2.68 wordt in bovenstaande formule in rekening gebracht om de k_{hum} bij 16 °C te bekomen (dit is de temperatuur waar REDTEMP gelijk is aan 1). De grondstalen werden namelijk op 25 °C geïncubeerd en bij deze temperatuur is REDTEMP gelijk aan 2.68. De reductiefactor REDWAT moet niet in de formule opgenomen worden omdat deze factor gelijk is aan 1 onder de ideale omstandigheden van het labo-experiment.

In Tabel 2.4 en Figuur 2.13 worden de resulterende k_{hum} -waarden weergegeven bij 16°C.

Tabel 2.4: Waarden per bodemhorizont voor k_{hum} (dag^{-1}) berekend op basis van de resultaten van het mineralisatie-onderzoek bij 16°C

Veld nr.	Locatie – textuur (voortelt)	$k_{hum,1}$	$k_{hum,2}$	$k_{hum,3}$	$k_{hum,4}$
		dag^{-1}			
1	Oostende - klei (gras)	0.000090	-	-	-
4	Knokke-Heist - klei (aardappelen)	0.000100	-	-	-
2	Assenede - klei (tarwe)	0.000068	0.000012	0.000026	-
3	Sint-Laureins - klei (suikerbiet)	0.000077	-	0.000010	-
260	Tongeren - leem (groenbemester)	0.000064	-	-	-
258	Kumtich - leem (aardappel-wintertarwe)	0.000070	-	-	-
259	Tongeren - leem (wintertarwe)	0.000060	-	-	-
266	Leefdaal - leem (groenbemester)	0.000059	-	-	-
265	Tielt-Winge - zandleem (gras)	0.000077	0.000013	-	-
7	Elverdinge - zandleem (prei)	0.000098	-	-	-
8	Elverdinge - zandleem (bloemkool)	0.000111	-	-	-
262	Ottenburg - zandleem (maïs)	0.000070	0.000003	0.000005	0.000006
263	Geetbets - zandleem (tarwe)	0.000054	-	-	-
264	Bekkevoort - zandleem (tarwe-gras)	0.000058	-	-	-
6	Sint-Laureins - zand (gras)	0.000111	-	-	-
5	Assenede - zand (maïs)	0.000116	0.000034	-	-
261	Lichtaart - zand (gras)	0.000112	-	-	-
255	Kasterlee - zand (maïs)	0.000117	-	-	-
257	Oost-Malle - zand (gras)	0.000053	-	-	-
256	Kasterlee - zand (aardappelen)	0.000054	-	-	-



Figuur 2.13: Waarden voor k_{hum} (dag^{-1}) voor de eerste horizon van de verschillende bodems, gegroepeerd per textuurklasse en % C

Bespreking van de resultaten

De waarden voor k_{hum} voor de eerste horizont van de 20 proefvelden (Tabel 2.4), bepaald aan de hand van de incubatieproef, variëren tussen $5 \cdot 10^{-5}$ en $1 \cdot 10^{-4} \text{ dag}^{-1}$, hetgeen overeenkomt met de range van afbraaksnelheden voor bodemorganische stof die in de literatuur worden vermeld (Jastrow *et al.*, 1996; Gregorich *et al.*, 1996; Huggins *et al.*, 1998; Collins *et al.*, 1999).

De k_{hum} waarden werden op basis van het mineralisatie-experiment bijgesteld en verfijnd in vergelijking met vroegere simulaties met WAVE waar de bepaling van k_{hum} door middel van literatuurgegevens diende te gebeuren.

2.3.3 Mineralisatie uit recent toegediend organisch materiaal

Inleiding

Naast de mineralisatie van stikstof uit bodem-organische stof, komt er ook een belangrijke hoeveelheid minerale stikstof vrij uit recent ingebracht organisch materiaal. Belangrijk in dit verband zijn oogst- en rooires ten en toediening van organische meststoffen (o.a. drijfmest). Naast de minerale stikstof die in deze stoffen reeds aanwezig is, kan, afhankelijk van het moment van inwerken, de bodem en de weersomstandigheden, een belangrijk deel van de stikstof die in de organische fractie van deze stoffen gebonden is, vrijkomen door mineralisatie.

In het WAVE-model zijn naast de humuspool, met een zeer lage afbraakconstante, nog twee andere pools beschikbaar voor gemakkelijker afbreekbaar materiaal, namelijk oogstresten (oogstrestpool) en organische mest (bemestingspool).

Organische mest

In de bemestingspool van WAVE wordt enkel de recente toediening van organische mest (minder dan 12 maanden) beschouwd. Mesttoedieningen in voorgaande jaren worden niet in rekening gebracht in de bemestingspool.

Eenzijds wordt in de bemestingspool enkel die fractie van de in het voorjaar toegediende organische stikstof in rekening gebracht die in het najaar (= begin simulatieperiode) nog werkzaam is. Anderzijds wordt organische bemesting in rekening gebracht die tijdens de simulatieperiode wordt toegediend. In beide gevallen wordt tevens rekening gehouden met vervluchtigingsverliezen. Bij weilanden en akkerlanden bedraagt deze vervluchtiging respectievelijk 10 % en 20 % van de in de mest aanwezige $\text{NH}_4\text{-N}$.

Om de juiste input in het model te geven moeten naast de bemestingsdosis ook de datum van toediening, het organische-stofgehalte en het totale en minerale N-gehalte van de mest gekend zijn. Bovendien moet er per type van organische mest een schatting voorhanden zijn van de afbraaksnelheid.

Er dient opgemerkt te worden dat er niet enkel een grote variatie in samenstelling tussen de verschillende mestsoorten is, maar ook een grote variatie in samenstelling binnen één bepaalde mestsoort. Voor dierlijke mestsoorten bijvoorbeeld is de samenstelling o.a. afhankelijk van de voeding van de dieren, gebruik van spoelwater, bewaring van de mest, waterverliezen, ...

Voor de kalibratie en validatie van de modellen aan de hand van de metingen op de 20 proefvelden wordt gebruik gemaakt van de exacte samenstelling van de mest indien een

mestanalyse werd uitgevoerd. Voor de scenarioanalyses wordt de gemiddelde samenstelling van de mesten gebruikt zoals weergegeven in Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Gemiddelde samenstelling dierlijke mest (gebaseerd op analyses uitgevoerd in 1999 door de Bodemkundige Dienst van België), uitgedrukt in kg/1000 l voor vloeibare mestsoorten en in kg/1000 kg voor vaste mestsoorten

Mesttype	Mestsoort	Gemiddelde organische stof	Gemiddelde totale N	Gemiddelde minerale N
drijfmest	runderen	62	4.8	2.4
	mestvarkens	54	8.1	4.9
	zeugen	26	4.4	2.5
	kippen	80	11.4	7.7
vaste mest	runderen	156	7.1	2.6
	varkens	239	9.8	3.2
	legkippen (vochtig)	283	20.1	6.3
	legkippen (droog)	507	29.8	5.4

Oogstresten

Bij de oogst blijven, afhankelijk van het gewas, vaak aanzienlijke hoeveelheden oogstresten op het veld. De vrijzetting van stikstof door mineralisatie van oogstresten is afhankelijk van de aard en samenstelling van de oogstresten en van de temperatuur.

Belangrijke input-parameters voor WAVE zijn afbraakconstanten en C/N-verhoudingen van oogstresten. Daarom werd op basis van literatuurgegevens een databank opgesteld die voor een groot aantal oogstresten informatie bevat omtrent de hoeveelheid oogstrest die achterblijft op het veld, C/N-verhouding van de oogstrest, organische stikstof en organische koolstof. Voor een aantal gewassen zijn ook gegevens in verband met mineralisatie en chemische samenstelling van de oogstrest aanwezig. De databank is gebaseerd op artikels uit België en de ons omringende landen (Nederland, Frankrijk, Engeland en Duitsland) waar de klimaatsomstandigheden en bemestingsstrategieën gelijklopend zijn. De referenties waarop deze databank gebaseerd is, zijn weergegeven in Bijlage 4.

Er werd getracht om de verzamelde gegevens per gewas samen te vatten. Hieruit bleek dat de verkregen ranges voor één bepaalde oogstrest groot kunnen zijn afhankelijk van de teeltomstandigheden, bemesting e.d. Voor de simulaties was het echter toch noodzakelijk om de vereiste inputparameters voor de modellen eenduidig vast te leggen op basis van de databank. De cijfers voor de meest relevante oogstresten zijn weergegeven in Tabel 2.6.

Wat tuinbouwgewassen betreft worden in de tabel een aantal koolgewassen opgenomen (bloemkool, broccoli, sla, spruitkool). Daarnaast werden ook prei en een vlinderbloemige (bonen) beschouwd. Oogstresten van groenten, in het bijzonder koolgewassen, zijn typische voorbeelden van gewasresten die rijk zijn aan stikstof. Omwille van de snelle N-mineralisatie kan stikstof van oogstresten, ingewerkt in de herfst, nog voor de start van de winter vrijgesteld worden. De groenbemesters worden ingedeeld in drie groepen: de grasachtigen (bv. raaigras), de bladrijke groenbemesters (bv. mosterd) en de vlinderbloemigen (bv. klaver). Bladrijke groenbemesters zullen na afsterven of bij onderwerken veel sneller stikstof vrijstellen dan grasachtige groenbemesters omwille van de hogere C/N-verhouding van deze laatste groep.

Voor de akkerbouwgewassen werden gegevens verzameld over het loof van suikerbiet en aardappel, stoppelresten van maïs en tarwe en stro van tarwe. Bietenloof verteert zeer snel en na mineralisatie van het loof kan nog vrij veel stikstof vrijgezet worden in het najaar.

Door de hoge C/N-verhouding van stro wordt een gedeelte van de stikstof tijdelijk geïmmobiliseerd bij afbraak van dit organisch materiaal.

Voor een aantal gewassen kan het wortelmateriaal zorgen voor een aanzienlijke inbreng van koolstof. Voor groenten is deze bijdrage beperkt, voor maïs, tarwe, suikerbieten en groenbemesters daarentegen is de bijdrage van de wortels significant. Voor deze teelten zijn daarom ook, indien mogelijk, gegevens over het wortelmateriaal opgenomen in de tabel.

Tabel 2.6: Overzichtstabel van de meest relevante oogstresten met weergave van de noodzakelijke inputparameters voor de modellen: hoeveelheid oogstrest (kg droge stof ha⁻¹), N-en C-gehalte van de oogstrest (%), C/N-verhouding en hoeveelheid organische N en organische C (kg ha⁻¹)

Gewas	Hoeveelheid kg d.s. ha ⁻¹	%N	%C	C/N	kg N ha ⁻¹	kg C ha ⁻¹
Tuinbouw						
sla (<i>blad + stronk</i>)	1000	3	30	10	30	300
bloemkool (<i>blad + stronk</i>)	4000	3	39	13	120	1560
broccoli (<i>blad + stronk</i>)	3700	3.5	42	12	130	1550
spruitkool (<i>wortel+stoppel</i>)	4400	2	26	13	88	1150
prei (<i>oogstrest</i>)	1650	3.5	41	12	55	680
bonen (<i>blad + stoppel</i>)	2900	3	38	14	87	1102
Groenbemesters						
grasachtige (raaigras)	4500	2.2	55	25	100	2835
<i>bovengronds</i>	2500					
<i>ondergronds</i>	2000					
bladrijke (mosterd)	3900	2.2	35	16	85	1365
<i>bovengronds</i>	3100					
<i>ondergronds</i>	800					
vlinderbloemige (klaver)	2800	3	40	13	84	1120
<i>bovengronds</i>	2200					
<i>ondergronds</i>	600					
Akkerbouw						
suikerbiet (<i>loof</i>)	6000	2	40	20	120	2400
aardappel (<i>loof</i>)	2500	1.5	38	26	38	950
maïs						
<i>stoppel</i>	1200	0.7	40	57	8	480
<i>wortel</i>	2500	0.7	40	57	18	1000
tarwe						
<i>stoppel</i>	1500	0.7	44	63	12.5	800
<i>wortel</i>	1700	0.7	44	63	12	750

Voorheen werd de waarde van RO (dit is de C/N-verhouding van de microbiële biomassa) als input ingegeven in WAVE. De waarde van RO veranderde dan niet meer gedurende de simulatie. Nicolardot *et al.* (2001) stelden echter een formule op waarmee RO kan berekend worden op basis van de C/N-verhouding van het toegediende plantenmateriaal (dit is het materiaal in de oogstrestpool). Deze formule werd ingebouwd in WAVE.

$$\begin{array}{ll} \text{als C/N oogstresten} \geq 14.8 & \text{dan RO} = 16.1 - (123 / \text{CNlitter}) \\ \text{als C/N oogstresten} < 14.8 & \text{dan RO} = 7.8 \end{array}$$

Door deze formule in te bouwen in WAVE is de waarde van RO niet meer constant in de tijd. Elke dag wordt de waarde van RO aangepast in functie van de C/N-verhouding van de oogstrestpool in de bovenste 5 cm van de bodem. Als deze oogstrestpool een C/N-verhouding heeft die lager is dan 14.8 dan wordt verondersteld dat RO constant is, gelijk aan 7.8.

2.4 Besluit

In het kader van dit project werd het mineralisatieproces diepgaand bestudeerd. De mineralisatie van bodem-organische stof werd onderzocht aan de hand van een incubatieproef. De resultaten van het experiment werden vertaald naar veldomstandigheden gebruikmakend van een temperatuurs- en vochtreductiefactor. Voor de mineralisatie uit oogstresten werd op basis van literatuurgegevens een databank opgesteld die voor een groot aantal oogstresten informatie bevat omtrent de hoeveelheid oogstrest die achterblijft op het veld, C/N-verhouding van de oogstrest, organische N en organische C. Wat betreft de N-mineralisatie van organische mest werden ook de nodige inputgegevens voor WAVE verzameld.

Op basis van het mineralisatie-onderzoek werd het WAVE-model verfijnd en kon het mineralisatieproces realistisch benaderd worden.

3 Denitrificatie

3.1 Inleiding

Om de nitraatuitspoeling correct te kunnen inschatten is het niet enkel belangrijk om de N-vrijzetting door mineralisatie juist te kunnen kwantificeren (Hoofdstuk 2), maar is het eveneens van belang om de N-verliezen door denitrificatie realistisch te kunnen inschatten. Hiertoe werden in het kader van het N-(eco)²-project volgende stappen ondernomen:

- Uit een uitgebreide literatuurstudie bleek dat denitrificatieverliezen in de gematigde gebieden onder normale omstandigheden meestal beperkt zijn tot maximaal 20 tot 30 kg N/ha/jaar. Enkel in uitzonderlijke situaties (hoge N-bemesting, bodems met een hoog kleipercentage, hoog koolstofpercentage en ondiepe grondwatertafel) kunnen de denitrificatieverliezen hoog oplopen. Een overzicht van de literatuurstudie rond denitrificatieverliezen wordt gegeven in deel 1 van het eindrapport.
- WAVE werd gekalibreerd aan de hand van het proefveld Hélécine, waar in het verleden denitrificatiemetingen werden uitgevoerd. Op basis hiervan werd een potentiële denitrificatiesnelheid $k_{\text{denit,pot}}$ afgeleid van 0.0015 dag^{-1} voor leembodems. Met deze waarde van $k_{\text{denit,pot}}$ werd een jaarlijkse denitrificatie bekomen die realistisch werd geacht op basis van het literatuuronderzoek.
- De denitrificatiepotentiaal werd onder optimale labo-omstandigheden bepaald op 20 Vlaamse bodems. De vertaling van de gemeten denitrificatiepotentiaal naar denitrificatie onder veldomstandigheden vormde een volgende belangrijke stap in het denitrificatieonderzoek. Tenslotte werd een methode uitgewerkt om een potentiële denitrificatiesnelheid $k_{\text{denit,pot}}$ in te passen in de modellen.

In dit hoofdstuk zal eerst de experimentele bepaling van de denitrificatiepotentiaal besproken worden, vervolgens wordt het denitrificatieproces in WAVE en de kalibratie van het model op basis van gemeten denitrificatieverliezen op het proefveld Hélécine besproken, en tenslotte wordt de omrekening van de gemeten denitrificatiepotentiaal naar $k_{\text{denit,pot}}$, de denitrificatieconstante in WAVE, toegelicht.

3.2 Experimentele bepaling van de denitrificatiepotentiaal

3.2.1 Materiaal en methoden

Er werden 20 velden, representatief voor de meest voorkomende ‘bodem-gewas’ combinaties in Vlaanderen, geselecteerd. Analoog aan het mineralisatie-onderzoek werd de grond per horizont bemonsterd, gedroogd en gezeefd. Voor een uitgebreide karakterisatie van de onderzochte bodems, wordt verwezen naar Hoofdstuk 4.

Per horizont werd 6 keer 20 g luchtdroge en gezeefde grond afgewogen en deze werd tot $\frac{3}{4}$ veldcapaciteit herbevochtigd en op 15°C gepre-incubeerd. Op twee verschillende tijdstippen werden er 3 flesjes verder bevochtigd tot verzadiging. Om een lange periode van hoge vochtigheid te simuleren werden er per horizont 3 flesjes op dag 4 van de pre-incubatie verzadigd. Om een plotse toename van het vochtgehalte tot verzadiging bv. na een hevige regenbui na te bootsen werden de 3 andere flesjes op dag 7 net voor de meting verzadigd.

Na de pre-incubatie werd op dag 7 per g droge grond $50 \mu\text{g NO}_3\text{-N}$ en $300 \mu\text{g glucose-C}$ toegevoegd en zorgvuldig met de grond vermengd. Luo *et al.* (1996 en 1998) stelden immers vast dat de invloed van het staalnametijdstip op de denitrificatie bij verzadiging geëlimineerd wordt bij toediening van een gemakkelijk opneembare koolstof- en stikstofbron in optimale concentratie.

Hierna werden de flesjes vacuüm gezogen en werd helium bijgevuld. Vervolgens werd acetyleen toegediend tot ongeveer 10 % (v/v). Het toegevoegde acetyleen verhindert de N₂O-vormig door nitrificatie en de omzetting van N₂O naar N₂ zodat bij meting van de N₂O-concentratie met een gaschromatograaf de totale denitrificatie gekend is. De N₂O-concentratie in de headspace van de flesjes werd op verschillende tijdstippen (90, 180, 270, 360 en 420 minuten) bepaald. Zoals blijkt uit Figuur 3.1 liggen de meetdata in functie van de tijd op een rechte. De denitrificatiepotentiaal werd berekend aan de hand van de helling van de gefitte rechte aan de meetdata en wordt uitgedrukt als $\mu\text{g N g}^{-1}$ droge grond dag^{-1} .

3.2.2 Resultaten

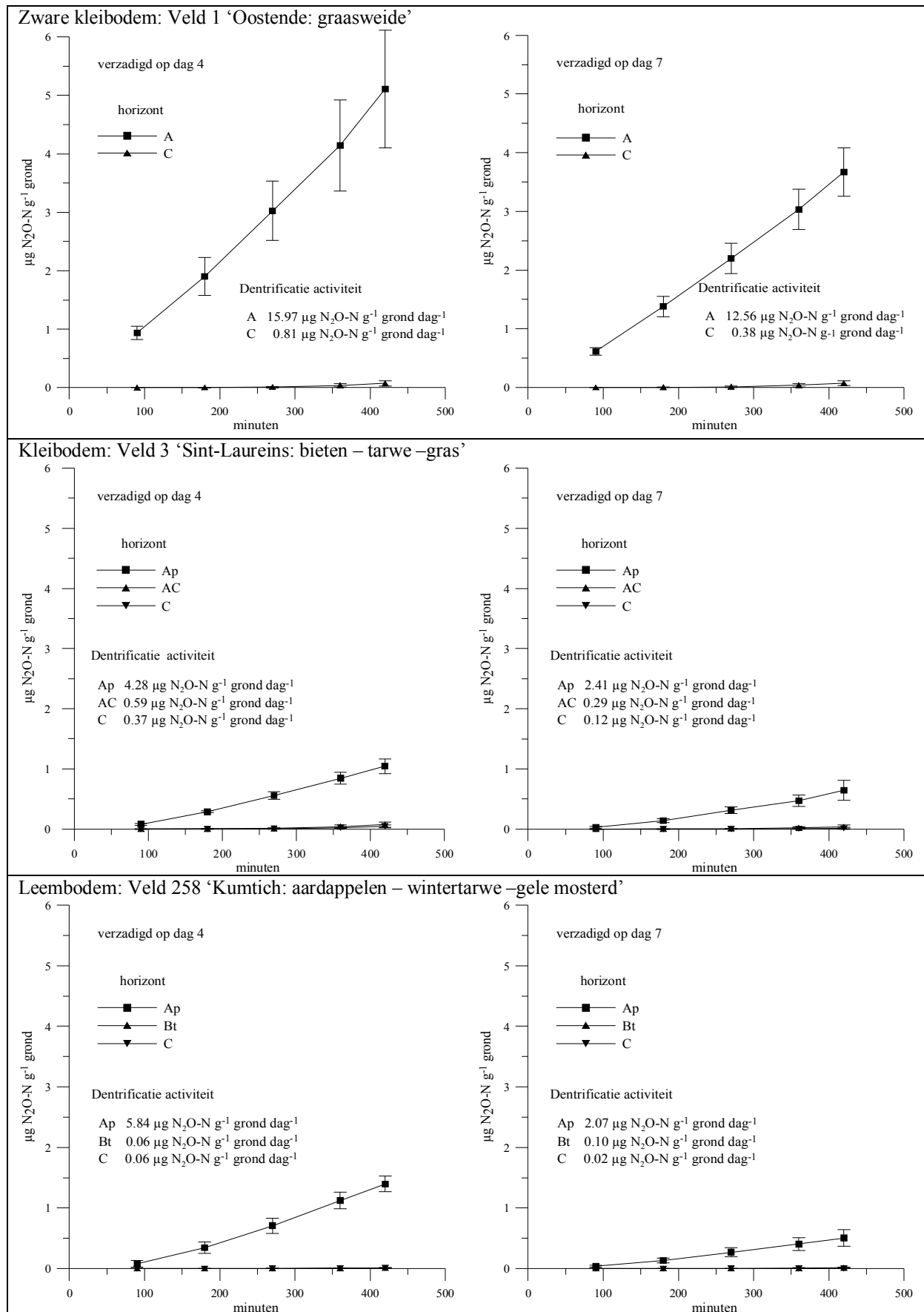
In Figuur 3.1 staat ter illustratie het verloop van de N₂O-N-concentratie in de headspace in functie van de tijd voor de verschillende bodemhorizonten van zowel een klei-, leem, zandleem- als zandbodem.

In Tabel 3.1 wordt de denitrificatiepotentiaal van de horizonten van de verschillende proefvelden in $\mu\text{g N g}^{-1}$ droge grond dag^{-1} gegeven. Rekening houdend met de schijnbare dichtheid (SSG) en diepte van de respectievelijke horizont worden de waarden omgerekend naar $\text{kg N ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$. Bij het interpreteren van de resultaten, uitgedrukt in $\text{kg N ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$, moet er rekening mee gehouden worden dat deze denitrificatiepotentiaal gemeten werd op herbevochtigde grond onder optimale omstandigheden qua vochtigheid en na toevoeging van een koolstof- en stikstofbron. De denitrificatieverliezen gemeten door Patten *et al.* (1980) waren 3 tot 8 keer hoger bij herbevochtigde grond dan bij niet-gedroogde grond. De denitrificatie gemeten door Luo *et al.* (1998) was zelfs tot 50 maal groter bij toediening van een gemakkelijk opneembare koolstof- en stikstofbron ten opzichte van de denitrificatie zonder toediening van een C- en N-bron. Het is duidelijk dat de gerapporteerde waarden in de tabel slaan op de potentiële denitrificatie.

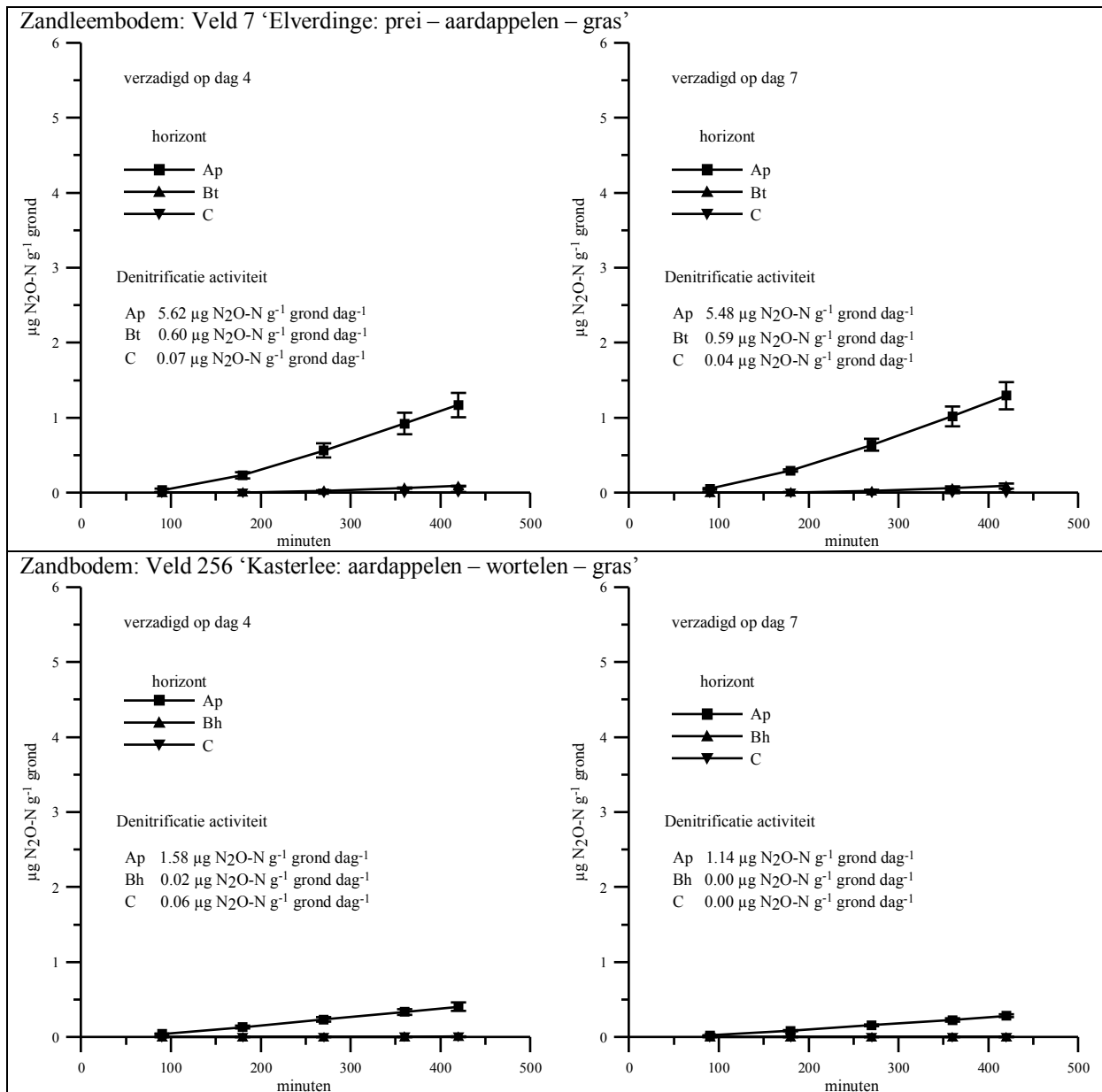
3.2.3 Bespreking

Denitrificatiepotentiaal van de verschillende horizonten

Uit Figuur 3.1 en Tabel 3.1 blijkt dat de denitrificatiepotentiaal van de diepere horizonten meestal verwaarloosbaar is ten opzichte van de A-horizont. De denitrificatiepotentiaal van de B-horizont is maximaal 10 % van deze van de A-horizont. Nog dieper in het profiel zijn de denitrificatiepotentialen nog lager. Onderzoek van o.a. Aulakh *et al.* (1983 en 1984), Colbourn *et al.* (1984), Parkin en Meisinger (1989), Van Dyck (1996), Drury *et al.* (1998) en Luo *et al.* (1998) toonden eveneens een daling van de denitrificatie met de diepte aan. Luo *et al.* (1998) maten zonder toediening van een C- en N-bron, onafhankelijk van plaats en tijdstip, de hoogste denitrificatie aan het oppervlak (0-5 cm) en stelden een exponentiële afname van de denitrificatie met de diepte vast. Met toediening van glucose-C en NO₃-N was het verschil met de diepere lagen kleiner. Het feit dat het toedienen van een C- en N-bron de verschillen tussen de dieptes slechts beperkt vermindert, toont aan dat het verschil tussen verschillende lagen dus allicht niet enkel veroorzaakt wordt door een gebrek aan substraat maar vooral door een verschil in de denitrificerende microbiële populatie.



Figuur 3.1: Verloop van de denitrificatieverliezen (uitgedrukt als $\text{N}_2\text{O-N}$ -concentratie) in de headspace van de horizonten van een zware klei- (veld 1), klei- (veld 3) en leembodem (veld 258)



Figuur 3.1 (vervolg): Verloop van de denitrificatieverliezen (uitgedrukt als $\text{N}_2\text{O-N}$ -concentratie) in de headspace van de horizonten van een zandleem- (veld 7) en zandbodem (veld 256)

Tabel 3.1: Denitrificatiepotentiaal van de klei- en leembodems per horizont

Veld	Bodem-serie	Horizont	Diepte cm	SSG kg dm ⁻³	C %	N %	pH-KCl	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]
								µg N g ⁻¹ dag ⁻¹	µg N g ⁻¹ dag ⁻¹	µg N g ⁻¹ dag ⁻¹	kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹	kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹	kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹
1	Ufp	A	0-20	0.99	4.32	0.398	6.7	15.97	12.56	9.06	31.6	24.9	17.9
		C	20-90	1.34	0.76	0.091	6.8	0.81	0.38	-	7.6	3.6	-
2	sEdp	Ap	0-25	1.43	1.18	0.123	7.0	3.97	6.08	3.31	14.2	21.7	11.8
		AC	25-50	1.49	0.22	0.019	7.3	0.04	0.77	-	0.1	2.9	-
		C	50-90	1.57	0.16	0.013	7.5	0.07	0.01	-	0.4	0.1	-
3	Edpz	Ap	0-25	1.45	0.92	0.079	7.2	4.28	2.41	1.43	15.5	8.7	5.2
		AC	25-80	1.28	0.59	0.051	7.0	0.59	0.29	-	4.2	2.0	-
		C	80-90	1.23	0.47	0.042	7.3	0.37	0.12	-	0.5	0.1	-
4	sUdp	Ap	0-30	1.22	2.75	0.250	6.8	22.43	14.19	8.33	82.1	51.9	30.5
		AC	30-75	1.35	1.08	0.130	6.8	1.22	0.03	-	7.4	0.2	-
		2C	75-90	1.41	0.33	0.044	7.4	0.45	0.92	-	1.0	1.9	-
258	Aba ₁	Ap	0-25	1.53	1.30	0.128	7.3	5.84	2.07	3.75	22.3	7.9	14.3
		Bt	25-75	1.46	0.40	0.043	7.6	0.06	0.10	-	0.4	0.7	-
		C	75-90	1.42	0.40	0.034	7.9	0.06	0.02	-	0.1	0.0	-
259	Eba / Aba ₀	Ap	0-40	1.46	1.60	0.133	7.6	3.54	5.04	3.04	20.7	29.4	17.8
		Bt	40-130	1.54	0.40	0.056	6.8	0.05	0.02	-	0.4	0.2	-
		C	> 130	1.47	0.10	0.041	7.9	0.11	0.21	-	-	-	-
260	Aba ₁	Ap	0-40	1.46	1.40	0.152	6.5	6.24	4.52	4.02	36.4	26.4	23.5
		BC	40-90	1.54	0.28	0.039	6.4	0.69	0.12	-	5.3	0.9	-
266	Aba ₁	Ap	0-25	1.61	0.90	0.111	6.3	3.71	1.92	0.95	14.9	7.7	3.8
		Bt	25-95	1.52	0.18	0.033	5.7	0.26	0.07	-	2.6	0.7	-
		C	> 95	1.41	0.17	0.030	5.7	0.24	0.08	-	-	-	-

^H verzadigd op dag 4, gemeten na toediening van een N- en C-bron

^I verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N- en C-bron

[§] verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N-bron

Tabel 3.1: Denitrificatiepotentiaal van de zandleembodems per horizont (vervolg)

Veld	Bodem-serie	Horizont	Diepte cm	SSG kg dm ⁻³	C %	N %	pH-KCl	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]
								µg N g ⁻¹ dag ⁻¹			kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹		
262	sLbb	Ap	0-30	1.62	1.20	0.101	6.9	1.92	1.52	1.01	9.3	7.4	4.9
		Bw	30-75	1.63	0.40	0.051	6.6	0.19	0.03	-	1.4	0.2	-
		2C ₁	75-115	1.74	0.09	0.024	6.5	0.08	0.01	-	0.2	0.0	-
		2C ₂	> 115	1.59	0.06	0.016	7.0	0.17	0.03	-	-	-	-
263	Lba ₀	Ap	0-40	1.65	1.40	0.129	7.0	2.49	1.51	0.41	16.4	10.0	2.7
		Bt	40-80	1.54	0.33	0.047	5.9	0.22	0.03	-	1.4	0.2	-
		C ₁	80-85	1.65	0.19	0.030	4.1	0.00	0.00	-	0.0	0.0	-
264	Lbb	Ap	0-30	1.58	0.70	0.068	5.8	1.23	0.68	1.25	5.8	3.2	5.9
		Bw	30-90	1.63	0.30	0.043	5.8	0.15	0.01	-	1.5	0.1	-
265	Lec ₁	A	0-25	1.34	2.60	0.210	5.6	4.35	7.25	3.72	14.6	24.3	12.5
		Bt	25-80	1.44	0.90	0.083	5.9	1.21	0.77	-	9.6	6.1	-
7	Lda ₁	Ap	0-30	1.56	1.28	0.116	6.5	5.62	5.48	2.07	26.3	25.6	9.7
		Bt	30-70	1.58	0.27	0.033	6.5	0.60	0.59	-	3.8	3.7	-
		C	70-90	1.55	0.14	0.015	7.0	0.07	0.04	-	0.2	0.1	-
8	Pcc ₁	Ap	0-30	1.59	1.07	0.088	5.7	4.26	2.17	0.72	20.3	10.4	3.4
		Bt	30-75	1.58	0.23	0.031	5.6	0.56	0.05	-	4.0	0.4	-
		C	75-90	1.62	0.15	0.018	5.9	0.05	0.05	-	0.1	0.1	-

^H verzadigd op dag 4, gemeten na toediening van een N- en C-bron

^I verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N- en C-bron

[§] verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N-bron

Tabel 3.1: Denitrificatiepotentiaal van de zandbodems per horizont (vervolg)

Veld	Bodem-serie	Horizont	Diepte cm	SSG kg dm ⁻³	C %	N %	pH-KCl	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]	dag 4 ^H	dag 7 ^I	dag 7 - zonder C [§]
								µg N g ⁻¹ dag ⁻¹			kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹		
255	Zfh	Ap	0-40	1.47	1.80	0.118	5.7	2.30	0.62	0.15	13.5	3.6	0.9
		Bh	40-50	1.71	0.11	0.012	5.1	0.02	0.02	-	0.0	0.0	-
		C	50-90	1.67	0.06	0.008	5.2	0.01	0.00	-	0.1	0.0	-
256	Seg	Ap	0-45	1.66	2.90	0.127	6.0	1.58	1.14	0.49	11.8	8.5	3.7
		Bh	45-55	1.67	0.30	0.026	5.0	0.02	0.00	-	0.0	0.0	-
		C	55-90	1.50	0.13	0.010	5.0	0.06	0.00	-	0.3	0.0	-
257	Sdh	Ap	0-45	1.42	2.80	0.205	5.8	2.58	1.67	0.66	16.5	10.7	4.2
		Bh	45-70	1.60	0.90	0.056	5.0	0.09	0.07	-	0.4	0.3	-
		C	70-90	1.68	0.17	0.013	4.5	0.00	0.00	-	0.0	0.0	-
261	Sfg	A	0-25	1.35	3.0	0.149	5.3	2.30	0.62	0.15	7.8	2.1	0.5
		Bh	25-40	1.38	1.10	0.081	5.8	0.54	0.01	-	1.1	0.0	-
		BC	40-70	1.52	0.40	0.041	4.7	0.00	0.00	-	0.0	0.0	-
		C	70-90	1.60	0.10	0.029	4.7	0.00	0.00	-	0.0	0.0	-
5	Zdp	Ap	0-30	1.38	2.26	0.152	3.8	1.01	1.38	1.06	4.2	5.7	4.4
		AC	30-55	1.32	1.69	0.102	4.1	0.16	0.09	-	0.5	0.3	-
		C	55-90	1.60	0.14	0.006	4.3	0.01	0.01	-	0.1	0.1	-
6	Zfhy	A	0-20	1.33	2.57	0.185	5.4	1.24	1.57	0.16	3.3	4.2	0.4
		Bh	20-50	1.47	0.80	0.063	5.7	0.11	0.55	-	0.5	2.4	-
		C ₁	50-70	1.69	0.12	0.015	5.8	0.01	0.05	-	0.0	0.2	-
		C ₂	70-90	1.76	0.24	0.024	7.1	0.02	0.00	-	0.1	0.0	-

^H verzadigd op dag 4, gemeten na toediening van een N- en C-bron

^I verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N- en C-bron

[§] verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N-bron

Invloedsfactoren

Voor een volledige bespreking van de invloedsfactoren wordt verwezen naar Deel 1 van het eindrapport. Zoals blijkt uit Tabel 3.1 heeft de textuur een duidelijke invloed op de denitrificatiepotentiaal van de A- horizonten. Op basis van de textuur kunnen de A-horizonten in drie groepen onderverdeeld worden. De eerste groep gronden heeft een heel hoog kleigehalte en wordt volgens de Belgische textuurdriehoek als zware klei (textuurklasse U) omschreven. Deze gronden worden gekenmerkt door een hoge denitrificatiepotentiaal ($> 10 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$ met respectievelijk een gemiddelde denitrificatiepotentiaal bij verzadiging op dag 4 en dag 7 van 19,2 en $13,4 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$). Tot de tweede groep (E-, A-, L- en P-gronden) behoren de gronden met een middelmatige denitrificatiepotentiaal (tussen $0,5 \mu\text{g}$ en $7 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$ met respectievelijk een gemiddelde denitrificatiepotentiaal bij verzadiging op dag 4 en dag 7 van 4 en $3,4 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$). De derde groep (Z en S-gronden) heeft een lage denitrificatiepotentiaal ($< 2 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$ met respectievelijk een gemiddelde denitrificatiepotentiaal bij verzadiging op dag 4 en dag 7 van 1,6 en $1,1 \mu\text{g N g}^{-1} \text{ grond dag}^{-1}$). De denitrificatiepotentiaal van groep 1 is significant verschillend van groep 2 en 3. De verschillen tussen groep 2 en 3 zijn echter niet significant (significantieniveau $\alpha = 0.05$). Na een pre-incubatie van 5 dagen van grond, herbevochtigd tot 60 % Water Filled Pore Space (WFPS) zonder toevoeging van een C- of N-bron, stelden GÖdde en Conrad (2000) ook een invloed van de textuur vast.

Het koolstofpercentage binnen de textuurgroepen heeft eveneens een invloed op de denitrificatiepotentiaal. De lage denitrificatiepotentiaal van de A-horizont van het proefveld 264 ten opzichte van de proefveld 265 met dezelfde textuur is te verklaren aan de hand van het laag koolstofpercentage. De lage denitrificatie van diepere lagen kan mede verklaard worden door het lage koolstofpercentage op deze diepten. De verschillen in denitrificatie gemeten door Patten *et al.* (1980) op grond herbevochtigd tot oververzadiging met toevoeging van een N-bron reflecteerden eveneens per textuur de invloed van het koolstofpercentage.

Bij de A-horizonten van de 20 proefvelden is de invloed van de pH niet vast te stellen.

Verzadiging van de gronden op dag 4 in plaats van op dag 7 net voor de meting verhoogde over het algemeen de denitrificatie. Het verhoogde vochtgehalte zorgde voor een lage zuurstofconcentratie in de grond en de ontwikkeling van anaëroobe micro-organismen zodat bij de toevoeging van een C- en N-bron de denitrificatie meer gestimuleerd werd.

De gemeten denitrificatiepotentialen van de A-horizonten omgerekend naar $\text{kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ zijn erg hoog (2 tot $80 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$). Daarom werden de A-horizonten opnieuw gemeten bij verzadiging op dag 7 zonder toevoeging van een koolstofbron (Tabel 3.1). De bekomen denitrificatiepotentialen zonder toediening van een koolstofbron zijn gemiddeld iets lager maar zijn ook niet rechtstreeks te relateren met de denitrificatiepotentialen onder veldomstandigheden. De vertaling van de gemeten denitrificatiepotentiaal naar denitrificatie onder veldomstandigheden en de afleiding van k_{denit} , de denitrificatiesnelheid die wordt ingevoerd in de modellen, worden besproken in §3.3.2.

3.2.4 Regressieanalyse

Er werd een pedotransferfunctie opgesteld zodat bij de scenarioanalyses de denitrificatiepotentiaal van andere velden geschat kunnen worden aan de hand van beschikbare bodemparameters.

Hiervoor werd een enkelvoudige lineaire regressieanalyse uitgevoerd tussen de denitrificatiepotentiaal van de A-horizonten van de 20 proefvelden met toediening van koolstof en verzadigd na 4 dagen, verzadigd na 7 dagen en denitrificatiepotentiaal zonder toediening van koolstof en de respectievelijke bodemeigenschappen % zand, % leem, % klei, pH, % C, % N, % klei + % N en % klei + % C. Dit resulteerde in de R² van Tabel 3.2.

Tabel 3.2: R² tussen de denitrificatie van de A-horizonten van de 20 proefvelden met toediening van koolstof en verzadigd na 4 dagen, verzadigd na 7 dagen en zonder toediening van koolstof met de respectievelijke bodemeigenschappen % zand, % leem, % klei, pH, % C, % N, % klei + % N en % klei + % C

	Dag 4 ^H	Dag 7 ^I	Dag 7 zonder C
% zand	0.20 *	0.20 *	0.36 **
% leem	0.01	0.02	0.09
% klei	0.72 **	0.63 **	0.76 **
pH	0.10	0.10	0.14
% C	0.28 *	0.37 **	0.34 **
% N	0.46 **	0.54 **	0.55 **
% klei + % N	0.74 **	0.70 **	0.80 **
% klei + % C	0.74 **	0.70 **	0.80 **

** Correlatie significant op 0.01 niveau

* Correlatie significant op 0.05 niveau

^H verzadigd op dag 4, gemeten na toediening van een N- en C-bron

^I verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N- en C-bron

[§] verzadigd op dag 7, gemeten na toediening van een N-bron

Bij het vergelijken van de R² tussen de verschillende metingen en de bodemkenmerken zien we dat de totale variatie in de denitrificatiepotentiaal voor verzadiging op dag 4 met toediening van N- en C-bron, verzadiging op dag 7 met toediening van N- en C-bron en verzadiging op dag 7 met toediening van N-bron en zonder toediening van C-bron respectievelijk voor 72 %, 63 % en 76 % verklaard kan worden door het percentage klei. De toevoeging van een extra parameter aan het model (% N of % C) gaf slechts een kleine verbetering in R² maar de regressiecoëfficiënten van %N en %C waren niet significant (significantieniveau $\alpha = 0.05$).

Daarom wordt het model met enkel het percentage klei als verklarende variabele behouden.

Bij het vergelijken van de denitrificatiepotentialen bekomen met en zonder toediening van koolstofbron stellen we vast dat het percentage koolstof van de A-horizonten limiterend was voor de denitrificatiepotentiaal zonder toediening van een gemakkelijk opneembare koolstofbron.

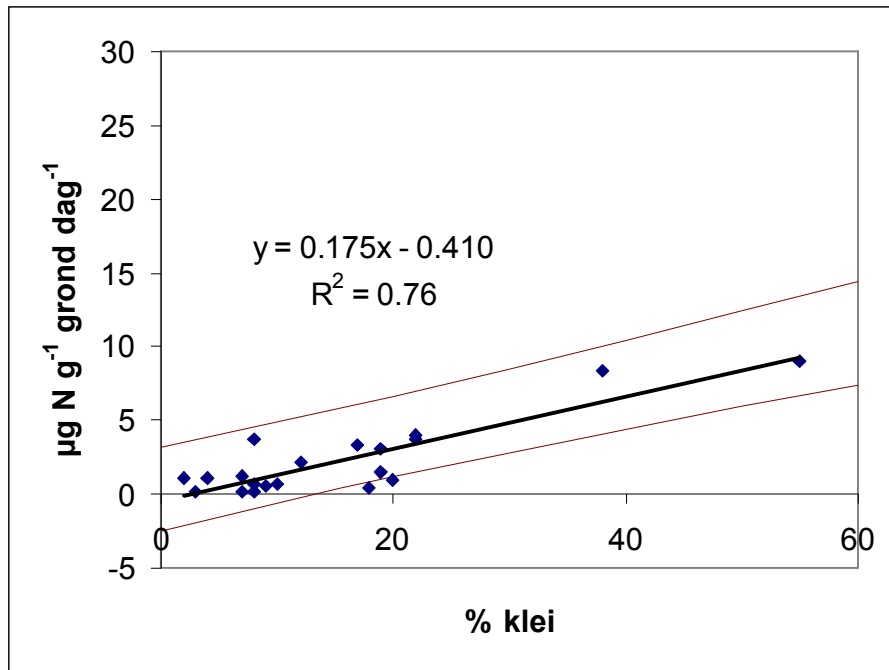
Omdat het percentage koolstof de denitrificatieverliezen ook onder veldomstandigheden zal limiteren, wordt de pedotransferfunctie weerhouden van de denitrificatiepotentiaal zonder toediening van gemakkelijk opneembare koolstofbron.

$$\text{Geen C dag 7: } k = -0.410 + 0.175 \% \text{ klei} \quad R^2 = 0.76$$

Op basis van dit model kan een 95 % predictie-interval berekend worden. Dit zijn de grenzen waartussen k met 95 % zekerheid zal liggen voor een bepaald percentage klei van een onbekende bodem:

$$k = -0,410 + 0,175 \times \% \text{klei} \pm \left(2,101 \times 1,275 \times \sqrt{1 + \frac{1}{20} + \frac{(\% \text{klei} - 15.4)^2}{3073}} \right)$$

In Figuur 3.2 is de denitrificatiepotentiaal ($\mu\text{g N g}^{-1}$ droge grond dag^{-1}) weergegeven in functie van het percentage klei van de bodem met bijhorend 95 % predictie-interval.



Figuur 3.2: De denitrificatiepotentiaal ($\mu\text{g N g}^{-1}$ droge grond dag^{-1}) in functie van het percentage klei van de A-horizont met bijhorend 95 % predictie-interval

3.2.5 Besluit

De denitrificatiepotentiaal van de ondergrond is te verwaarlozen ten opzichte van de A-horizont. De denitrificatiepotentiaal van de A-horizonten van de zware kleigronden is significant groter dan van de A-horizonten van de andere proefvelden. Verschillen in denitrificatiepotentiaal tussen sommige A-horizonten van de proefvelden zijn te verklaren door een verschil in koolstofpercentage. Er kon geen duidelijke invloed van de pH vastgesteld worden.

3.3 Het denitrificatieproces in WAVE

De denitrificatie in WAVE houdt de omvorming in van nitraat in de bodem naar gasvormige N-componenten zoals N_2O en N_2 .

De formule is:
$$\frac{\partial [NO_3^-]}{\partial t} = k_{denit} * [NO_3^-]$$

In deze formule is NO_3^- de nitraatconcentratie in de bodem ($mg\ NO_3\text{-N}\ cm^{-3}$ droge grond) en k_{denit} de eerste orde denitrificatieconstante (dag^{-1}).

Deze eerste orde denitrificatieconstante (k_{denit}) wordt op volgende manier berekend:

$$k_{denit} = k_{denit,pot} * REDTEMP * R_w$$

⇒ $k_{denit,pot}$ (dag^{-1}) is de potentiële denitrificatieconstante en wordt als invoer in het model ingegeven.

⇒ De potentiële denitrificatiesnelheid wordt aangepast in functie van de temperatuur door gebruik van de Q_{10} reductiefunctie (REDTEMP). Bij een temperatuur van $16^\circ C$ is deze functie gelijk aan 1.

$$REDTEMP = 3^{\frac{T-16}{10}}$$

⇒ Het effect van de verzadigingsgraad van de bodem op denitrificatie wordt berekend door gebruik te maken van de bodemwaterreductiefactor voor denitrificatie (R_w).

$$R_w = \left[\frac{\theta - \theta_d}{\theta_s - \theta_d} \right]^d \quad \text{als } Se > 0.6$$

$$R_w = 0 \quad \text{als } Se < 0.6$$

Met θ_d ($cm^3\ cm^{-3}$) de ‘critical treshold value’, overeenkomend met een verzadigingsgraad (Se) van 0.60 en d een empirische constante die gelijk aan 2 wordt gesteld. Bij het verzadigde vochtgehalte ($\theta = \theta_s$) is deze functie gelijk aan 1.

Er wordt verondersteld dat denitrificatie verwaarloosbaar is beneden de bouwvoor omwille van de beperkte aanwezigheid van organische C en biologisch leven. Dit blijkt ook uit metingen uitgevoerd in het kader van het denitrificatie-experiment (zie §3.2). Bijgevolg wordt er enkel voor de eerste bodemhorizont een potentiële denitrificatieconstante ingegeven in WAVE.

3.3.1 Kalibratie van WAVE op basis van proefveld H el cine

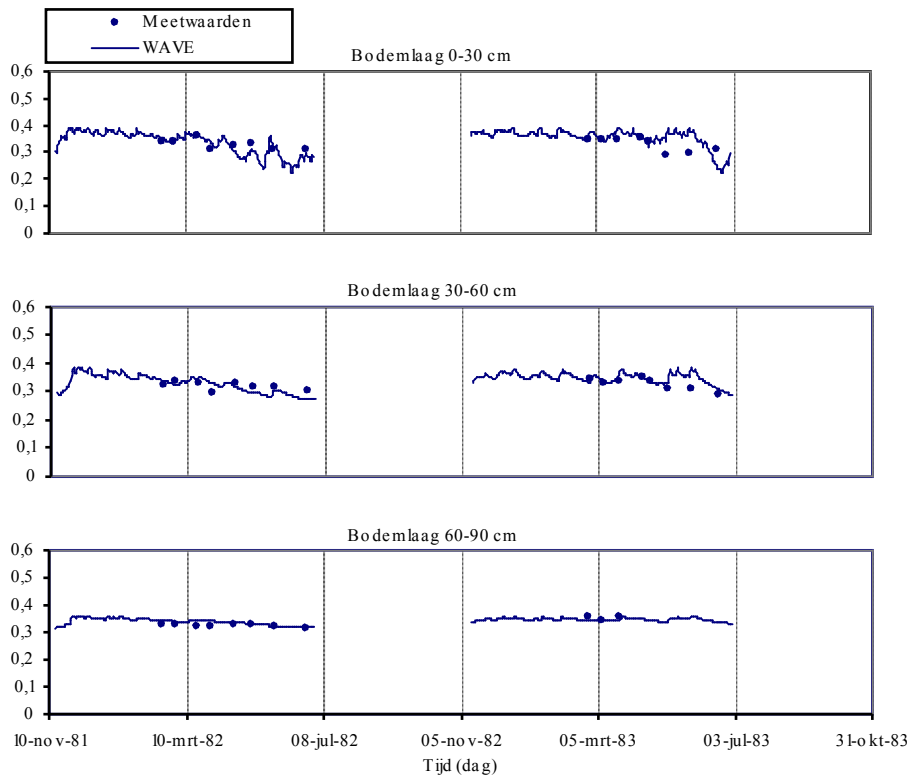
Op basis van literatuurgegevens (deel 1 van het eindrapport) kon geen theoretische basis voor de waarde van de potenti le denitrificatieconstante $k_{\text{denit,pot}}$ in WAVE gevonden worden. Literatuuronderzoek wees wel uit dat realistische cijfers voor denitrificatie in gematigde gebieden en onder normale omstandigheden gesitueerd zijn tussen 0 en 30 kg N ha⁻¹. Denitrificatie kan echter oplopen tot 60   70 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ in slecht gedraineerde kleigronden.

De potenti le denitrificatieconstante $k_{\text{denit,pot}}$ werd bepaald door kalibratie aan de hand van gemeten denitrificatieverliezen op een proefveld. Het proefveld H el cine is het enige veld waarop N-verliezen door denitrificatie werden opgemeten en waarvan alle gegevens beschikbaar zijn die noodzakelijk zijn voor de kalibratie van WAVE. Het gaat om een braak veld met een leem textuur met N-bemesting in 1982 en 1983 (Anoniem, 1982,1983,1984 en 1985). Er werd afzonderlijk doorgerekend voor 1982 en 1983.

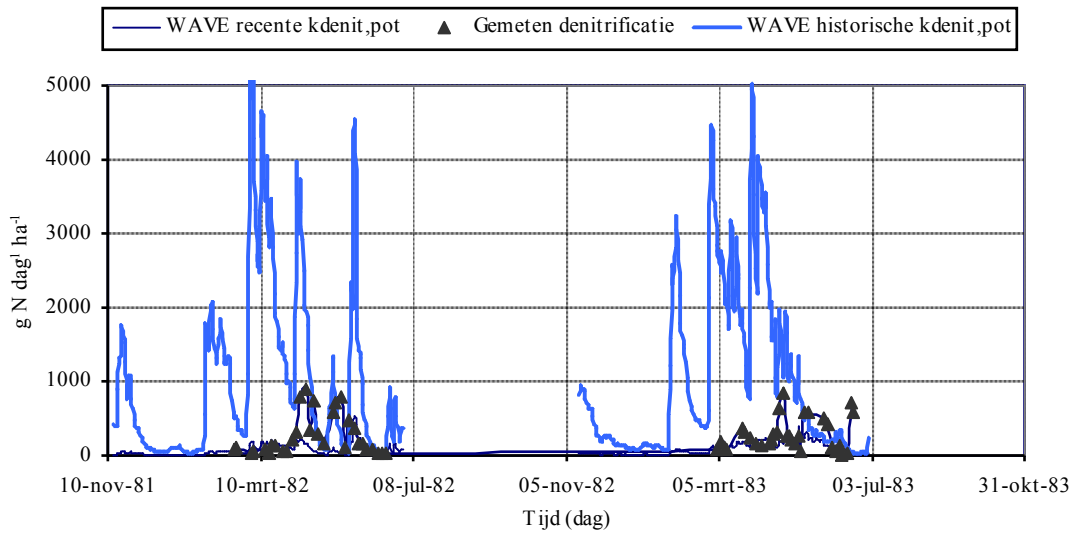
De volumetrische vochtgehalten voor het proefveld H el cine werden goed gesimuleerd door WAVE (Figuur 3.3). Dit is belangrijk omdat de verzadigheidsgraad van de bodem een sterke invloed heeft op de denitrificatieverliezen.

In Figuren 3.4 en 3.5 wordt, voor respectievelijk de hoeveelheid denitrificatie en de hoeveelheid nitraatstikstof in de bodem, de vergelijking weergegeven tussen de simulatie met de recente $k_{\text{denit,pot}}$ ($k_{\text{denit,pot}} = 0.0015 \text{ dag}^{-1}$ voor 0-30 cm bodemlaag) en de simulatie met de voorheen in WAVE gebruikte $k_{\text{denit,pot}}$ ('historische $k_{\text{denit,pot}}$ ': $k_{\text{denit,pot}} = 0.1 \text{ dag}^{-1}$ voor 0-15 cm en $k_{\text{denit,pot}} = 0.05 \text{ dag}^{-1}$ op 30 cm). Met de historische $k_{\text{denit,pot}}$ in WAVE worden te lage minerale stikstofconcentraties gesimuleerd in de bodemlagen. Dit hangt samen met het feit dat een te hoge denitrificatie wordt gesimuleerd. Met de recente $k_{\text{denit,pot}}$ van 0.0015 dag^{-1} worden de gemeten waarden goed benaderd.

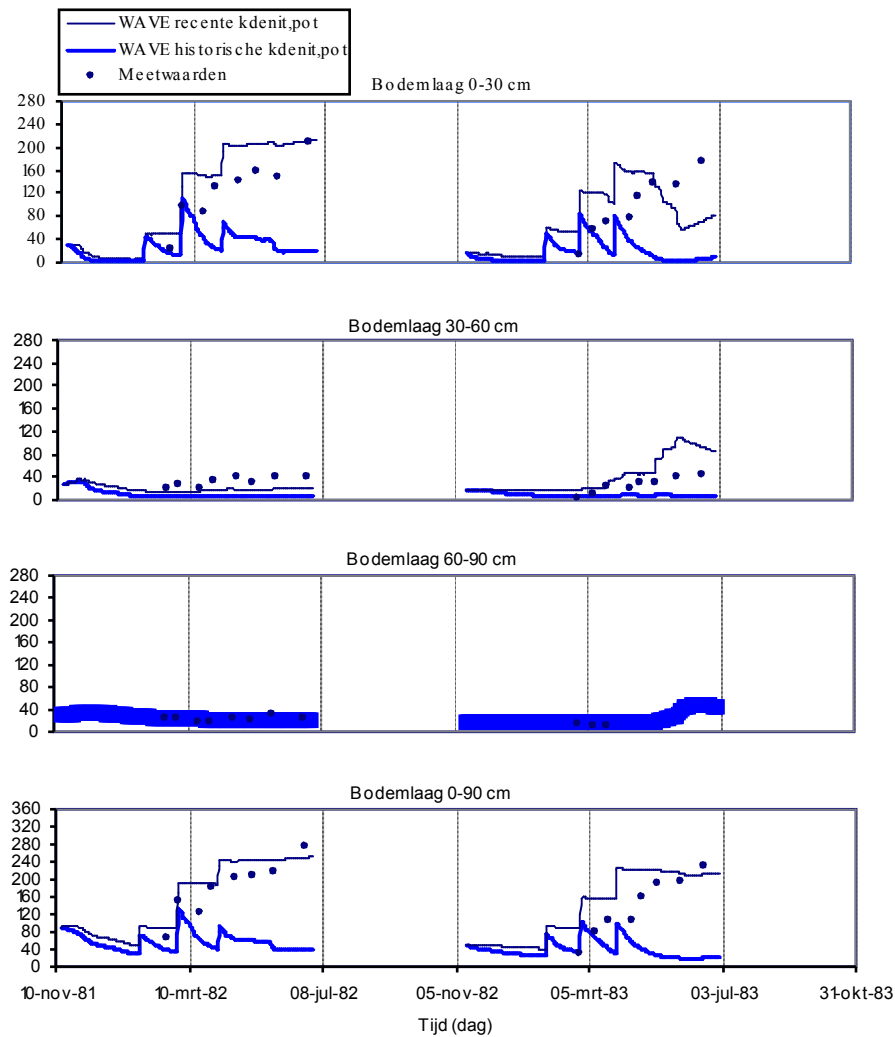
De simulatie met de recente $k_{\text{denit,pot}}$ geeft voor jaarlijkse denitrificatieverliezen waarden tussen 0 en 30 kg N ha⁻¹ wat in overeenstemming is met literatuurwaarden voor niet-kleigronden (Tabel 3.3). De jaarlijkse denitrificatie bij gebruik van de historische $k_{\text{denit,pot}}$ is onrealistisch hoog.



Figuur 3.3: Gesimuleerd en gemeten vochtgehalte per bodemlaag van 30 cm voor proefveld Hélocine



Figuur 3.4: Gesimuleerde en gemeten denitrificatie ($\text{g N dag}^{-1} \text{ha}^{-1}$) voor proefveld Hélocine



Figuur 3.5: Gesimuleerde en gemeten nitraatconcentratie ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) in de bodem voor proefveld H el cine

Tabel 3.3: Het effect van verschillende potenti le denitrificatie-constanten op de jaarlijkse denitrificatie in een 0-90 cm bodemprofiel in proefveld H el cine (periode: 15 november tot 14 november)

	1982 ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$)	1983 ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$)
Denitrificatie met $k_{\text{denit,pot}} = 0.0015 \text{ dag}^{-1}$	-25.3	-22
Denitrificatie met voorheen gebruikte $k_{\text{denit,pot}}$	-267.6	-231.8

3.3.2 Omrekening denitrificatiepotentiaal naar $k_{\text{denit,pot}}$

De denitrificatiepotentiaal van 20 bodems werd opgemeten in het labo (Tabel 3.4). Er werden drie verschillende meetprocedures gevolgd: verzadiging op dag 7 met of zonder toediening van een koolstofbron en verzadiging op dag 4 met toediening van een koolstofbron. Juist voor de meting van denitrificatie in het labo, werd $50 \mu\text{g NO}_3\text{-N}$ per g droge grond toegevoegd. De toegediende nitraat wordt in rekening gebracht om $k_{\text{denit,pot}}$ te berekenen uitgaande van de labometingen. Door de in het labo gemeten denitrificatiepotentialen (in $\mu\text{g N (g grond)}^{-1} \text{ dag}^{-1}$) te delen door $50 \mu\text{g NO}_3\text{-N (g grond)}^{-1}$ bekomt men $k_{\text{denit}} \text{ (dag}^{-1}\text{)}$.

De hiervoor gedefinieerde reductiefuncties voor temperatuur (REDTEMP) en vochtgehalte (R_w) moeten nog in rekening worden gebracht om $k_{\text{denit,pot}}$ te verkrijgen die als invoer in WAVE moet worden ingegeven.

Vermits de denitrificatiemetingen bij een verzadigd vochtgehalte gemeten zijn, moet de functie R_w niet in rekening worden gebracht bij de omrekening. R_w is immers gelijk aan 1 bij verzadiging.

De grondstalen werden op $15 \text{ }^\circ\text{C}$ geïncubeerd. REDTEMP is gelijk aan 0.89596 bij $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Hierdoor moet k_{denit} gedeeld worden door 0.89596 om de $k_{\text{denit,pot}}$ bij $16 \text{ }^\circ\text{C}$ te bekomen (dit is de temperatuur waar REDTEMP gelijk is aan 1).

In Tabel 3.5 worden de berekende $k_{\text{denit,pot}}$ op basis van de verschillende labometingen weergegeven. Zowel de metingen met verzadiging op dag 7 met of zonder toediening van C als de metingen met verzadiging op dag 4 met toediening van C werden omgerekend tot waarden voor $k_{\text{denit,pot}}$.

Voor het proefveld Hélécine met textuur leem werd reeds een $k_{\text{denit,pot}} = 0.0015 \text{ dag}^{-1}$ afgeleid op basis van veldmetingen. Als men de op basis van labometingen bekomen $k_{\text{denit,pot}}$ vergelijkt met de waarde van 0.0015 dag^{-1} afgeleid voor Hélécine, dan merkt men op dat de op basis van metingen berekende $k_{\text{denit,pot}}$ bijna steeds groter zijn dan deze 0.0015 dag^{-1} waardoor de gesimuleerde denitrificatieverliezen veel te hoog zouden zijn. Daarom werd getracht om de berekende $k_{\text{denit,pot}}$ te herschalen.

Vermits de $k_{\text{denit,pot}} = 0.0015 \text{ dag}^{-1}$ afgeleid voor Hélécine realistische waarden geeft voor de denitrificatie werden alle op basis van labometingen berekende $k_{\text{denit,pot}}$ herschaald met behulp van deze waarde. Om dit te bewerkstelligen werd de gemiddelde $k_{\text{denit,pot}}$ voor de leemvelden herschaald naar 0.0015 dag^{-1} en werd de bekomen herschalingsfactor toegepast op alle berekende $k_{\text{denit,pot}}$ voor de nieuwe proefvelden. Deze procedure werd gescheiden uitgevoerd voor de berekende $k_{\text{denit,pot}}$ op basis van de drie verschillende labometingen, i.e. verzadiging op dag 7 met of zonder toediening van C en verzadiging op dag 4 met toediening van C (Tabel 3.5). De uiteindelijk gebruikte $k_{\text{denit,pot}}$ is het gemiddelde van de herschaalde $k_{\text{denit,pot}}$ coëfficiënten bekomen voor de drie verschillende labometingen. Dit werd gedaan om te voorkomen dat er voor sommige bodems onrealistische of zelfs geen $k_{\text{denit,pot}}$ worden bekomen. Deze gemiddelde herschaalde $k_{\text{denit,pot}}$ geven realistische waarden voor de denitrificatie in WAVE.

Tabel 3.4: De in het labo bepaalde denitrificatiepotentiaal van de A-horizont ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{dag}^{-1}$) van de 20 proefvelden, met en zonder toevoeging van een koolstofbron

Veld	Locatie	Teelt 2000	textuur	pH	C	N	Labometingen		
							dag 7* met C $\mu\text{g N g}^{-1} \text{dag}^{-1}$	dag 7* zonder C $\mu\text{g N g}^{-1} \text{dag}^{-1}$	dag 4* met C $\mu\text{g N g}^{-1} \text{dag}^{-1}$
1	Oostende	Weide	Klei	6.7	4.3	0.398	12.56	9.06	15.97
4	Knokke-Heist	Aardappel	Klei	6.7	2.8	0.250	14.19	8.33	22.43
2	Assenede	Tarwe	Klei	7	1.2	0.123	6.08	3.31	3.97
3	Sint-Laureins	Bieten	Klei	7.2	0.9	0.079	2.41	1.43	4.28
260	Tongeren	Groenbemester	Leem	6.5	1.4	0.152	4.52	4.02	6.24
258	Kumtich	Aardappel	Leem	7.3	1.3	0.128	2.07	3.75	5.84
259	Tongeren	Tarwe	Leem	7.6	1.6	0.133	5.04	3.04	3.54
266	Leefdaal	Groenbemester	Leem	6.3	0.9	0.111	1.92	0.97	3.71
265	Tielt-Winge	Weide	Zandleem	5.6	2.6	0.210	7.25	3.72	4.35
7	Elverdinge	Prei	Zandleem	6.5	1.3	0.116	5.48	2.07	5.62
8	Elverdinge	Bloemkool	Zandleem	5.7	1.1	0.088	2.17	0.04	4.26
262	Ottenburg	Maïs	Zandleem	6.9	1.2	0.101	1.52	1.17	1.92
263	Geetbets	Tarwe	Zandleem	7	1.4	0.129	1.51	0.47	2.49
264	Bekkevoort	Groenbemester	Zandleem	5.8	0.7	0.068	0.68	1.25	1.23
6	Sint-Laureins	Weide	Zand	5.4	2.6	0.185	1.57	0.16	1.24
5	Assenede	Maïs	Zand	3.8	2.3	0.152	1.38	1.22	1.01
261	Lichtaart	Weide	Zand	5.3	3.0	0.149	0.42	0.15	0.99
255	Kasterlee	Maïs	Zand	5.7	1.8	0.118	0.62		2.30
257	Oost-Malle	Weide	Zand	5.8	2.8	0.205	1.67	0.66	2.58
256	Kasterlee	Aardappel	Zand	6	2.9	0.145	1.14	0.49	1.58

*: respectievelijk verzadigd op dag 7 en dag 4

Tabel 3.5: De berekende $k_{\text{denit,pot}}$ bij 16°C op basis van de verschillende labometingen van de denitrificatiepotentiaal van de A-horizont (met en zonder toevoeging van een koolstofbron, verzadigd op dag 7 of 4) en de herschaalde $k_{\text{denit,pot}}$ bij 16°C op basis van de door kalibratie verkregen k_{denit} te Hélécine

Veld	Berekende $k_{\text{denit,pot}}$			Herschaalde $k_{\text{denit,pot}}$			Gemiddelde dag ⁻¹
	dag 7 met C dag ⁻¹	dag 7 zonder C dag ⁻¹	dag 4 met C dag ⁻¹	dag 7 met C dag ⁻¹	dag 7 zonder C dag ⁻¹	dag 4 met C dag ⁻¹	
1	0.2804	0.2022	0.3565	0.0056	0.0046	0.0050	0.0050
4	0.3168	0.1859	0.5007	0.0063	0.0042	0.0070	0.0058
2	0.1357	0.0739	0.0886	0.0027	0.0017	0.0012	0.0019
3	0.0538	0.0319	0.0955	0.0011	0.0007	0.0013	0.0010
260	0.1009	0.0897	0.1393	0.0020	0.0020	0.0019	0.0020
258	0.0462	0.0837	0.1304	0.0009	0.0019	0.0018	0.0015
259	0.1125	0.0679	0.0790	0.0022	0.0015	0.0011	0.0016
266	0.0429	0.0217	0.0828	0.0009	0.0005	0.0012	0.0008
265	0.1618	0.0830	0.0971	0.0032	0.0019	0.0014	0.0022
7	0.1223	0.0462	0.1255	0.0024	0.0011	0.0017	0.0017
8	0.0484	0.0009	0.0951	0.0010	0.0000	0.0013	0.0008
262	0.0339	0.0261	0.0429	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006
263	0.0337	0.0105	0.0556	0.0007	0.0002	0.0008	0.0006
264	0.0152	0.0279	0.0275	0.0003	0.0006	0.0004	0.0004
6	0.0350	0.0036	0.0277	0.0007	0.0001	0.0004	0.0004
5	0.0308	0.0272	0.0225	0.0006	0.0006	0.0003	0.0005
261	0.0094	0.0033	0.0221	0.0002	0.0001	0.0003	0.0002
255	0.0138		0.0513	0.0003		0.0007	0.0003
257	0.0373	0.0147	0.0576	0.0007	0.0003	0.0008	0.0006
256	0.0254	0.0109	0.0353	0.0005	0.0002	0.0005	0.0004
Gemiddelde leembodems	0.0756	0.0657	0.1079				
Herschalings- factor	0.0198	0.0228	0.0139				

3.4 Besluit

Op basis van het denitrificatieonderzoek werd het WAVE-model verfijnd en konden denitrificatieverliezen onder Vlaamse omstandigheden realistisch ingeschat worden. De denitrificatieverliezen werden op basis van literatuuronderzoek en experimentele bepalingen begroot. Tevens kon het WAVE-model aan de hand van gemeten denitrificatieverliezen op het proefveld Hélécine gekalibreerd worden. Tenslotte werd de omrekening van de gemeten denitrificatiepotentiaal naar $k_{\text{denit,pot}}$, de denitrificatieconstante in WAVE, toegelicht.

4 Bespreking van de proefveldresultaten

4.1 Inleiding

Op de 20 geselecteerde proefvelden werden tijdens beide winterperiodes, met name tussen 1 oktober 2000 en 31 maart 2001 en tussen 1 oktober 2001 en 31 maart 2002, de minerale stikstof in de bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainagewater driewekelijks opgevolgd. De periode 1 oktober-31 maart werd gekozen omwille van het feit dat in deze periode de N-opname door een gewas zeer gering is en het neerslagoverschot hoog is (lage evapotranspiratie), zodat het risico op nitraatuitspoeling groot is in de bestudeerde periode. Op enkele velden werd gedurende de zomer de evolutie van de minerale stikstof verder opgevolgd.

Enerzijds worden de meetgegevens van de 20 proefvelden gebruikt voor de kalibratie en validatie van de modellen WAVE en DRAINMOD, anderzijds vormen de proefveldresultaten, samen met de modelresultaten en expertkennis aanwezig binnen het consortium, de basis voor het vastleggen van nitraatstikstofresidunormen.

In dit hoofdstuk wordt eerst de bodemkundige karakterisatie van de 20 percelen besproken, vervolgens wordt de evolutie van $\text{NO}_3\text{-N}$ in de bodem en in het grond-, bodem- en drainagewater besproken.

4.2 Bodemkundige karakterisatie van de proefvelden

De uitspoeling van nutriënten met het percolerend water wordt in grote mate bepaald door de bodemkenmerken. Daartoe werden voor de 20 proefvlakken verschillende parameters onderzocht.

Per horizont werd een granulometrische analyse of textuurbepaling uitgevoerd (gecombineerde zeef- en pipetmethode). Het percentage koolstof en stikstof werden respectievelijk bepaald volgens een natte oxidatiemethode (Walkley en Black, 1934; Walkley, 1947) en de gemodificeerde Kjeldahl-analyse. Daarnaast werden ook de pH_{KCl} en het schijnbaar soortelijk gewicht bepaald en werd een pF-curve opgesteld. De pF-curven zijn in Bijlage 5 opgenomen.

4.2.1 Kleibodems

Er werden 4 percelen op kleibodems geselecteerd.

Oostende (veld 1) - Bodemtype Ufp

Het bodemprofiel van 0-90 cm bestaat uit 2 horizonten: een A horizont van 0 tot 20 cm en een C horizont van 20 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.1 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.2. Het perceel wordt gekenmerkt door een zeer ondiepe grondwatertafel tijdens de winterperiode (0 - 50 cm). Het perceel wordt uitgebraat als graasweide.

Tabel 4.1: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 20 cm	zeer zware klei	8.0	37.2	54.7
20 - 90 cm	zeer zware klei	7.2	39.8	53.0

Tabel 4.2: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 20 cm	0.99	6.7	4.32	0.398	10.8
20 - 90 cm	1.34	6.8	0.76	0.091	8.4

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Assenede (veld 2) - Bodemtype sEdp

Het bodemprofiel tot 90 cm bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 25 cm, een AC horizont van 25 tot 50 cm en een C horizont van 50 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.3 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.4. Het perceel is gedraineerd (de drains liggen 70 cm diep en op 12 meter afstand) en wordt gekenmerkt door een matig diepe grondwatertafel tijdens de winterperiode (75 - 140 cm). Op dit perceel werd in 2000 wintertarwe geteeld (13/11/99 – 13/08/00, opbrengst 9 ton ha⁻¹), gevolgd in 2001 door vlas (13/04/01 – 17/07/01) en gele mosterd (10/08/01 – 29/10/01).

Tabel 4.3: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	lichte klei	51	31	18
25 - 50 cm	zand	85	9	6
50 - 90 cm	zand	89	7	5

Tabel 4.4: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.43	7.0	1.18	0.123	9.6
25 - 50 cm	1.49	7.3	0.22	0.019	11.3
50 - 90 cm	1.57	7.5	0.16	0.013	12.3

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Sint-Laureins (veld 3) - Bodemtype Edpz

Het bodemprofiel van 0 tot 90 cm bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 25 cm, een AC horizont van 25 tot 80 cm en een C horizont van 80 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.5 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.6. Het perceel wordt gekenmerkt door een ondiepe tot matig diepe grondwatertafel tijdens de winterperiode. Op dit perceel werd in 2000 suikerbieten geteeld (23/03/00 – 17/10/00, opbrengst 58 ton ha⁻¹), gevolgd in 2001 door wintertarwe (31/10/00 – 13/08/01, opbrengst 7 tot 8 ton ha⁻¹) en gras (14/09/01 – 20/11/01).

Tabel 4.5: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	lichte klei	55	26	19
25 - 80 cm	lichte klei	58	24	19
80 - 90 cm	kleilig zand	71	16	13

Tabel 4.6: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.45	7.2	0.92	0.079	11.6
25 - 80 cm	1.28	7.0	0.59	0.051	11.5
80 - 90 cm	1.23	7.3	0.47	0.042	11.3

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Knokke-Heist (veld 4) - Bodemtype sUdp

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm, een AC horizont van 30 tot 75 cm en een 2C horizont vanaf 75. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.7 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.8. Het perceel is gedraineerd (de drains liggen 70 cm diep en op 8 meter afstand) en wordt gekenmerkt door een ondiepe grondwatertafel tijdens de winterperiode. Op dit perceel werd in 2000 aardappelen geteeld (begin mei 00 – eind november 00), gevolgd in 2001 door wintertarwe (eind dec 00 – eind aug 01) en gele mosterd (begin sep 01 – 07/11/01).

Tabel 4.7: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 30 cm	zware zandige klei	35	27	38
30 - 75 cm	zware zandige klei	13	35	53
75 - 90 cm	kleilig zand	75	14	11

Tabel 4.8: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 30 cm	1.22	6.8	2.75	0.250	11.0
30 - 75 cm	1.35	6.8	1.08	0.130	8.3
75 - 90 cm	1.41	7.4	0.33	0.044	7.5

* Schijnbaar soortelijk gewicht

4.2.2 Leembodems

Er werden 4 percelen op leemgronden opgevolgd. Deze bodems zijn plateau-gronden en zijn dus gekenmerkt door een vrije drainage en een diepe grondwatertafel.

Kuntich (veld 258) - Bodemtype Aba₁

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 25 cm, een Bt horizont van 25 tot 70 cm en een C horizont vanaf 70 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.9 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.10. Op dit perceel werd in 2000 aardappelen geteeld (11/04/00 – eind sept 00), gevolgd in 2001 door wintertarwe (17/10/00 – 05/08/01) en gele mosterd (25/08/01 – 04/02/02).

Tabel 4.9: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	zwaar leem	7	71	22
25 - 75 cm	licht leem	7	77	17
> 75 cm	zwaar leem	7	74	20

Tabel 4.10: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.53	7.3	1.30	0.128	10.2
25 - 75 cm	1.46	7.6	0.40	0.043	9.3
> 75 cm	1.42	7.9	0.40	0.034	11.8

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Tongeren (veld 259) - bodemtype Eba/Ab_{a0}

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 40 cm, een B_t horizont van 40 tot 130 cm en een C horizont vanaf 130 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.11 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.12. Op dit perceel werd in 2000 en 2001 (11/9/00 – begin aug 01) wintertarwe geteeld, gevolgd in 2001 door gele mosterd (25/08/01 – 31/12/01).

Tabel 4.11: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 40 cm	lichte klei	31	50	19
40 - 130 cm	lemige klei	11	63	26
> 130 cm	Zwaar zandleem	22	57	21

Tabel 4.12: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 40 cm	1.46	7.6	1.60	0.133	12.0
40 - 130 cm	1.54	6.8	0.40	0.056	7.1
> 130 cm	1.47	7.9	0.10	0.041	2.4

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Tongeren (veld 260) - Bodemtype Ab_{a1}

Aangezien de proefvelden 259 en 260 aan elkaar grenzen, werden op veld 260 enkel de twee bovenste bodemhorizonten bemonsterd en geanalyseerd. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.13 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.14. Op dit perceel werden in 2000 erwten en gele mosterd (aug 00 – 31/01/01) geteeld, gevolgd in 2001 door suikerbieten (08/05/01 – 12/11/01).

Tabel 4.13: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 40 cm	zwaar leem	11	67	22
40 - 130 cm	licht leem	6	82	12

Tabel 4.14: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 40 cm	1.46	6.5	1.40	0.152	9.2
40-130 cm	1.54	6.4	0.28	0.039	7.3

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Leefdaal (veld 266) - Bodemtype Aba₁

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 25 cm, een Bt horizont van 25 tot 95 en een C horizont vanaf 95 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.15 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.16. Op dit perceel werd er in 2000 wintertarwe en gele mosterd (aug 00 – 10/02/01) geteeld, gevolgd in 2001 door suikerbieten (01/05/01 – begin nov 01).

Tabel 4.15: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	zwaar zandleem	16	65	20
25 - 95 cm	zwaar leem	13	67	20
> 95 cm	zwaar leem	10	67	23

Tabel 4.16: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.61	6.3	0.90	0.111	8.1
25 - 95 cm	1.52	5.7	0.18	0.033	5.4
> 95 cm	1.41	5.7	0.17	0.030	5.8

* Schijnbaar soortelijk gewicht

4.2.3 Zandleembodems

Er werden 6 velden op zandleem opgevolgd.

Ottenburg (veld 262) - Bodemtype sLbb

Het bodemprofiel bestaat uit 4 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm, een Bw horizont van 30 tot 75, een 2C₁ horizont van 75 tot 115 cm en een 2C₂ horizont vanaf 115 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.17 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.18. Het perceel wordt gekenmerkt door een diepe grondwatertafel tijdens de winterperiode (> 150 cm). Op dit perceel werd maïs geteeld (04/05/00 – 05/10/00 en 21/05/01 – 24/10/01).

Tabel 4.17: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 35 cm	zandleem	32	64	4
35 - 75 cm	zandleem	16	78	6
75 - 115 cm	zand	87	11	1
> 115 cm	zand	97	3	0

Tabel 4.18: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 35 cm	1.62	6.9	1.20	0.101	11.9
35 - 75 cm	1.63	6.6	0.40	0.051	7.8
75 - 115 cm	1.74	6.5	0.09	0.024	4.0
> 115 cm	1.59	7.0	0.06	0.016	4.2

*Schijnbaar soortelijk gewicht

Geetbets (veld 263) - Bodemtype Lba₀

Het bodemprofiel bestaat uit 4 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 40 cm, een Bt horizont van 40 tot 80, een C₁ horizont van 80 tot 85 cm en een C₂ horizont vanaf 85 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.19 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.20. Het perceel wordt gekenmerkt door een diepe grondwatertafel tijdens de winterperiode (> 100 cm). Op dit perceel werd wintertarwe geteeld (2000), gevolgd in 2001 door suikerbieten (10/05/01 – 05/11/01, opbrengst 63 ton ha⁻¹).

Tabel 4.19: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 40 cm	zwaar zandleem	41	41	18
40 - 80 cm	zware klei	24	38	38
80 - 85 cm	zwaar leem	13	68	19

Tabel 4.20: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 40 cm	1.65	7.0	1.40	0.129	10.9
40 - 80 cm	1.54	5.9	0.33	0.047	7.1
80 - 85 cm	1.65	4.1	0.19	0.030	6.2

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Bekkevoort (veld 264) - Bodemtype Lbb

Het bodemprofiel bestaat uit 2 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm en een Bw horizont vanaf 30 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.21 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.22. Het perceel wordt gekenmerkt door een diepe grondwatertafel tijdens de winterperiode (> 150 cm). Op dit

perceel werd er in 2000 wintertarwe en raaigras (19/08/00 – 17/02/01) geteeld, gevolgd in 2001 door aardappelen (14/04/01 – 06/10/01).

Tabel 4.21: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 30 cm	zandleem	31	62	7
> 30 cm	zandleem	29	65	7

Tabel 4.22: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 30 cm	1.58	5.8	0.70	0.068	10.3
> 30 cm	1.63	5.8	0.30	0.043	7.0

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Tielt-Winge (veld 265) - Bodemtype Lec₁

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een A horizont van 0 tot 25 cm, een verbrokkelde Bt horizont van 25 tot 80 en een C horizont vanaf 80 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.23 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.24. Het perceel wordt gekenmerkt door een zeer ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (< 50 cm). Dit perceel is een graasweide.

Tabel 4.23: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	Zandleem	43	49	8
25 - 80 cm	Zandleem	44	46	10

Tabel 4.24: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.34	5.6	2.60	0.210	12.4
25 - 80 cm	1.44	5.9	0.90	0.083	10.8

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Elverdinge (veld 7) - Bodemtype Lda₁

Het bodemprofiel tot 90 cm bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm, een Bt horizont van 30 tot 70 en een C horizont van 70 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.25 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.26. Op dit gedraineerde (de drains liggen op 70 cm diepte en op 7 m afstand) perceel werd prei geteeld (05/07/00 – 12/02/01, opbrengst 45 ton ha⁻¹), gevolgd in 2001 door aardappelen (25/05/01 – geen oogst) en gras.

Tabel 4.25: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 30 cm	licht zandleem	52	36	12
30 - 70 cm	zwaar zandleem	43	39	18
70 - 90 cm	kleilig zand	76	8	16

Tabel 4.26: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 30 cm	1.56	6.5	1.28	0.116	11.1
30 - 70 cm	1.58	6.5	0.27	0.033	8.3
70 - 90 cm	1.55	7.0	0.14	0.015	9.2

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Elverdinge (veld 8) - Bodemtype Pcc₁

Het bodemprofiel van 0-90 cm bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm, een verbrokkelde Bt horizont van 30 tot 75 en een C horizont van 75 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.27 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.28. Op dit perceel werd in 2000 bloemkool geteeld (01/07/00 – oktober, opbrengst 20 ton ha⁻¹), gevolgd in 2001 door maïs (eind mei 01 – eind okt 01). In het voorjaar van 2001 werd dit perceel gedraineerd (de drains op liggen op een diepte van 90 cm en op een onderlinge afstand van 12 m).

Tabel 4.27: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 30 cm	licht zandleem	61	29	10
30 - 75 cm	zwaar zandleem	56	29	15
75 - 90 cm	kleilig zand	68	19	12

Tabel 4.28: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 30 cm	1.59	5.7	1.07	0.088	12.1
30 - 75 cm	1.58	5.6	0.23	0.031	7.4
75 - 90 cm	1.62	5.9	0.15	0.018	8.4

* Schijnbaar soortelijk gewicht

4.2.4 Zandbodems

Er werden 6 percelen op zandgrond opgevolgd.

Kasterlee (veld 255) - Bodemtype Zfh

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 40 cm, een verbrokkelde Bh horizont van 40 tot 50 en een C horizont vanaf 50 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.29 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.30. Het perceel wordt gekenmerkt door een ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (< 50 cm), ondanks het feit dat dit perceel gedraineerd is (de drains liggen 1.1 m diep en op 10 meter afstand). Op dit perceel werd maïs geteeld (2000), gevolgd in 2001 door aardappelen (13/05/01 – 13-19/08/01) en gras (01/09/01).

Tabel 4.29: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 40 cm	zand	92	0	8
40 - 50 cm	zand	95	0	6
> 50 cm	zand	91	1	8

Tabel 4.30: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 40 cm	1.47	5.7	1.80	0.118	15.2
40 - 50 cm	1.71	5.1	0.11	0.012	9.8
> 50 cm	1.67	5.2	0.06	0.008	7.7

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Kasterlee (veld 256) - Bodemtype Seg

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 45 cm, een Bh horizont van 45 tot 55 en een C horizont vanaf 55 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.31 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.32. Het perceel wordt gekenmerkt door een ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (50 - 100 cm). Op dit perceel werden in 2000 aardappelen geteeld (24/04/00 – 15/10/00), gevolgd in 2001 door wortelen (17/05/01 – 21/09/01) en gras (24/09/01).

Tabel 4.31: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 45 cm	kleiig zand	86	5	9
45 - 55 cm	kleiig zand	89	2	8
> 55 cm	zand	93	0	7

Tabel 4.32: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 45 cm	1.66	6.0	2.90	0.127	22.8
45 - 55 cm	1.67	5.0	0.30	0.026	11.5
> 55 cm	1.50	5.0	0.13	0.010	13.5

*Schijnbaar soortelijk gewicht

Oost-Malle (veld 257) - Bodemtype Sdh

Het bodemprofiel bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 45 cm, een verbrokkelde Bh horizont van 45 tot 70 en een C horizont vanaf 70 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.33 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.34. Het perceel wordt gekenmerkt door een ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (50 - 100 cm). Dit gedraineerde (de drains liggen op 65 à 70 cm diepte en op 11 meter van elkaar) perceel werd uitgebraat als maai- en grasweide.

Tabel 4.33: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 45 cm	kleiig zand	89	3	8
45 - 70 cm	zand	92	2	6
> 70 cm	kleiig zand	87	2	12

Tabel 4.34: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 45 cm	1.42	5.8	2.80	0.205	13.7
45 - 70 cm	1.60	5.0	0.90	0.056	16.1
> 70 cm	1.68	4.5	0.10	0.027	3.7

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Lichtaart (veld 261) - Bodemtype Sfg

Het bodemprofiel bestaat uit 4 horizonten: een A horizont van 0 tot 25 cm, een Bh horizont van 25 tot 40, een BC horizont van 40 tot 70 cm en een C horizont vanaf 70 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.35 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem zijn gegeven in Tabel 4.36. Het perceel wordt gekenmerkt door een zeer ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (< 50 cm). Dit perceel werd uitgebraat als maai- en grasweide.

Tabel 4.35: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 25 cm	zand	92	1	7
25 - 40 cm	zand	93	0	7
40 - 70 cm	zand	93	0	7
> 70 cm	kleiig zand	92	0	8

Tabel 4.36: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 25 cm	1.35	5.3	3.00	0.149	20.1
25 - 40 cm	1.38	5.8	1.10	0.081	13.6
40 - 70 cm	1.52	4.7	0.40	0.041	9.8
> 70 cm	1.60	4.7	0.10	0.029	3.4

* Schijnbaar soortelijk gewicht

Assenede (veld 5) - Bodemtype Zdp

Het bodemprofiel tot 90 cm bestaat uit 3 horizonten: een Ap horizont van 0 tot 30 cm, een AC horizont van 30 tot 55 en een C horizont van 55 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.37 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in Tabel 4.38. Het perceel wordt gekenmerkt door een zeer ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (< 50 cm). Op dit perceel werd maïs geteeld (06/05/00 – 04/10/00 en 09/05/01- 30/10/01).

Tabel 4.37: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 30 cm	zand	93	6	2
30 - 55 cm	zand	92	6	2
55 - 90 cm	zand	97	3	0

Tabel 4.38: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 30 cm	1.38	3.8	2.26	0.152	14.8
30 - 55 cm	1.32	4.1	1.69	0.102	16.5
55 - 90 cm	1.60	4.3	0.14	0.007	20.0

Sint-Laureins (veld 6) - Bodemtype Zfhy

Het bodemprofiel bestaat uit 4 horizonten: een A horizont van 0 tot 20 cm, een verbrokkelde Bh horizont van 20 tot 50, een C₁ horizont van 50 tot 70 cm en een C₂ horizont van 70 tot 90 cm. De granulometrische karakterisatie is weergegeven in Tabel 4.39 en enkele fysico-chemische karakteristieken van de bodem staan in

Tabel 4.40. Het perceel wordt gekenmerkt door een zeer ondiepe grondwatertafel tijdens de winter (< 50 cm). Dit perceel werd uitgebaat als grasweide.

Tabel 4.39: Granulometrische karakterisatie

Laag	Textuur	Zand %	Leem %	Klei %
0 - 20 cm	zand	88	9	3
20 - 50 cm	zand	89	9	2
50 - 70 cm	lemig zand	80	16	3
70 - 90 cm	licht zandleem	51	41	9

Tabel 4.40: Enkele fysico-chemische karakteristieken

Laag	SSG* (g cm ⁻³)	pH-KCl	% C	% N	C/N
0 - 20 cm	1.33	5.4	2.57	0.185	13.9
20 - 50 cm	1.47	5.7	0.80	0.063	12.7
50 - 70 cm	1.69	5.8	0.12	0.015	8.1
70 - 90 cm	1.76	7.1	0.24	0.024	10.1

* Schijnbaar soortelijk gewicht

4.3 Evolutie van de minerale stikstof tijdens de winter

4.3.1 Staalname en analysetechniek

Op de 20 geselecteerde sites werden tijdens beide winterperiodes, met name tussen 1 oktober 2000 en 30 maart 2001 en tussen 1 oktober 2001 en 31 maart 2002, de minerale stikstof in de bodem en de nitraatstikstof in het bodem- en grondwater driewekelijks opgevolgd. Per site werd hiertoe een proefvlak van 20 m x 20 m afgebakend. Op de gedraineerde sites werden eveneens driewekelijks monsters van het drainwater op nitraatstikstof geanalyseerd. Op enkele velden werd gedurende de zomer de evolutie van de minerale stikstof verder opgevolgd.

Bodemstalen

Het nitraat- en ammoniumstikstofgehalte en vochtgehalte werden gemeten in bodemlagen van 30 cm tot op een diepte van 90 cm. Op de meetsites van de Bodemkundige Dienst van België werd per 30 cm een mengstaal van 10 boringen genomen en op minerale stikstof geanalyseerd en werd ook een bodemstaal genomen om het vochtgehalte te bepalen. Op de meetsites van de RUG werd per staalnametijdstip 2 keer een mengstaal van 5 boringen genomen. Op beide stalen werd het minerale stikstofgehalte en het vochtgehalte bepaald. Na de monsternamen werd de grond zo koel mogelijk bewaard om zowel gasvormige N-verliezen (ammoniakale N), als nitrificatie van NH₄⁺-N, als N-omzettingen van organische naar minerale vorm tegen te gaan. De bodemstalen werden volgens de gangbare meetmethoden op de laboratoria geanalyseerd.

In het labo van de Bodemkundige Dienst van België werden de grondstalen eerst gedroogd. Van de gedroogde (45°C) en gezeefde (2 mm) stalen werd het minerale stikstofgehalte bepaald. In het labo van de RUG werd de vochtige grond geëxtraheerd. De extractie gebeurde volgens ISO 14256-1 en de bepaling van het NO₃-N en NH₄-N gebeurde colorimetrisch respectievelijk volgens NEN-EN-ISO 13395 en NEN 6646. De resultaten worden uitgedrukt op droge stof basis (105°C) (ISO 11465). Onderzoek o.a. aan de RUG toonde aan dat door het drogen en bewaren de NH₄-N-concentraties enige wijzigingen kunnen ondergaan maar dat de NO₃-N-concentraties met de twee verschillende methoden vergelijkbaar zijn (Hofman *et al.*, 1980).

Bodemwater

Voor de bemonstering van het bodemvocht werden op ieder veld drie poreuze cups verticaal geplaatst op een diepte van 90 cm onder het maaiveld. Bij de installatie werd rond de cup zand gestort zodat het contact tussen de cup en de bodem optimaal was. Om te voorkomen dat er langs de schacht van de cup water naar beneden sijpelde, werd het boorgat opgevuld met bentoniet (Addiscott, 1990). Bij de bemonstering werd in de poreuze cups een onderdruk van ± 600 mbar aangelegd met behulp van een vacuümpomp voorzien van een manometer. Het water werd opgepompt en opgevangen in een monsterflesje en werd geanalyseerd op nitraatstikstof.

Grondwater

Om de nitraatstikstofconcentratie in het grondwater te bepalen werden op de sites met ondiep grondwater één of meerdere peilbuizen tot 2 meter onder het maaiveld geplaatst. Deze peilbuizen werden samengesteld uit een geperforeerde buis (1.5 m) waarboven een blinde buis van 0.5 m werd gemonteerd. De bovenste halve meter van het grondwater in de peilbuizen werd bemonsterd en op nitraatstikstof geanalyseerd. De stand van de grondwatertafel werd ook in de peilbuizen opgemeten aangezien deze gegevens noodzakelijk zijn voor de kalibratie van de waterbalans van het simulatiemodel.

Drainagewater

Voor de gedraineerde percelen werd een staal genomen van het water aan het einde van het drainagestelsel.

De waterstalen (uit poreuze cups, peilbuizen en drains) werden koel bewaard en zo snel mogelijk na de monsternamen geanalyseerd.

4.3.2 Bespreking proefveldmetingen

Inleiding

Het is niet evident om rechtlijnige verbanden te vinden tussen de opgemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het bodemvocht en het gehalte aan nitraatstikstof in het profiel omdat gelijktijdig verschillende processen optreden. Bovendien wordt de begroting van de optredende processen bemoeilijkt door een grote variabiliteit, zowel in de ruimte als in de tijd.

Tot de belangrijkste outputprocessen kunnen nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging, denitrificatie, en N-opname door planten en dieren gerekend worden. Tot de belangrijkste inputprocessen behoren depositie, fixatie en bemesting. Immobilisatie en mineralisatie vervolledigen de N-cyclus. In de winterperiode wordt de minerale stikstofinhoud van het bodemprofiel hoofdzakelijk beïnvloed door nitraatuitspoeling en in veel mindere mate door denitrificatie en N-opname.

In het algemeen kan vastgesteld worden dat in de winterperiode het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel afneemt, omwille van een migratie van $\text{NO}_3\text{-N}$ naar diepere bodemlagen met het percolerende water. Afhankelijk van factoren als het initieel gehalte aan nitraatstikstof en initieel vochtgehalte van het bodemprofiel, de neerslaghoeveelheid, de begroeiing, ... vindt er een N-aanrijking plaats van de bodemlagen 30-60 cm, 60-90 cm of >90 cm.

In Tabel 4.41 zijn de gemiddelde temperatuur en de neerslag per maand voor beide winterperiodes weergegeven voor het weerstation te Ukkel. Door de hoge temperatuur in november en begin december 2000 en in oktober 2001 was er nog een sterke microbiële

activiteit mogelijk tijdens deze periode. September 2001 was de natste septembermaand sinds 1833.

Tabel 4.41: Gemiddelde maandtemperatuur en de maandelijkse neerslag voor het weerstation te Ukkel

maand	2000-2001		2001-2002		Nominale waarde	
	Neerslag mm	Temp °C	Neerslag mm	Temp °C	Neerslag mm	Temp °C
oktober	98	11.5	68	14.5	71	10.4
november	87	7.8	100	6.2	78	6.0
december	58	5.7	51	2.8	76	3.4
januari	84	3.4	71	4.5	67	2.5
februari	84	4.6	168	7.1	54	3.2
maart	112	6.5	66	7.8	73	5.7

Resultaten van de 20 meetsites

Kleibodems

Vier proefvelden waren op klei gesitueerd. Voor een aantal karakteristieken van de kleibodems wordt naar § 4.2 verwezen. Het verloop van het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem, de NO₃-N-concentraties van het grond- (peilbuizen), het bodem- (poreuze cups) en drainwater en de stand van de grondwatertafel van de kleibodems wordt in Figuur 4.1, Figuur 4.2, Figuur 4.3 en Figuur 4.4 weergegeven. Tabel 4.42 toont de bemesting tijdens de periode 2000 –2001. De gemeten NH₄-N gehalten staan vermeld in Bijlage 6.

Tabel 4.42: Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de kleibodems

Locatie (nummer)	jaar	Teelt	Minerale bemesting	Organische bemesting
Oostende (veld 1)	2000	Graasweide onbepikt	250 kg N ha ⁻¹ ***	Geen, 4 GVE/ha tot half november
	2001	Graasweide onbepikt	300 kg N ha ⁻¹ ***	Geen, 3 GVE/ha tot half november
Assenede Drain 70cm (veld 2)	2000	Wintertarwe	200 kg N ha ⁻¹ ***	Geen 30 ton RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (begin september 2000)
	2001	Vlas Gele mosterd	60 kg N ha ⁻¹ Geen	Geen 30 ton RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (6 aug)
St-Laureins (veld 3)	2000	Suikerbieten	260 kg N ha ⁻¹ ***	Geen
	2001	Wintertarwe Gras	190 kg N ha ⁻¹ *** Geen	Geen 16 ton VDM (130 kg N ha ⁻¹)* (+/- 20 sep)
Kn-Heist Drain 70cm (veld 4)	2000	Aardappelen	80 kg N ha ⁻¹	Geen
	2001	Wintertarwe Gele mosterd	200 kg N ha ⁻¹ *** Geen	Geen Geen

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerde bemesting
GVE: grootvee eenheden, RDM: runderdrijfmest, VDM: varkensdrijfmest

- Oostende : graasweide

Tijdens de eerste meetperiode (oktober 2000 tot maart 2001) werden relatief hoge gehalten aan nitraatstikstof gemeten in de bodem (tot iets boven $100 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) die echter niet resulteerden in een overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn ($11.3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$).

De nitraatgehalten in de bodem waren in de tweede meetperiode (september 2001 - maart 2002) nog hoger en resulteerden wel in een overschrijding van de grenswaarde in het bodem- en grondwater. Tussen november 2001 en januari 2002 is een duidelijke aanrijking van nitraatstikstof in de 60-90 cm vast te stellen. Naast de peilbuizen en de poreuze cups werden bij aanvang van de tweede meetperiode houten palen geplaatst omdat het perceel nog beweid werd. Deze palen werden echter door de koeien gebruikt om tegen te schuren en het proefveld kan dus een voorkeurplaats geworden zijn met een verhoogde mestdepositie tot gevolg. Dit kan mede een verklaring zijn voor de hoge gehalten aan nitraatstikstof in het bodemprofiel en in het grond- en bodemwater in de winter 2001 - 2002. De extreem hoge concentraties in het bodemwater van één van de poreuze cups zijn waarschijnlijk te wijten aan het feit dat één van de poreuze cups midden een urineplek lag (op 13 november werd in de bedoelde cup een $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie gemeten die meer dan 400 ppm bedroeg). In Figuur 4.1 werd voor de gemiddelde nitraatstikstofconcentraties van de poreuze cups de suction cup in de urineplek niet opgenomen. Dit wijst op de extreme variabiliteit van (begrasde) weilanden.

Tijdens de eerste winter werd er eind oktober 2000 een piek van $\text{NH}_4\text{-N}$ in de 0-30 cm gemeten en gedurende december 2000 – februari 2001 bleef de $\text{NH}_4\text{-N}$ in de bovenste laag hoog.

- Assenede : wintertarwe - vlas – gele mosterd

Daar dit perceel gedraineerd is, ligt de grondwatertafel tijdens de winterperiode gemiddeld dieper dan 90 cm. Na de teelt van wintertarwe (oogst 13 augustus 2000) werd geen groenbemester ingezaaid. De hoge residu's, de najaarsmineralisatie in 2000 en de toediening van runderdrijfmest (forfaitair berekend 144 kg N ha^{-1}) zijn oorzaak van het overschrijden van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn, zowel in het bodem- als het grondwater.

Na de oogst van het vlas en het toedienen van runderdrijfmest (forfaitair berekend 144 kg N ha^{-1}), werd in 2001 wel een groenbemester ingezaaid (gele mosterd, zaai 10 augustus 2001). Deze kon zich goed ontwikkelen en liet bijgevolg lage $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's in het bodemprofiel achter. Daardoor waren de nitraatconcentraties in het grond- en bodemwater lager dan het voorgaande jaar (althoewel de grenswaarde nog regelmatig werd overschreden). Na het inploegen van de groenbemester (29 oktober 2001) kon deze geleidelijk aan mineraliseren en dus opnieuw N vrijstellen die door drainage geleidelijk de diepere horizonten kon bereiken. In december 2001 – februari 2002 is een aanrijking van nitraatstikstof in de 60-90 cm vast te stellen.

- Sint-Laureins : bieten - wintertarwe - gras

Bieten hebben een goed ontwikkeld wortelstelsel en zijn zeer goed in staat om het bodemprofiel uit te putten. Na de oogst van de bieten (17 oktober 2000) waren er dan ook geen problemen met de nitraatconcentratie in het bodem- en grondwater (zie Figuur 4.3). De nitraat-N in de bodem tot 90 cm bleef beperkt tot $< 30 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$.

Na de oogst van de wintertarwe (13 augustus 2001) en na de inzaai van het gras (14 september 2001) werd varkensdrijfmest (forfaitair berekend 130 kg N ha^{-1}) toegediend. Uit de nitraatconcentraties van het bodem- en grondwater blijkt dat het laat gezaaide gras niet voldoende in staat was de aangeboden stikstof op te nemen, zodat de grenswaarde overschreden werd. Tussen september en november 2001 is een duidelijke daling van het nitraatstikstofgehalte in de bodem vast te stellen, hetgeen gepaard gaat met een geleidelijke afname van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in bodem- en grondwater.

Volledigheidshalve moet nog vermeld worden dat in de periode van eind oktober tot eind november het perceel beweid werd. Ook hier bleken de houten palen naast de peilbuizen en poreuze cups de koeien aan te trekken zodat ook hier van een voorkeurplaats kan gesproken worden.

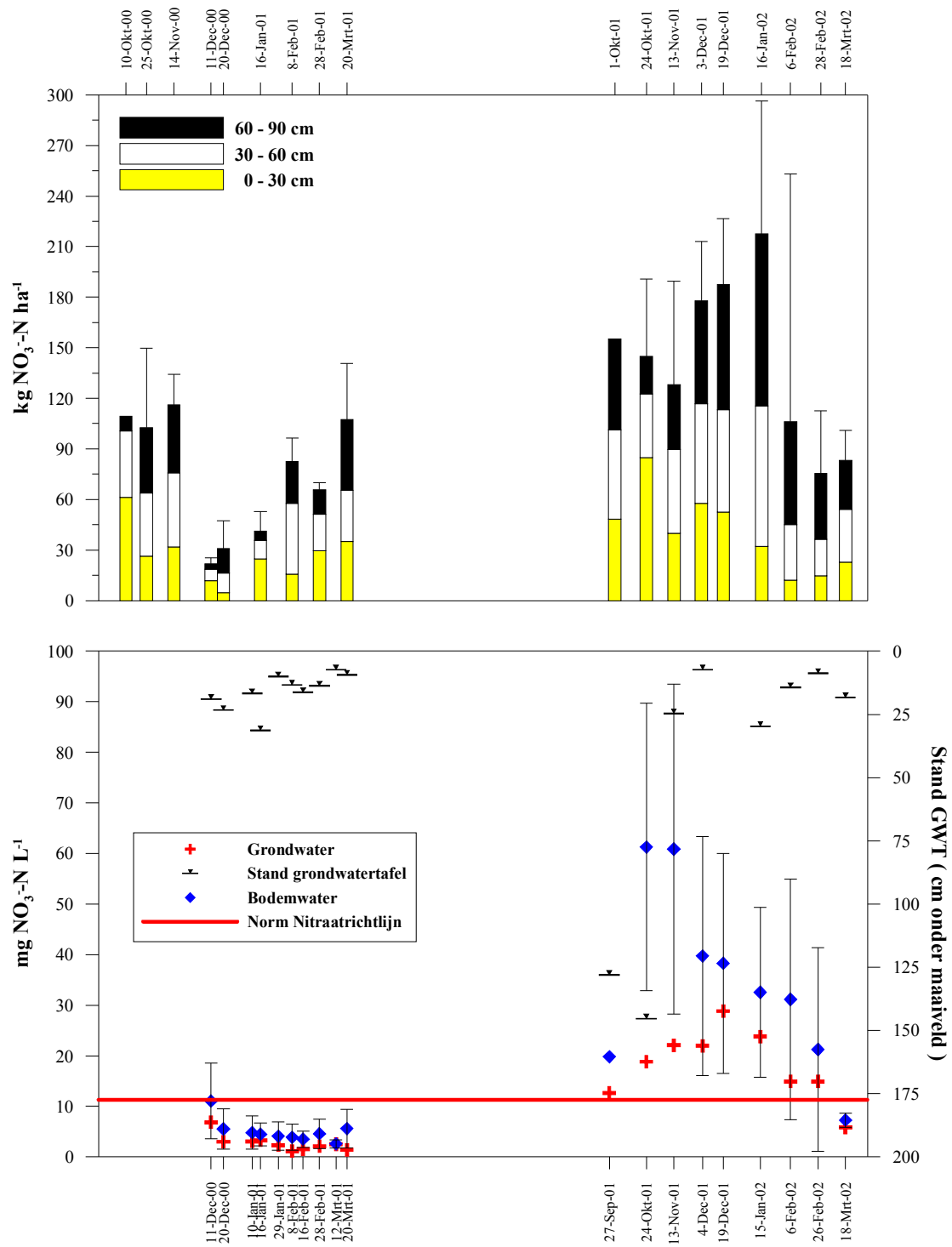
- Knokke-Heist : aardappelen - wintertarwe – gele mosterd

De NO₃-N-concentraties in grond- en bodemwater overschreden de grenswaarde van de nitraatrichtlijn niet tijdens de eerste meetperiode overeenstemmend met de beperkte residu's na de oogst van de aardappelen. De nitraatstikstofconcentratie in het drainwater overschreed de grenswaarde daarentegen wel. Omdat de drains in de verzamelput onder water lagen, werd de verzamelput bemonsterd maar niet enkel het bemonsterde perceel draineert af naar deze verzamelput.

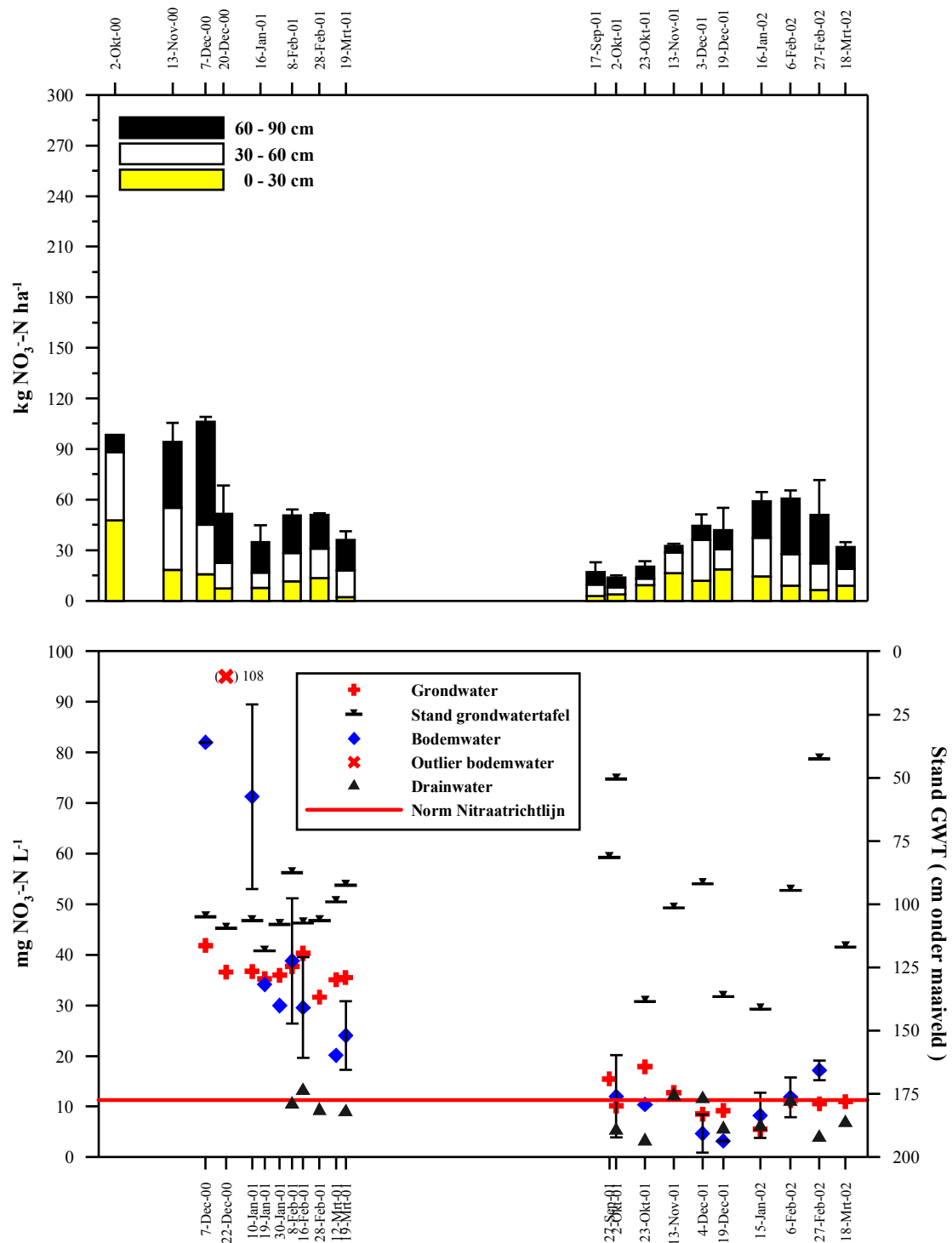
Na de oogst van de wintertarwe (2001), werd gele mosterd ingezaaid, die in staat was om voldoende nitraatstikstof op te nemen zodat de concentraties in het grond- en bodemwater onder de grenswaarde bleven. Het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem stijgt na het inploegen van de groenbemester (7 november 2001). Ook tijdens deze tweede meetperiode overtrof de NO₃-N-concentratie in het drainwater de grenswaarde.

Besluit kleibodems

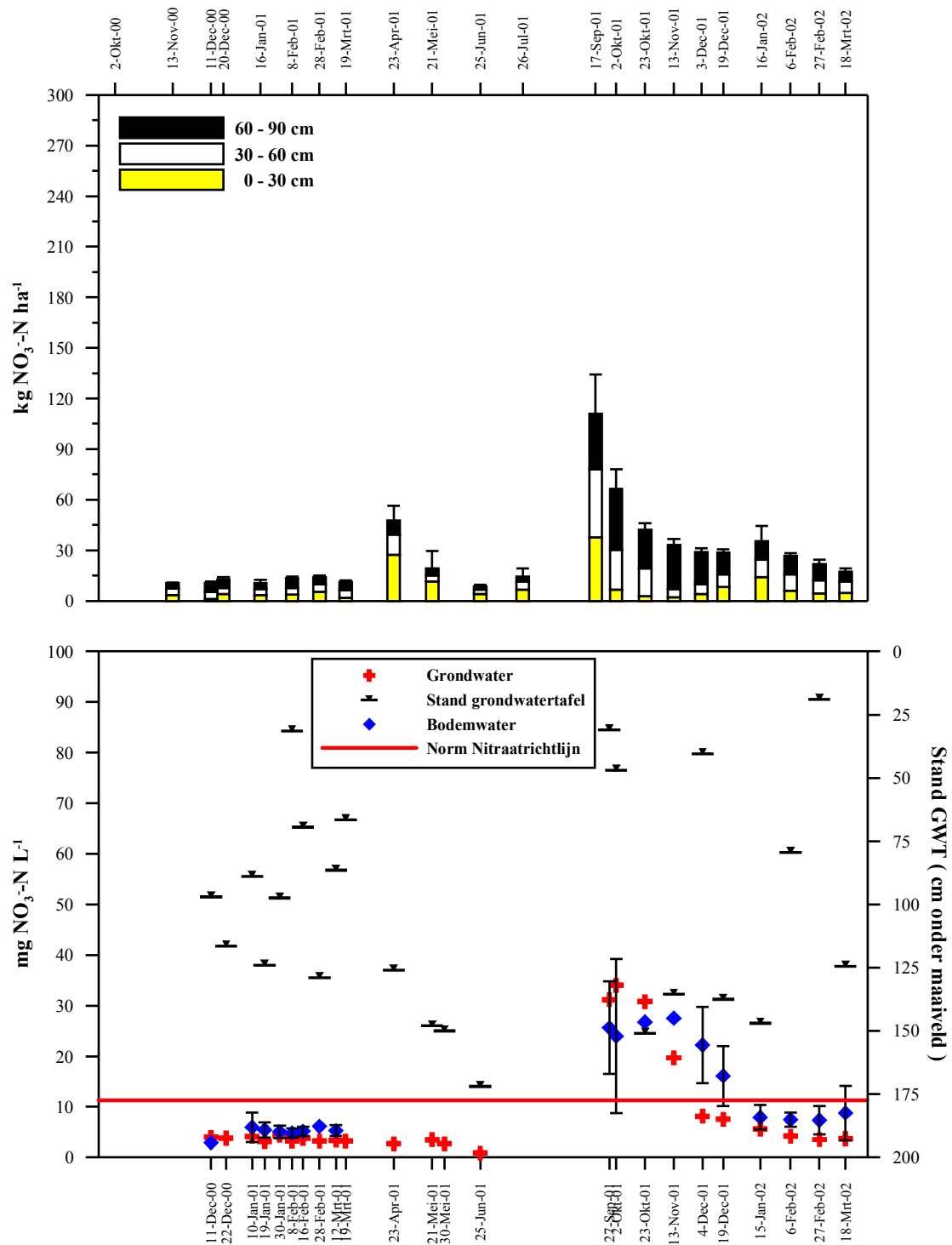
Uit het veldonderzoek bleek dat hoge NO₃-N-residu's in het najaar, hoge NO₃-N-concentraties in het bodem- en grondwater veroorzaken waardoor de grenswaarde van de nitraatrichtlijn overschreden wordt. Het inzaaien van een groenbemester heeft een positief effect op de NO₃-N hoeveelheid in het bodemprofiel en op de NO₃-N-concentratie in het grond- en bodemwater. De positieve invloed van een groenbemester op de NO₃-N-concentraties neemt duidelijk af naarmate de groenbemester later ingezaaid wordt waardoor de N-opname duidelijk daalt met een overeenstemmende geringere afname in NO₃-N-hoeveelheden in het bodemprofiel en van de NO₃-N-concentraties in bodem-, grond- en drainwater. Bij het te vroeg inploegen van de groenbemester kan er nog najaarsmineralisatie van de groenbemester optreden met een toename van de hoeveelheid nitraat in de bodem en een overschrijding van de grenswaarde van het bodem- en grondwater tot gevolg.



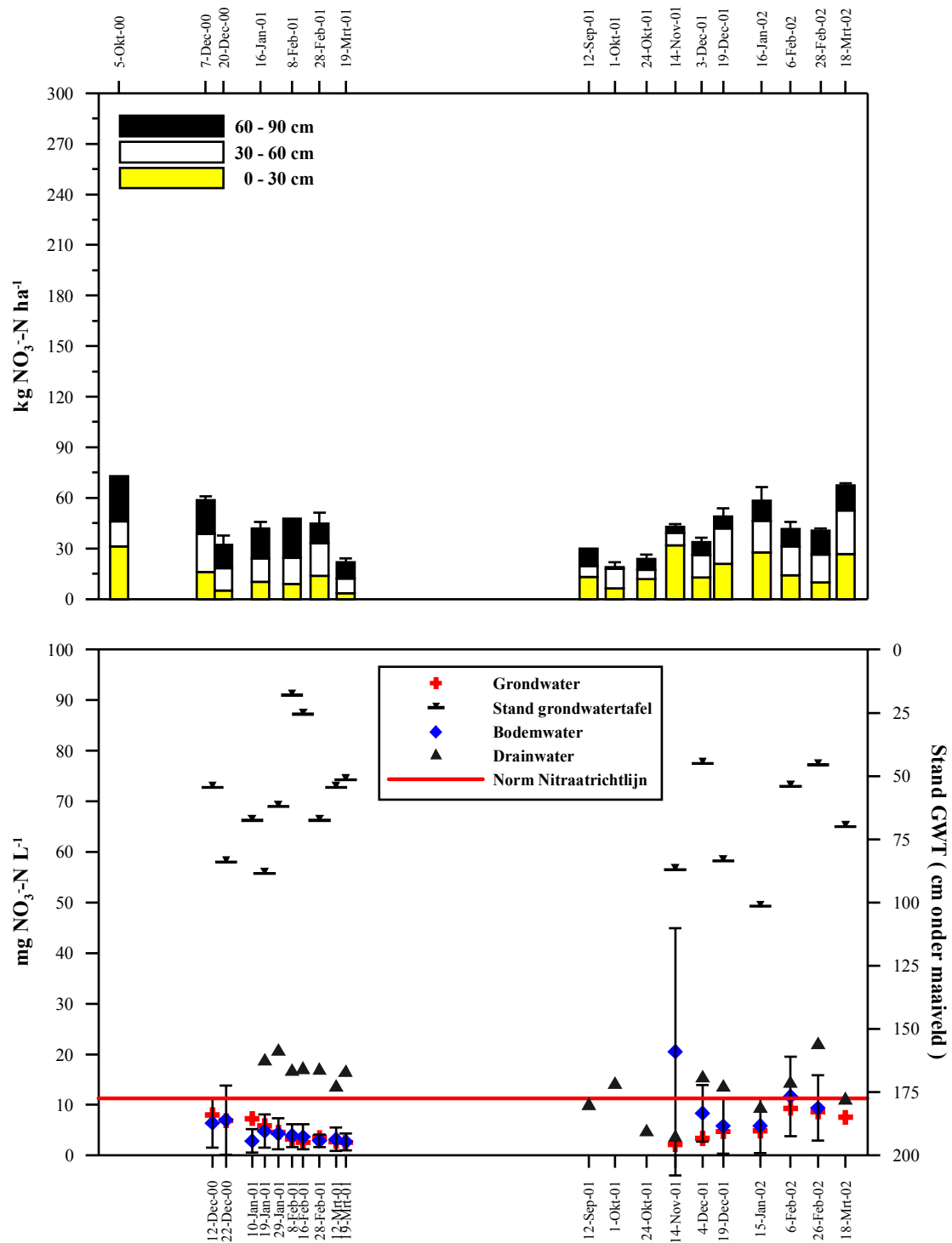
Figuur 4.1: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Oostende: graasweide'



Figuur 4.2: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Assenede: wintertarwe - vlas – gele mosterd'



Figuur 4.3: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Sint-Laureins: bieten - tarwe - gras'



Figuur 4.4: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Knokke-Heist: aardappelen - wintertarwe – gele mosterd'

Leembodems

Er werden vier percelen op leem opgevolgd. Deze vier leembodems zijn plateaugronden en zijn dus gekenmerkt door een vrije drainage. Er werden bijgevolg geen peilbuizen geïnstalleerd voor de bemonstering van het grondwater. Voor een volledige karakterisering van deze percelen wordt naar §4.2 verwezen. Het verloop van het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem en de nitraatstikstofconcentraties van het bodem- en drainwater worden weergegeven in Figuur 4.5, Figuur 4.6, Figuur 4.7 en Figuur 4.8. Tabel 4.43 toont de bemestingsgeschiedenis van de percelen in de periode 2000 - 2001. De gemeten $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten staan vermeld in Bijlage 6.

Tabel 4.43: Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de leembodems

Locatie (nummer)	jaar	Gegevens voorteelt	Minerale bemesting	Organische bemesting
Kumtich (veld 258)	2000	Raaigras	Geen	20 ton/ha VDM (162 kg N ha^{-1})* (15 aug 1999)
	2001	Aardappelen	190 kg N ha^{-1} ***	Geen
Wintertarwe Gele mosterd		87 kg N ha^{-1} *** Geen	Geen 15 ton/ha VDM (122 kg N ha^{-1})* (25 aug)	
Tongeren (veld 259)	2000	Wintertarwe	170 kg N ha^{-1} ***	Geen
	2001	Wintertarwe Gele mosterd	180 kg N ha^{-1} *** Geen	Geen 22 ton/ha VDM (178 kg N ha^{-1})* (24 aug)
Tongeren (veld 260)	2000	Groene erwten Gele mosterd	30 kg N ha^{-1} Geen	Geen 20 ton/ha ZDM (88 kg N ha^{-1})* (20 aug)
	2001	Suikerbieten	120 kg N ha^{-1}	Geen
Leefdaal (veld 266)	2000	Wintertarwe Gele mosterd	180 kg N ha^{-1} *** Geen	Geen 25 ton/ha VDM (203 kg N ha^{-1})* (aug)
	2001	Suikerbieten	169 kg N ha^{-1}	Geen

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerde bemesting
VDM: varkensdrijfmest, ZDM: zeugendrijfmest

- Kumtich : aardappelen - wintertarwe – gele mosterd

Door de snelle teeltopvolging (rooi aardappelen eind september, zaai wintertarwe 17 oktober 2000) kon de wintertarwe wellicht nog een beperkt deel van de aanwezige nitraatstikstof opnemen en was bijgevolg het nitraat minder onderhevig aan uitspoeling, zodat de nitraatstikstofconcentraties in het bodemwater onder de grenswaarde van de nitraatrichtlijn bleven. De $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheden in de laag 60-90 cm waren beperkt en vertoonden in de loop van de winter geen duidelijke aanrijking.

Het toedienen van varkensdrijfmest (forfaitair berekend 122 kg N ha^{-1}) na de oogst van de wintertarwe verhoogde de minerale N-inhoud van het bodemprofiel (meting 11 september 2001), maar had geen nefaste invloed op de nitraatconcentratie van het bodemwater. De gele mosterd (zaai 25 augustus 2001) was in staat om deze bemesting goed te benutten. Wat de oorzaak is van de overschrijding van de grenswaarde in december 2001 en januari 2002, is niet meteen duidelijk, daar de groenbemester slechts op 4 februari 2002 werd ingewerkt. De overschrijding van de grenswaarde in maart 2002 wordt mogelijk veroorzaakt door het inwerken van de groenbemester.

- Tongeren : wintertarwe - wintertarwe – gele mosterd

Tijdens de eerste meetperiode (oktober 2000 - maart 2001) werd geen overschrijding van de grenswaarde in het bodemwater waargenomen. De overschrijdingen in april en juni 2001 zijn hoogstwaarschijnlijk een gevolg van de voorafgaande bemesting.

Na de tweede teelt van wintertarwe werd varkensdrijfmest (forfaitair berekend 178 kg N ha⁻¹) toegediend en gele mosterd ingezaaid (eind augustus 2001). Na het toedienen van de varkensdrijfmest (24 augustus 2001) en na het inploegen van de groenbemester (31 december 2001) was er een sterke stijging van het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel in de periode januari – februari 2002 en van de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater.

- Tongeren : erwten – gele mosterd - suikerbieten

De gele mosterd zorgde ervoor dat de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater, ondanks de toediening van varkensdrijfmest (forfaitair berekend 88 kg N ha⁻¹) eind augustus, in de winter 2000-2001 onder de grenswaarde van de nitraatrichtlijn bleef. Nog voor het inwerken van de groenbemester (31 januari 2001) steeg de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater vanaf eind januari 2001 net boven de grenswaarde uit. In de tweede helft van december 2000 bevroor en legerde de groenbemester.

Omdat de suikerbieten het bodemprofiel sterk uitputten, kon tijdens de tweede meetperiode de norm van de nitraatrichtlijn gehaald worden. Mineralisatie van de oogstresten van de suikerbieten zorgden wel voor een stijging van de minerale stikstof in het bodemprofiel vanaf februari 2002 en van de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater op het einde van de winter.

- Leefdaal : wintertarwe – gele mosterd - suikerbieten

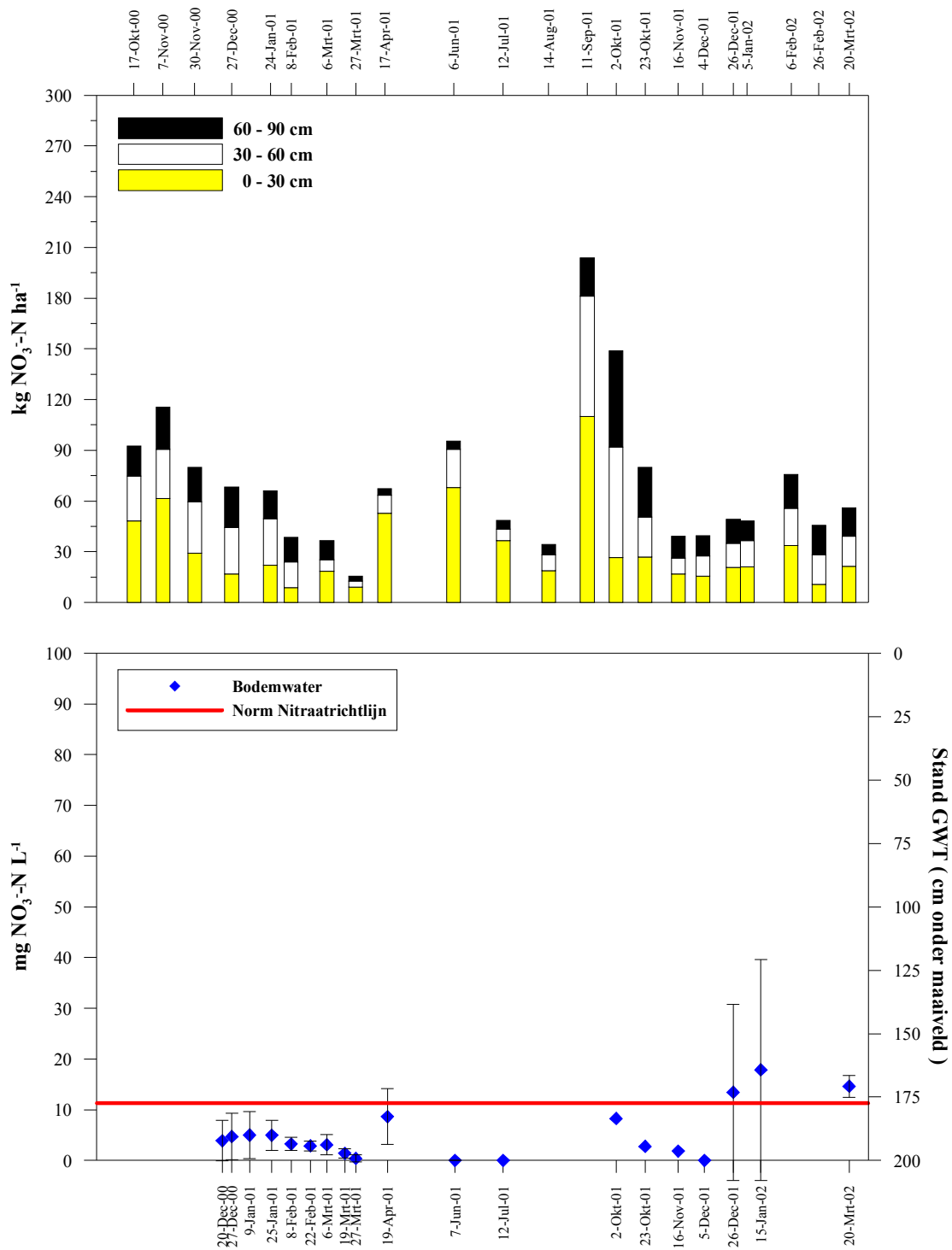
Ook hier zorgde de gele mosterd ervoor dat ondanks de toediening van varkensdrijfmest (forfaitair berekend 203 kg N ha⁻¹) in augustus 2000 de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater beperkt bleef.

De lage nitraatstikstofresidu's in de bodem na suikerbieten veroorzaakten evenmin problemen voor het bodemwater.

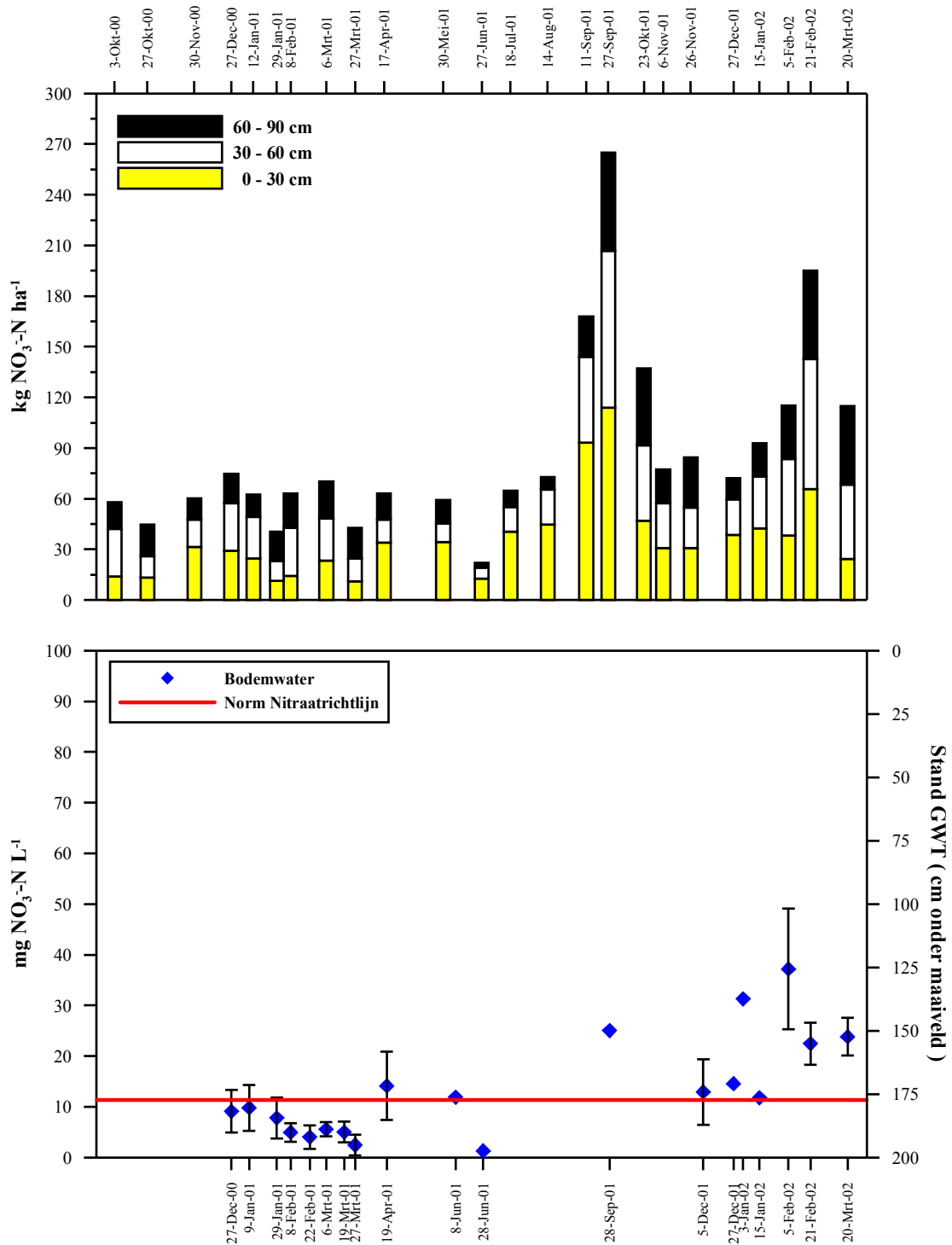
Besluit leembodems

Ook hier veroorzaakten hoge residu's aan nitraatstikstof in het bodemprofiel overschrijdingen van de norm in het bodem- en grondwater. Op drie van de vier velden was de NO₃-N-concentraties in het bodemwater gedurende beide winters echter niet significant hoger dan de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. Op het perceel 'Tongeren : wintertarwe - wintertarwe – gele mosterd' bleek de groenbemester niet in staat om de aangeboden stikstof op te nemen, waarschijnlijk te wijten aan een te hoge bemesting. Op alle andere percelen had gele mosterd wel een positieve invloed en bleven de overeenkomstige NO₃-N-concentraties in het bodemwater onder de grenswaarde. Na het inploegen van de groenbemester wordt wel een stijging van de NO₃-N-concentraties in het bodemwater en van het nitraatgehalte in het bodemprofiel vastgesteld. Na suikerbieten worden lage nitraatresidu's vastgesteld in de bodem omwille van de goede N-benutting van dit gewas maar wegens de mineralisatie van het suikerbietenloof kan het nitraatgehalte in de bodem wel toenemen tijdens de winterperiode.

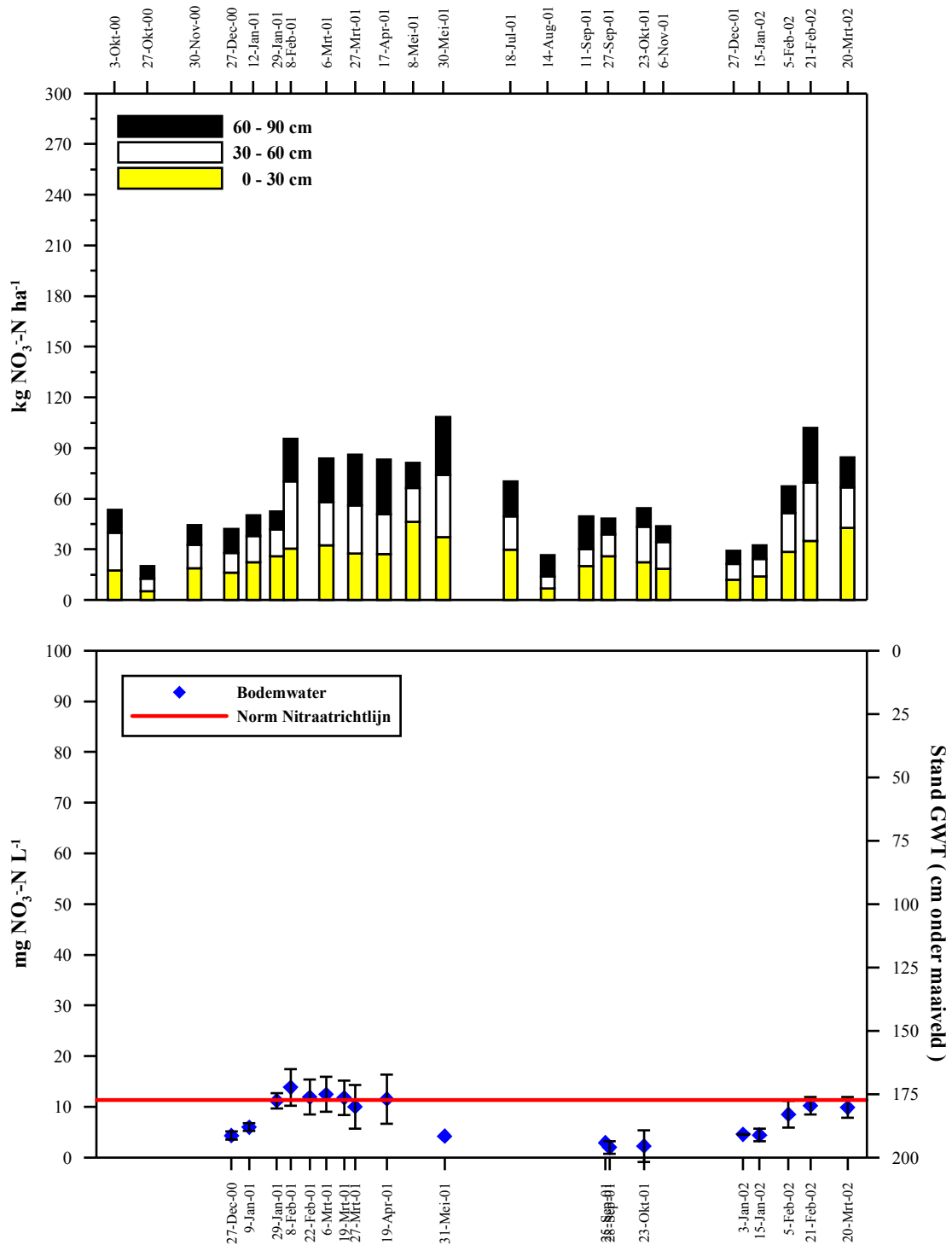
Hierbij dient evenwel opgemerkt te worden dat het gebruik van suction cups voor de bemonstering van het bodemwater beperkingen kent. Deze beperkingen komen later in dit hoofdstuk (§4.3.3) en ook in Hoofdstuk 5 (§5.3.4) uitvoerig aan bod. Niet alleen voor de interpretatie van de proefveldresultaten, maar ook in het kader van de modellering (Hoofdstuk 5), is het van belang de beperkingen van de suction cups en de andere meetmethoden in acht te nemen.



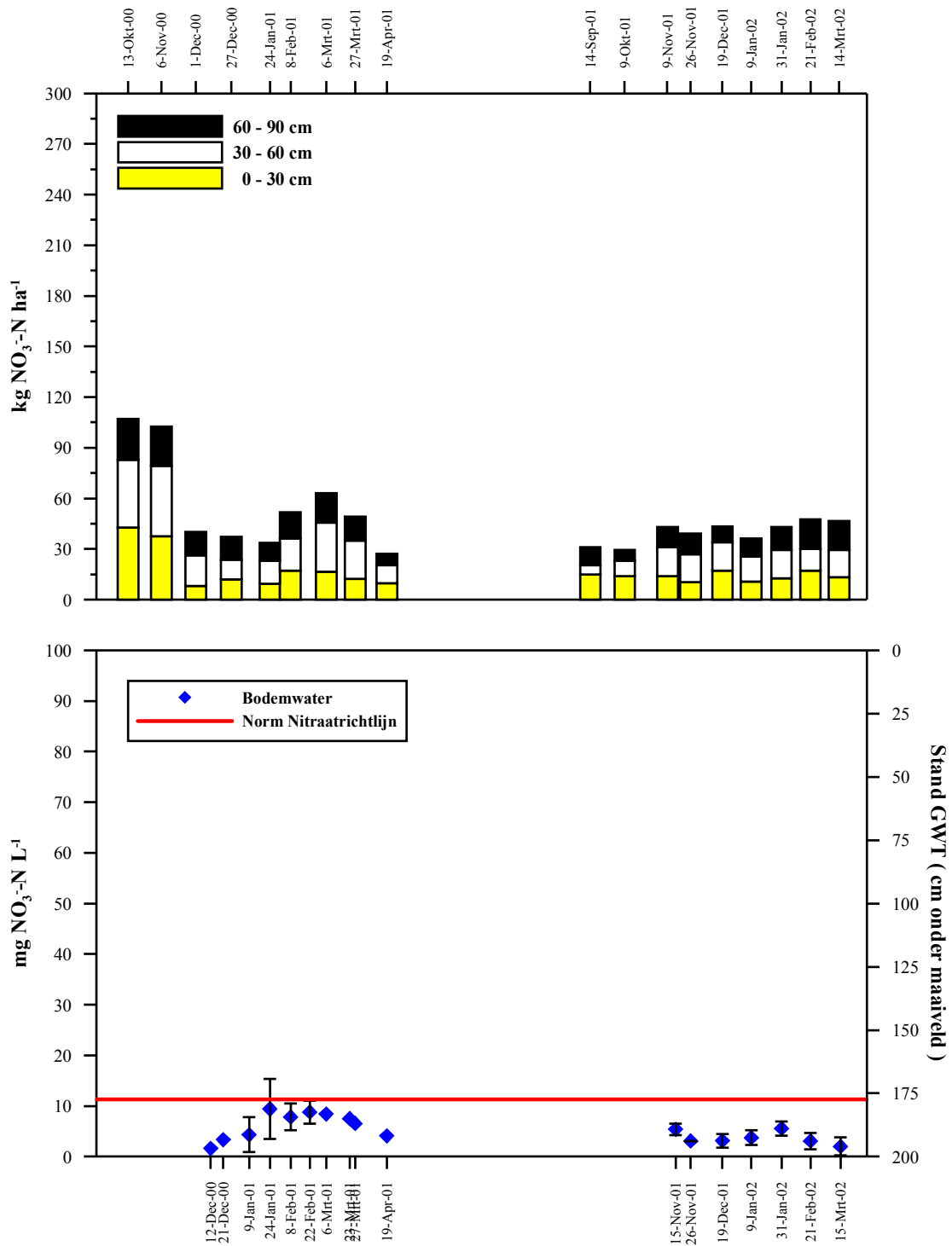
Figuur 4.5: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Kumtich: aardappelen - wintertarwe - gele mosterd'



Figuur 4.6: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Tongeren: wintertarwe - wintertarwe – gele mosterd'



Figuur 4.7: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentraties met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Tongeren: erwten – gele mosterd - suikerbieten'



Figuur 4.8: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Leefdaal: wintertarwe – gele mosterd - suikerbieten'

Zandleembodems

Er werden 6 velden op zandleem opgevolgd. Voor een volledige karakterisatie van de percelen wordt verwezen naar §4.2. Het verloop van het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem en de nitraatconcentraties van het grond-, bodem- en drainwater en de stand van de grondwatertafel wordt weergegeven in Figuur 4.9, Figuur 4.10, Figuur 4.11, Figuur 4.12, Figuur 4.13 en Figuur 4.14. Tabel 4.44 toont de bemesting van de percelen in 2000 en 2001. Bijlage 6 bevat de gemeten $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalten.

Tabel 4.44: Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de zandleembodems

Locatie (nummer)	Jaar	Teelt	Minerale bemesting	Organische bemesting
Ottenburg (veld 262)	2000	Maïs	30 kg N ha ⁻¹	25 ton/ha RSM (120 kg N ha ⁻¹)* (midden maart) 40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)* (28 april)
	2001	Maïs	50 kg N ha ⁻¹	50 ton/ha RDM (240 kg N ha ⁻¹)* (15 mei)
Geetbets (veld 263)	2000	Wintertarwe	66 kg N ha ⁻¹ ***	Inploegen groenbemester najaar 1999
	2001	Suikerbieten	52 kg N ha ⁻¹	22 ton/ha VDM (110 kg N ha ⁻¹)** (april)
Bekkevoort (veld 264)	2000	Wintertarwe Raaigras	207 kg N ha ⁻¹ *** Geen	Geen 15 ton/ha VDM (100 kg N ha ⁻¹)** (17 aug)
	2001	Aardappelen	266 kg N ha ⁻¹	Geen
Tielt-Winge (veld 265)	2000	Graasweide Omweiden	300 kg N ha ⁻¹ ***	Geen, Tot eind sept
	2001	Graasweide Omweiden	Geen	Geen, Tot 30 aug
Elverdinge Drain 70cm (veld 7)	2000	Prei	22 kg N ha ⁻¹	35 ton /ha VDM (284 kg N ha ⁻¹)* (juni)
	2001	Aardappelen	80 kg N ha ⁻¹	26 ton /ha VDM (211 kg N ha ⁻¹)* (15 mei)
		Gras	Geen	Geen
Elverdinge (veld 8)	2000	Bloemkool	22 kg N ha ⁻¹	40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)* (mei)
	2001	Maïs	54 kg N ha ⁻¹	25 ton /ha VDM (203 kg N ha ⁻¹)* (mei)

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerd
RDM: runderdrijfmest, RSM: runderstalmest, VDM: varkensdrijfmest

- Ottenburg : maïs - maïs

Dit perceel is een typisch maïspanceel (monocultuur), waarbij de N-bemesting voor het grootste deel ingevuld wordt met dierlijke mest (runderdrijfmest en stalmest).

Het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel nam na de oogst (5 oktober 2000) sterk toe wat gedeeltelijk verklaard kan worden door N-mineralisatie, waarna een sterke daling volgde. Dit nitraatstikstofverlies weerspiegelde zich in de NO₃-N-concentratie van het bodemwater, die de grenswaarde overschreed. Tussen de metingen van de drie suction cups bestaat er een zeer grote variatie op dit veld (in de figuur aangegeven met verticale foutenbalken). Dit is te verklaren door het feit dat de suction cups puntmetingen zijn waardoor dicht bij elkaar geplaatste cups toch grote verschillen tussen nitraatconcentraties in het bodemwater kunnen aangeven.

Ook bij metingen in juni en juli 2001 werd de grenswaarde niet gehaald, waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de maïs (gezaaid op 21 mei) nog niet voldoende in staat was om de aangeboden stikstof op te nemen.

Tijdens de tweede meetperiode (oktober 2001 - maart 2002) was de maximale NO₃-N in het bodemprofiel iets geringer, met lagere nitraatconcentraties in het bodemwater tot gevolg.

- Geetbets : wintertarwe - suikerbieten

Dit perceel had een specifieke voorgeschiedenis in die zin dat het een begroeide braak (Phacelia) was in 1999. Het perceel had in het voorjaar van 1999 20 ton kippenmest toegediend gekregen, waardoor de Phacelia een enorme ontwikkeling kende. Na het maaien (augustus 1999) is uit de opslag terug een vrij fors gewas ontwikkeld. Dit werd vlak voor de zaai van de tarwe in het najaar van 1999 ondergewerkt.

Het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem nam gedurende de eerste meetperiode toe (oktober 2000 - maart 2001). Dit kan mogelijk te maken hebben met de specifieke voorgeschiedenis van dit perceel die een grote mineralisatie mogelijk maakte. De nitraatconcentratie in het bodemwater oversteeg de grenswaarde bij alle metingen.

In de zomer werden op dit perceel vrij hoge N-voorraden in de bodem opgemeten. Dit vormde waarschijnlijk geen bedreiging voor het grond- en oppervlaktewater. Het MAP-oppervlaktewatermeetnet ondersteunt deze stelling: de metingen in de MAP-meetpunten tonen de seizoensgevoeligheid aan van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater met vooral pieken in het najaar en het voorjaar.

Via de cups kon in de zomer moeilijk bodemwater gecapteerd worden vermits een goed ontwikkeld gewas tijdens het groeiseizoen sterk vocht uit de bodem onttrekt.

Tijdens de tweede winterperiode (oktober 2001 - maart 2002) waren de NO₃-N-gehalten in het bodemprofiel van die aard dat de nitraatconcentratie in het bodemwater onder de grenswaarde bleef, met uitzondering van de metingen half september.

- Bekkevoort : wintertarwe - raaigras - aardappelen

Het perceel heeft een vrij normale bemestingsvoorgeschiedenis. Op de tarwestoppel werd varkensdrijfmest toegediend (17 augustus 2000 forfaitair berekend 100 kg N ha⁻¹) en werd raaigras als groenbemester ingezaaid. Ondanks de ingezaaide groenbemester en de lage gehalten aan nitraatstikstof in de bodem, oversteeg de gemiddelde nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater steeds de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. Hierbij dient tevens opgemerkt dat in februari – maart 2001 het gehalte aan ammoniumstikstof in de 0-30 cm hoog was (Bijlage 6).

Ook na de aardappelen was de concentratie in het bodemwater te hoog. Het NO₃-N-residu in de bodem was vanaf eind oktober weliswaar hoger dan in 2000.

- Tielt-Winge : graasweide

Deze weide ligt in een valleigebied en is voor het grootste deel van de winter waterverzadigd. Dit perceel werd uitgebaat als graasweide gedurende de periodes van juni tot eind september 2000 en van juni tot eind augustus 2001. Wegens de voortdurende wateroverlast werd de weide in 2001 niet bemest. De nitraatconcentratie in het bodemwater en het nitraatgehalte in de bodem waren steeds laag. Door de min of meer permanente waterverzadiging zal de denitrificatie hoog zijn. Het gehalte aan ammoniumstikstof in de bodemlaag 0-30 cm was meestal hoog met een piek in de periode februari – maart 2001.

- Elverdinge : prei - aardappelen - gras

Na de oogst van de prei had dit gedraineerde perceel een zeer hoog nitraatstikstofresidu dat gedurende de winter voortdurend afnam. De nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater bleef onder de grenswaarde, maar de concentraties in het grond- en drainwater waren te hoog. Na aardappelen waren de nitraatstikstofresidu's echter beperkt en leverden ze, mede dankzij de groenbemester, geen problemen voor de nitraatstikstofconcentraties in het bodem- en grondwater. De nitraatconcentraties in het drainagewater overschreden echter steeds de grenswaarde van de nitraatrichtlijn.

- Elverdinge : bloemkool - maïs

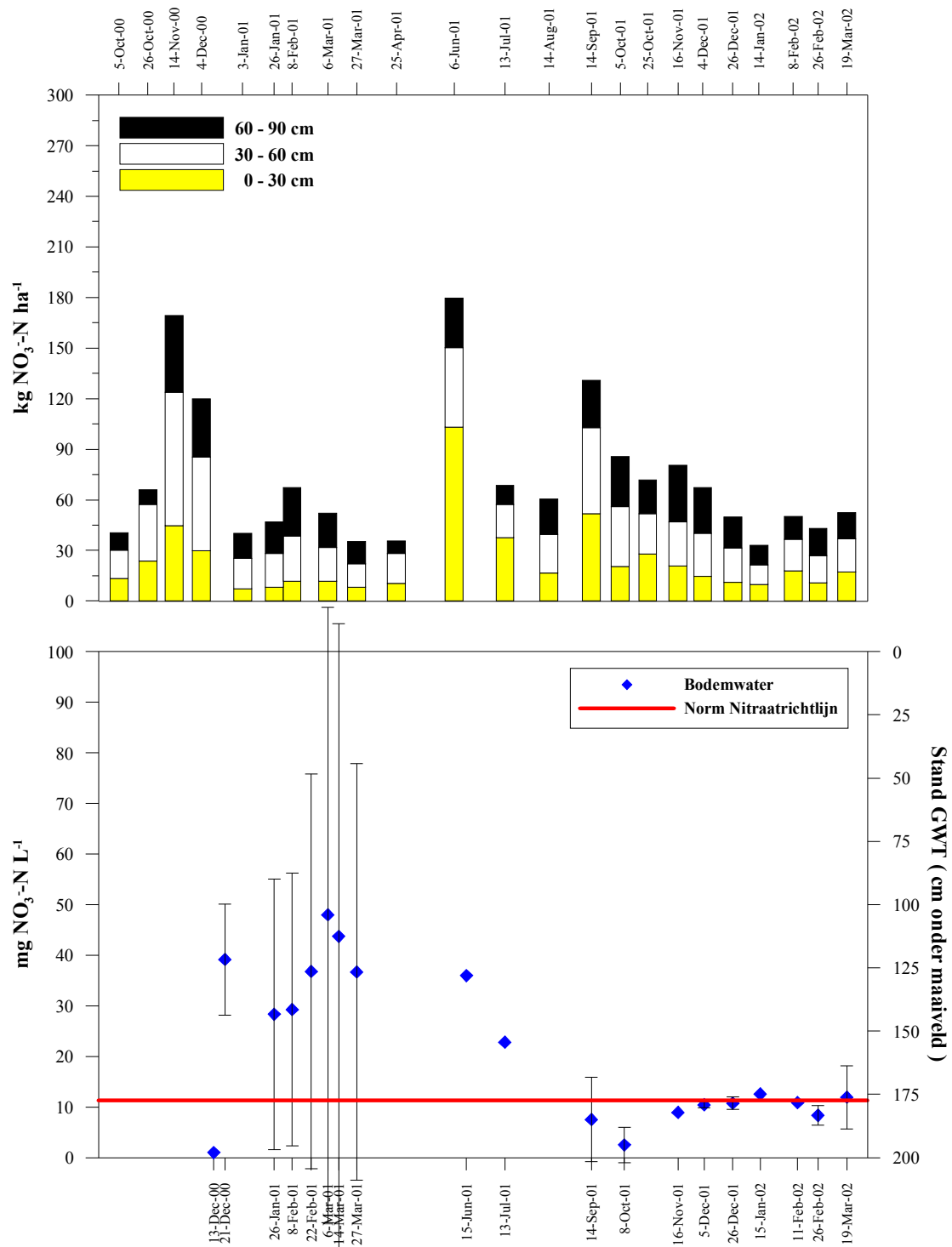
Het NO₃-N gehalte in het bodemprofiel bleef na de oogst van de bloemkolen vrij constant. De nitraatconcentratie in het bodem- en grondwater daarentegen nam gestaag toe. Mineralisatie van oogstresten kan hiervan de oorzaak zijn.

Tussen beide meetperiodes werden drainagebuizen in het perceel aangebracht zodat tijdens de tweede winterperiode ook dit perceel gedraineerd was. Het perceel waterde af naar dezelfde moerbuis als het bovenstaande perceel "Elverdinge : prei - aardappelen - gras".

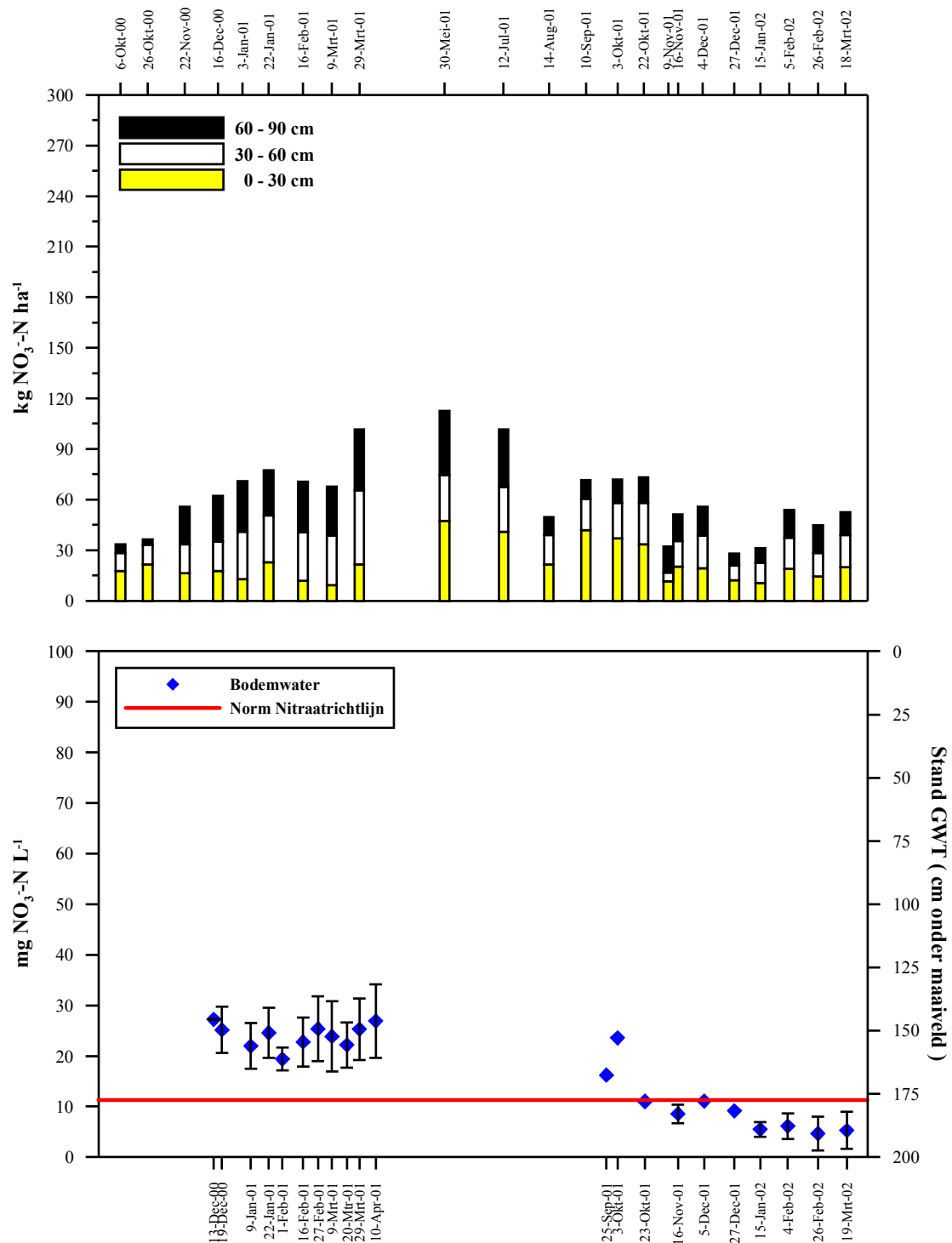
Besluit zandleembodems

Ook hier leverden hoge NO₃-N-gehalten in het bodemprofiel te hoge concentraties in het grond-, bodem- en drainwater.

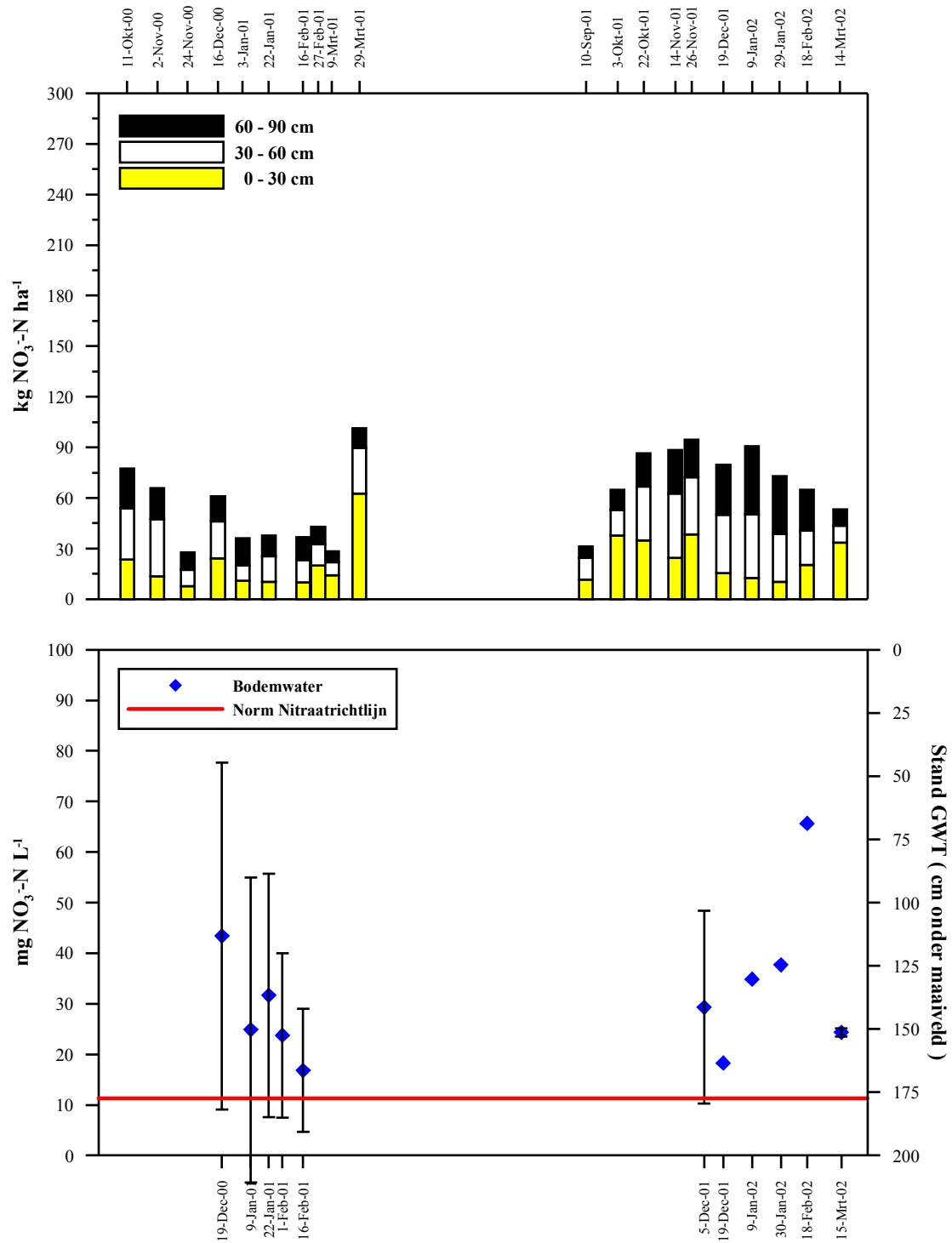
De N-vrijstelling door mineralisatie van makkelijk afbreekbare oogstresten (zoals bloemkoolbladeren) kan een grote invloed hebben op het verloop van de N-voorraad in het najaar en de NO₃-N-residu's in het bodem- en grondwater. Idealiter zouden deze gewasresten van het perceel moeten verwijderd worden om N-verliezen naar het grondwater te minimaliseren, maar deze oplossing is moeilijk haalbaar in de praktijk.



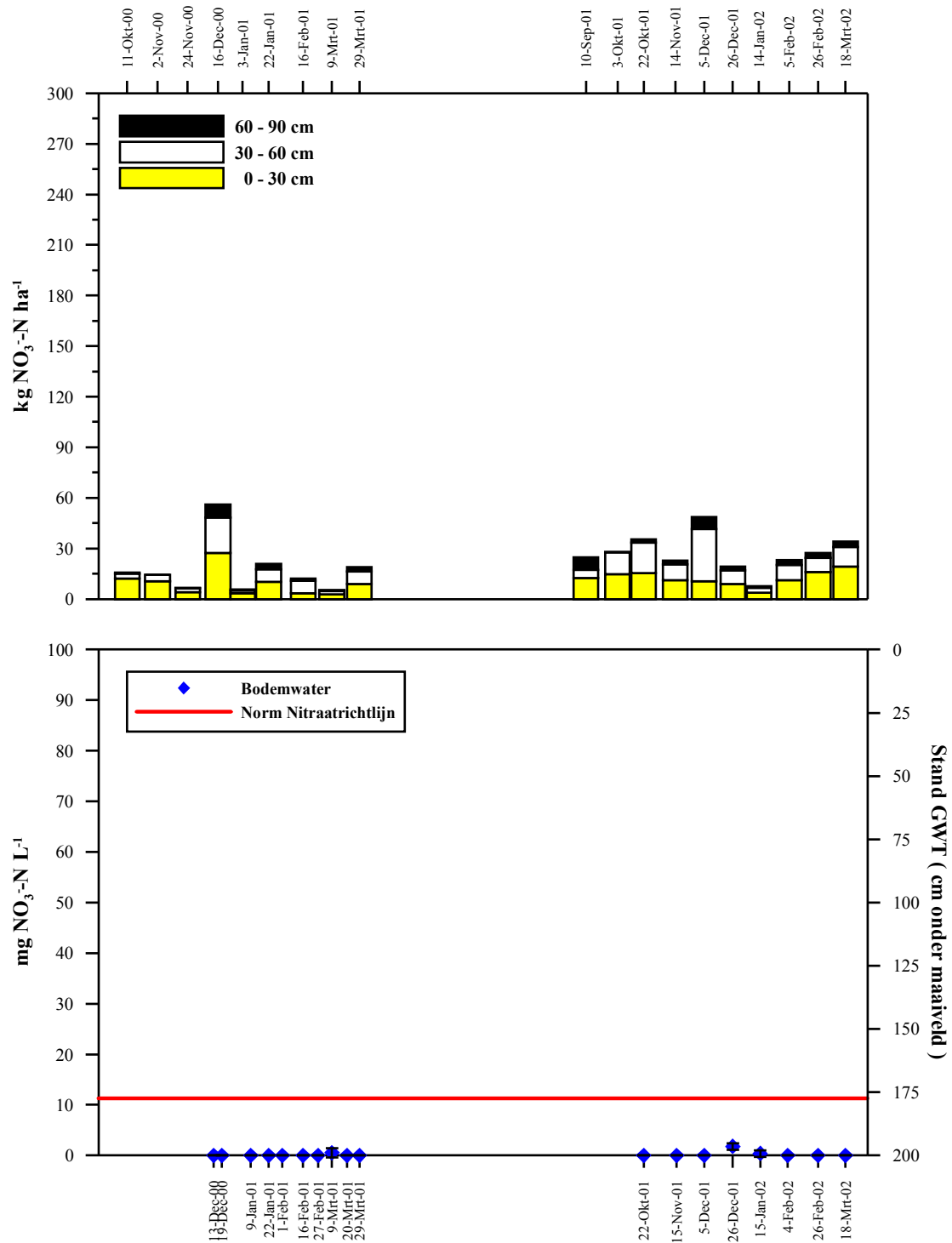
Figuur 4.9: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Ottenburg: maïs - maïs'



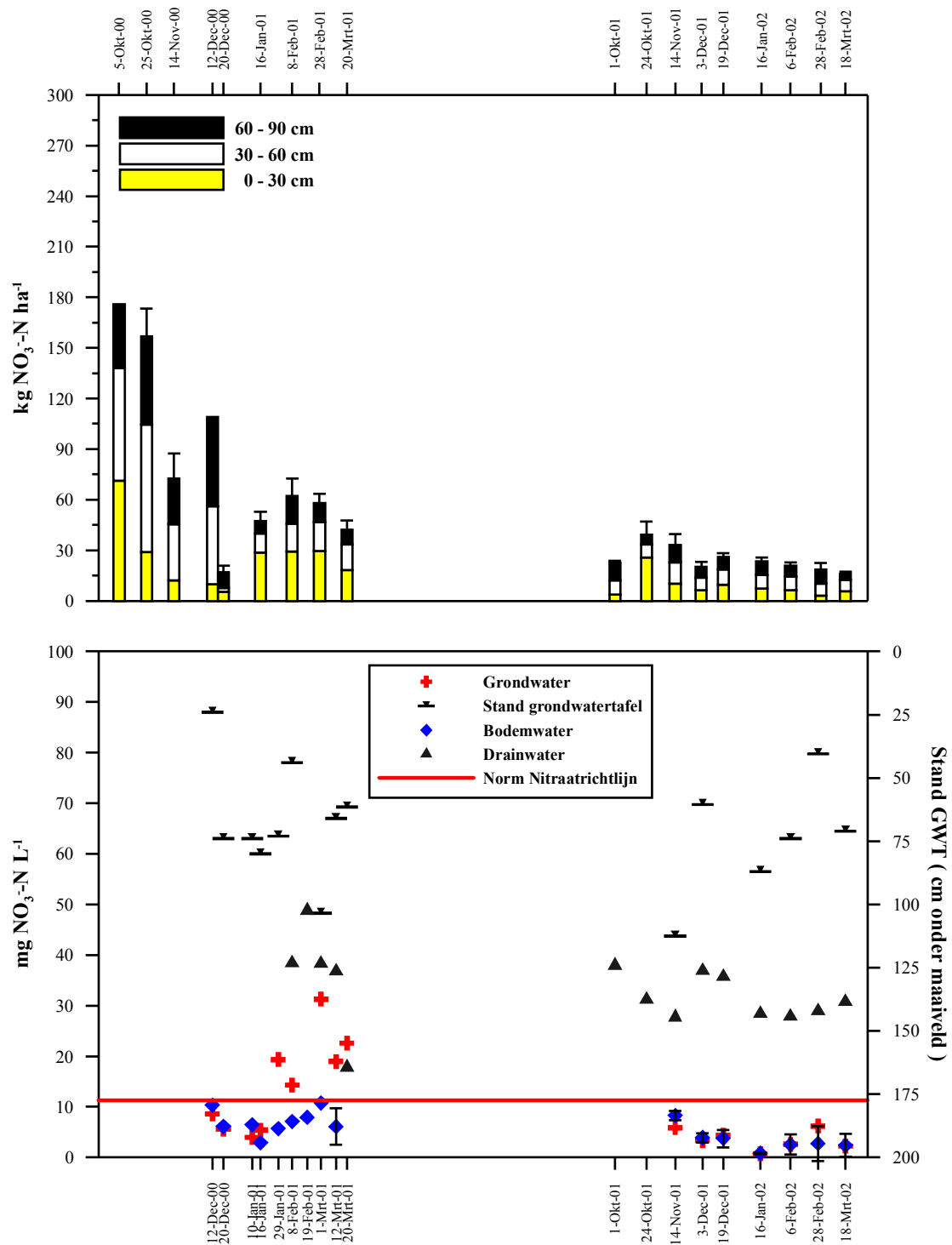
Figuur 4.10: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Geetbets: wintertarwe - suikerbieten'



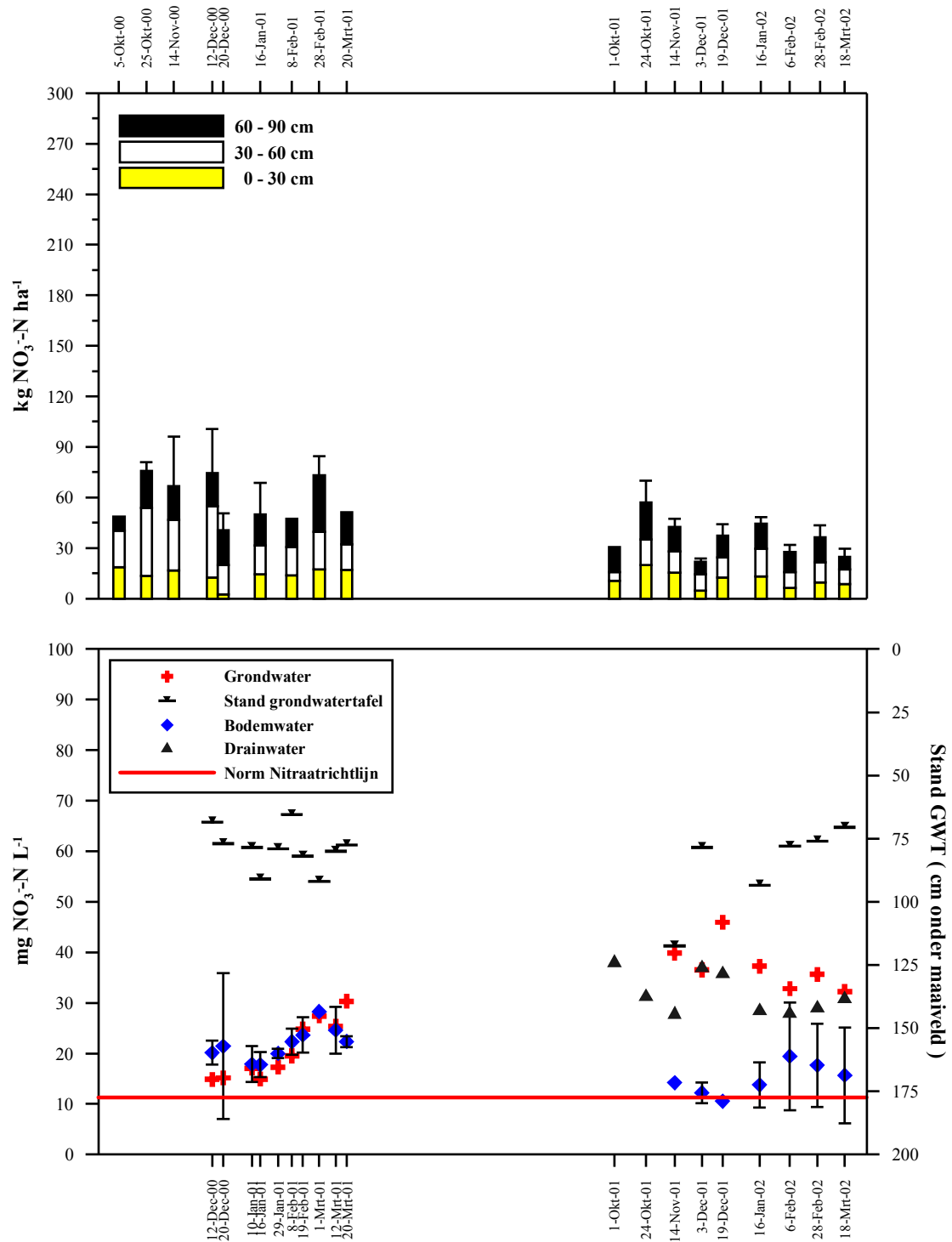
Figuur 4.11: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Bekkevoort: wintertarwe - raai gras - aardappelen'



Figuur 4.12: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 'Tielt-Winge: grasweide'



Figuur 4.13: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Elverdinge: prei - aardappelen - gras'



Figuur 4.14: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Elverdinge: bloemkool - maïs'

Zandbodems

Er werden 6 percelen op zand opgevolgd. Voor een volledige karakterisatie van de percelen, wordt verwezen naar §4.2. Het verloop van het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem en de nitraatconcentraties van het grond-, bodem- en drainwater wordt weergegeven in Figuur 4.15, Figuur 4.16, Figuur 4.17, Figuur 4.18, Figuur 4.19 en Figuur 4.20. Tabel 4.45 toont de bemesting van deze percelen in 2000 en 2001. Bijlage 6 bevat de gemeten $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten.

Tabel 4.45: Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de zandbodems

locatie	Jaar	Teelt	Minerale bemestingen	Organische bemestingen
Kasterlee Drain 110cm (veld 255)	2000	Maïs (na maaiweide)	36 kg N ha ⁻¹	55 ton/ha RDM (264 kg N ha ⁻¹)* (10 mei)
	2001	Aardappelen	108 kg N ha ^{-1***}	40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)** (9 mei)
Gras		Geen	30 ton/ha RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (28 aug)	
Kasterlee (veld 256)	2000	Raaigras Aardappelen	Geen 41 kg N ha ⁻¹	Geen 50 ton/ha VDM (405 kg N ha ⁻¹)* (april)
	2001	Wortelen	Geen	31 ton/ha VDM+ZDM (210 kg N ha ⁻¹)* (14 april)
Gras		Geen	Geen	
Oost-Malle Drain 70cm (veld 257)	2000	Maai- en graasweide	260 kg N ha ^{-1***}	24 ton/ha RDM (115 kg N ha ⁻¹)* (14 maart)
				18 ton/ha RDM (86 kg N ha ⁻¹)* (12 mei)
2001	Maai- en graasweide	321 kg N ha ^{-1***}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (21 juni)	
			Tot eind sept	
2001	Beperkt omweiden	321 kg N ha ^{-1***}	25 ton/ha RDM (120 kg N ha ⁻¹)* (6 maart)	
			20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (31 mei)	
2001	Omweiden	321 kg N ha ^{-1***}	18 ton/ha RDM (86 kg N ha ⁻¹)* (3 aug)	
			Tot begin november	
Lichtaart (veld 261)	2000	Maai- en graasweide Omweiden	243 kg N ha ^{-1***}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (14 maart)
	2001	Maai- en graasweide	108 kg N ha ^{-1***}	Tot begin nov
20 ton/ha RDM (88 kg N ha ⁻¹)** (7 maart)				
2001	Omweiden	108 kg N ha ^{-1***}	18 ton/ha KDM (99 kg N ha ⁻¹)* (19 mei)	
			Tot eind september	

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerde bemesting

KDM: konijnrijfmost, RDM: runderrijfmost, VDM: varkensrijfmost, ZDM: zeugrijfmost

Tabel 4.45: Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de zandbodems (vervolg)

Locatie (nummer)	Jaar	Teelt	Minerale bemestingen	Organische bemestingen
Assenede (veld 5)	2000	Maïs	54 kg N ha ⁻¹	50 ton /ha RDM (240 kg N ha ⁻¹)* (6 mei)
	2001	Maïs	90 kg N ha ⁻¹	34 ton /ha RDM (163 kg N ha ⁻¹)* (6 mei)
St-Laureins (veld 6)	2000	Graasweide	432 kg N ha ⁻¹ ***	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (15 maart), Tot half oktober
		Omweiden		
	2001	Graasweide	270 kg N ha ⁻¹ ***	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (17 maart) Tot half november
		Omweiden		

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerde bemesting
KDM: konijnrijfmet, RDM: runderrijfmet, VDM: varkensrijfmet, ZDM: zeugendrijfmet

- Kasterlee : maïs - aardappelen - gras

Het nitraatstikstofresidu na maïs (2000) was laag wat erop wijst dat de maïs de stikstof uit de runderrijfmet goed heeft benut en de nitraatstikstofconcentratie in grond- en bodemwater bleef dan ook onder de grenswaarde.

De nitraathoeveelheden in de bodem in de zomer van 2001 waren hoog in de laag van 0-30 cm omwille van de toediening van bemesting. Dit leidde echter op geen enkel moment tijdens het groeiseizoen tot een overschrijving van de grenswaarde in het bodem- en grondwater. Onder aardappelen was de benutting van de stikstof geringer met een hoger NO₃-N-residu tot gevolg bij het rooien (20 augustus 2001). Vlak voor het inzaaien van het gras (1 september 2001) werd 30 ton runderrijfmet (forfaitair berekend 144 kg N ha⁻¹) toegediend. Dit bemestingseffect veroorzaakt een piek in het verloop van de minerale stikstof in de bodem. Het verloop van de nitraatconcentratie in bodem- en grondwater toont aan dat het gras niet in staat was deze stikstof ten volle te benutten zodat de nitraatstikstofconcentraties in het water de grenswaarde overstegen. Gedurende de winter is er een duidelijke daling van het nitraatstikstofgehalte in de bodem vast te stellen. Het gehalte aan ammoniumstikstof was vanaf eind december 2002 hoog.

- Kasterlee : aardappelen - wortelen - gras

Ondanks de lage stikstofresidu's in het bodemprofiel oversteeg de nitraatstikstofconcentratie in het bodem- en grondwater de grenswaarde tot begin februari 2001. In de zomer van 2001 is het bemestingseffect duidelijk vast te stellen in het nitraatgehalte van de bodemlaag 0-30 cm. Na de oogst van de wortelen was het nitraatstikstofresidu evenwel laag. Mede door het gras, bleef de nitraatstikstofconcentratie in grond- en bodemwater onder de grenswaarde.

Op het einde van de winterperioden nam het gehalte aan NH₄-N in de 0-30 cm en 30-60 cm toe.

- Oost-Malle : maai- en graasweide

De nitraatstikstofconcentraties in het bodem-, grond- en drainwater waren relatief gering in 2000 (enkel relatief geringe overschrijdingen in de vroege winter), overeenstemmend met lage NO₃-N-residu's in het bodemprofiel en ondanks de vrij hoge bemesting.

Tijdens de tweede meetperiode werd een gelijkaardig patroon vastgesteld.

Het gehalte aan NH₄-N in de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm nam in januari – maart 2001 toe. In november 2001 – januari 2002 nam het NH₄-N-gehalte in het ganse profiel toe.

- Lichtaart : maai- en grasweide

De lage gehalten aan nitraatstikstof in het bodemprofiel gaven gedurende beide winters geen aanleiding tot overschrijding van de grenswaarde in het bodem- en grondwater. Het ammoniumstikstofgehalte in de bodemlaag 0 –30 cm was in beide winters hoog. In de diepere lagen nam het ammoniumstikstofgehalte gedurende de winter toe.

- Assenede : maïs - maïs

De hoge NO₃-N-gehalten na de oogst (4 oktober 2001) resulteerden in zeer hoge gemiddelde nitraatconcentraties in het bodem- en grondwater. Tussen de metingen van de 3 verschillende cups bestonden er evenwel grote afwijkingen.

Tijdens de tweede meetperiode lagen de nitraatstikstofresiduwaarden heel wat lager, maar werd de grenswaarde toch nog overschreden. Het ammoniumstikstofgehalte in de 60- 90 cm was meestal hoog met pieken op 8 februari 2000, 25 oktober 2000 en 13 november 2000. Dit hoge ammoniumstikstofgehalte in de 60- 90 cm is waarschijnlijk het gevolg van de aanwezigheid van een veenlaag.

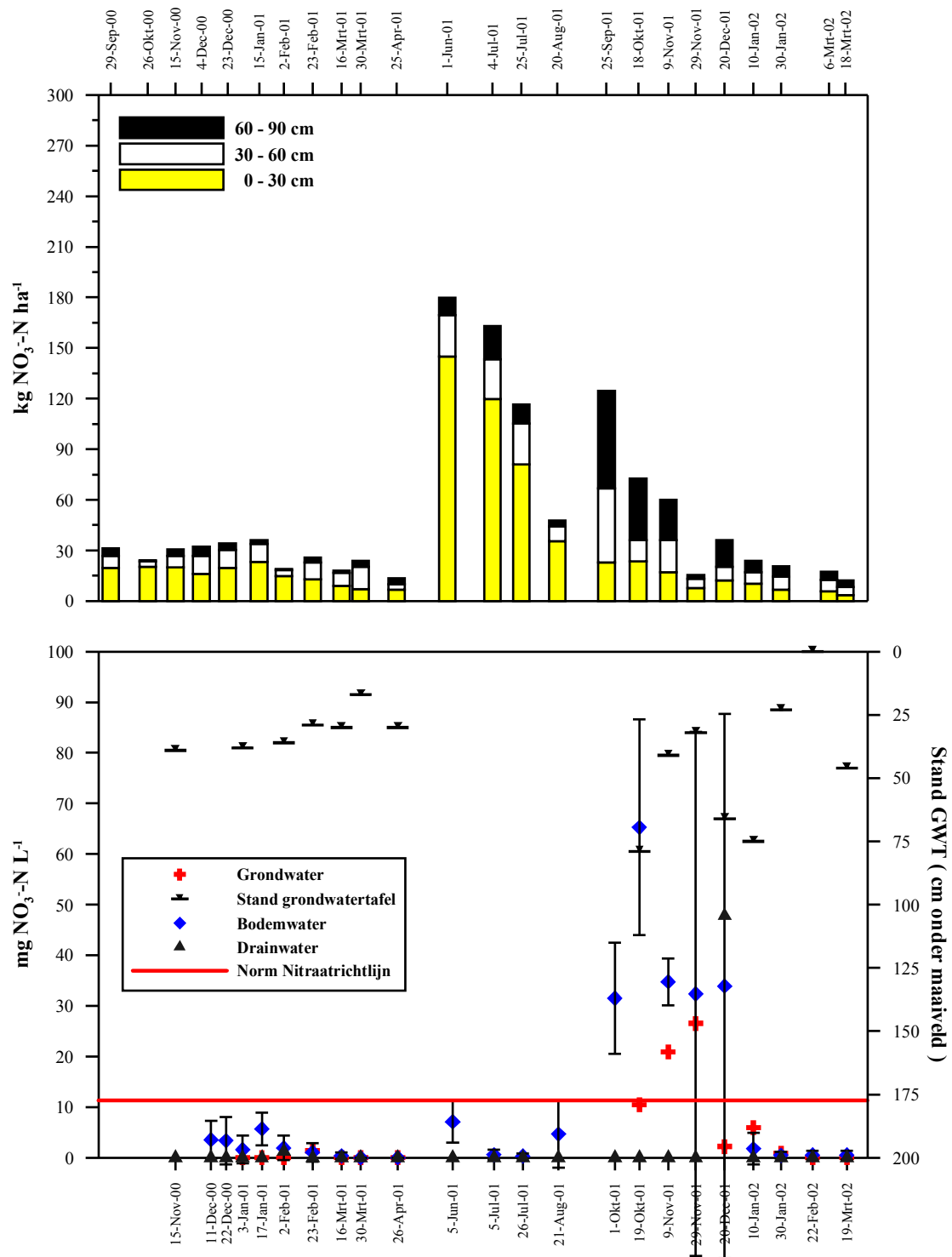
- Sint-Laureins : grasweide

De gemeten nitraatstikstofconcentraties in het bodem- en grondwater van deze natte weide overtroffen de grenswaarde van de nitraatrichtlijn nooit.

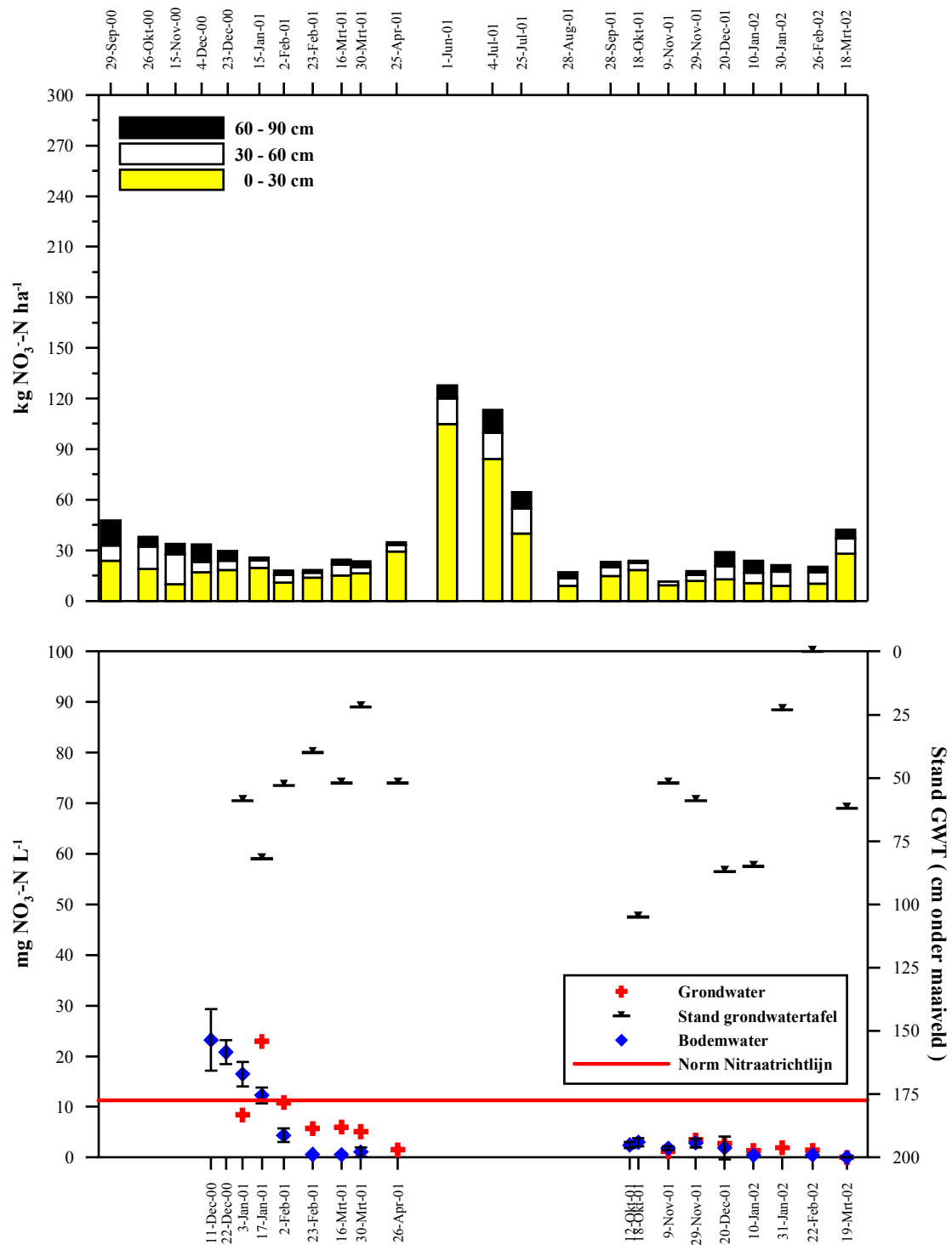
Het ammoniumstikstofgehalte van de bodemlaag 0-30 cm was gedurende de eerste winter gemiddeld hoog, tijdens de tweede winter was het ammoniumstikstofgehalte van de laag 0-30 cm pas vanaf begin december hoog.

Besluit zandbodems

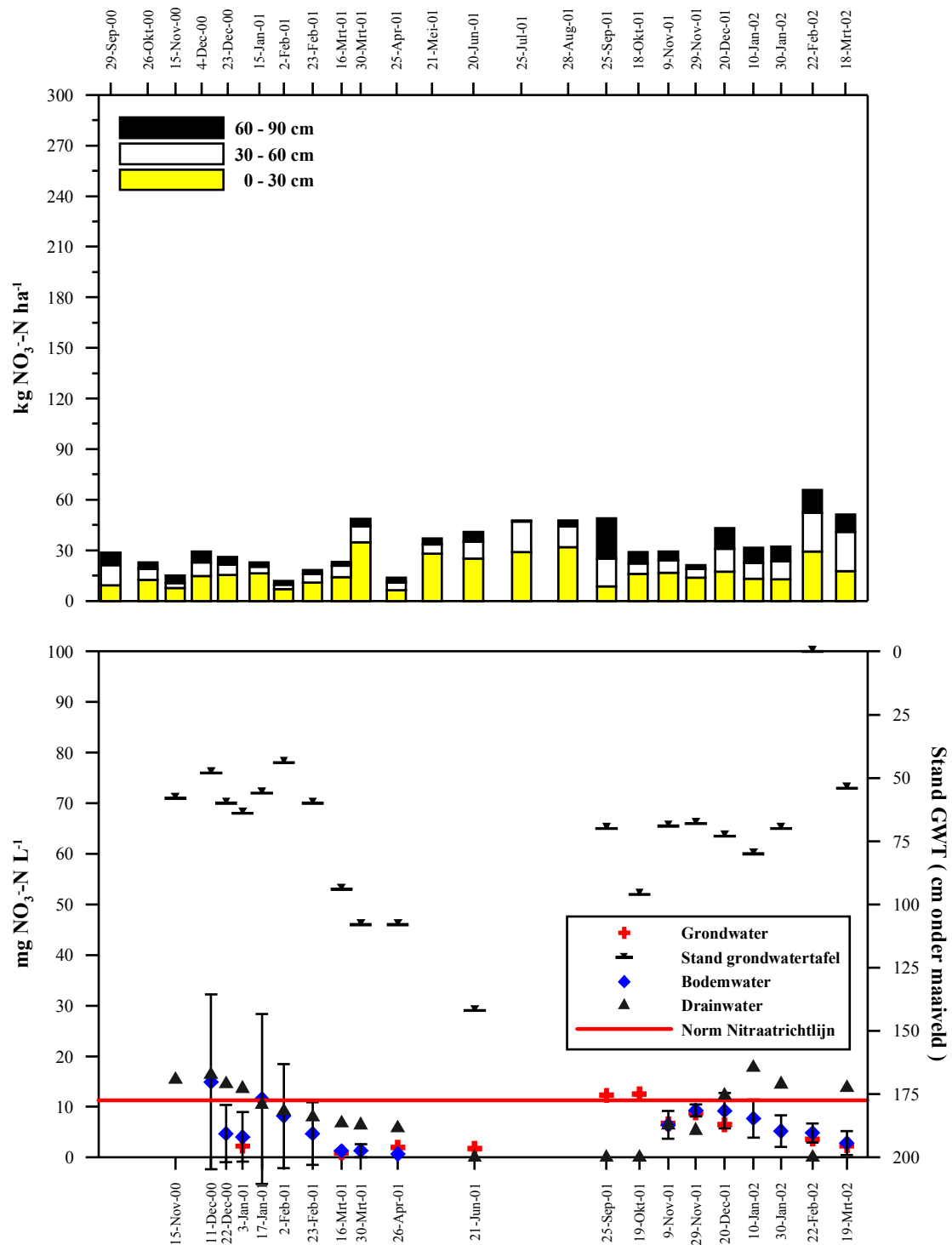
Vier van de 6 zandbodems hadden lage tot zeer lage NO₃-N-residu's (< 60 kg NO₃-N ha⁻¹) gedurende de twee winters en de concentraties in het bodem-, grond- en drainwater bleven meestal onder de grenswaarde. De hoge nitraatstikstofresidu's van 'Kasterlee: maïs - aardappelen - gras' in de winter 2001-2002 en 'Assenede : maïs – maïs' in de winter 2000-2001 resulteerden in een duidelijke overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn. Bij het toepassen van een groenbemester zal het positieve effect op de beperking van de NO₃-N-relikwaten beïnvloed worden, niet alleen door het zaaitijdstip, maar eveneens door het al dan niet toedienen van een bemesting. Dit wordt geïllustreerd door de velden in Kasterlee na aardappelen (supplementaire bemesting eind augustus en overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn) en in Kasterlee na wortelen (geen supplementaire bemesting en geen overschrijding van de grenswaarde van de nitraatrichtlijn). Onder gras werden op de drie percelen lage NO₃-N-residu's teruggevonden met overeenstemmend lage NO₃-N-concentraties in het bodem- en grondwater.



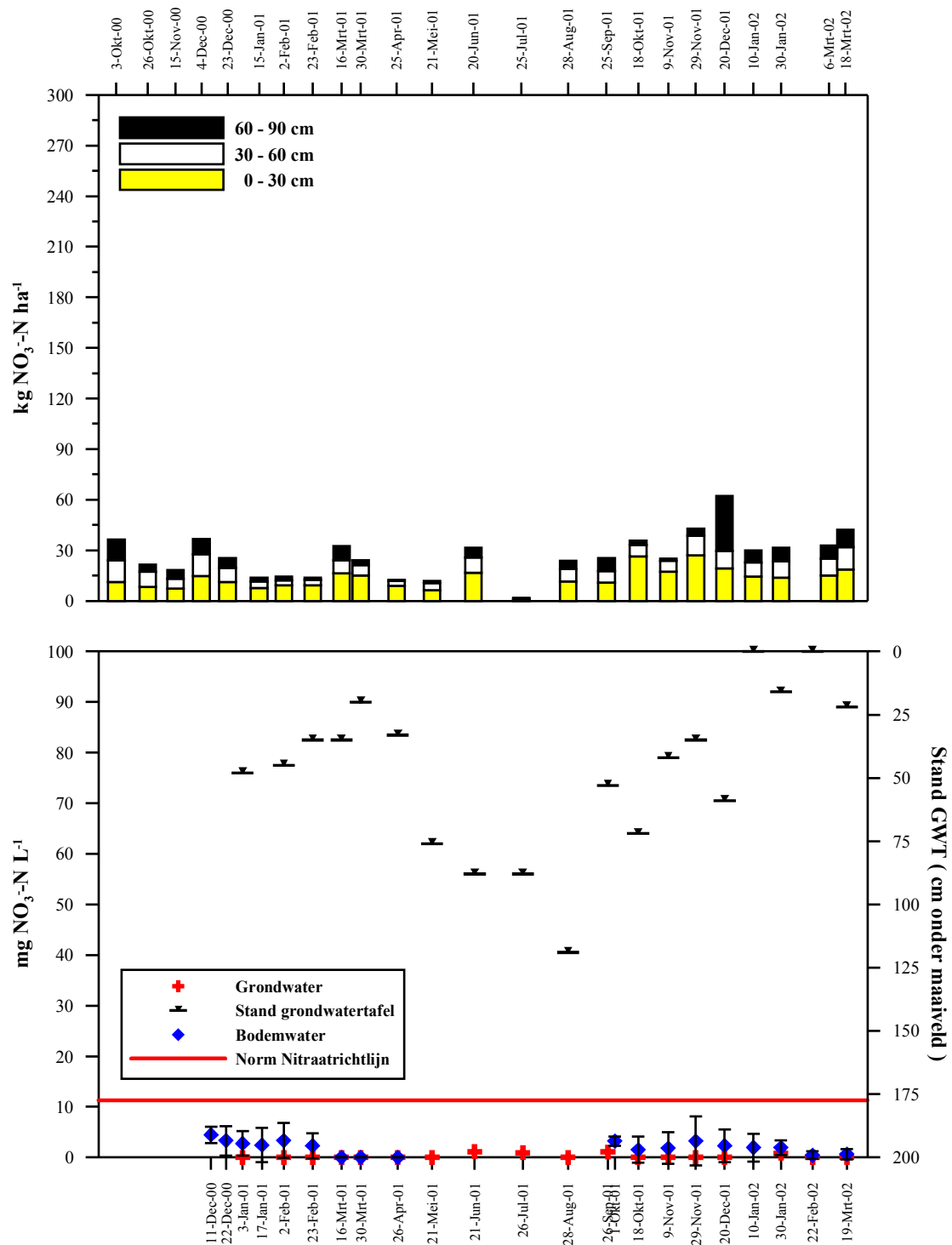
Figuur 4.15: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Kasterlee: maïs - aardappelen - gras'



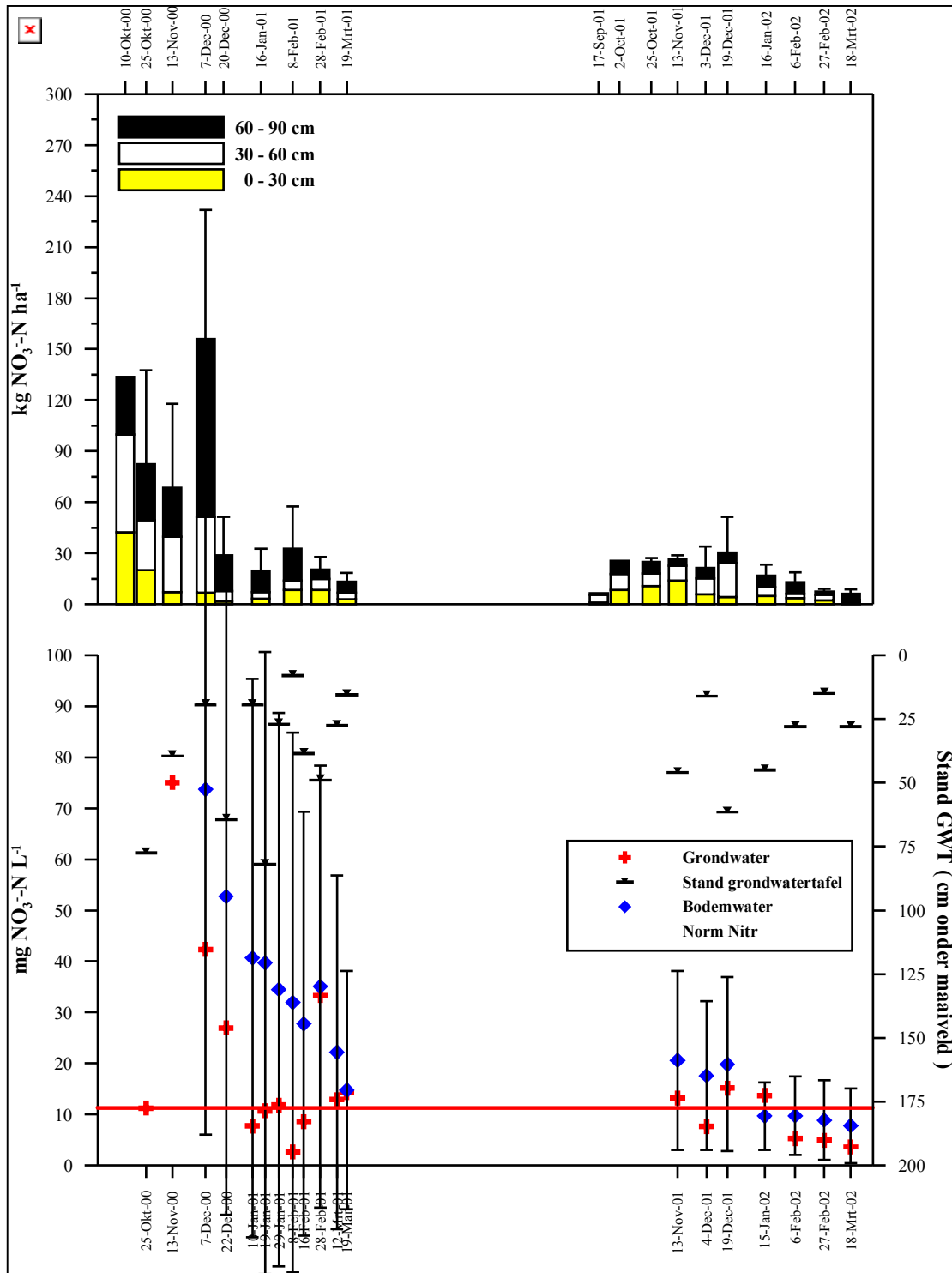
Figuur 4.16: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Kasterlee: aardappelen - wortelen - gras'



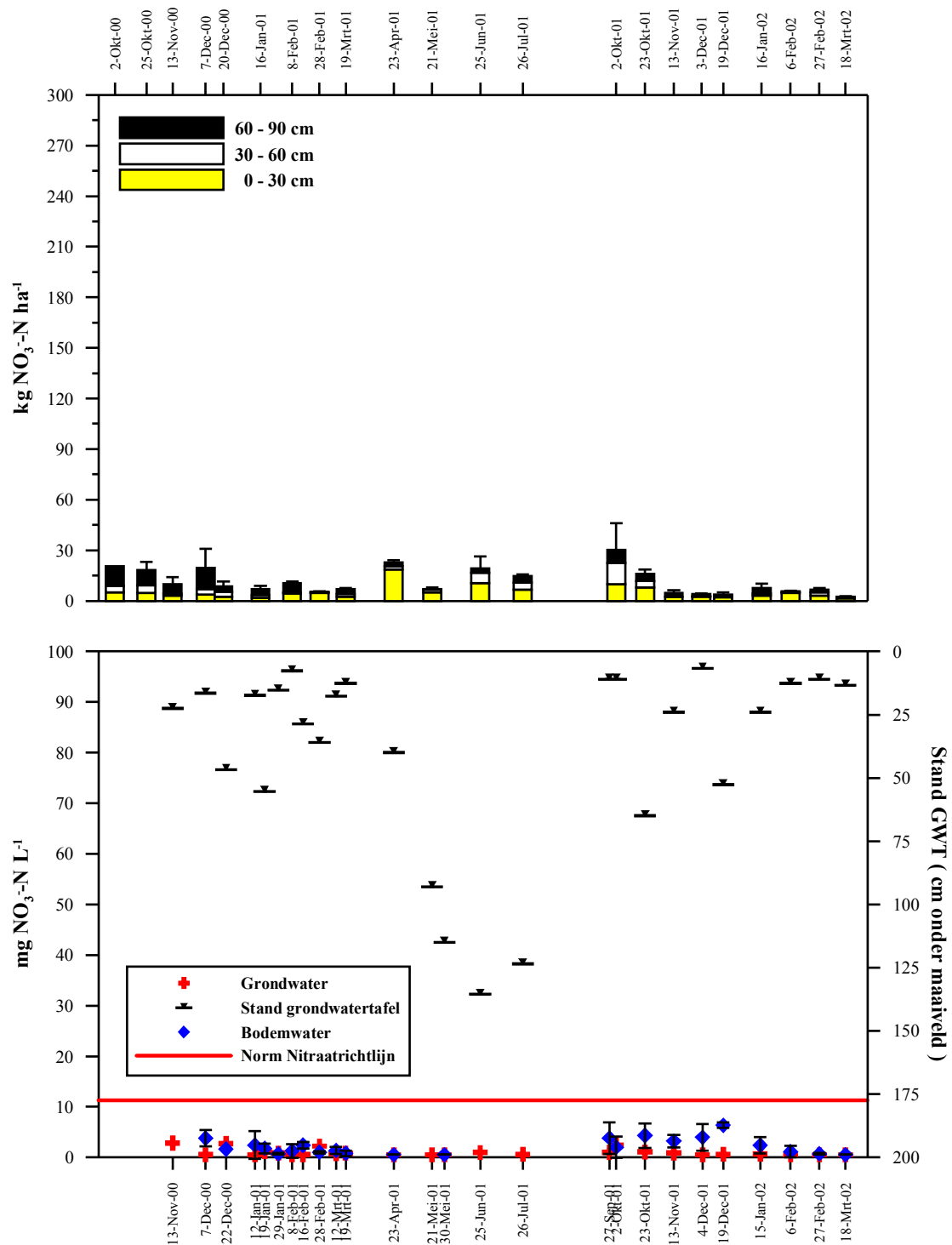
Figuur 4.17: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Oost-Malle: maai- en grasweide'



Figuur 4.18: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Lichtaart: maai- en grasweide'



Figuur 4.19: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Assenede: maïs - maïs'



Figuur 4.20: Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor het perceel 'Sint-Laureins: grasweide'

4.3.3 Verband tussen het nitraatstikstofgehalte in het bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Inleiding

Er bestaan verschillende methoden om de nitraatconcentratie in het bodemwater te bepalen. Daarbij is het echter noodzakelijk om te weten welk water er met de verschillende methoden bemonsterd wordt. Hierop wordt in deze paragraaf dieper ingegaan. Vervolgens wordt nagegaan in hoeverre er bij de 20 proefvelden een relatie is tussen de gemeten nitraatstikstofconcentratie in het grond- en drainwater en de gemeten en berekende nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater onderling en met het nitraatstikstofresidu in de bodem in het najaar.

Verschillende methoden om nitraatconcentraties te meten

Om de nitraatbeweging in de bodem te meten, zijn er verschillende methodes. De keuze van de methode moet op de omstandigheden gebaseerd worden aangezien iedere methode zijn nadelen heeft (Ramos en Kücke, 2001). Twee veel gebruikte methoden om de nitraatbeweging in het bodemwater te bepalen, zijn de meting van de nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater met suction cups en de berekening van de nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater uit het nitraatstikstofgehalte en het vochtgehalte van de bodem.

Met behulp van suction cups wordt water aan de bodem onttrokken door ze op onderdruk te brengen. Suction cups bemonsteren bij voorkeur grote poriën, waarbij de graad van voorkeur afhangt van de aangelegde zuigspanning. Dit betekent dat met suction cups de nitraatconcentratie in het mobiele bodemwater wordt bepaald en niet de concentratie van het bodemwater vastgehouden in de fijne poriën (Grossmann en Udluft, 1991, Webster *et al.*, 1993). Aangezien de eigenschappen van het bodemwater kunnen variëren met de poriëngrootte kan dit de resultaten systematisch vertekenen en kan de nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater bemonsterd met de suction cups afwijken van de nitraatstikstofconcentratie van het totale bodemwater (Grossmann en Udluft, 1991; Djurhuus en Jacobson, 1995). De nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater bemonsterd met suction cups benadert de nitraatstikstofconcentratie van het mobiele water dat uit de bodem draineert (Webster *et al.*, 1993). Suction cups zijn puntmetingen en om de ruimtelijke variabiliteit van de metingen op te vangen, zijn er meerdere suction cups per veld nodig (Alberts *et al.*, 1977; Webster *et al.*, 1993). Omwille van het feit dat suction cups slechts puntmetingen weergeven, kunnen de analyseresultaten van de drie poreuze cups per meetsite sterk van elkaar verschillen. Verschillen tussen de drie suction cups op één meetsite zijn deels te wijten aan de intrinsieke variabiliteit tussen de cups, deels aan kleine verschillen in installatie van individuele cups en de rest aan de heterogeniteit van de bodem. Op weiden wordt de heterogeniteit bijvoorbeeld grotendeels veroorzaakt door de aanwezigheid van urineplekken.

Met behulp van het gemeten nitraatstikstofgehalte in de bodem en het vochtgehalte kan de nitraatstikstofconcentratie van het totale bodemwater (mobiel + immobiel water) berekend worden. De berekende nitraatstikstofconcentratie geeft een idee van de nitraatstikstofconcentratie in een bepaalde laag (Addiscott, 1990). Bij het vergelijken van de berekende nitraatconcentratie in het bodemwater en de door middel van suction cups gemeten nitraatconcentratie in het bodemwater, moet men zich er wel bewust van zijn dat het grondstaal representatief is voor de bodemlaag van 60-90 cm, daar waar een suction cup het bodemwater opzuigt op 90 cm beneden het maaiveld. Daarnaast zijn de nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater van de suction cups puntmetingen terwijl het bodemstaal een mengstaal is van een aantal boringen op diverse locaties van het perceel.

Verband tussen de nitraatconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Door het opstellen van een correlatiematrix kan nagegaan worden of er een significante correlatie bestaat tussen de NO₃-N-concentraties in het grond-, bodem- en drainwater. Tabel 4.46 toont de correlatiematrix, zoals die berekend werd wanneer alle metingen tussen 1 oktober en 31 maart in beschouwing werden genomen. Hierbij is het bodemwater afkomstig van de suction cups.

Tabel 4.46: Correlatiematrix voor grond-, bodem- en drainagewater

		grondwater	bodemwater	drainwater
grondwater	Pearson Correlation	1.000	.681**	.348**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.003
	N	218	188	71
bodemwater	Pearson Correlation	.681**	1.000	.035
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.757
	N	188	354	79
drainwater	Pearson Correlation	.348**	.035	1.000
	Sig. (2-tailed)	.003	.757	.
	N	71	79	96

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Uit Tabel 4.46 blijkt dat de correlatie tussen het grond- en bodemwater het hoogst is ($R = 0.681$) en dat dit verband significant is voor $\alpha < 0.001$. Het verband tussen grond- en drainwater is ook significant, terwijl de correlatie tussen bodem- en drainwater niet significant is. Hierbij dient opgemerkt dat het aantal meetpunten voor drainwater relatief beperkt is en dat de herkomst van dat drainwater niet altijd ondubbelzinnig gekend is.

Verband tussen het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Er kan eveneens nagegaan worden of er een verband bestaat tussen het nitraatgehalte in het bodemwater, berekend uit het gemeten NO₃-N- en vochtgehalte in de bodemlaag 60-90 cm, en de gemeten nitraatconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater. Tabel 4.47 toont de correlatiematrix, zoals die berekend werd wanneer alle metingen in beschouwing werden genomen.

Tabel 4.47: Correlatie tussen de berekende NO₃-N-concentratie in de laag 60 - 90 cm en het grond-, bodem- en drainwater

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
berekende concentratie	Pearson Correlation	.481**	.495**	-.004
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.972
	N	170	236	77

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

De correlatie tussen de berekende concentratie in het bodemwater van de laag 60-90 cm (uitgedrukt als $\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) en de via de suction cups gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodemwater op 90 cm is het hoogst en significant voor $\alpha < 0.001$. Dat beide concentraties een verband vertonen is niet verwonderlijk, daar de poreuze cups die gebruikt worden om het bodemwater te bemonsteren, op een diepte van 90 cm geplaatst werden. Deze cups zijn enkel in staat om, afhankelijk van de aangelegde onderdruk, (een deel van) het mobiele bodemwater te bemonsteren. Een vergelijkbare significante correlatie werd tevens gevonden met de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het ondiepe grondwater.

Tussen de berekende concentratie van het bodemwater en de gemeten concentratie in het drainwater kon geen verband vastgesteld worden. Hierbij dient vermeld dat de herkomst van het drainwater niet exact gekend is en eventueel, naast het beschouwde veld, ook van andere velden kan afkomstig zijn.

Verband tussen nitraatstikstofresidu in de bodem en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Er werd tevens onderzocht of er significante verbanden konden gevonden worden tussen het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel in oktober en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het bodem-, grond- en drainwater. De gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheid van de eerste 2 metingen na 1 oktober van elke meetperiode werd hiervoor in beschouwing genomen omdat dit ongeveer overeenkomt met de officiële staalnameperiode van 1 oktober tot 15 november. Deze waarden werden gecorreleerd met de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grond-, bodem- en drainwater, zoals die opgemeten werden tussen begin oktober en eind maart. Tabel 4.48 toont de correlatiematrix en daaruit blijkt dat de correlatie tussen de gemeten concentratie in het grond-, bodem- en drainwater het hoogst is met het gemeten gehalte aan $\text{NO}_3\text{-N}$ in de laag 30-90 cm.

Tabel 4.48: Correlatie tussen het gehalte aan NO₃-N in de bodem, gemeten in oktober, en de gemeten NO₃-N-concentraties in het grond-, bodem- en drainwater

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
NO3-N-residu (laag 0-30 cm)	Pearson Correlation	.242**	.264**	.281**
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.009
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 30-60 cm)	Pearson Correlation	.386**	.363**	.372**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 60-90 cm)	Pearson Correlation	.399**	.343**	.365**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 0-60 cm)	Pearson Correlation	.332**	.334**	.344**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 30-90 cm)	Pearson Correlation	.404**	.367**	.385**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 0-30 en 60-90 cm)	Pearson Correlation	.335**	.330**	.343**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO3-N-residu (laag 0-90 cm)	Pearson Correlation	.363**	.352**	.363**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Invloed van textuur

Om de invloed van de textuur op deze correlaties na te gaan, werden de bovenvermelde verbanden ook onderzocht per textuurklasse:

- zand en licht zandleem
- zandleem en leem
- klei

De verschillen tussen de texturen waren echter klein en ter informatie staan in Bijlage 7 de correlatiematrix weergegeven.

4.4 Besluit

Op basis van de meetresultaten van de 20 proefvelden, representatief voor de meest voorkomende 'bodem-gewas-hydrologie' combinaties in Vlaanderen, kan er op de meeste percelen een daling van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -inhoud van het bodemprofiel vastgesteld worden. Op de meeste percelen is er dus een migratie van de nitraatstikstof naar de diepere bodemlagen of het bovenste grondwater opgetreden.

De grote moeilijkheid in het voorspellen van nitraatverliezen door uitspoeling is dat er simultaan verschillende N-transformatieprocessen optreden. Tot deze processen behoren nitrificatie, denitrificatie, mineralisatie en immobilisatie. Tevens kan stikstof opgenomen worden in het najaar wanneer een groenbemester is ingezaaid.

Stikstofinput, groeicondities, weerscondities en bodemtype hebben een groot effect op N-transformatieprocessen en beïnvloeden bijgevolg de hoeveelheden nitraatstikstof die uiteindelijk worden uitgespoeld. Naast weerscondities, voorgeschiedenis van het perceel en bodemkarakteristieken, worden N-verliezen beïnvloed door de hoeveelheid en distributie van minerale stikstof in het bodemprofiel. Zelfs met een optimale bemesting, zal het minerale N-residu verschillen naargelang het gewas. Dit is te wijten aan een variabele bewortelingsdiepte en worteldistributie en verschillen in N-opname gedurende de teeltduur.

In het algemeen kan gesteld worden dat hoge nitraatstikstofresidu's in de bodem zich vertalen in hoge nitraatconcentraties in het bodemwater (metingen suction cups) en het bovenste grondwater (peilbuizen). Deze relatie is evenwel niet steeds even duidelijk: op een aantal velden worden ondanks lage nitraatstikstofresiduwaarden hoge nitraatconcentraties in het bodem- en grondwater gemeten en omgekeerd. Dit leidt tot significante maar toch relatief lage correlatiecoëfficiënten tussen residuele $\text{NO}_3\text{-N}$ in het bodemprofiel en de concentraties in het bodem-, grond en drainwater.

Tussen de nitraatconcentratie van het bodemwater en het drainagewater bestaat geen significant verband aangezien het drainagewater niet steeds enkel afkomstig is van het beschouwde perceel.

Het effect van een groenbemester is positief indien deze tijdig wordt gezaaid en goed tot ontwikkeling kan komen. Er dient rekening gehouden te worden met de vrijstelling van stikstof door mineralisatie van groenbesters en van eventuele stikstofrijke oogstresten (zoals suikerbietenloof en groente-oogstresten).

Op basis van deze proefveldresultaten (metingen op 20 proefvelden gedurende twee winterperiodes) is het wetenschappelijk gezien onmogelijk om algemene nitraatstikstofresidunormen af te leiden in functie van textuur en gewas. Daarom wordt beroep gedaan op modelberekeningen om voor zeer veel uiteenlopende 'bodem-gewas' situaties in Vlaanderen de nitraatuitspoeling te voorspellen. Deze proefveldresultaten zijn evenwel onontbeerlijk om de modellen te verfijnen en uitvoerig te testen alvorens ze aangewend worden in scenarioanalyses voor de afleiding van nitraatstikstofresidunormen.

Tot slot kan opgemerkt worden dat het niet enkel voor de interpretatie van de proefveldresultaten, maar ook voor de interpretatie van de modelleringsresultaten (Hoofdstuk 5) van belang is om de beperkingen van elke meetmethode in acht te nemen.

5 Kalibratie en validatie van de modellen

5.1 Inleiding

Het is essentieel dat modellen, alvorens ze in een voorspellende context worden gebruikt, uitvoerig aan een kalibratie en validatie worden onderworpen. Tijdens de kalibratie tracht men door het toetsen van de modelresultaten aan veldwaarnemingen de parameters van het model te optimaliseren, d.w.z. deze set van parameters afleiden die resulteert in de beste overeenkomst tussen metingen op het terrein en modelvoorspelling. Na de kalibratiefase van een model volgt een validatiefase waarin het model met een geoptimaliseerde set van parameters getoetst wordt aan een totaal andere situatie dan deze gebruikt in de kalibratiefase. Na validatie, indien het model bewijst de situatie met voldoende nauwkeurigheid te kunnen beschrijven, stelt men dat het model klaar is voor scenarioanalyse en ondersteuning van beleid en beheer.

Een uitgebreide kalibratie en validatie van WAVE gebeurde op basis van de proefvelden en aan de hand van de resultaten van het mineralisatie- en denitrificatieonderzoek. De meeste bodemparameters werden gemeten, het nitraatgehalte in de bodem en de nitraatconcentraties in het bodem-, grond- en drainagewater werden driewekelijks opgevolgd, gegevens in verband met het perceelsmanagement (bemesting, plant/zaai- en oogstdatum, ...) werden opgevraagd bij de landbouwer en de mineralisatie- en denitrificatiesnelheid werden experimenteel bepaald. Doordat al deze gegevens beschikbaar waren, verhoogt de betrouwbaarheid van de simulatieresultaten.

5.2 Historische proefvelden

Tijdens het eerste projectjaar werden 9 eerder opgevolgde proefvelden, aangeduid als ‘historische proefvelden’, doorgerekend met de modellen (Tabel 5.1). De meerderheid van deze velden werd echter niet opnieuw doorgerekend gebruikmakend van de eindresultaten van het mineralisatie- en denitrificatieonderzoek. De belangrijkste reden hiervoor is dat voor deze velden geen metingen beschikbaar waren voor de winterperiode, zodat geen kalibratie mogelijk is voor de periode waarop dit project zich in grote mate toespitst en waarin het risico op nitraatuitspoeling het grootst is (oktober-maart).

In §3.3 werd de kalibratie van WAVE op basis van het proefveld Hélécine, waar in het verleden denitrificatiemetingen werden uitgevoerd, besproken. Op basis hiervan werd een potentiële denitrificatiesnelheid $k_{\text{denit,pot}}$ afgeleid voor leembodems. Bij deze waarde voor $k_{\text{denit,pot}}$ werden realistische denitrificatieverliezen gesimuleerd. Het proefveld Pittem werd specifiek gebruikt om de mineralisatie van oogstresten in WAVE te bestuderen.

De historische proefvelden dienden voornamelijk om ervaring en kennis op te doen met het gebruik van de modellen en om knelpunten in de modellering te ontdekken. Via literatuur- en experimenteel onderzoek werd getracht de ontbrekende kennis aan te vullen. Er werd extra aandacht besteed aan het denitrificatieproces (Hoofdstuk 3) en aan de vrijzetting van stikstof uit oogstresten en bodem-organische stof door mineralisatie (Hoofdstuk 2). In het kader van dit project werd tevens een gewasmodule voor de groenbemester gele mosterd ingebouwd in WAVE.

Tabel 5.1: Locatie van de ‘historische’ proefvelden, met aanduiding van de bodemtextuur, grondwaterstand, proefperiode en het gewas

Locatie	Textuur	Grondwater-stand	Periode	Gewas
Geel	zand	matig diep	1993-1996	maïs
Geel	zand	ondiep	1993-1996	gras-maai
Gembloux	leem	Diep	1984-1986	wintertarwe
Hélocine	leem	Diep	1982-1995	suikerbiet
Houtave	klei	ondiep	1991-1992	maïs-wintertarwe
Kaggevinne	lemig zand	Diep	1988-1994	suikerbiet-wintertarwe-aardappelen
Pittem	lemig zand	matig diep	1994-1995	geen (oogstresten groenten)
Wijlegem	leem	ondiep	1998-1999	geen (oogstrest aardappelen)
Tienen	leem	diep	1996-1999	maïs

5.3 Nieuwe proefvelden

5.3.1 Inleiding

Een uitgebreide kalibratie en validatie van WAVE en DRAINMOD gebeurde op basis van de 20 proefvelden (Tabel 5.2) die gedurende twee winterperiodes en gedeeltelijk tijdens de zomerperiode intensief werden bemonsterd in het kader van dit onderzoek (Hoofdstuk 4). De geselecteerde proefvelden werden representatief geacht voor de 20 meest voorkomende ‘bodem-gewas-hydrologie’ combinaties in Vlaanderen. Van deze proefvelden werden de meeste gegevens opgemeten wat de simulatieresultaten betrouwbaar maakt.

Op deze manier werden de modellen getoetst voor de 20 meest voorkomende situaties in Vlaanderen, wat een voldoende ruim aantal is en een betrouwbare basis vormt om de modellen aan te wenden in scenarioanalyses voor de ondersteuning van het beleid.

Tabel 5.2: Overzicht van de meetsites met aanduiding van het proefveldnummer, de locatie, textuur, de teelt in 2000 en 2001 en aanwezigheid van drains

Nr	Locatie	Textuur	Teelt 2000	Teelt 2001	Drains
5	Assenede	zand	maïs	maïs	neen
6	Sint-Laureins	zand	gras	gras	neen
256	Kasterlee	zand	aardappelen	wortelen - gras	neen
261	Lichtaart	zand	gras	gras	neen
8	Elverdinge	zandleem	bloemkool	maïs	neen
262	Ottenburg	zandleem	maïs	maïs	neen
264	Bekkevoort	zandleem	wintertarwe-raai gras	aardappel	neen
265	Tielt-Winge	zandleem	gras	gras	neen
263	Geetbets	zandleem	wintertarwe	suikerbiet	neen
258	Kumtich	leem	aardappelen	tarwe - mosterd	neen
259	Tongeren	leem	wintertarwe	wintertarwe - mosterd	neen
260	Tongeren	leem	erwten-mosterd	suikerbiet	neen
266	Leefdaal	leem	wintertarwe –mosterd	suikerbiet	neen
1	Oostende	klei	gras	gras	neen
3	Sint-Laureins	klei	suikerbieten	tarwe - gras	neen
255	Kasterlee	zand	maïs	aardappel - gras	ja
257	Oost-Malle	zand	gras	gras	ja
7	Elverdinge	zandleem	prei	aardappel - gras	ja
2	Assenede	klei	tarwe	vlas - mosterd	ja
4	Knokke-Heist	klei	aardappelen	tarwe - groenbemester	ja

5.3.2 Werkwijze kalibratie en validatie

De 20 proefvelden werden doorgerekend voor 2 opeenvolgende winterperiodes (oktober tot en met maart). De winterperiode 2000-2001 werd gebruikt voor de kalibratie van de modellen, terwijl de winterperiode 2001-2002 diende voor de validatie. Per proefveld werden klimaatgegevens van het dichtsbijgelegen weerstation gebruikt (Bijlage 8). De niet-gedraineerde velden werden doorgerekend met WAVE, terwijl de gedraineerde velden met DRAINMOD werden gesimuleerd. De simulaties in WAVE werden gestart op de dag van de eerste metingen na de oogst van het gewas. Omdat wintertarwe ruim voor oktober wordt geoogst, werd hier de dag van de eerste meting in oktober genomen als begindatum. De simulaties met WAVE starten daardoor in de periode half september tot begin november. In DRAINMOD beginnen de simulaties steeds op 1 oktober. Voor beide modellen eindigen de simulaties voor elke winterperiode op 31 maart van het volgende jaar.

Het bodemprofiel van elk proefveld werd gekarakteriseerd aan de hand van de bepaling van de horizontdikte en de horizontopeenvolging in het veld. Voor elke horizont werd de textuur bepaald en de bodemdichtheid opgemeten (§4.2).

Een eerste stap in de kalibratie is de kalibratie van de waterbalans. De waarden voor de parameters van de van Genuchten functie werden invers geoptimaliseerd met behulp van gemeten vochtgehalten bij verschillende drukspanningen. Driewekelijks werden voor elk proefveld door middel van grondwaterstandsbuizen de grondwaterstanden opgemeten. Met behulp van het empirisch tijdreeksmodel van Bierkens *et al.* (1998) werd vervolgens voor elk proefveld met een grondwaterstand binnen 2 meter beneden maaiveld een tijdreeks voor grondwaterstanden

ge genereerd die als invoer in WAVE diende. Wanneer de grondwaterstand onder 2 meter beneden maaiveld lag, werd een bodemprofiel met vrije drainage verondersteld. De initiële conditie voor het vochtgehalte voor de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm werd opgemeten in het veld. De verzadigde conductiviteiten (K_{sat}) voor de verschillende bodemhorizonten werden bepaald in het labo. De modelkalibratie bestond uit het vergelijken van de gesimuleerde en opgemeten tijdsreeksen van vochtgehaltenes op een aantal verschillende dieptes (bodemlagen 0-30, 30-60, 60-90 cm) en het aanpassen van de hydraulische parameters tot aanvaardbare vergelijkbaarheid.

Na de kalibratie van de waterbalans werd de stikstofbalans gekalibreerd. De stikstofbalans bestaat uit verschillende deelprocessen waaronder mineralisatie, nitrificatie, denitrificatie, ammoniakvervluchtiging, plantopname en uitspoeling naar diepere bodemlagen. Er werd getracht om elk deelproces zo goed mogelijk te onderbouwen.

De onderbouwing van mineralisatie en denitrificatie werd reeds besproken in Hoofdstukken 2 en 3. Mineralisatie-, nitrificatie- en denitrificatieconstanten werden nul verondersteld beneden de eerste horizont omwille van de beperkte aanwezigheid van organische C en biologisch leven in deze onderste bodemlagen.

De opname van stikstof door planten werd verder onderbouwd op basis van literatuurgegevens. Enkel de gewassen gras, wintertarwe en de groenbemesters raaigras en gele mosterd werden beschouwd omdat de kalibratie enkel gebaseerd was op de periode tussen 1 oktober en 31 maart. De initiële nitraat- en ammoniumconcentratie in de bodem werd opgemeten per bodemlaag van 30 cm tot op een diepte van 90 cm onder maaiveld.

De stikstofbalans werd gekalibreerd op basis van twee tijdreeksen. Een eerste tijdreeks bestaat uit metingen van nitraat- en ammoniumconcentraties in de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm. Deze nitraat- en ammoniumconcentraties werden met behulp van de op de proefvelden gemeten bodemdichtheden in plaats van standaarddichtheden omgerekend naar kg N ha^{-1} .

De andere tijdreeks wordt gevormd door bepalingen van de nitraatconcentratie van het bodemwater of de waterflux op 90 cm beneden maaiveld volgens verschillende benaderingen. Vermits er voor deze laatste tijdreeks geen rechtstreekse uitvoer bestaat in WAVE, werd deze berekend op basis van beschikbare output.

De verschillende benaderingen om de nitraatconcentratie in het bodemwater te meten, respectievelijk te simuleren zijn:

- Het nemen van *grondstalen* van de horizont 60-90 cm, het extraheren van stikstof m.b.v. KCl, het analyseren van het extract op nitraat-N, het bepalen van het vochtgehalte, en het berekenen van de verhouding tussen de gemeten nitraat-N en het gemeten vochtgehalte;
- Het plaatsen van 3 *suction cups* per proefveld van 20 m x 20 m op een diepte van 90 cm beneden maaiveld, het regelmatig opvangen van bodemwater uit de suction cups, en het analyseren van de waterstalen op nitraatconcentratie in het laboratorium;
- Het nemen van waterstalen uit *grondwaterstandsbuizen* en het analyseren van de waterstalen op nitraatconcentratie in het laboratorium;
- Het berekenen van de gesimuleerde nitraatconcentratie als resultante van de verhouding tussen de *gesimuleerde netto nitraatflux en waterflux* op een diepte van 90 cm beneden maaiveld;

$$\text{Nitratconcentratie in flux (mg l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{flux}_N}{\text{flux}_w}$$

- flux_N = Netto nitraatflux (niet cumulatief) op 90 cm diepte ($\text{mg m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$)
- flux_w = Netto waterflux (niet cumulatief) op 90 cm diepte (mm dag^{-1})

- Het berekenen van de gesimuleerde nitraatconcentratie in het bodemwater als zijnde de verhouding tussen de *gesimuleerde nitraatconcentratie en het bodemvochtgehalte* in het compartiment 85-90 cm.

$$\text{Nitratconcentratie in bodemwater (mg l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{NO}_3\text{conc}_{85-90}}{\text{theta}_{85-90} \cdot d \cdot 1000}$$

- $\text{NO}_3\text{conc}_{85-90}$ = Nitraatconcentratie in het compartiment 85-90 cm (mg m^{-2})
- theta_{85-90} = Vochtgehalte in het compartiment 85-90 cm ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
- d = Dikte van de bodemlaag tussen 85 en 90 cm onder maaiveld = 0.05 (m)
- De factor 1/1000 is een conversiefactor van mg m^{-3} naar mg l^{-1}

Voor het model DRAINMOD was nog een derde tijdreeks aanwezig voor de kalibratie van de stikstofbalans. Deze tijdreeks bestaat uit metingen van de nitraatconcentratie in het drainagewater.

Na de kalibratiefase werden de proefvelden gevalideerd aan de hand van de verschillende tijdreeksen van de tweede winterperiode (2001-2002).

De simulatieresultaten werden grafisch en niet op basis van statistische criteria beoordeeld aangezien te weinig metingen beschikbaar waren om statistische criteria toe te passen.

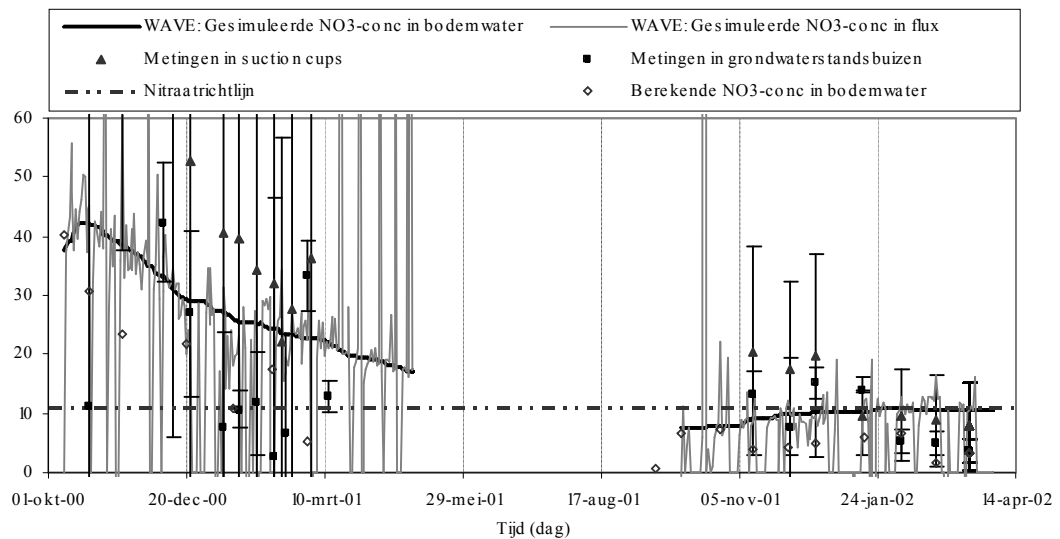
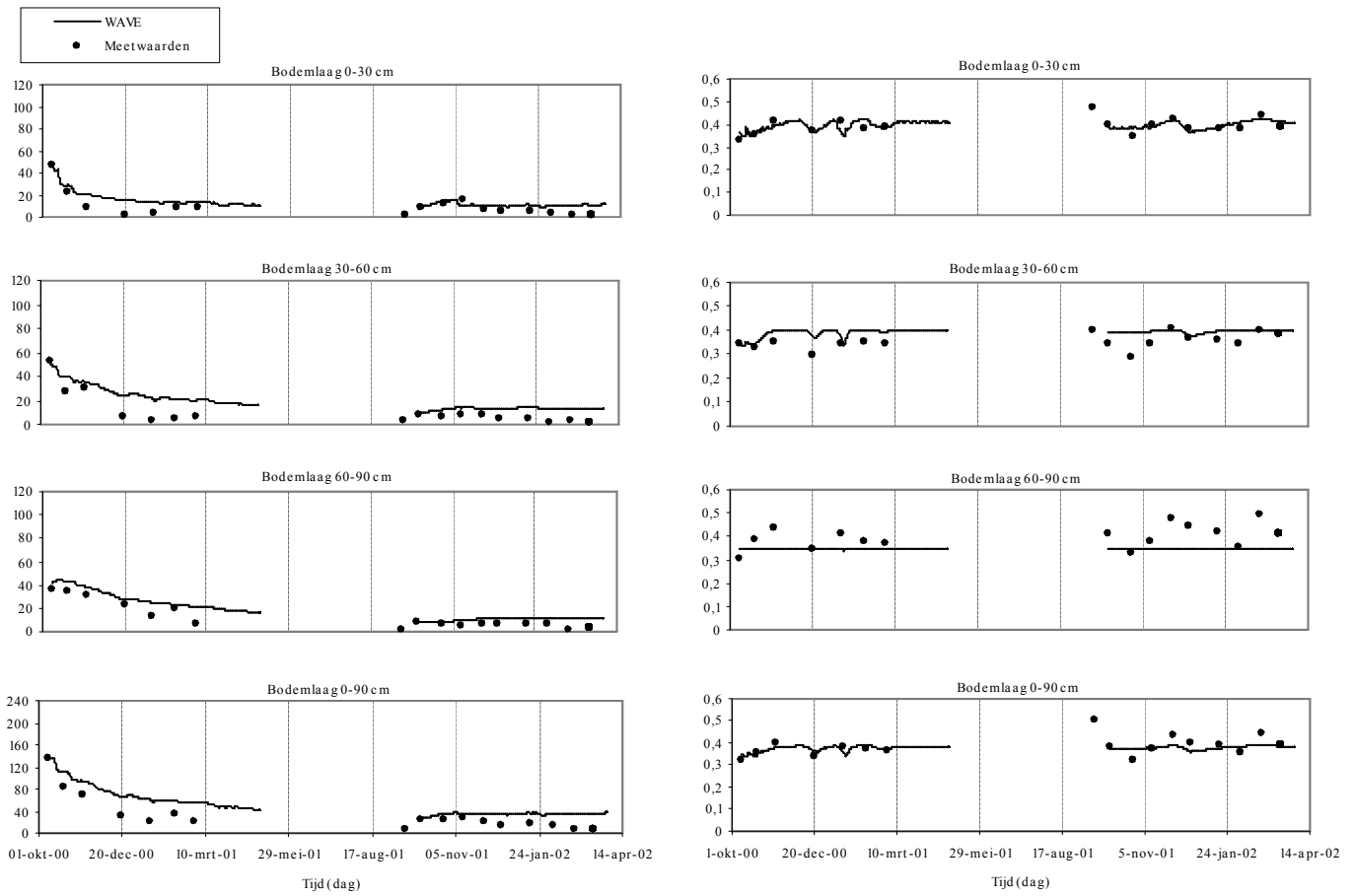
5.3.3 Resultaten

In Figuur 5.1 tot en met Figuur 5.15 worden de resultaten voor de niet-gedraineerde velden per proefveld voorgesteld. De resultaten van de gedraineerde velden zijn in Figuur 5.16 tot en met Figuur 5.20 samengevat. Per proefveld wordt voor de twee winterperiodes de gemeten en gesimuleerde nitraatconcentratie in het bodemprofiel (per laag van 30 cm en tot op een diepte van 90 cm) weergegeven. Ook het gemeten en gesimuleerde vochtgehalte in de bodem (per laag van 30 cm en tot op een diepte van 90 cm) wordt weergegeven. Tenslotte wordt de gemeten en gesimuleerde nitraatconcentratie in het bodemvocht op 90 cm diepte aangegeven volgens verschillende meet- en berekeningsmethoden.

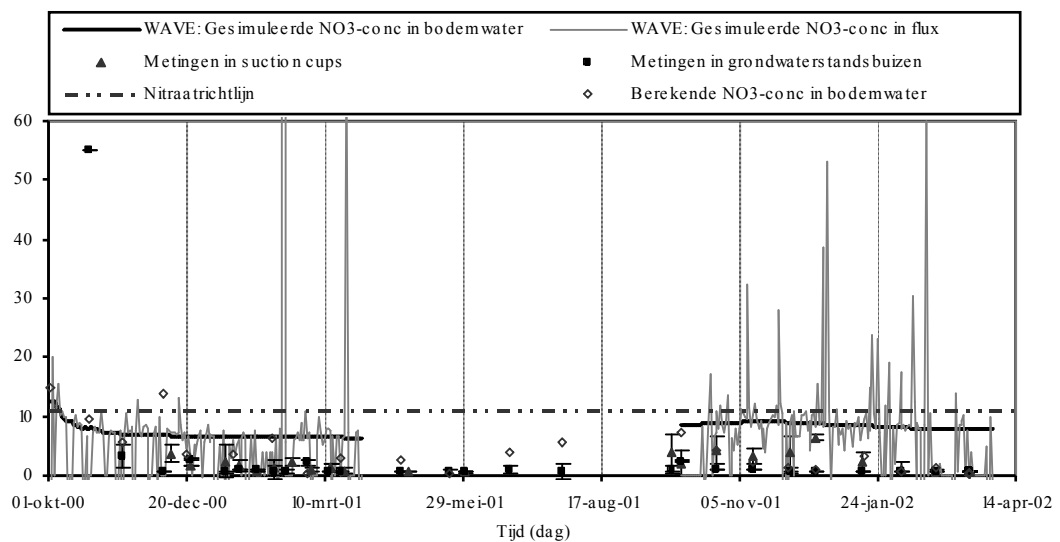
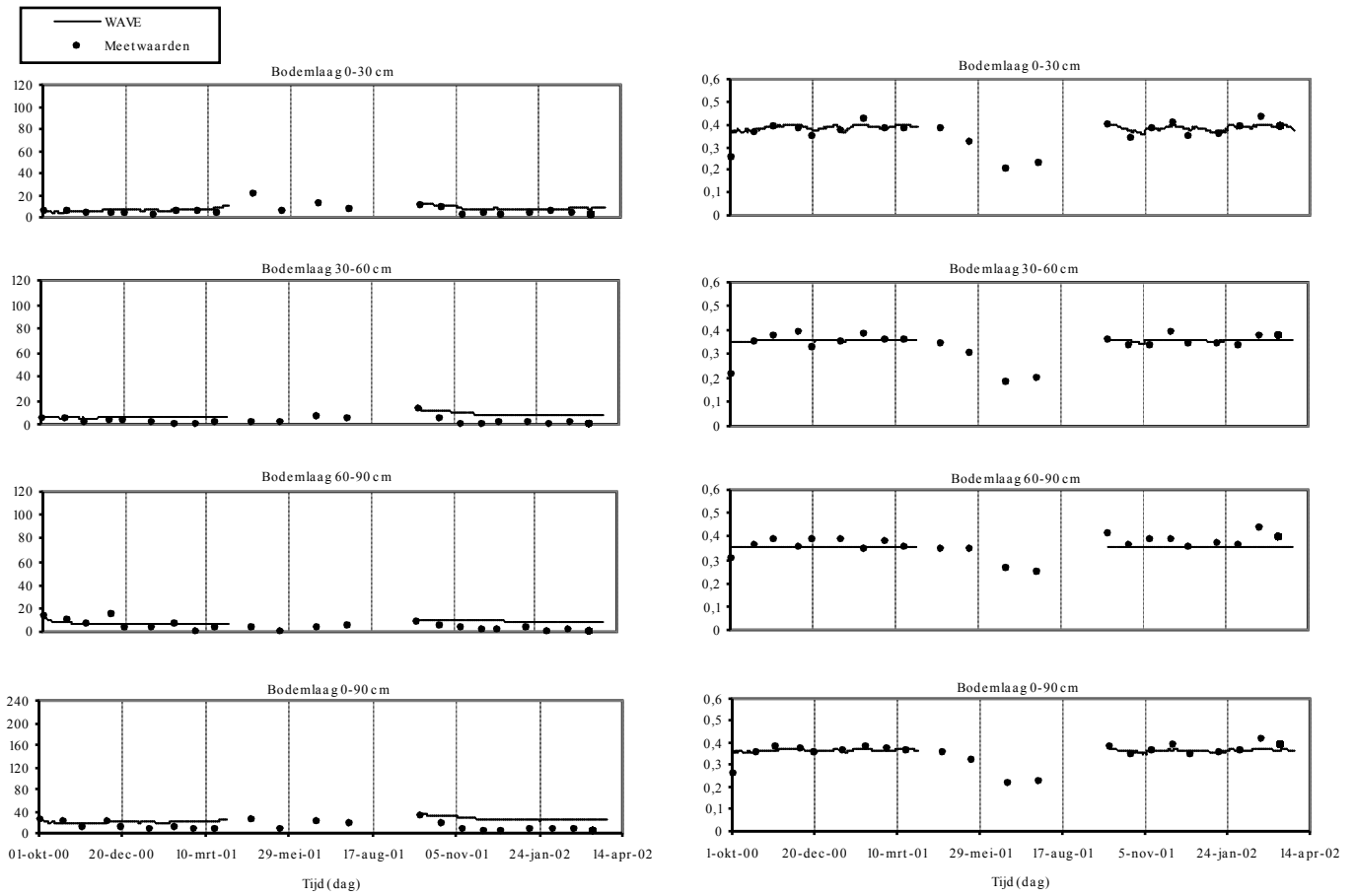
Voor de gedraineerde velden zijn in Figuur 5.21 tot en met Figuur 5.25 de gemeten en gesimuleerde nitraatconcentratie in het drainagewater weergegeven.

In Tabel 5.3 en Tabel 5.4 worden respectievelijk voor WAVE en DRAINMOD voor elk proefveld per winterperiode balansen weergegeven. In deze tabellen zijn voor elk deelproces cumulatieve waarden voorgesteld per proefveld en per winterperiode. Voor WAVE zijn dit de balansen voor een bodemlaag van 0-90 cm. De balansen voor DRAINMOD zijn opgesteld voor bodemlagen met een specifieke bodemdikte per proefveld. De bodemdikte wordt in DRAINMOD bepaald door de diepteligging van de drains. In Tabel 5.4 is telkens aangegeven hoe diep het bodemprofiel is. De waterflux wordt berekend op de ondergrens van elk bodemprofiel.

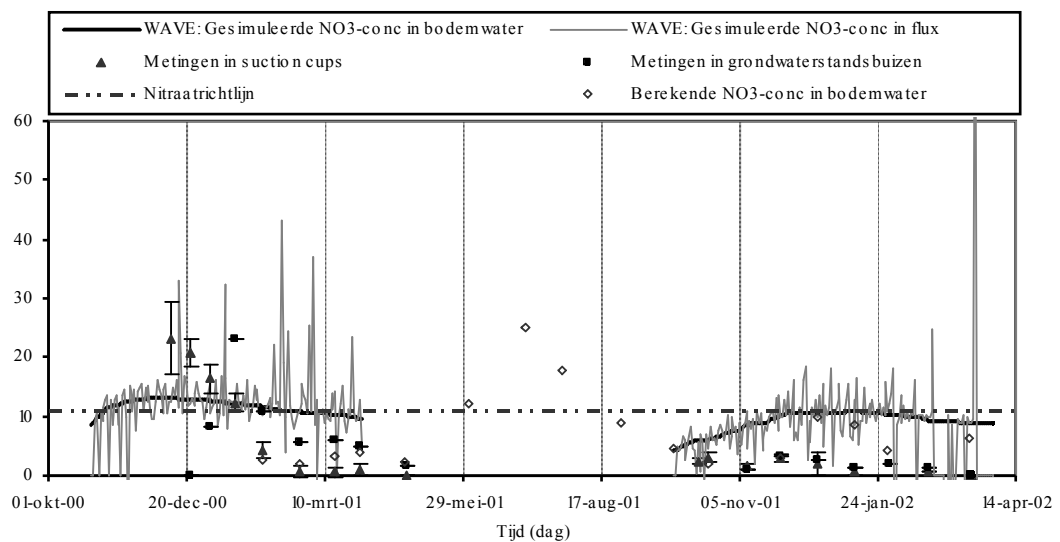
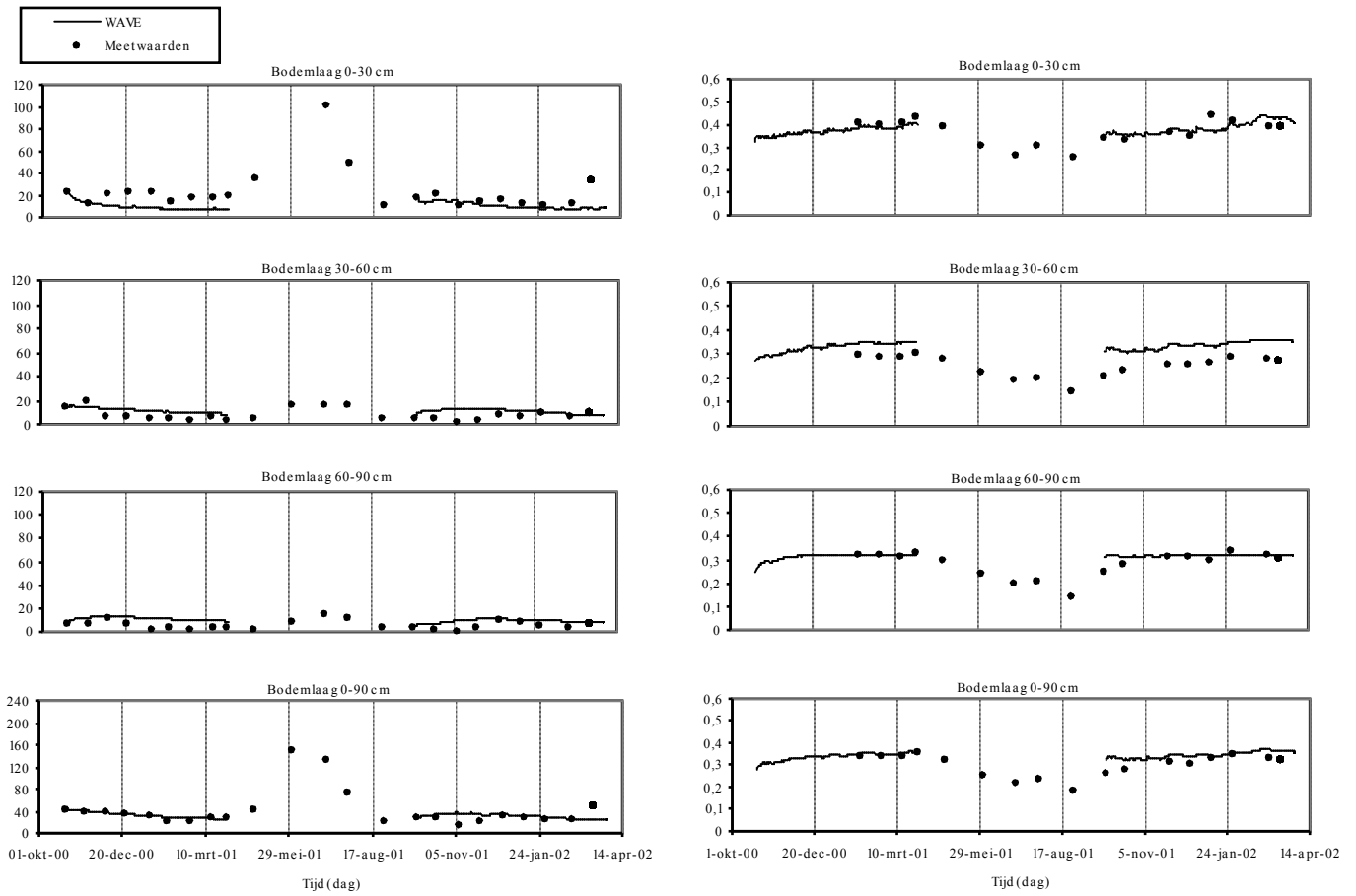
De waarden voor alle modelparameters van beide modellen die op basis van deze kalibratie en validatie werden vastgelegd, zijn voorgesteld in Bijlage 8.



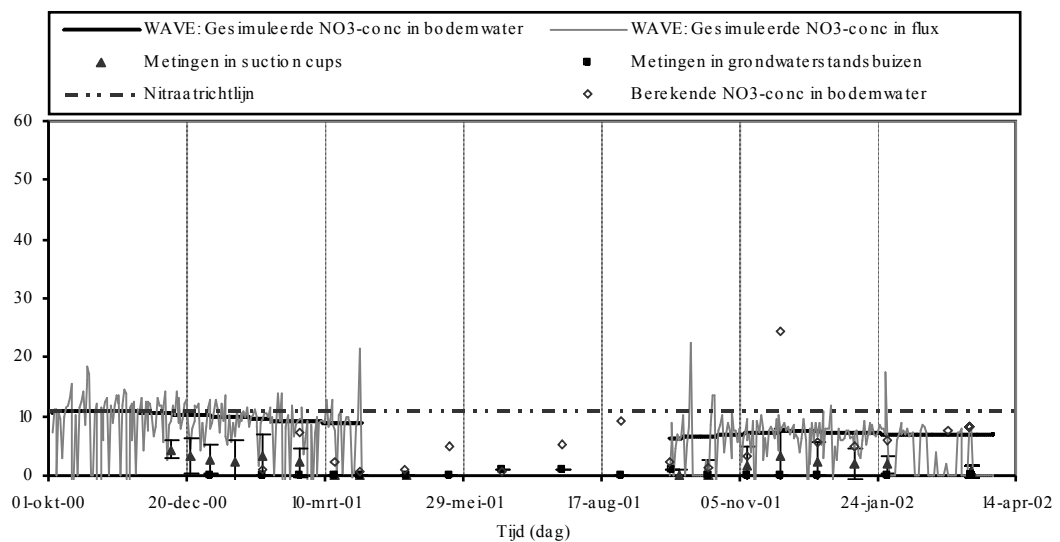
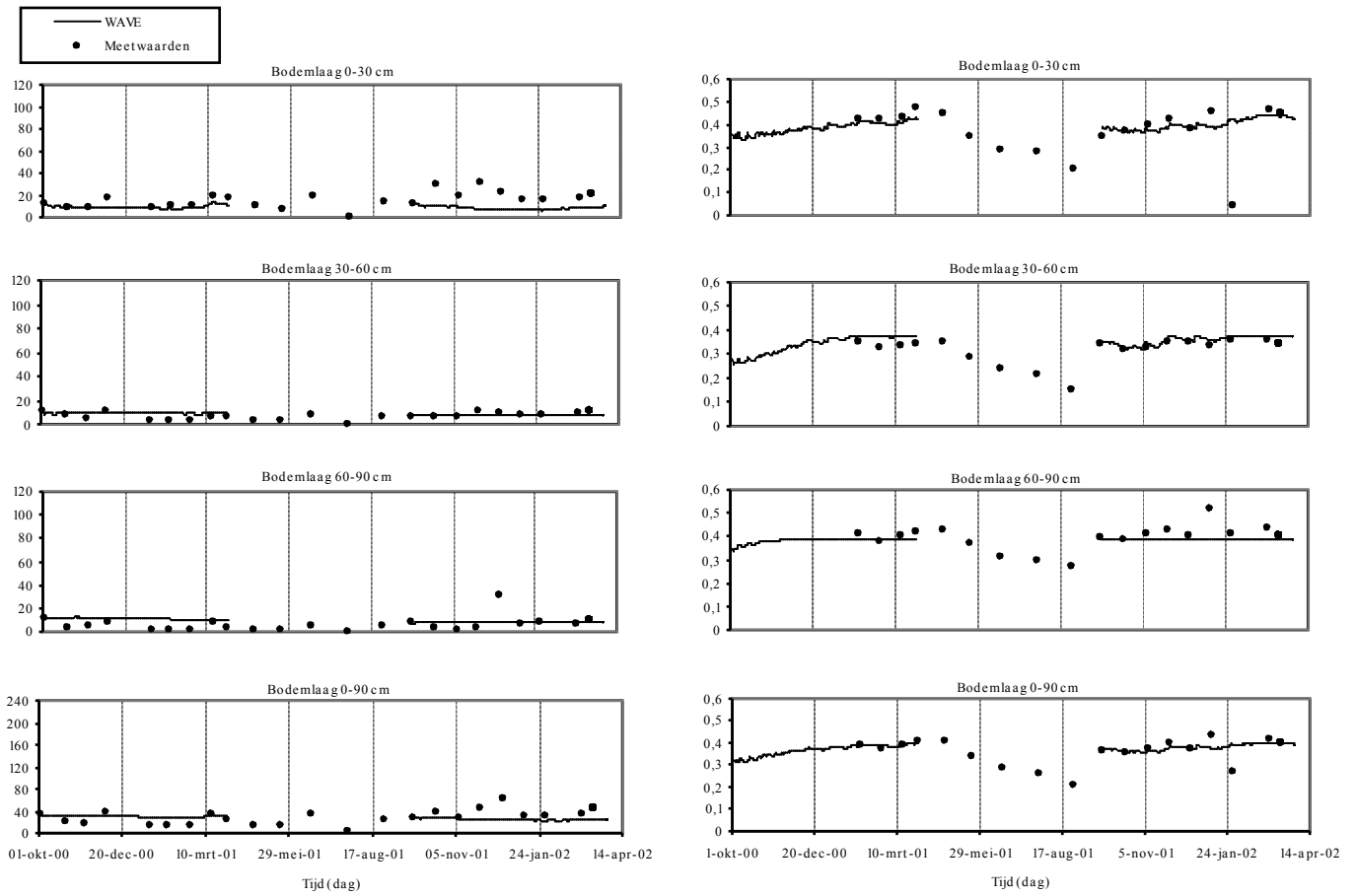
Figuur 5.1: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 5



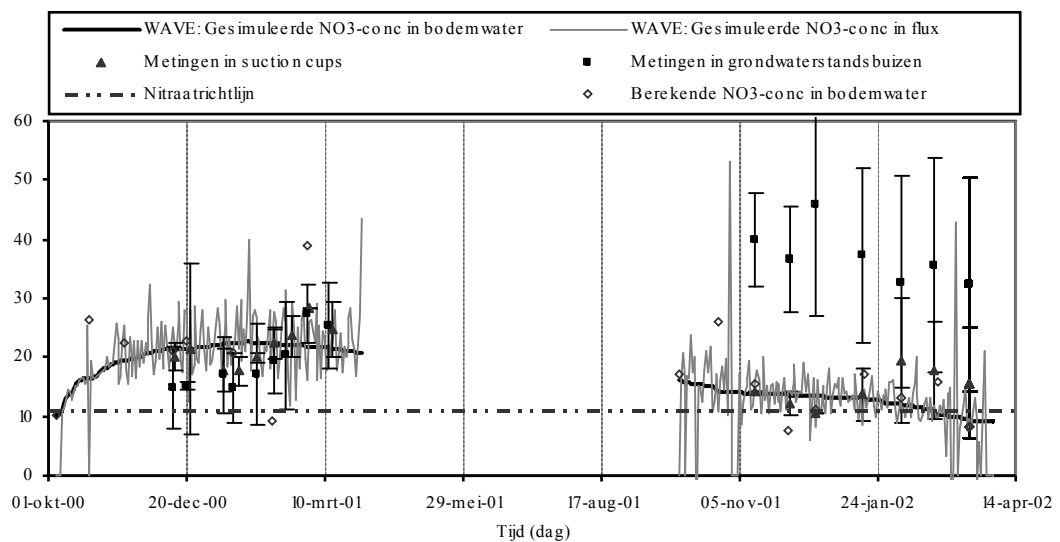
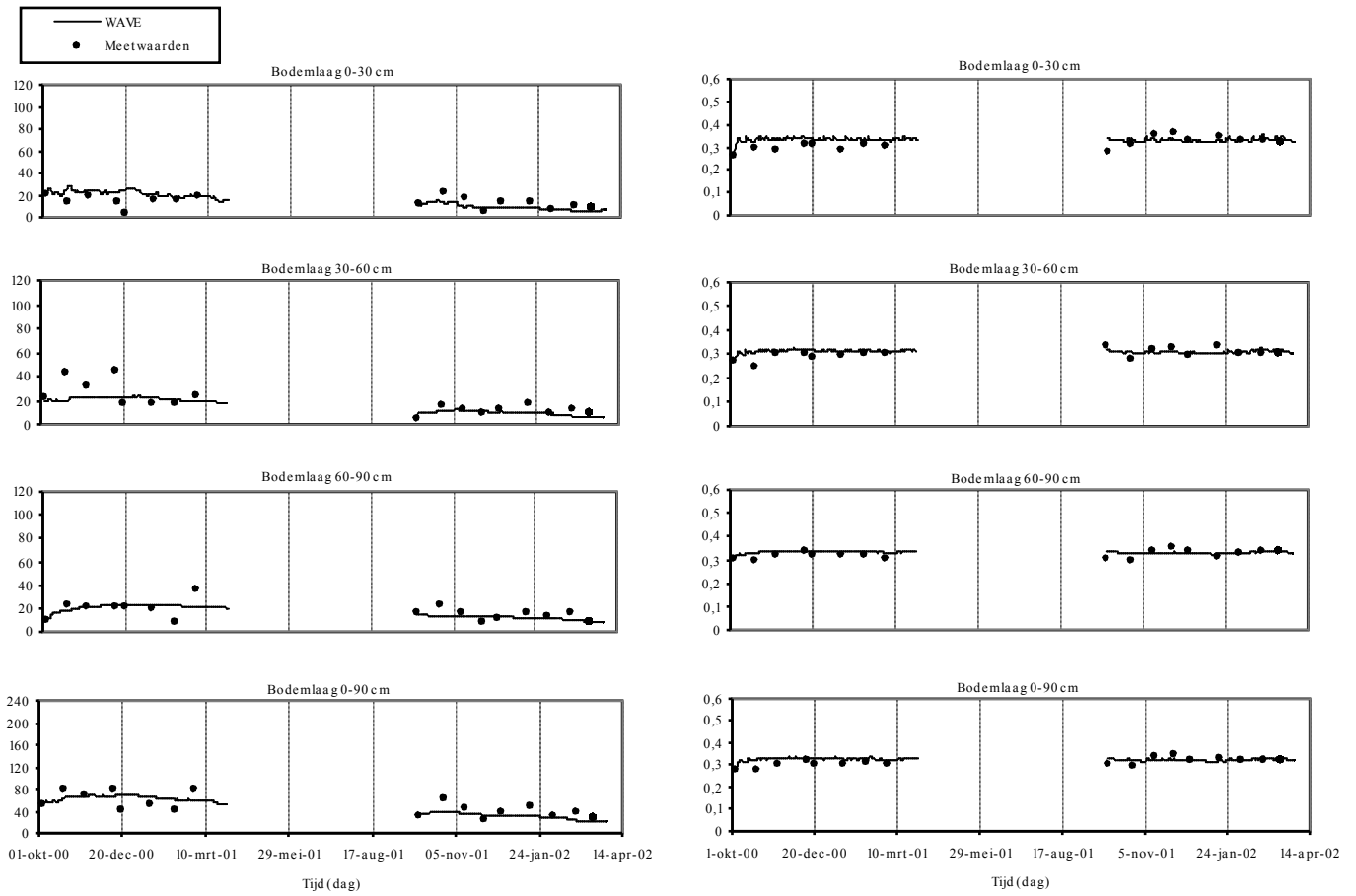
Figuur 5.2: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 6



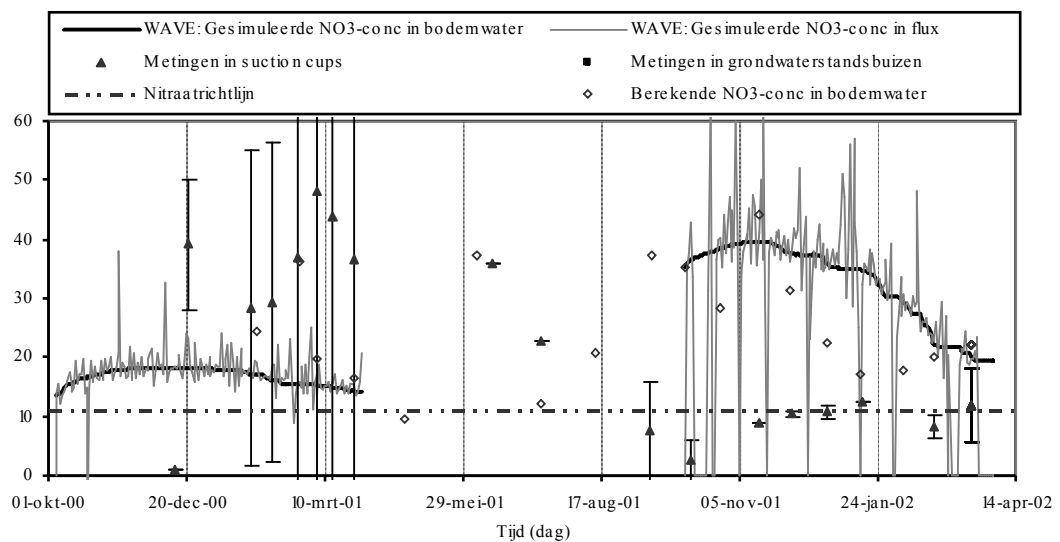
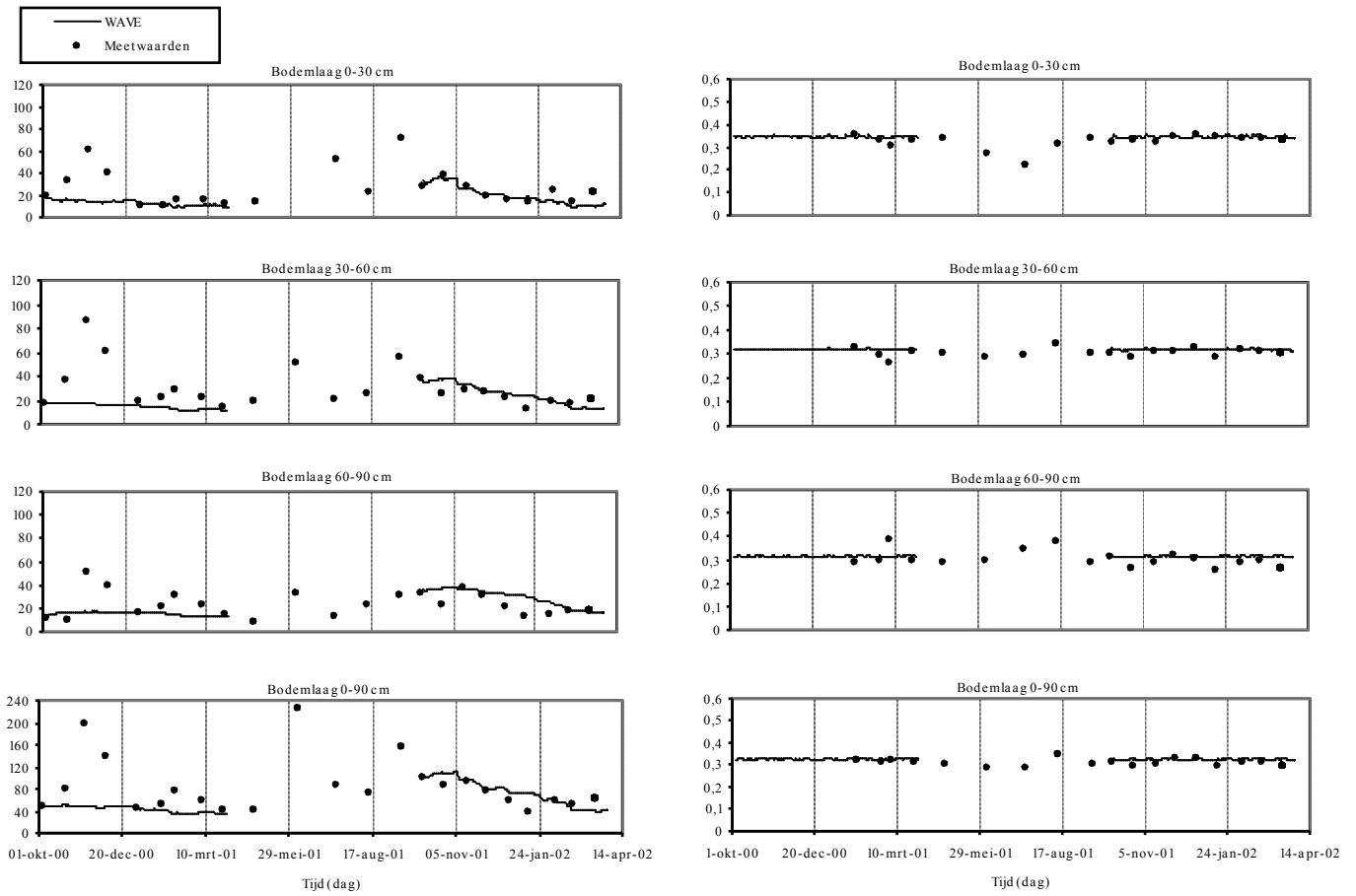
Figuur 5.3: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 256



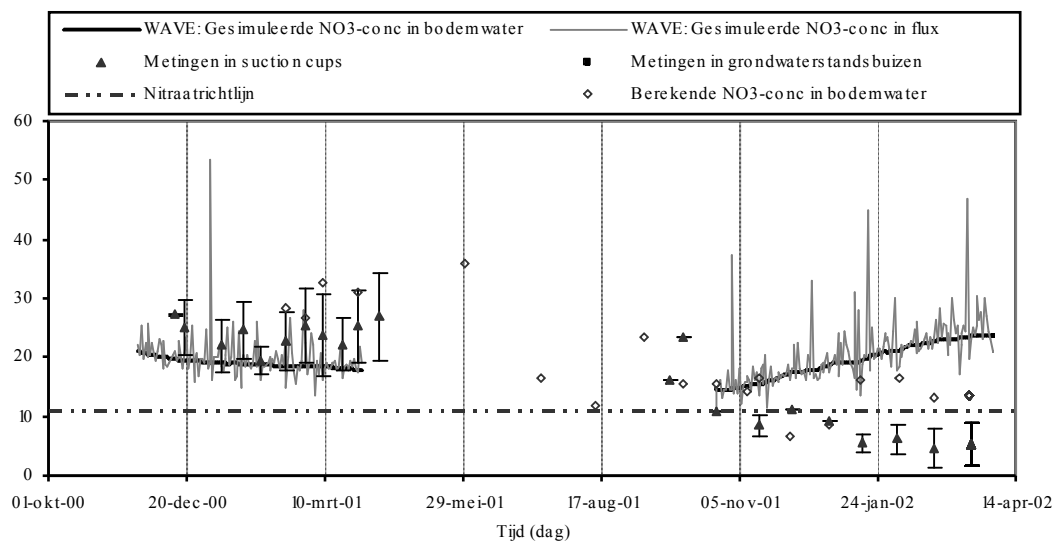
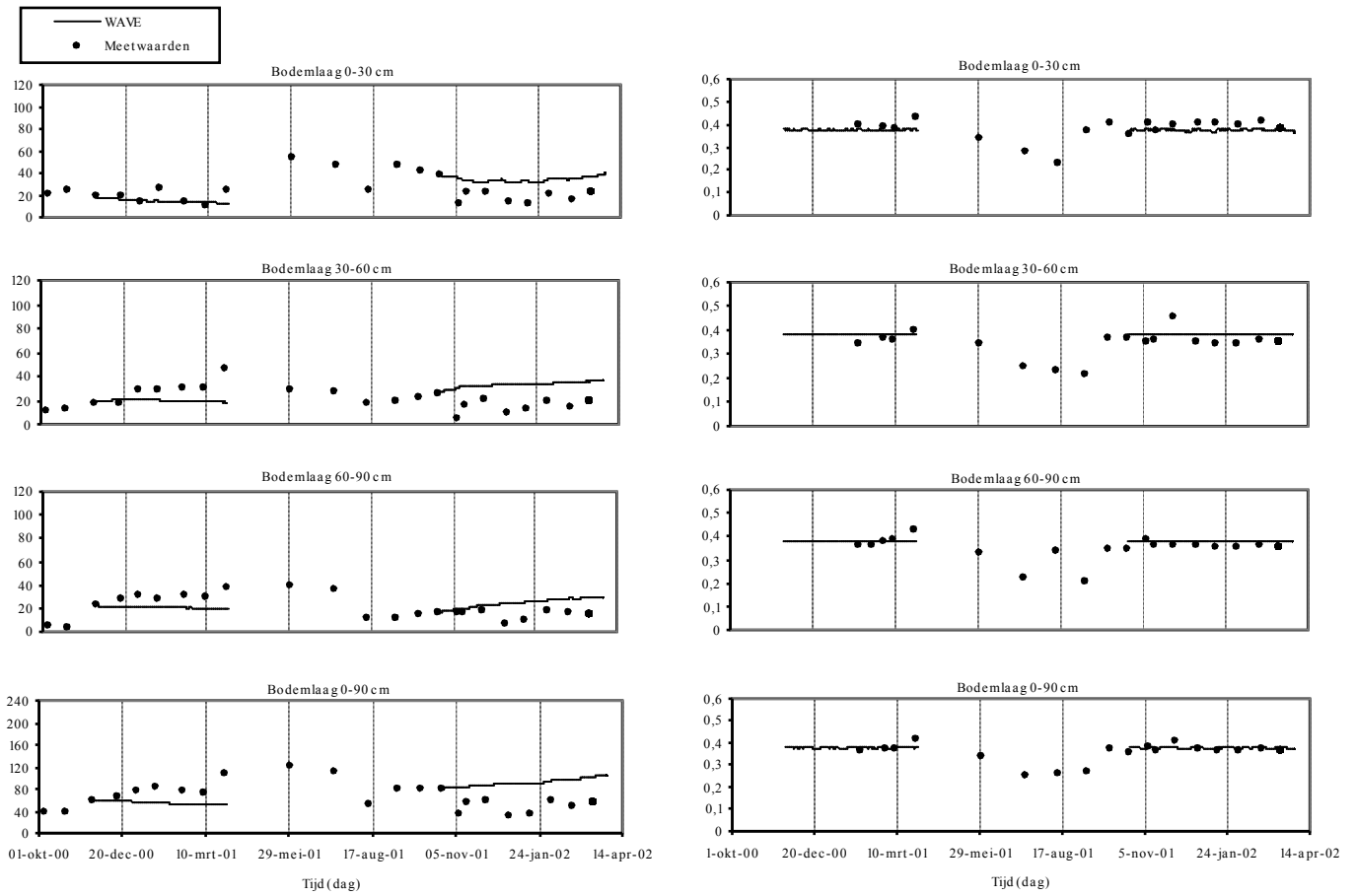
Figuur 5.4: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 261



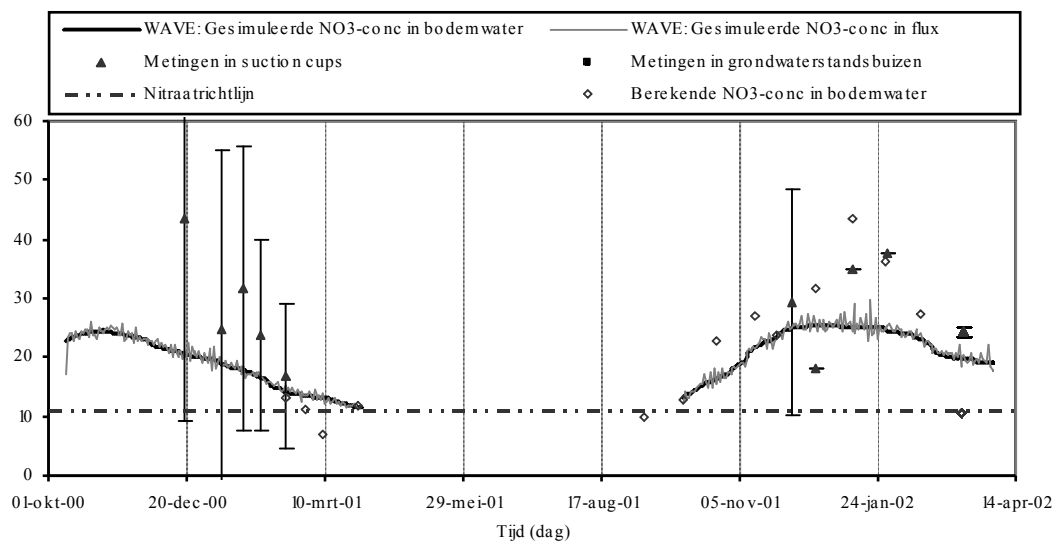
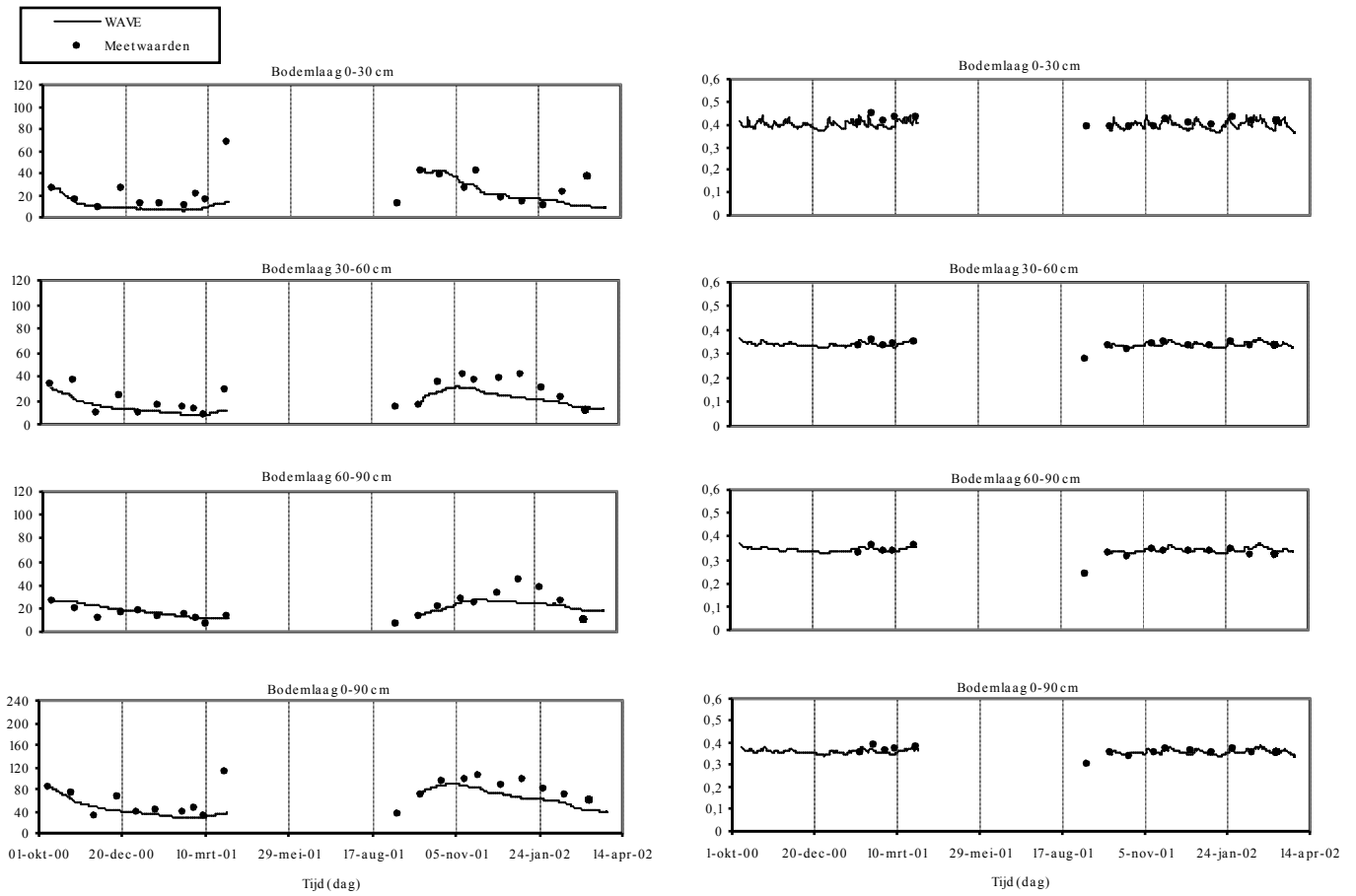
Figuur 5.5: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 8



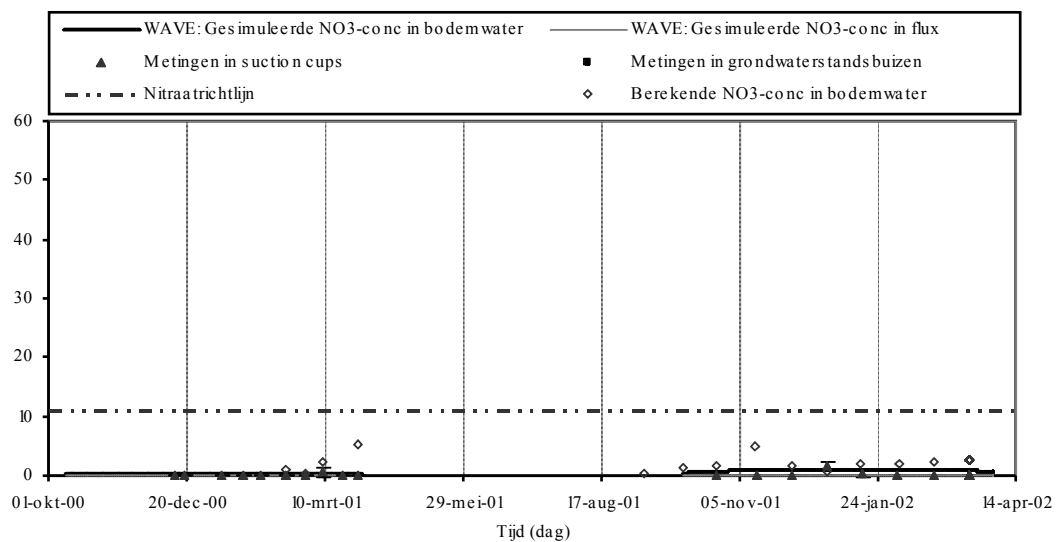
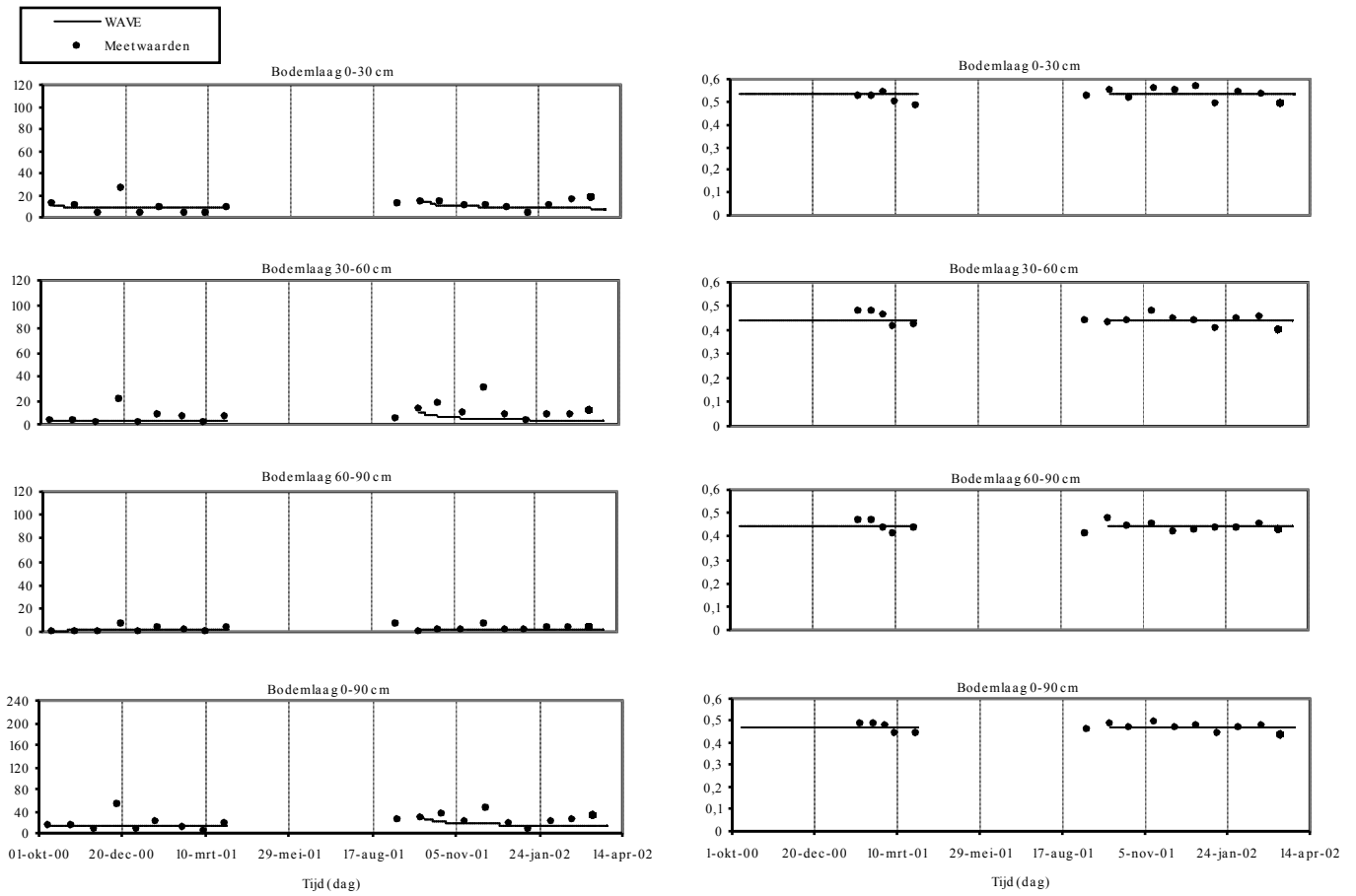
Figuur 5.6: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 262



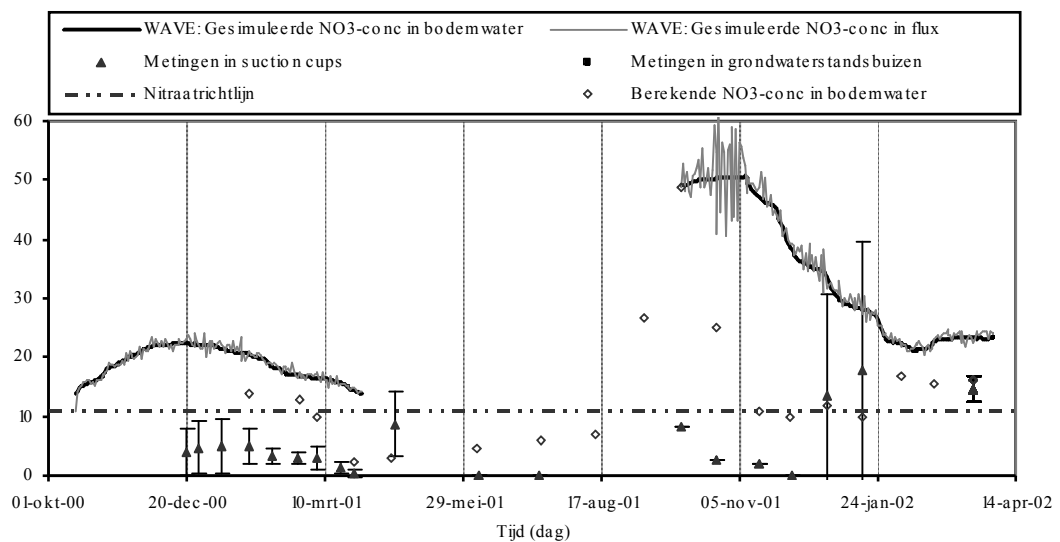
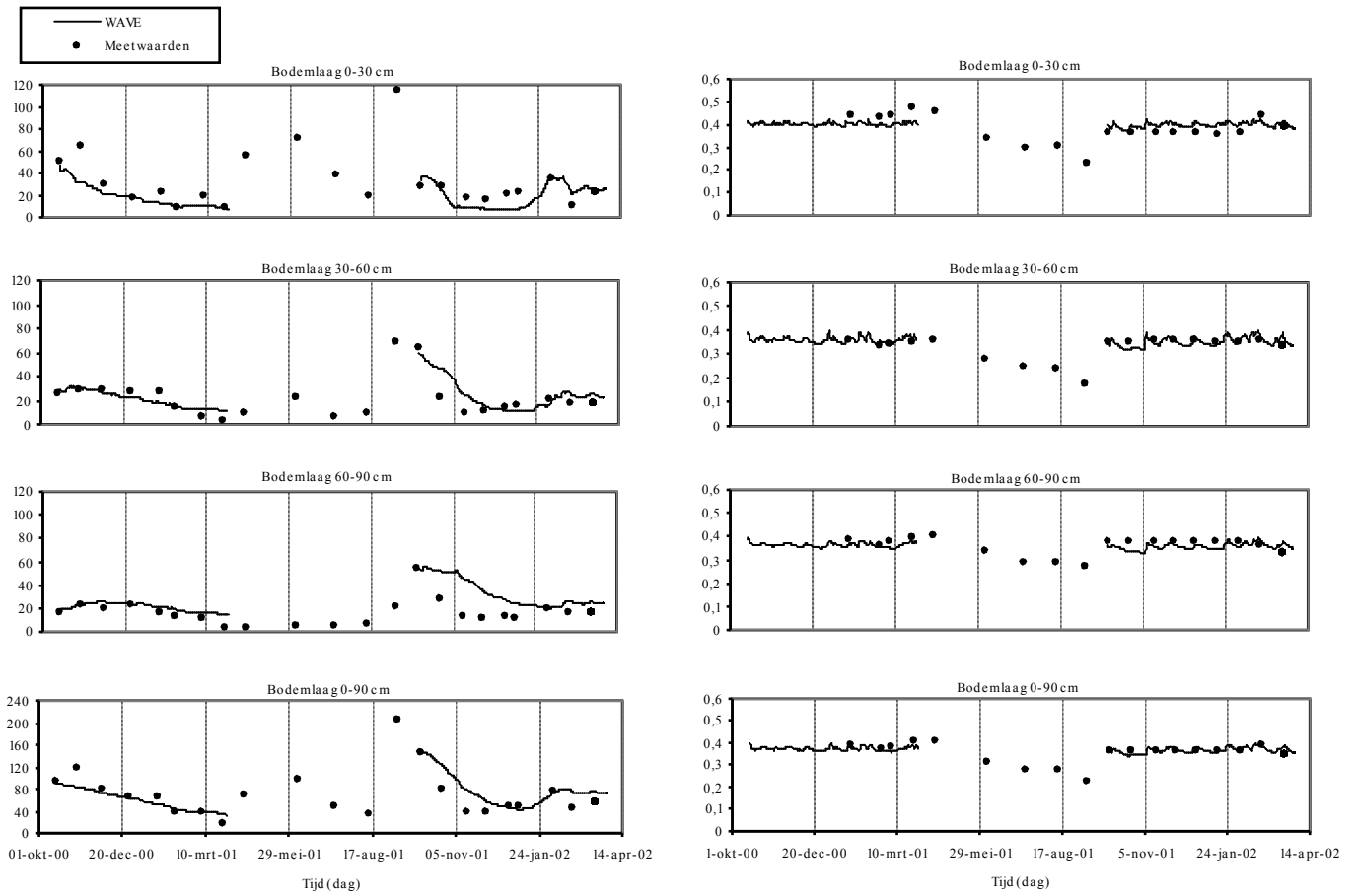
Figuur 5.7: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 263



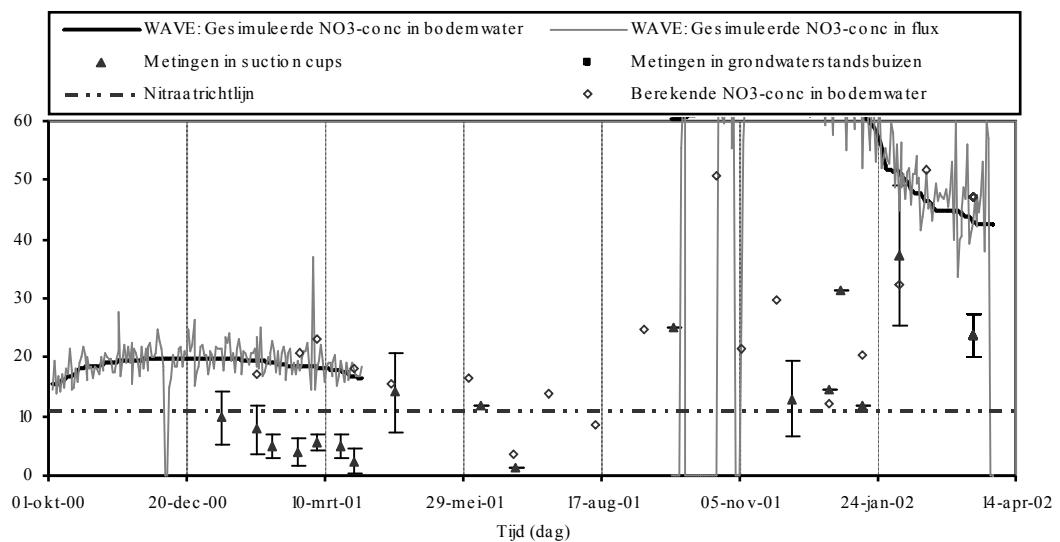
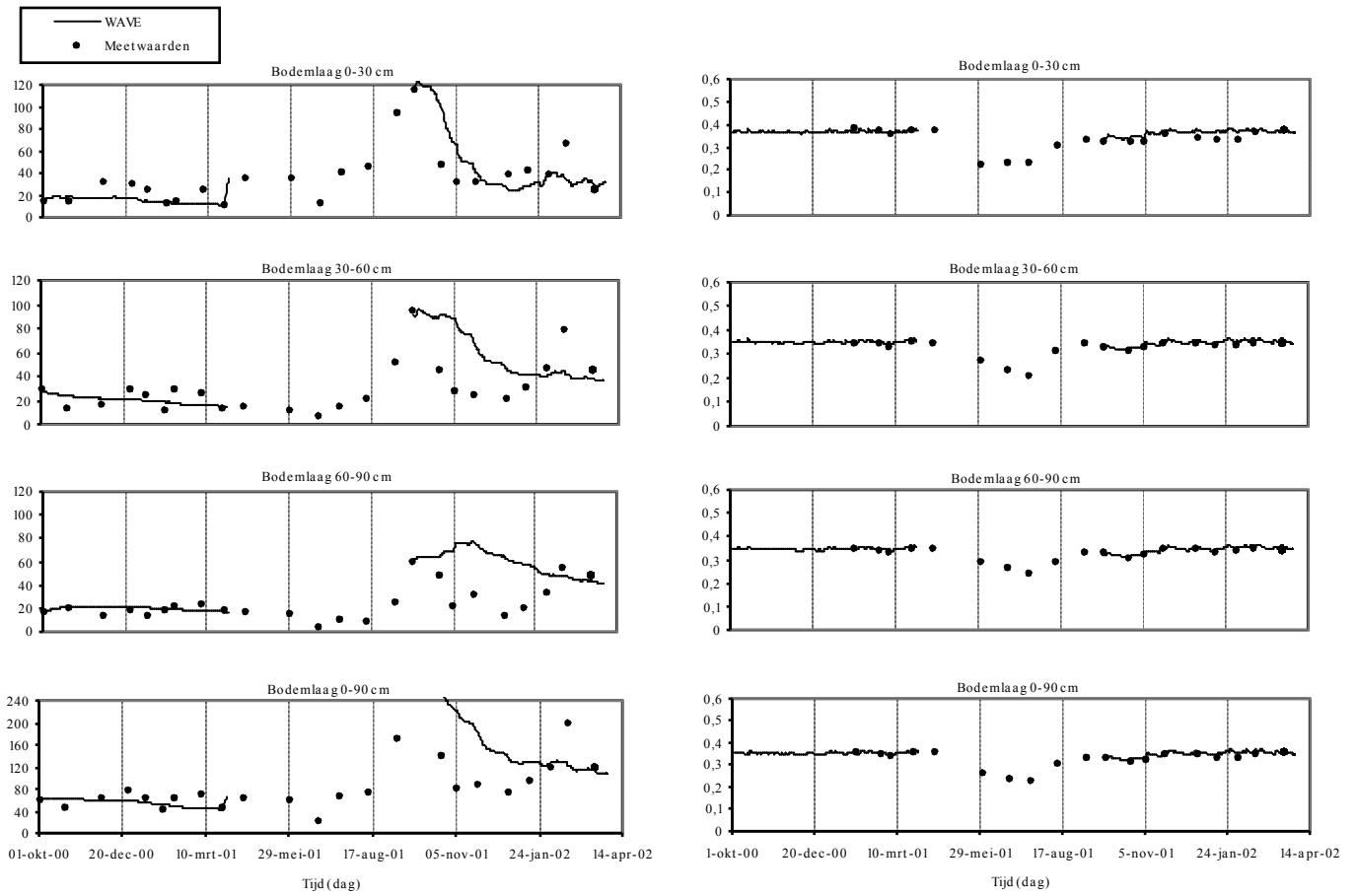
Figuur 5.8: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 264



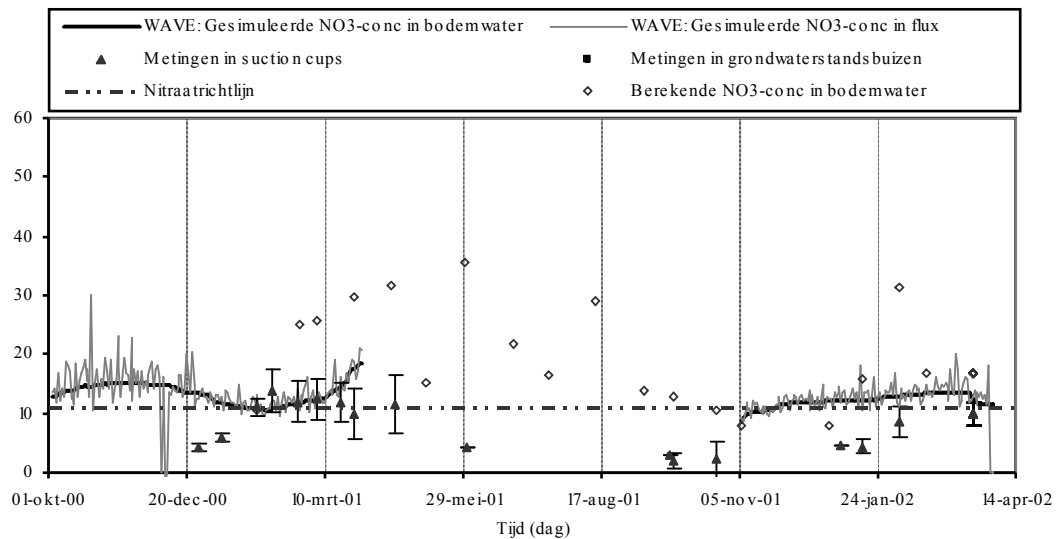
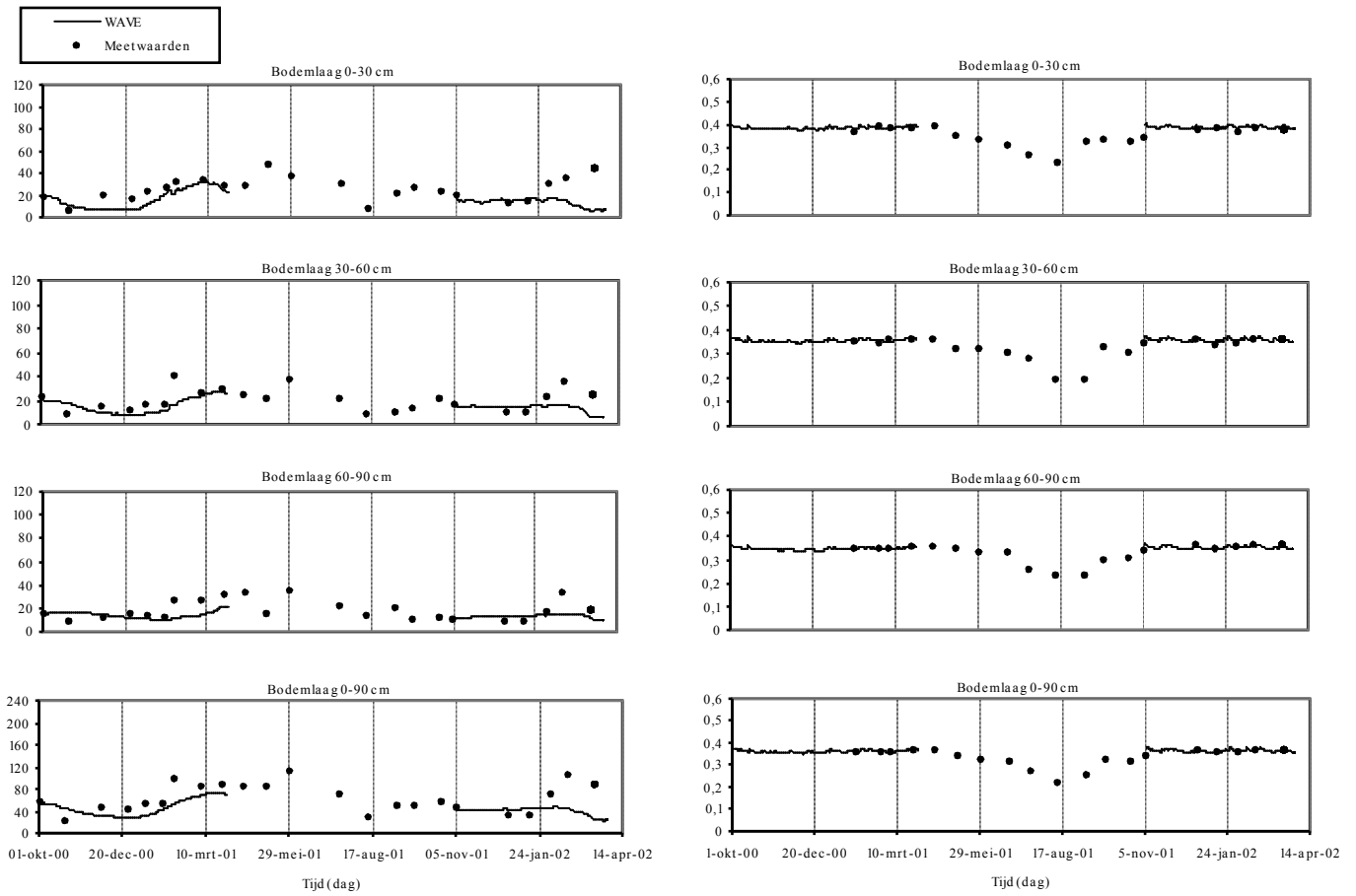
Figuur 5.9: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 265



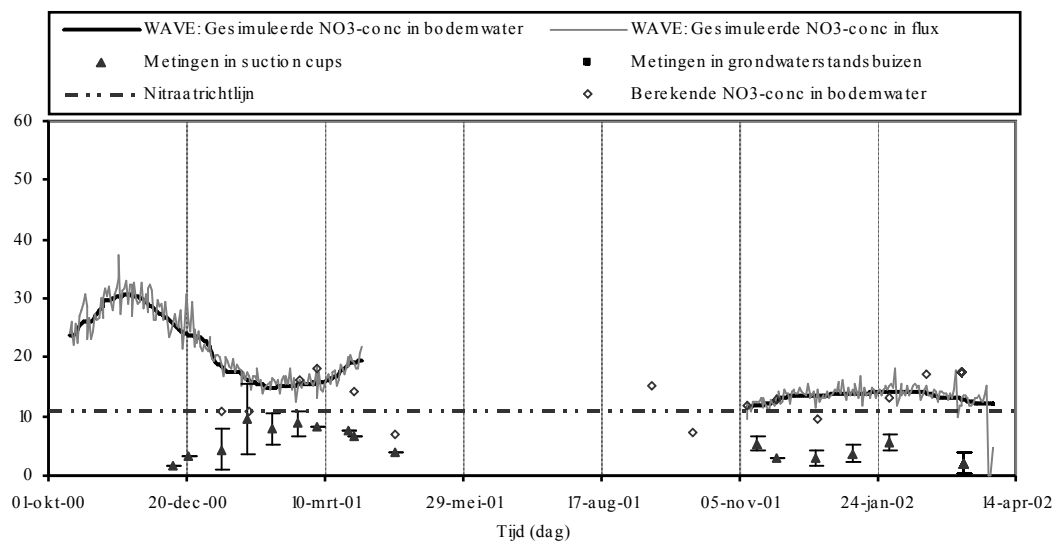
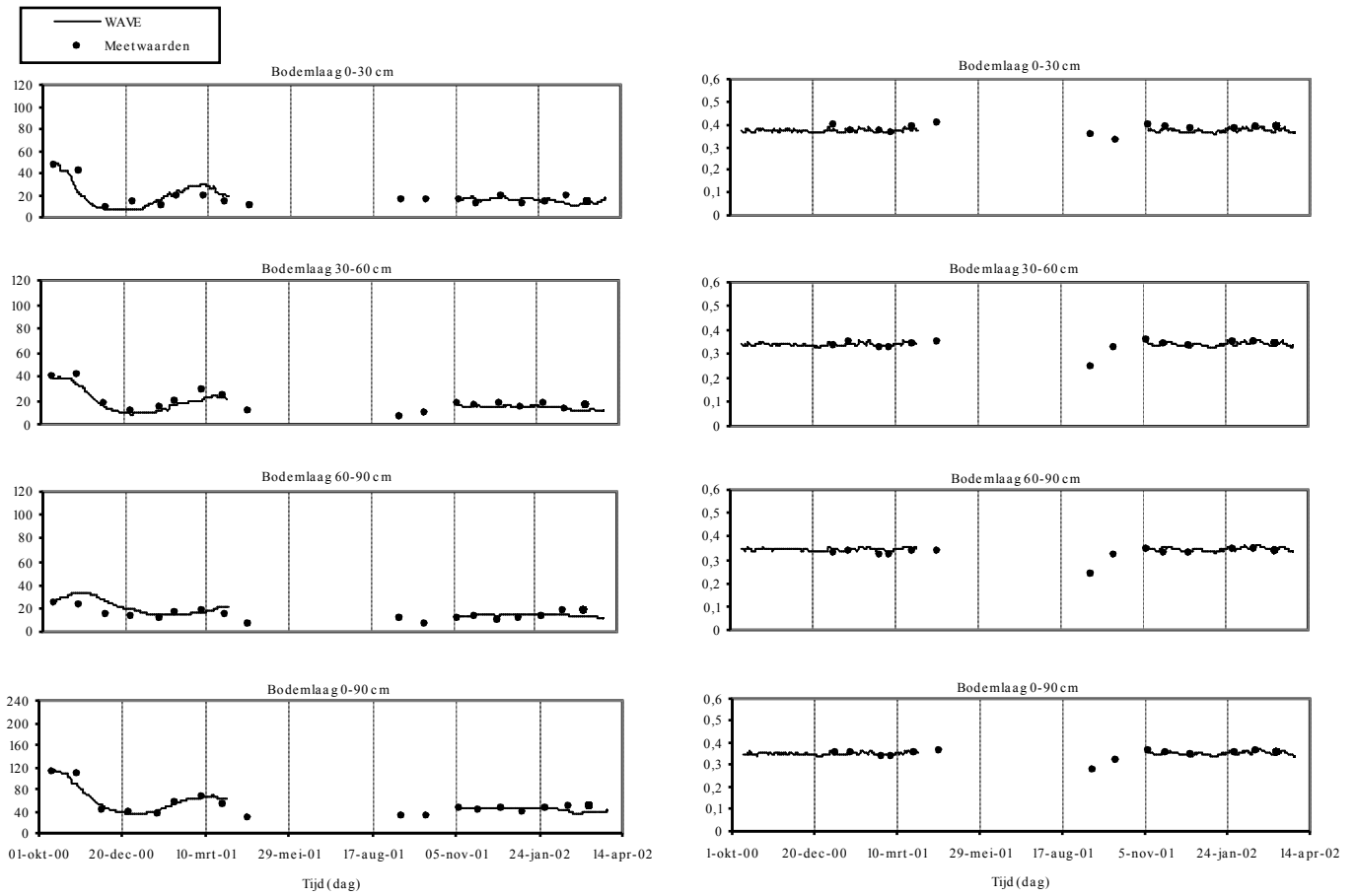
Figuur 5.10: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 258



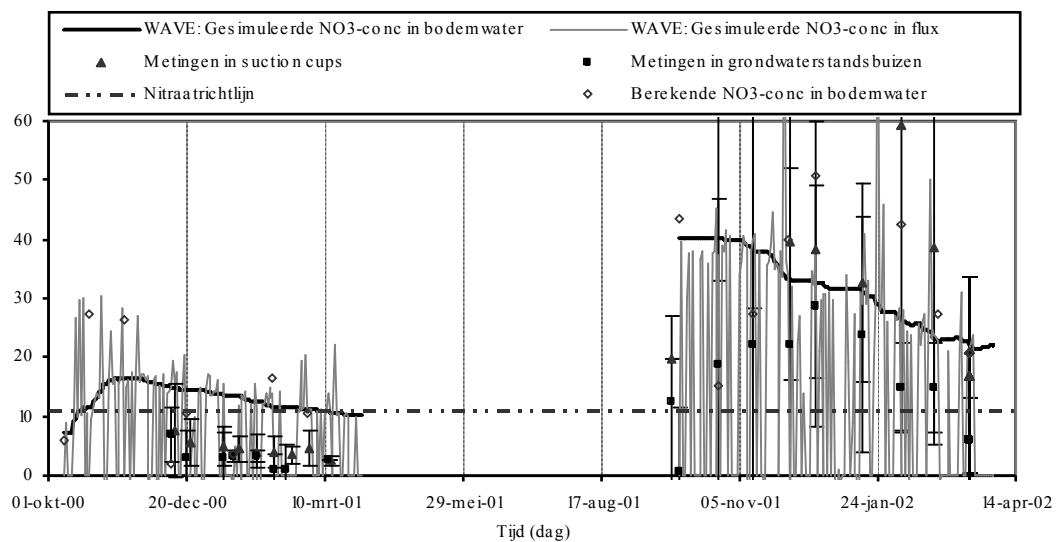
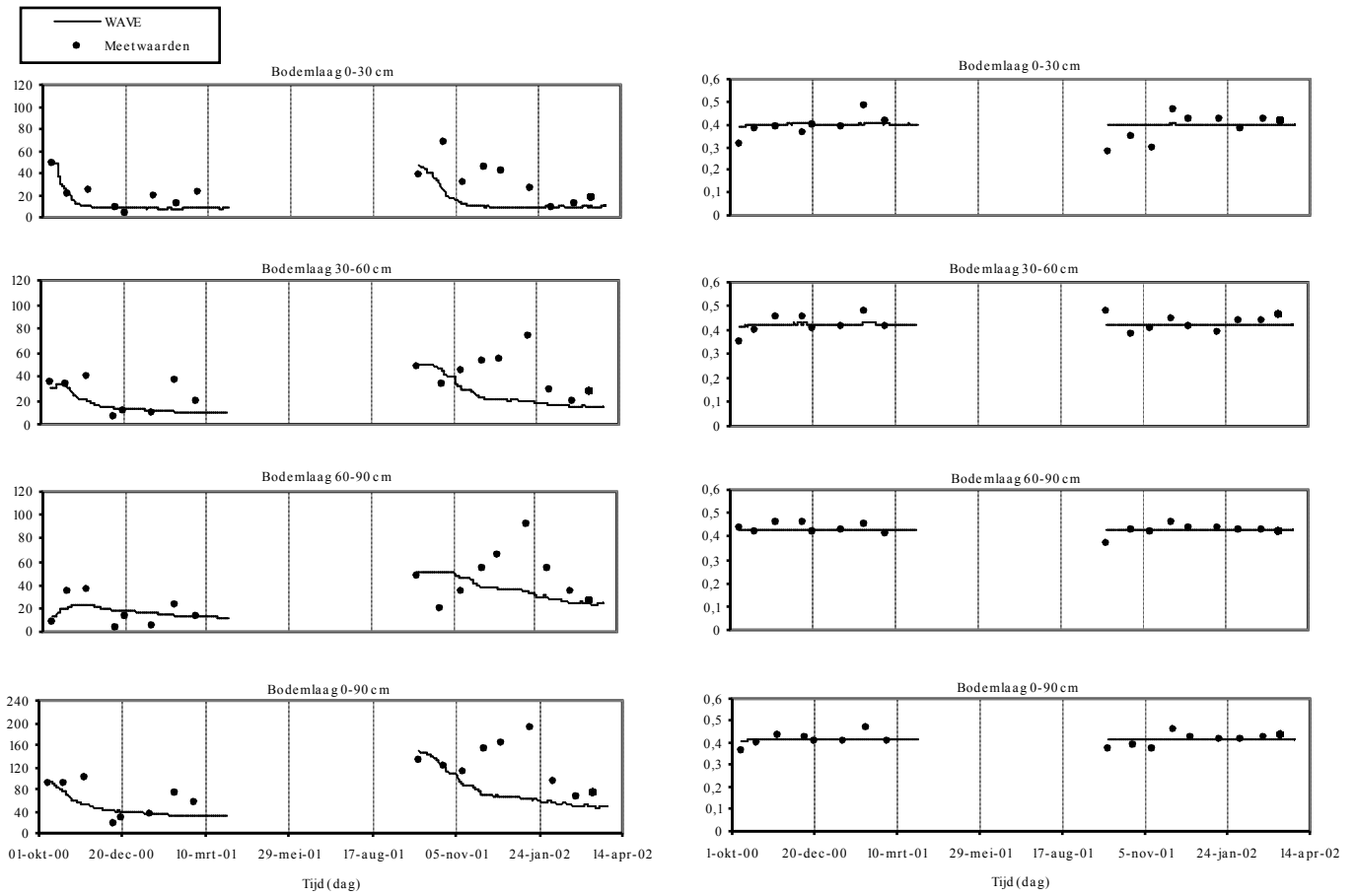
Figuur 5.11: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 259



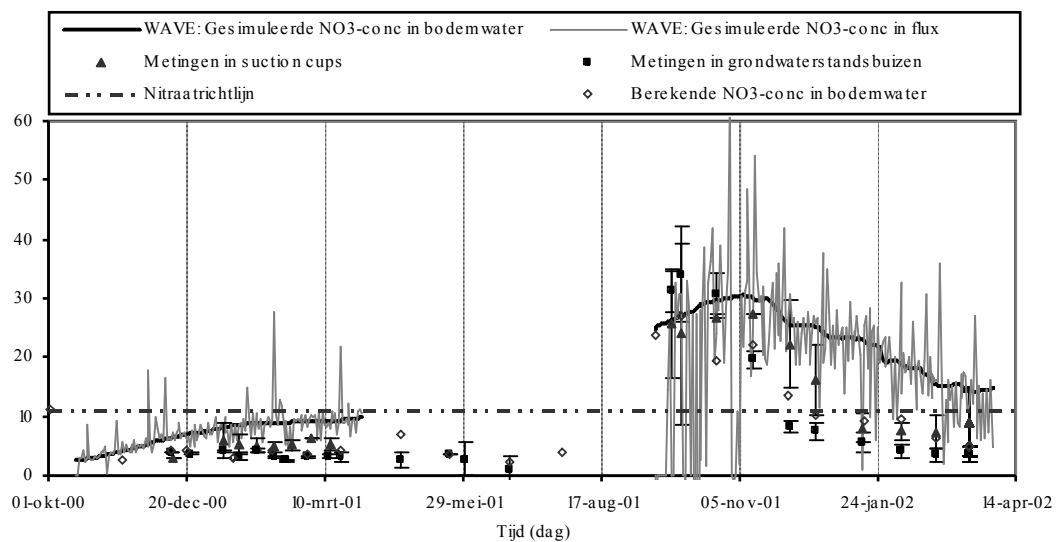
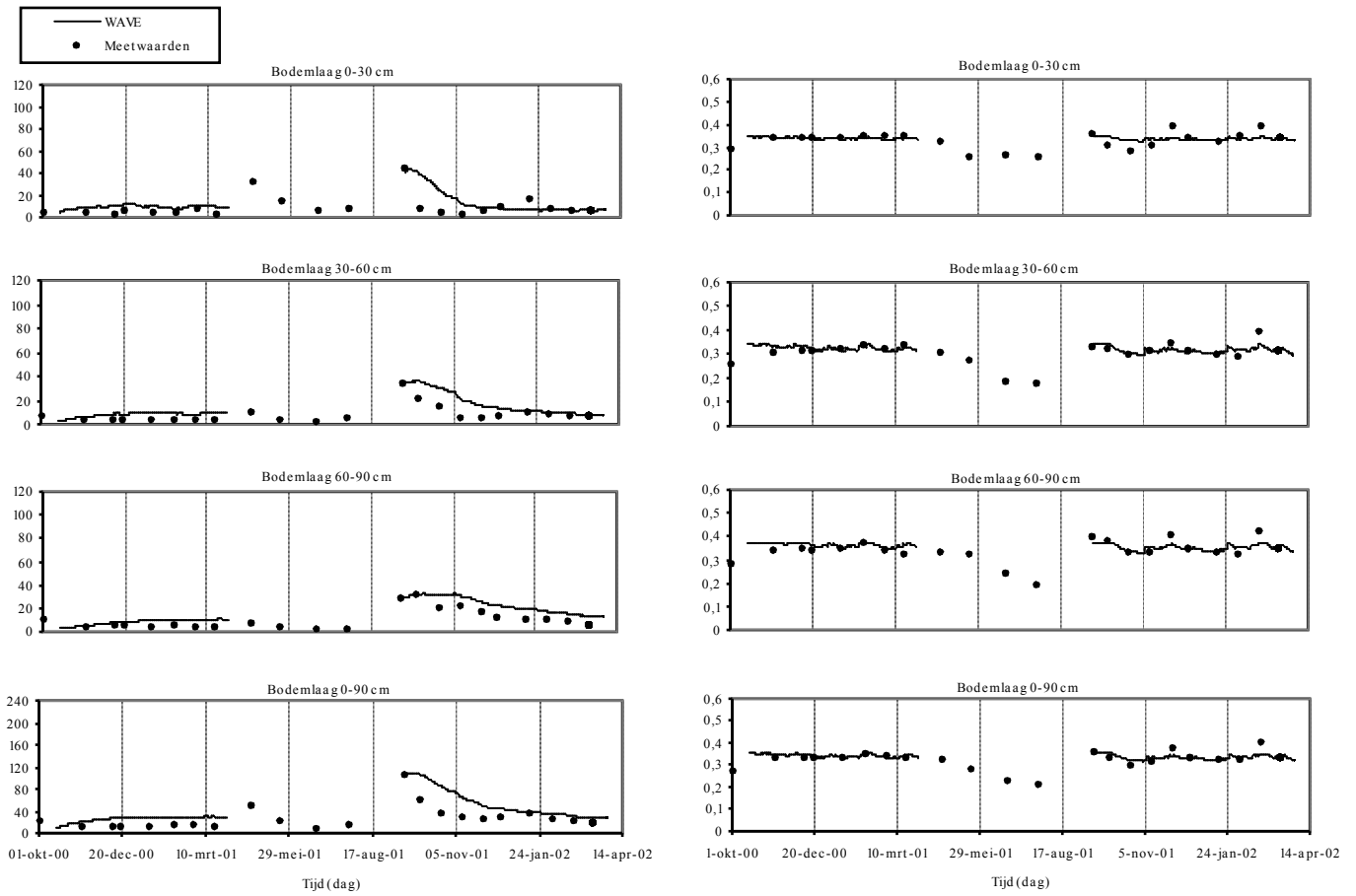
Figuur 5.12: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 260



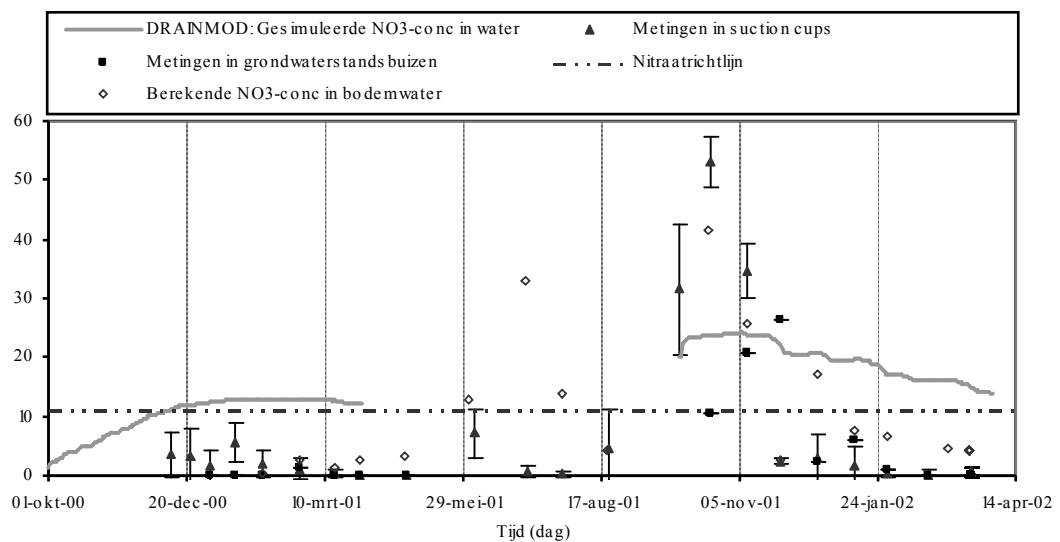
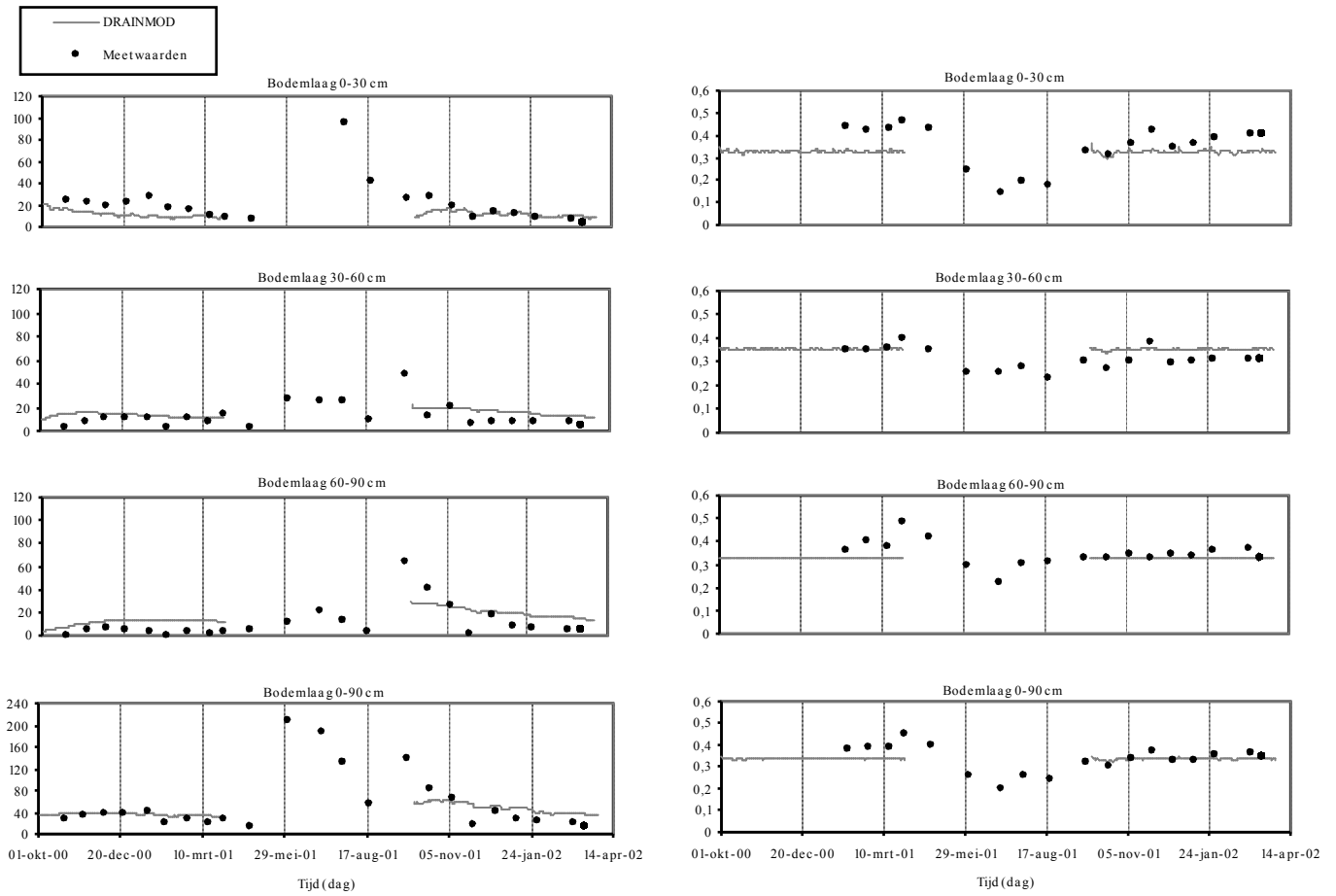
Figuur 5.13: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 266



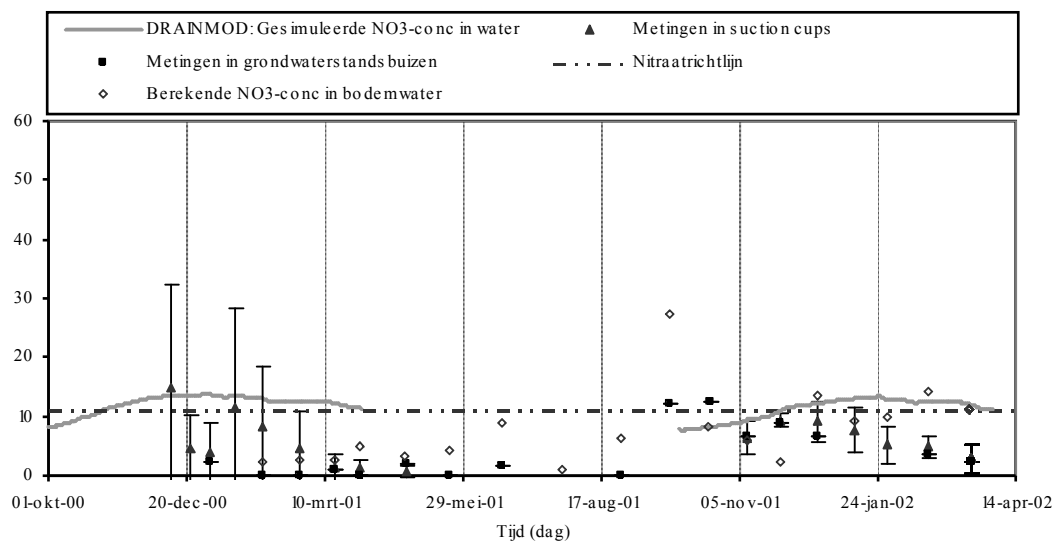
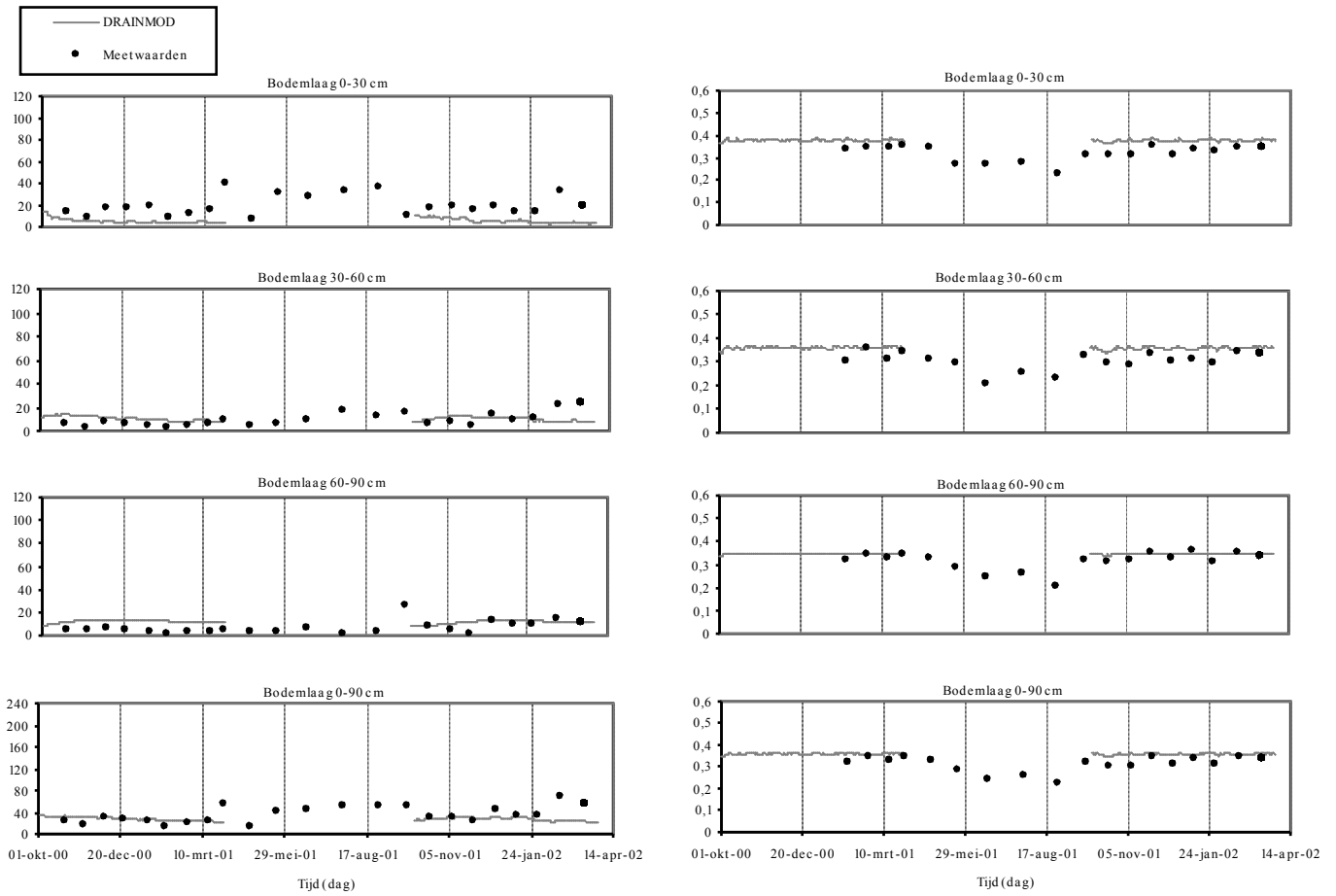
Figuur 5.14: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 1



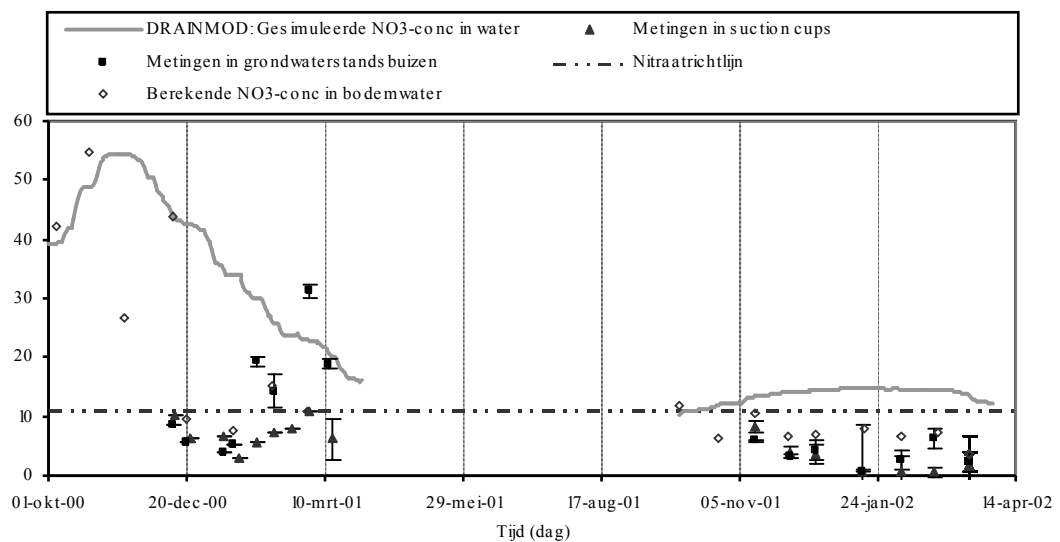
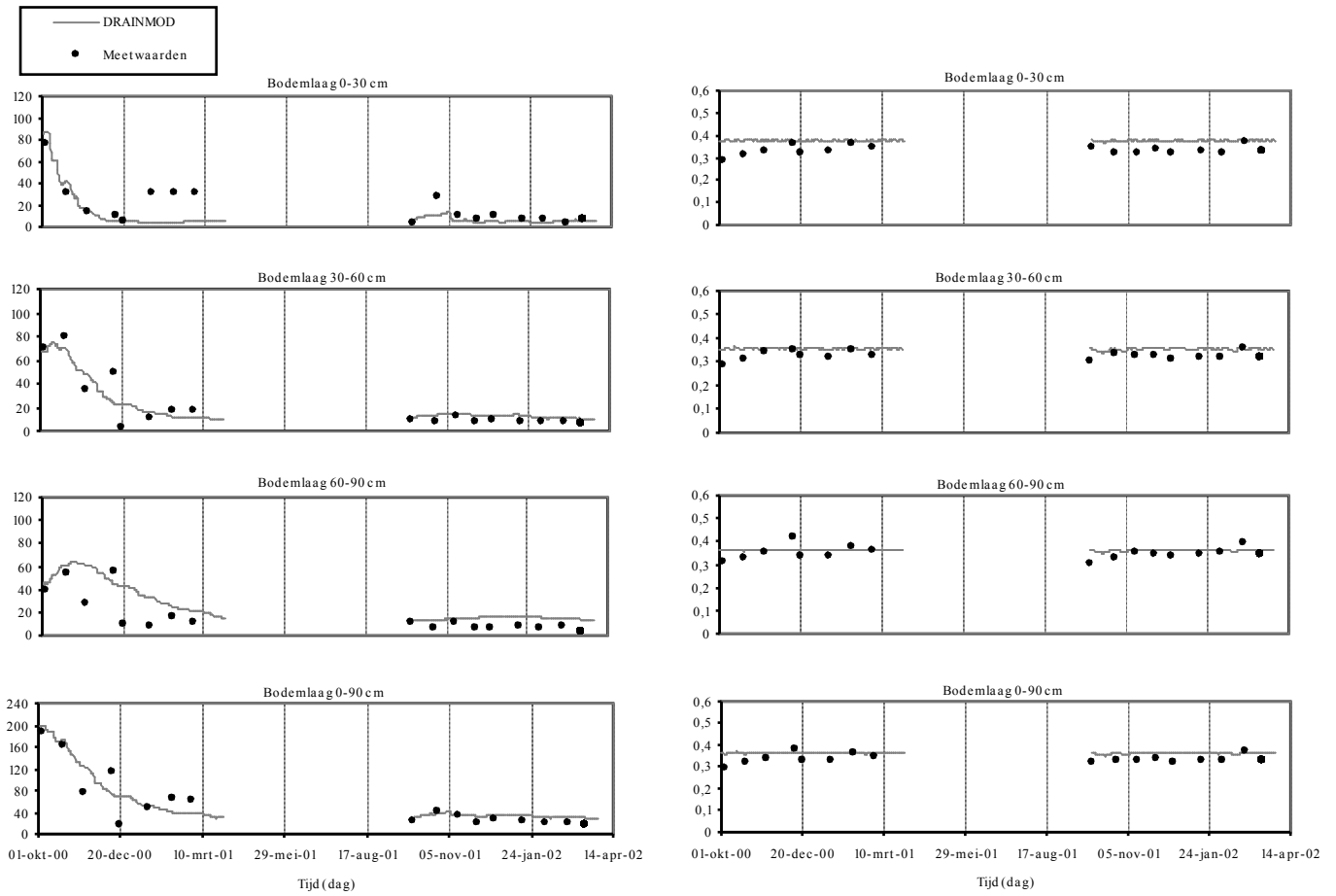
Figuur 5.15: Gemeten en door WAVE gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 3



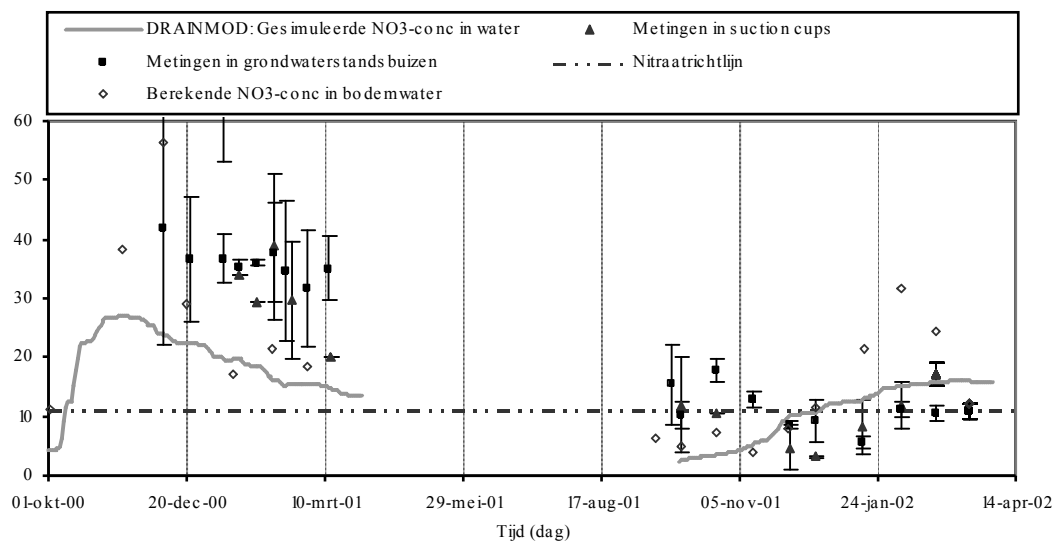
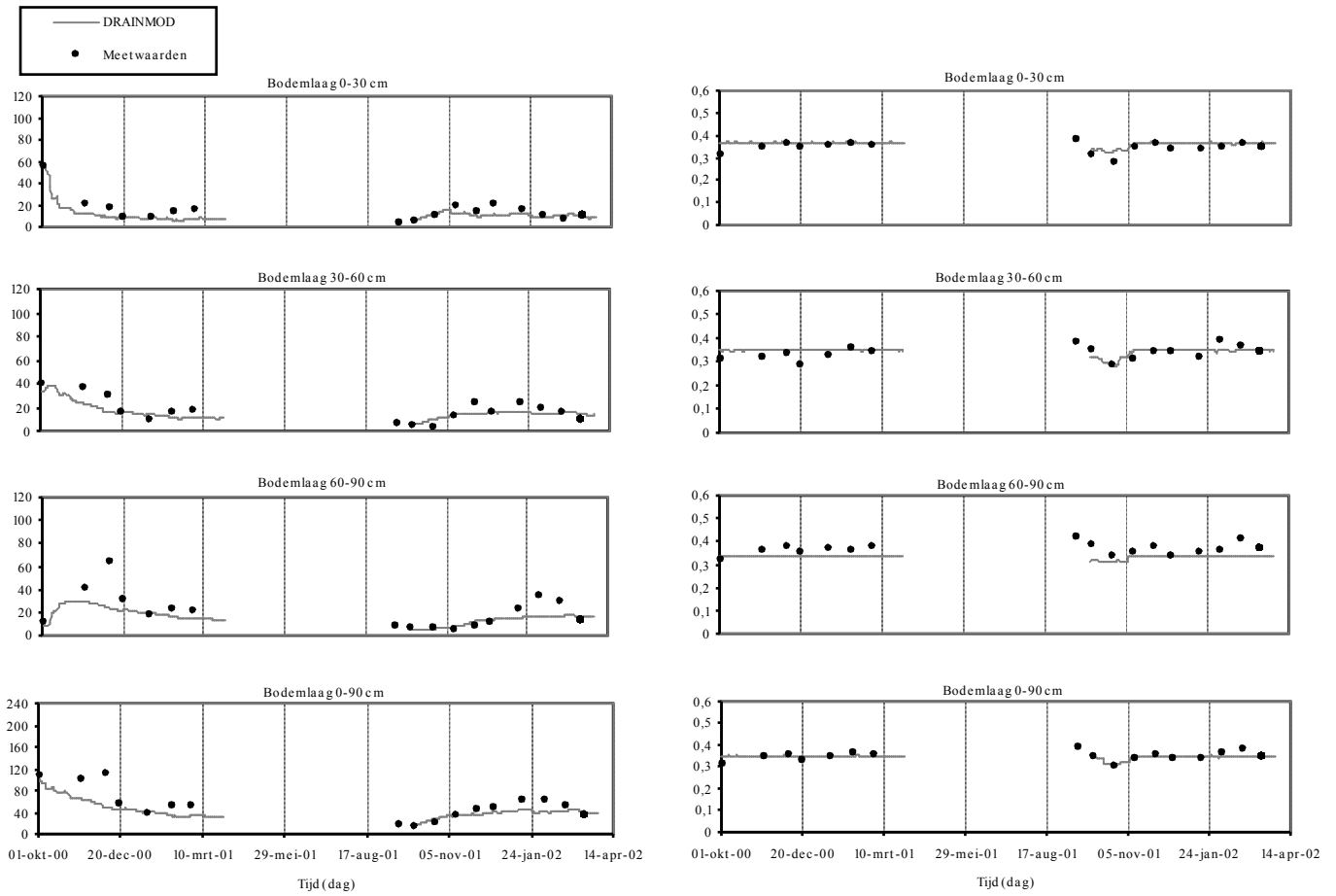
Figuur 5.16: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 255



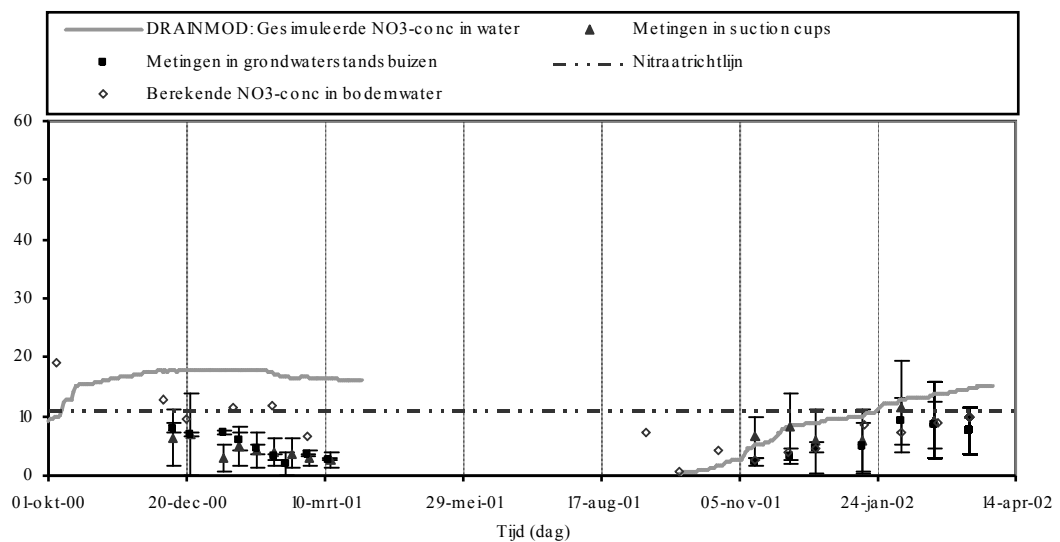
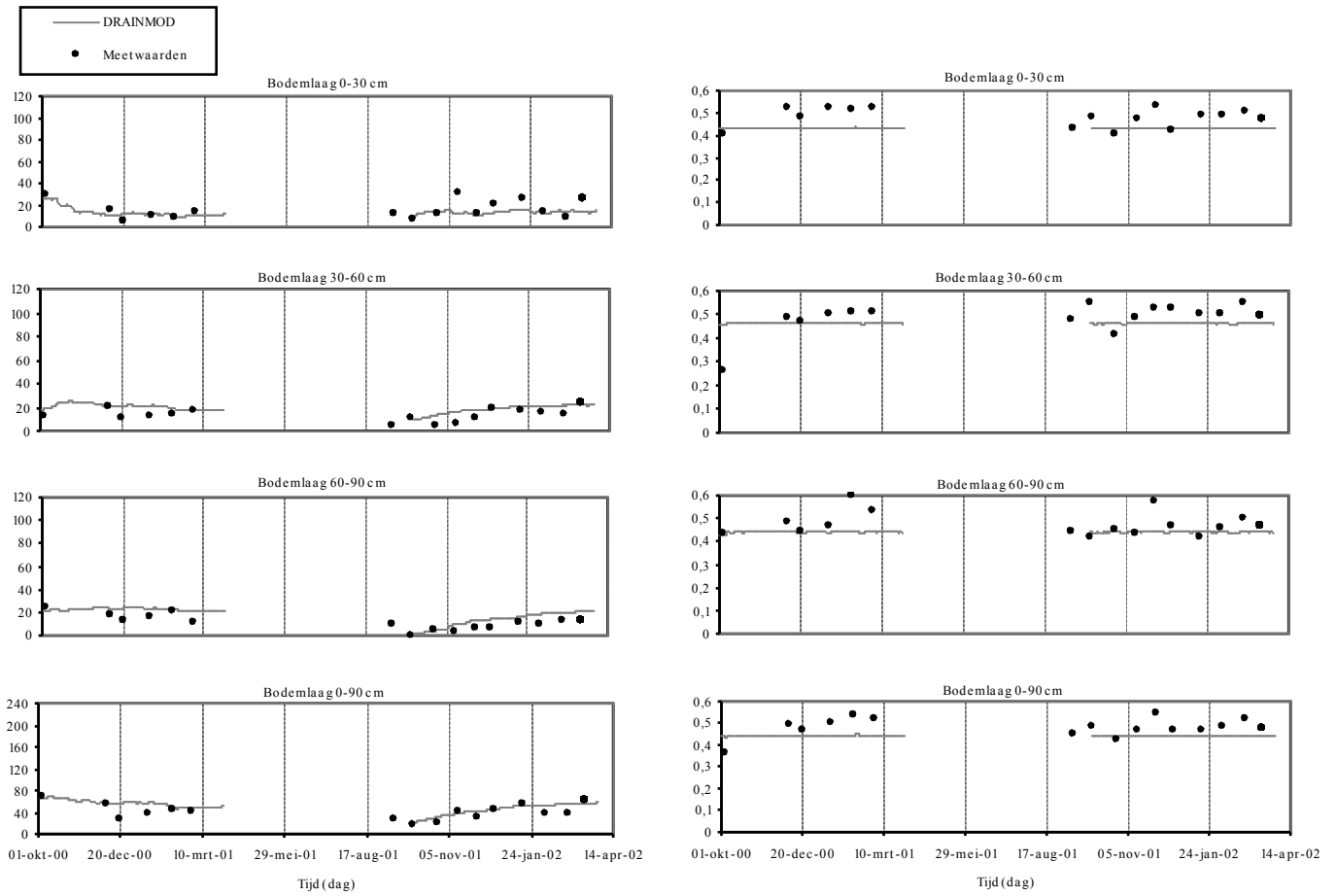
Figuur 5.17: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 257



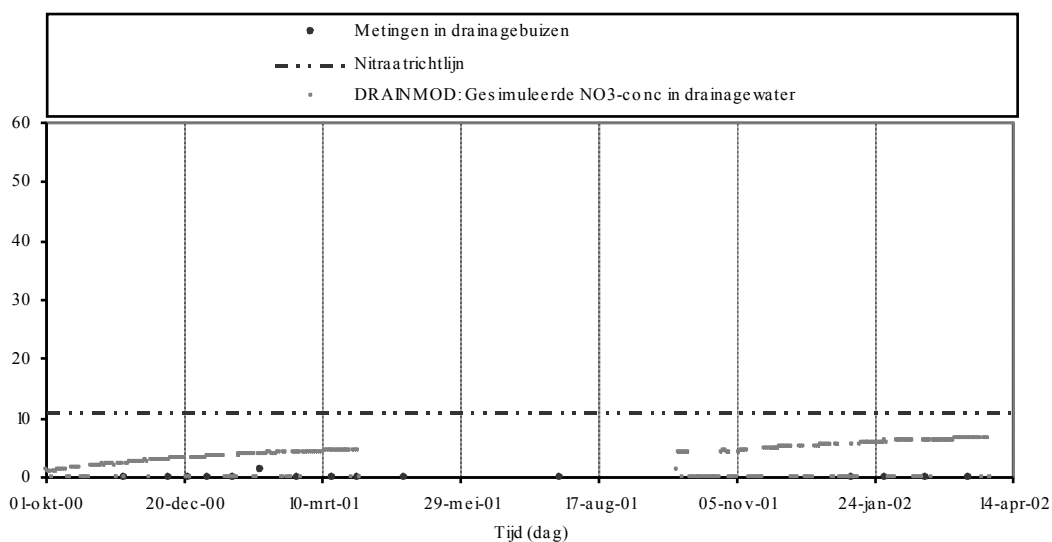
Figuur 5.18: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 7



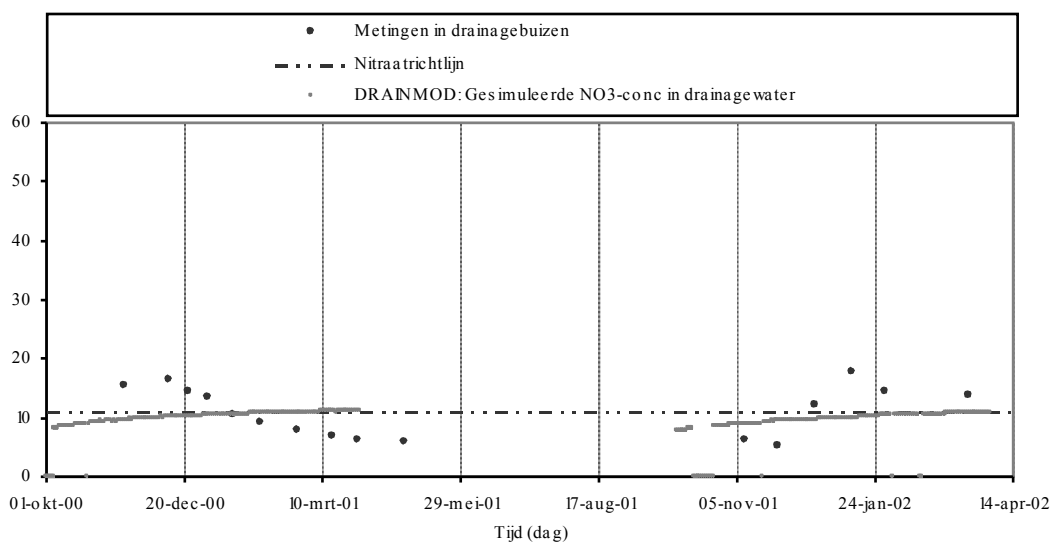
Figuur 5.19: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 2



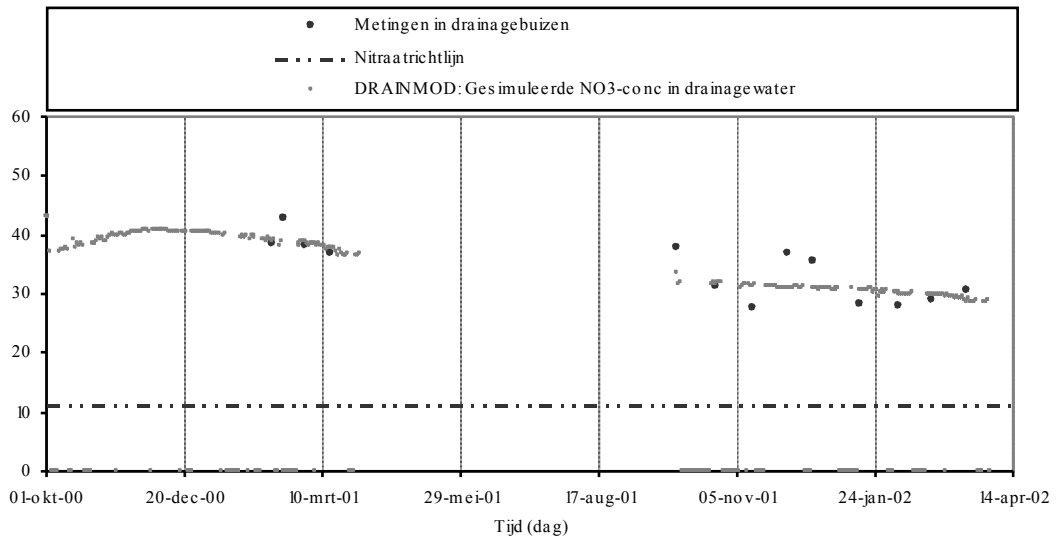
Figuur 5.20: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie en vochtgehalte tot op 90 cm diepte en de nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm volgens verschillende benaderingen op proefveld 4



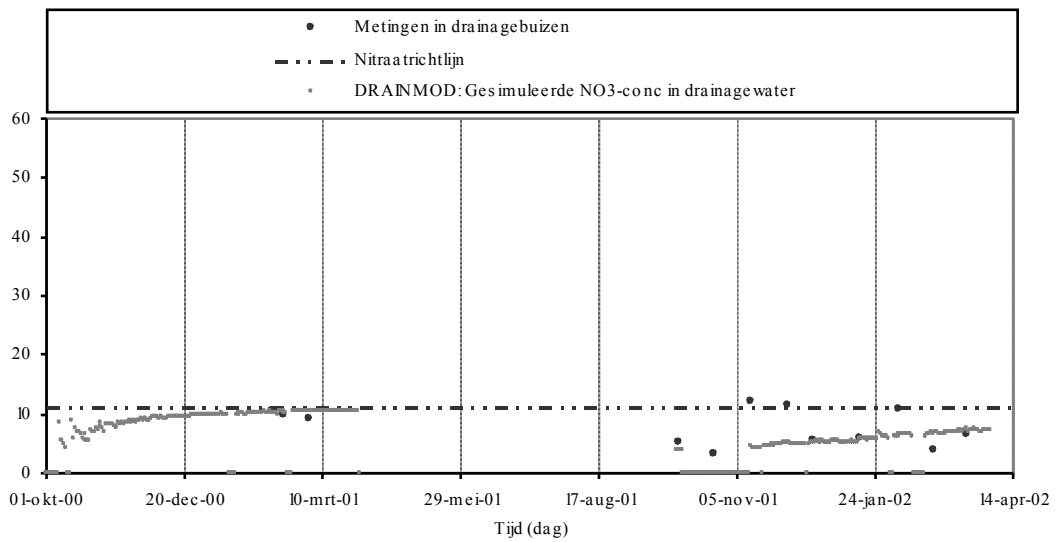
Figuur 5.21: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) in het drainagewater op proefveld 255



Figuur 5.22: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) in het drainagewater op proefveld 257



Figuur 5.23: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) in het drainagewater op proefveld 7



Figuur 5.24: Gemeten en door DRAINMOD gesimuleerde nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) in het drainagewater op proefveld 2

Tabel 5.3: Cumulatieve waarden per winterperiode voor de verschillende deelprocessen in een 0-90 cm bodemprofiel gesimuleerd door WAVE

Textuur		Zand								Zandleem									
		5		6		256		261		8		262		263		264		265	
<i>Veld</i>		<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>
Begin simulatieperiode	dag	10-okt-00		02-okt-00		26-okt-00		03-okt-00		05-okt-00		05-okt-00		22-nov-00		11-okt-00		11-okt-00	
Lengte simulatieperiode	dag	173		181		157		180		178		178		130		172		172	
Bemesting	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	42.8	0.5	0.0	0.0	42.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH ₃ vervluchtiging	kg N ha ⁻¹	0.0	/	4.8	/	0.0	/	4.8	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/
Mineralisatie	kg N ha ⁻¹	59.8	/	38.9	/	43.5	/	47.0	/	118.2	/	54.6	/	20.1	/	46.6	/	18.0	/
Immobilisatie	kg N ha ⁻¹	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	-0.9	/	-0.1	/	0.0	/	0.0
Netto-mineralisatie	kg N ha ⁻¹	59.8	/	38.9	/	43.5	/	47.0	/	118.2	/	53.7	/	19.9	/	46.6	/	18.0	/
Nitrificatie	kg N ha ⁻¹	-46.1	46.1	-25.9	25.9	-24.8	24.8	-35.3	35.3	-114.5	114.5	-58.4	58.4	-20.2	20.2	-41.6	41.6	-4.8	4.8
Denitrificatie	kg N ha ⁻¹	/	-1.5	/	-0.4	/	-0.7	/	-0.2	/	-2.6	/	-1.5	/	-2.0	/	-0.6	/	-4.4
Plantopname	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	-11.3	-3.7	0.0	0.0	-4.6	-4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.0	-17.6	-2.3
Uitspoeling op 90 cm	kg N ha ⁻¹	-11.2	-148.9	-1.1	-27.7	-1.7	-39.5	-1.3	-37.3	-1.2	-104.0	-0.2	-72.8	-0.7	-28.6	-1.1	-63.0	0.4	0.2
Neerslag	mm	656.1		734.3		435.6		500.4		606.8		502.8		286.7		389.3		476.4	
Waterflux op 90 cm	mm	-457.6		-319.7		-315.2		-377.7		-506.5		-437.5		-145.9		-339.9		54.7	
NO ₃ conc in flux op 90 cm	mg NO ₃ -N l ⁻¹	32.5		8.7		12.5		9.9		20.5		16.6		19.6		18.5		0.3	
Begin simulatieperiode	dag	02-okt-01		02-okt-01		28-sep-01		25-sep-01		01-okt-01		05-okt-01		22-okt-01		03-okt-01		03-okt-01	
Lengte simulatieperiode	dag	181		181		185		188		182		178		161		180		180	
Bemesting	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH ₃ vervluchtiging	kg N ha ⁻¹	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/
Mineralisatie	kg N ha ⁻¹	69.4	/	40.6	/	45.5	/	47.5	/	33.3	/	40.7	/	72.4	/	32.2	/	19.9	/
Immobilisatie	kg N ha ⁻¹	/	-2.5	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	-4.1	/	-1.3	/	0.0	/	-0.1	/	0.0
Netto-mineralisatie	kg N ha ⁻¹	66.9	/	40.6	/	45.5	/	47.5	/	29.2	/	39.4	/	72.4	/	32.2	/	19.9	/
Nitrificatie	kg N ha ⁻¹	-47.5	47.5	-22.7	22.7	-36.2	36.2	-33.7	33.7	-31.5	31.5	-51.9	51.9	-69.0	69.0	-53.4	53.4	-5.6	5.6
Denitrificatie	kg N ha ⁻¹	/	-1.3	/	-0.6	/	-1.1	/	-0.3	/	-1.2	/	-2.4	/	-5.6	/	-1.5	/	-5.1
Plantopname	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	-4.7	-17.1	0.0	0.0	-8.0	-18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.9	-20.5	-15.3
Uitspoeling op 90 cm	kg N ha ⁻¹	-2.6	-29.8	-1.0	-13.8	-3.0	-30.6	-1.8	-14.6	-1.3	-43.0	-0.1	-121.2	-1.5	-32.0	-0.7	-73.8	1.7	1.6
Neerslag	mm	480.2		480.2		497.5		506.4		421.9		455.6		355.0		400.5		400.5	
Waterflux op 90 cm	mm	-289.7		-136.7		-289		-204.7		-343.3		-388.4		-161.8		-333.3		239.3	
NO ₃ conc in flux op 90 cm	mg NO ₃ -N l ⁻¹	10.3		10.1		10.6		7.1		12.5		31.2		19.8		22.1		0.7	

Tabel 5.3: Cumulatieve waarden per winterperiode voor de verschillende deelprocessen in een 0-90 cm bodemprofiel gesimuleerd door WAVE (vervolg)

Textuur		Leem				Klei							
		258		259		260		266		1		3	
<i>Veld</i>		<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₃</i>
Begin simulatieperiode	dag	17-okt-00		03-okt-00		03-okt-00		13-okt-00		10-okt-00		17-okt-00	
Lengte simulatieperiode	dag	166		180		180		170		173		166	
Bemesting	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	16.3	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH ₃ vervluchtiging	kg N ha ⁻¹	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/
Mineralisatie	kg N ha ⁻¹	25.4	/	33.1	/	103.5	/	84.1	/	46.4	/	67.5	/
Immobilisatie	kg N ha ⁻¹	/	0.0	/	-0.2	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0
Netto-mineralisatie	kg N ha ⁻¹	25.4	/	32.8	/	103.5	/	84.1	/	46.4	/	67.5	/
Nitrificatie	kg N ha ⁻¹	-29.9	29.9	-54.7	54.7	-103.0	103.0	-85.3	85.3	-31.4	31.4	-60.9	60.9
Denitrificatie	kg N ha ⁻¹	/	-5.1	/	-7.3	/	-8.2	/	-2.3	/	-9.0	/	-1.7
Plantopname	kg N ha ⁻¹	0.0	-0.7	-0.1	-2.4	0.0	-35.5	0.0	-52.1	-0.1	-35.0	0.0	-0.8
Uitspoeling op 90 cm	kg N ha ⁻¹	-0.5	-82.7	-0.8	-52.0	-0.3	-41.3	-1.0	-86.2	-2.7	-42.3	-0.4	-34.7
Neerslag	mm	462.4		375.5		375.5		485.3		532.0		606.8	
Waterflux op 90 cm	mm	-451.7		-276.9		-298.1		-402.1		-286.9		-449.6	
NO ₃ conc in flux op 90 cm	mg NO ₃ -N l ⁻¹	18.3		18.8		13.9		21.4		14.8		7.7	
Begin simulatieperiode	dag	02-okt-01		27-sep-01		06-nov-01		06-nov-01		01-okt-01		17-sep-01	
Lengte simulatieperiode	dag	181		186		146		146		182		196	
Bemesting	kg N ha ⁻¹	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH ₃ vervluchtiging	kg N ha ⁻¹	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/
Mineralisatie	kg N ha ⁻¹	99.2	/	110.2	/	61.8	/	48.9	/	58.6	/	33.8	/
Immobilisatie	kg N ha ⁻¹	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	0.0	/	-0.2
Netto-mineralisatie	kg N ha ⁻¹	99.2	/	110.2	/	61.8	/	48.9	/	58.6	/	33.6	/
Nitrificatie	kg N ha ⁻¹	-104.7	104.7	-120.7	120.7	-61.9	61.9	-51.2	51.2	-42.6	42.6	-45.5	45.5
Denitrificatie	kg N ha ⁻¹	/	-6.1	/	-21.6	/	-4.9	/	-1.2	/	-15.1	/	-4.3
Plantopname	kg N ha ⁻¹	0.0	-78.6	0.0	-89.1	0.0	-28.1	0.0	0.0	-0.4	-65.8	0.0	-58.5
Uitspoeling op 90 cm	kg N ha ⁻¹	-0.4	-115.1	-0.8	-180.7	-0.6	-46.5	-0.9	-53.8	-1.1	-61.5	-0.3	-74.3
Neerslag	mm	467.8		440.5		394.7		420.7		418.5		606.1	
Waterflux op 90 cm	mm	-378.7		-320.7		-379.1		-397.9		-186		-335	
NO ₃ conc in flux op 90 cm	mg NO ₃ -N l ⁻¹	30.4		56.3		12.3		13.5		33.1		22.2	

Tabel 5.4: Cumulatieve waarden voor de verschillende deelprocessen in een variërend bodemprofiel gesimuleerd door DRAINMOD

Textuur		Gedraineerde velden				
Veld		255	257	7	2	4
Begin simulatieperiode	dag	01-Oct-00	01-Oct-00	01-Oct-00	01-Oct-00	01-Oct-00
Lengte simulatieperiode	dag	182	182	182	182	182
Lengte van het bodemprofiel	cm	115	70	70	70	75
Oppervlakkige afstroming	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Depositie door regen	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	3.4	3.4	4.2	5.0	3.8
Mineralisatie	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	45.3	68.7	49.8	67.3	69.8
Denitrificatie	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	-1.1	-1.5	-10.8	-5.9	-11.9
Plantopname	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	0.0	-10.9	-4.6	0.0	0.0
Uitspoeling	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	-11.7	-34.7	-187.9	-47.7	-72.7
Neerslag	mm	509.6	509.6	608.1	734.4	550.2
Evapotranspiratie	mm	-116.1	-116.1	-112.8	-137.5	-116.9
Oppervlakkige afstroming	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Waterflux	mm	-396.1	-386.5	-500.7	-555.2	-441.9
NO ₃ conc in flux	mg NO ₃ -N l ⁻¹	3.0	9.0	37.5	8.6	16.5
Begin simulatieperiode	dag	01-Oct-01	01-Oct-01	01-Oct-01	01-Oct-01	01-Oct-01
Lengte simulatieperiode	dag	182	182	182	182	182
Oppervlakkige afstroming	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Depositie door regen	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	3.08	3.08	2.59	2.81	2.61
Mineralisatie	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	45.7	69.2	50.0	69.6	69.9
Denitrificatie	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	-1.6	-1.4	-5.8	-2.8	-7.3
Plantopname	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	0.0	-11.4	0.0	0.0	0.0
Uitspoeling	kg NO ₃ -N ha ⁻¹	-19.3	-30.6	-84.8	-15.7	-42.6
Neerslag	mm	468.9	468.9	398.9	450.3	402.4
Evapotranspiratie	mm	-116.1	-116.1	-110.9	-130.9	-125.5
Oppervlakkige afstroming	mm	0.0	0.0	0.0	-7.5	0.0
Waterflux	mm	-380.8	-346.1	-293.3	-278.1	-285.2
NO ₃ conc in flux	mg NO ₃ -N l ⁻¹	5.1	8.8	28.9	5.7	14.9

5.3.4 Bespreking

Waterbalans

Om de waterbalans van het WAVE-model te kalibreren voor de verschillende proefvlakken werden tijdreeksen van bodemvochtgehalten opgemeten. Om de gesimuleerde vochtgehalten te vergelijken met de opgemeten, dient het gravimetrische vochtgehalte te worden omgezet naar volumetrisch vochtgehalte aan de hand van volgende formule:

$$\theta_v = \theta_g \cdot \frac{\rho_{db}}{\rho_w}$$

Hierin staat θ_v voor volumetrisch vochtgehalte in kubieke centimeter (cm^3) water per kubieke centimeter bodemstaal, ρ_w en ρ_{db} is respectievelijk de dichtheid van water en van het droge bodemstaal uitgedrukt in gram per kubieke centimeter. Voor water bedraagt dit één. Hieruit blijkt dat de bodemdichtheid van cruciaal belang is in de bepaling van het volumetrisch bodemvochtgehalte. De bodemdieptes (0-30, 30-60, 60-90 cm), waar de staalname plaats vindt, houden niet expliciet rekening met het verloop van de verschillende diagnostische bodemhorizonten. Het is best mogelijk (en het komt ook voor!) dat binnen de staalnamediepte zich twee verschillende bodemhorizonten bevinden met heel andere (textuur-)karakteristieken. Ook het ruimtelijk verloop van de diagnostische bodemlagen heeft invloed: zolang de lagen evenwijdig aan het oppervlakte lopen, gebeurt de staalname steeds in dezelfde laag (of combinatie van lagen). De bodemdichtheden van de bodemhorizonten daarentegen worden slechts op drie locaties gekarakteriseerd met ongestoorde stalen die slechts 5,1 cm hoog zijn. Met de gemiddelde waarde wordt dan het volumetrisch bodemvochtgehalte berekend onafhankelijk van de locatie van de staalnames. Al zijn dus de gravimetrische bodemvochtbepalingen kwalitatief hoog en representatief voor het beschouwde proefveld, dan kunnen nog afwijkingen optreden in het volumetrisch bodemvochtgehalte doordat de gebruikte bodemdichtheden als omzettingfactoren de bodemheterogeniteit niet altijd weerspiegelen, zowel wat betreft de horizontale als de verticale ruimtelijke bodemvariabiliteit. Deze afwijkingen komen onder andere ook naar voor bij bepaalde proefvelden, waar enkele omgerekende gravimetrische vochtgehalten hoger liggen dan het opgemeten verzadigd vochtgehalte.

Het volumetrisch vochtgehalte in de verschillende bodemlagen wordt door de modellen op de meeste proefvelden zeer goed benaderd. Op sommige velden zijn er echter verschillen tussen de omgerekende gravimetrische vochtgehalten en gesimuleerde volumetrische vochtgehalten. Deze verschillen zijn waarschijnlijk te wijten aan fouten die kunnen optreden bij het omrekenen van de gemeten gravimetrische vochtgehalten naar volumetrische vochtgehalten (zie vorige paragraaf).

Voor veld 1 en 265 zijn de gesimuleerde waterfluxen niet realistisch door moeilijkheden van WAVE met de simulatie van velden met een te hoge waterstand (Tabel 5.3). Op de velden 1 en 265 steeg de grondwaterstand vaak boven maaiveld. Deze 2 velden zijn uitgesloten voor de scenarioanalyse.

De gesimuleerde cumulatieve waterfluxen van de andere velden werden vergeleken met realistische neerslagoverschotten in België. Hieruit bleek dat de gesimuleerde waarden realistisch waren. Vermits voor sommige proefvelden de cumulatieve neerslag uitzonderlijk hoog was voor de eerste winterperiode, werden voor die proefvelden veel hogere waterfluxen bekomen in vergelijking met het gemiddelde neerslagoverschot in België.

Nitraatbalans

De nitraatconcentratie in de bodem wordt op de meeste proefvelden vrij goed benaderd. Op enkele proefvelden werd een onverklaarbare sterke toename of afname in gemeten nitraatconcentratie vastgesteld (bv. proefveld 262) waardoor op die tijdstippen de gesimuleerde nitraatconcentratie op deze velden afwijkt van de gemeten nitraatconcentratie. Er wordt tevens aangenomen dat er met een fout van minstens 20 % op de gemeten nitraat- en ammoniumconcentraties dient rekening gehouden te worden. Deze fout omvat zowel de bodemheterogeniteit als de fout op de meting zelf. Zoals bij de omrekening van de gravimetrische vochtgehalten weerspiegelen ook de gebruikte bodemdichtheden, als omzettingfactoren van de concentraties van mg l^{-1} naar kg N ha^{-1} , niet steeds de bodemheterogeniteit.

De gesimuleerde nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm diepte door WAVE en DRAINMOD ligt voor de meeste proefvelden tijdens beide winterperiodes in de buurt van of binnen de standaardafwijking op de metingen van de nitraatconcentratie d.m.v. suction cups en/of grondwaterstandsbuizen. In een aantal gevallen is de standaardafwijking op de metingen tussen de verschillende suction cups en/of grondwaterstandsbuizen vrij groot (bv. proefvelden 5 en 262). Voor een aantal proefvelden zijn de door WAVE en DRAINMOD gesimuleerde waarden vergelijkbaar met de berekende nitraatconcentratie in het bodemwater (berekend op basis van metingen van vochtgehalte en nitraatconcentratie in de bodem), terwijl deze waarden hoger zijn dan de nitraatmetingen in de suction cups of grondwaterstandsbuizen (bv. proefveld 266). Hierbij dient opgemerkt te worden dat niet alleen de simulaties maar ook de metingen (methode van staalname en analyse) gepaard kunnen gaan met onzekerheid en fouten.

Om de simulatie- en meetresultaten op een correcte wijze te vergelijken is het belangrijk te weten wat gesimuleerd en gemeten wordt. In totaal werden 3 meetmethoden toegepast en werd de nitraatconcentratie op twee verschillende wijze gesimuleerd, hetgeen neerkomt op een reconstructie van het verloop van de nitraatconcentratie in het bodemwater onderaan het bewortelingsprofiel volgens 5 verschillende benaderingen. De 5 benaderingen die werden toegepast zijn reeds toegelicht in §5.3.2.

De nitraatconcentraties van het bodemwater bekomen via deze 5 methoden kunnen ten opzichte van elkaar afwijken omdat geen enkel van de meet- en simulatiemethoden hetzelfde meet of bepaalt. Bovendien heeft elke meetmethode zijn beperkingen.

- Het waterstaal in *suction cups* is het resultaat van het aanleggen van een zuigspanning van ± 600 cm waterkolom (theoretisch maximum is een vacuüm van 1000 cm waterkolom). In de praktijk zal de onderdruk ter hoogte van de poreuze cup de waarde van 600-700 cm waterkolom niet mogen overschrijden. Wordt een hogere onderdruk aangelegd, dan breekt de watermeniscus in de poreuze cup die in contact staat met de bodem. Als deze meniscus in één porie van de poreuze cup wordt verbroken wordt bodemlucht en geen bodemwater aangezogen. Hetgeen betekent dat er geen water in de suction cup wordt opgezogen niettegenstaande de bodem ter hoogte van de suction cup vochtig kan zijn. Een tweede nadeel van suction cups is dat met deze methode enkel het mobiele water (het water dat gebonden is tussen verzadiging ($pF = 0$) en een vochtspanning overeenkomend met $pF = 2.5$) wordt bemonsterd, en niet het bodemwater gebonden in de fijne poriën. Dit betekent dat slechts een klein deel van het totale bodemwater door suction cups wordt bemonsterd, en dat dus slechts een fractie van de nitraatconcentratie wordt gemeten. Een derde nadeel van suction cups is dat geen bodemwater wordt gecollecteerd wanneer de bodem droger is dan de maximale vochtspanning die in een suction cup kan worden aangelegd.

Als laatste en ook belangrijk nadeel verbonden aan deze methode is dat het contact tussen de bodem en de cup van uitstekende kwaliteit moet zijn en blijven gedurende de meetcampagne. Als dit contact broos is dan wordt slechts een gedeelte van de bodem in contact met de cup bemonsterd.

Verder kunnen tussen dicht bij elkaar geplaatste suction cups dikwijls grote verschillen in meetresultaten worden opgetekend, niet alleen om voorgaande redenen, maar ook omdat bij toeval een suction cup geplaatst is in een preferentiële stroombaan.

- De nitraatconcentratie in een waterstaal genomen in een *grondwaterstandsbuis* op een diepte van 90 cm beneden maaiveld is niet representatief voor de nitraatconcentratie in het bodemwater op dezelfde diepte. Via diffusie zal de samenstelling van het water in een grondwaterstandsbuis over de gehele lengte van de buis beneden de vloeistofspiegel in de buis uniform zijn. Door dit proces verlaagt de concentratie van het water bovenaan in de grondwaterstandsbuis t.o.v. de nitraatconcentratie in het bodemwater op het niveau waar het waterstaal genomen wordt, doordat onderaan in de grondwaterstandsbuis het water doorgaans een lagere concentratie heeft. Een bijkomend nadeel van het nemen van waterstalen in een grondwaterstandsbuis is dat enkel een staal kan worden genomen indien het freatisch oppervlak gelegen is boven de onderkant van de grondwaterstandsbuis. In de zomer is het niet ondenkbaar dat het grondwaterpeil zakt tot beneden de onderkant van de grondwaterstandsbuis.
- Bij het extraheren van de *stikstof uit een bodemstaal* m.b.v. KCl is men zeker dat alle stikstof die aanwezig is in het bodemstaal meet, en dus dat men een totaal beeld heeft van de ammonium- en nitraatstikstof. Bij de interpretatie van dit resultaat moet men zich wel bewust zijn dat het grondstaal representatief is voor de bodemlaag 60-90 cm, daar waar een suction cup het bodemwater opzuigt op een welbepaalde diepte, bv. 90 cm beneden maaiveld, en dat de simulatieresultaten ook het resultaat zijn van berekeningen op een bepaalde diepte. Door de aanwezigheid in het grondstaal van grond boven het niveau 85-90 cm, en dat hoger in het profiel de stikstofconcentratie meestal hoger is dan dieper, is het heel waarschijnlijk dat via deze methode vaak hogere concentraties worden gemeten. Daarnaast is het resultaat van een suction cup en een waterstaal genomen uit een grondwaterstandsbuis enkel representatief voor de plaats van staalname, terwijl bij een mengstaal het staal de resultante is van grond genomen op diverse locaties in het perceel. Het resultaat op het mengstaal is dus representatief voor het perceel, terwijl de resultaten van een suction cup en grondwaterstandsbuis puntresultaten zijn, die bij toeval erg kunnen afwijken van het resultaat dat representatief is voor een veld.
- De resultaten bekomen via *simulatieberekeningen* kunnen ook als representatief voor het perceel worden beschouwd omdat modelparameters en de modelinput worden gegenereerd op niveau van het perceel. De resultaten van de nitraatconcentratie bekomen als de *ratio tussen de netto nitraat- en waterflux* en als de *nitraatconcentratie in de bodem gedeeld door het vochtgehalte* zijn per definitie erg vergelijkbaar, daar beiden de resultante zijn van dezelfde modeltoepassing. De nitraatconcentratie berekend op basis van de fluxen zal echter aan veel sterkere schommelingen onderhevig zijn, ingevolge de sterke schommelingen in waterflux die in een bodemprofiel kunnen voorkomen.

Op basis van voorgaande mag worden verwacht dat de simulatieresultaten volgens de twee berekeningsmethoden het dichtst aansluiten bij de resultaten gemeten op grondstalen, waaruit stikstof wordt geëxtraheerd. De resultaten van suction cups zullen vermoedelijk zeer variabel zijn, en kunnen zowel hogere als lagere concentraties opleveren. Eveneens mag worden verwacht dat de concentraties bepaald op waterstalen genomen in grondwaterstandsbuizen in het algemeen

weinig onderhevig zullen zijn aan schommelingen in de tijd en lagere waarden zullen opleveren dan de nitraatconcentratie bepaald via simulatie en gemeten op bodemstalen.

Voor de zandbodems (Figuur 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.16 en 5.17) is de grondwatertafel in de bemonsterde percelen in de winterperiode steeds hoger dan 90 cm beneden maaiveld, hetgeen betekent dat steeds een waterstaal in de grondwaterstandsbuizen kon worden genomen. Door de hoge stand van het grondwater bevinden de suction cups, die op 90 cm zijn ingegraven, zich steeds in de verzadigde zone. Dat betekent dat met de suction cups in weze het grondwater wordt bemonsterd, zodat het niet verwonderlijk is dat op de bemonsterde percelen op zand met hoge grondwaterstand de nitraatconcentratie bepaald op waterstalen genomen in grondwaterstandsbuizen en suction cups vergelijkbare resultaten opleveren. Wat opvalt is dat in de percelen waar meerdere grondwaterstandsbuizen en suction cups waren geïnstalleerd grote schommelingen in nitraatconcentratie worden opgetekend, hetgeen wijst op een sterke ruimtelijke variatie. De nitraatconcentraties gemeten op bodemstalen en berekend a.d.h.v. simulatieresultaten liggen steeds in de buurt of binnen de standaardafwijking op de metingen met de suction cups en peilbuizen. Voor proefveld 5 (Figuur 5.1) werd een grote spreiding waargenomen in de meetresultaten bepaald op de waterstalen in suction cups en grondwaterstandsbuizen.

Enkel in veld 8 van de zandleembodems (Figuur 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 en 5.18) konden waterstalen in grondwaterstandsbuizen worden genomen. In de andere bestudeerde percelen met textuur zandleem was het grondwater steeds dieper dan 90 cm beneden maaiveld. Op dit perceel kwamen de nitraatconcentraties gemeten op de waterstalen genomen in de grondwaterstandsbuizen en de suction cups goed overeen. De nitraatconcentraties berekend op basis van simulatieresultaten liggen bijna steeds binnen de standaardafwijking op de metingen via suction cups. Op 2 velden vertoonden de metingen via suction cups een zeer grote standaardafwijking, hetgeen andermaal wijst op de ruimtelijke variabiliteit in nitraatconcentratie van het perceel en/of het beperkt volume dat door suction cups wordt bemonsterd.

Bij de bestudeerde percelen op leem (Figuur 5.10, 5.11, 5.12 en 5.13) fluctueert het grondwater steeds op diepten groter dan 2 m beneden maaiveld. Hierdoor bevinden de suction cups (die op 90 cm zitten) zich steeds in de onverzadigde zone. De voor deze percelen berekende nitraatconcentraties verschillen sterk van de gemeten nitraatconcentraties via suction cups. Verder valt op dat de standaardafwijking op de metingen via suction cups klein tot zeer klein is. Hier stelt zich de vraag op welke gemeten nitraatconcentratie in het water de modelresultaten moeten gevalideerd worden: de berekende nitraatconcentratie op basis van de analyse van menggrondstalen of de concentratie gemeten op de waterstalen verzameld via suction cups? Vermits de suction cups in de onverzadigde zone maar een zeer klein gebied van het watervolume in de bodemlaag 85-90 cm bemonsteren, lijkt het meer aangewezen om het model te kalibreren en valideren t.o.v. de berekende nitraatconcentratie in het water op basis van de metingen van het vochtgehalte en de nitraatconcentratie in de bodem. Als men de berekende nitraatconcentratie in het water, op basis van de nitraatconcentratie in de bodem en het bodemvochtgehalte, vergelijkt met de simulatieresultaten, stelt men een redelijke overeenkomst vast. Ingevolge de grote diepte van het grondwater konden op de diepte van 90 cm beneden maaiveld geen waterstalen in grondwaterstandsbuizen worden genomen.

De proefpercelen op klei (Figuur 5.14, 5.15, 5.19 en 5.20) hebben in de winter een grondwaterstand die minder diep is dan 90 cm beneden maaiveld. Logischerwijze komen de metingen op de waterstalen genomen in de suction cups vrij goed overeen met deze bepaald op de waterstalen genomen in de grondwaterstandsbuizen. De nitraatconcentratie in het bodemwater berekend op basis van de simulatieresultaten sluit vrij goed aan met de berekende waarde vertrekkend van de metingen op menggrondstalen. Rechtstreekse bemonstering in het

bodemwater (via grondwaterstandsbuizen en suction cups), de analyse van grondstalen op nitraat en bodemwater, en de via simulatie gereconstrueerde nitraatconcentratie geven vergelijkbare resultaten voor de meeste situaties.

De cumulatieve waarden voor elk deelproces in de balansen (Tabel 5.3 en Tabel 5.4) werden geëvalueerd op basis van expertkennis. Hieruit bleek dat er realistische waarden werden gesimuleerd voor alle deelprocessen.

5.4 Besluit

De nitraatconcentratie en het vochtgehalte in de bodem worden op de meeste proefvelden vrij goed benaderd door de modellen.

De gesimuleerde nitraatconcentratie in het bodemwater op 90 cm diepte door WAVE en DRAINMOD ligt voor de meeste proefvelden tijdens beide winterperiodes in de buurt van of binnen de standaardafwijking op de metingen van de nitraatconcentratie d.m.v. suction cups en/of grondwaterstandsbuizen. Vooral op de percelen met een leemtextuur is er een duidelijk verschil tussen de gemeten nitraatconcentraties in het bodemwater, bepaald via suction cups, en de berekende nitraatconcentraties in het bodemwater op basis van metingen van vochtgehalte en nitraatconcentratie in de bodem. Omwille van voorgaande werd geopteerd de modelresultaten te valideren tegenover de berekende nitraatconcentraties in plaats van de metingen via suction cups. Vooral op de proefvelden op zand- en zandleemgrond treden grote standaardafwijkingen op in de nitraatconcentraties gemeten in het bodemwater genomen via de suction cups.

Om meer inzicht te krijgen in de modeloutput werden per proefveld en per winterperiode balansen opgesteld. De gesimuleerde waarden bleken realistisch te zijn.

6 Literatuur

Addiscott, T.M. (1990). Measurement of nitrate leaching: a review of methods. In: Calvet, R. (ed.), Nitrates – agriculture – eau, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 157 – 168.

Alberts, A.E., Burwell, R.E. and Schuman, G.E. (1977). Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extracting techniques. *Agric. Water Manag.*, 34: 1-16.

Anoniem. (1982, 1983, 1984, 1985). Proefveldgegevens te Hélécine, meetgegevens groeiseizoenen 1982, 1983, 1984, 1985. Instituut voor Land- en Waterbeheer, K.U.Leuven.

Aulakh, M.S., Rennie, D.A. and Paul, E.A. (1983). The effect of various clover management practices on gaseous N losses and mineral N accumulation. *Canadian Journal of Soil Science*, 63: 593-605.

Aulakh, M.S., Rennie, D.A. and Paul, E.A. (1984). Gaseous nitrogen losses from soils under zero-till as compared with conventional-till management systems. *Journal of Environmental Quality*, 13: 130-136.

Bierkens, M.F.P. (1998). Modelling water table fluctuations by means of a stochastic differential equation. *Water Resources Research*, 34: 2485-2499.

Bierkens, M.F.P., Knotters, M. and Van Geer, F.C. (1998). Calibration of transfer function-noise models to sparsely or irregularly observed time series. *Water Resources Research* (submitted).

Bierkens, M.F.P. and Walvoort, D.J.J. (1998). Simple stochastic models for fluctuations of the water table depth. Part 2: A combined soil-groundwater model with stochastic input (in Dutch). *Stromingen*, 4: 5-20.

Bierkens, M., Knotters, M. en Van Geer, F. (1999). Tijdsreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties. *Stromingen*, 5(2), p 43-54.

Cabrera, M.L. and Kissel, D.E. (1988). Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1010-1015.

Colbourn, P., Iqbal, M.M. and Harper, I.W. (1984). Estimation of the Total Gaseous Nitrogen Losses from Clay Soils under Laboratory and Field Conditions. *Journal of Soil Science*, 35: 11-22.

Collins, H.P., Blevins, R.L., Bundy, L.G., Christenson, D.R., Dick, W.A., Huggins, D.R., Paul, E.A. (1999). Soil carbon dynamics in corn-based agroecosystems: results from carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 584-591.

Djurhuus, J. en Jacobsen, O.H. (1995). Comparison of ceramic cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. *Journal of Soil Science*, 46: 387-395.

Drury, C.F., Oloya, T.O., McKenney, D.J., Gregorich, E.G., Tan, C.S. en van Luyk, C.L. (1998). Long-term effects of fertilization and rotation on denitrification and soil carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1572-1579.

Franzluebbers, A.J. (1999). Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1083-1090.

Gehrels, J.C., van Geer, F.C. and de Vries, J.J. (1994). Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones. *Journal of Hydrology*, 157: 105-138.

Gödde, M. en Conrad, R. (2000). Influence of soil properties on the turnover of nitric oxide and nitrous oxide by nitrification and denitrification at constant temperature and moisture. *Biology and Fertility of Soils*, 32: 120-128.

Gregorich, E.G., Ellert, B.H., Drury, C.F., Liang, B.C. (1996). Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 472-476.

Grossmann, J. and Udluft, P. (1991). The extraction of soil water by the suction cup method: a review. *Journal of Soil Science*, 42: 83-94.

Hassink, J. (1992). Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils. *Biol. Fert. Soils*, 14: 126-134.

Hipel, K.W. and McLeod, A.I. (1994). Time series modelling of water resources and environmental systems. Elsevier, Amsterdam.

Hofman, G., Ossemerct, C. en Ide, G. (1980). Interacties bij de ammonium- en nitraatstikstofbepalingen in grondmonsters met behulp van ion-specifieke elektroden. *Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*, 45: 1305-1313.

Huggins, D.R., Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Lamb, J.A., Layese, M.F. (1998). Carbon dynamics in corn-soybean sequences as estimated from natural carbon-13 abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 195-203.

ISO 11465 – Soil quality - Determination of dry matter and water content on a mass basis – gravimetric method. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 14256-1 – Soil quality – Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field moist soils by extraction with potassium chloride solution. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jastrow, J.D., Boutton, T.W., Miller, R.M. (1996). Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 801-807.

Knotters, M. and De Gooijer, J.G. (1999). TARSO modelling of water table depths. *Water Resources Research* (in press in 1999).

- Knotters, M. and Van Walsum, P.E.V. (1997). Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component. *Journal of Hydrology*, 197: 25-46.
- Knotters, M. and Bierkens, M. (1999). Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten? *Stromingen*, 5(4): 5-12.
- Knotters, M. and Bierkens, M. (2000). Physical basis of time series models for water table depths. *Water Resources Research*, 36 (1): 181-188.
- Luo, J., White, R.E., Ball, P.R. en Tillman, R.W. (1996). Measuring denitrification activity in soils under pasture: Optimizing conditions for the short-term denitrification enzyme assay and effects of soil storage on denitrification activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 409-417.
- Luo, J., Tillman, R.W., White, R.E. en Ball, P.R. (1998). Variation in denitrification activity with soil depth under pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 897-903.
- NEN 6646 – Water – Fotometrische bepaling van het gehalte aan ammoniumstikstof en de som van de gehalten aan ammoniumstikstof en aan organisch gebonden stikstof volgens Kjeldahl met behulp van een doorstroomanalysestelsel.
- NEN en ISO 13395 – Water quality – Determination of nitrite nitrogen and nitrate nitrogen and the sum of both by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection.
- Nicolardot, B., Recous, S. and Mary, B. (2001). Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant and Soil*, 228: 83-103.
- Nordmeyer, H. and Richter, J. (1985). Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil*, 83: 433-445.
- Parkin, T.B. en Meisinger, J.J. (1989). Denitrification below the crop rooting zone as influenced by surface tillage. *Journal of Environmental Quality*, 18: 12-16.
- Patten, D.K., Bremner, J.M. en Blackmer, A.M. (1980). Effects of Drying and Air-Dry Storage of Soils on Their Capacity for Denitrification of Nitrate. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 67-70.
- Ramos, C. en Kücke, M. (2001). A review for Nitrate Leaching Measurement. *Acta Horticulturae*, 563: 259-266.
- Stanford, G. and Smith, S.J. (1972). Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 465-472.
- Stenger, R., Priesack, E. and Beese, F. (1995). Rates of net nitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils. *Plant and Soil*, 171: 323-332.
- Tankersley, C.D., Graham, W.D. and Hatfield, K. (1993). Comparison of univariate and transfer function models of groundwater fluctuations. *Water Resources Research*, 29: 3517-3533.

- Vandamme, J. (1971). Variatie van de textuur van de bovengrond en van de grondwaterstand in de bodems van de provincie Antwerpen. Doctoraal proefschrift, Rijksuniversiteit Gent.
- Van Dyck, B. (1996). Denitrificatie in de wortelzone beneden de bouwvoor. Afstudeerwerk, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, 129 p.
- Van Geer, F.C. and Zuur, A.F. (1997). An extension of Box-Jenkins transfer / noise models for spatial interpolation of groundwater head series. *Journal of Hydrology*, 192: 65-80.
- Van Orshoven, J., Maes, J. (1988). Aardewerk. Handleiding bij het bodeminformatiesysteem.
- Van Orshoven, J., Maes, J., Vereecken, H. and Feyen, J. (1991). A procedure for the statistical characterisation of the units of the Belgian soil map. *Pédologie*, XLI-3, p. 193-212.
- Van Orshoven, J. (1992). Aardewerk bis, versie 3.1. Instituut voor Land- en Waterbeheer, K.U.Leuven.
- Van Orshoven, J. (1993). Assessing hydrodynamic land qualities from soil survey data. Doctoraatsproefschrift nr. 237, Faculteit der Landbouwwetenschappen, K.U.Leuven.
- Van Orshoven, J., Vandenbroucke, D. (1993). Handleiding bij Aardewerk. Databestand van bodemprofielgegevens. IWONL, COBIS, ILWB KUL.
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-264.
- Walkley, A. en Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Webster, C.P., Sheppard, M.A., Goulding, K.W.T. and Lord, E. (1993). Comparisons of methods for measuring the leaching of mineral nitrate from arable land. *Journal of Soil Science*, 44: 49-62.

7 Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van de bodemzones en van de bodemzone-groeperingen op de verschillende niveaus

1.1 Niveau 1: De bodemzone

- 01 Kustduinen
- 02 Recente Zeepolders en Braakmanpolders
- 03 Scheldepolders
- 04 Zeepolders, Middelland
- 05 Zeepolders, Oudland
- 06 Moeren
- 07 Vlaams Zandgebied (oostelijk deel); Haacht – Tremelo en Hasselt – Zonhoven
- 08 Fijnzanden van de Vlaamse Vallei
- 09 Fijnzanden ten westen van de Vlaamse Vallei en Fijnzanden tussen Leie en Schelde
- 10 Streek van Beernem
- 11 Noorderkempen
- 12 Zuiderkempen
- 13 Oosterkempen
- 14 Oost- en West-Vlaamse Leemzanden (Waasland uitgezonderd)
- 15 Leemzanden van Waasland, Antwerpen en Brabant (Hageland uitgezonderd)
- 16 Leemzanden van Noord-Hageland
- 17 Leemzanden van de Maas
- 18 Licht Zandleem, westelijk van de Schelde (uitgezonderd gedeelte Huize – Kruishoutem)
- 19 Licht zandleem van het Centrum (Wetteren – Lebbeke – Tisselt – Weerde – Wespelaar) en de streek van Huize – Kruishoutem
- 20 Licht zandleem van Waasland en Kontich
- 21 Licht zandleem van Rummen en Zuid-Limburg
- 22 Noordelijk Hageland
- 23 Centraal Hageland
- 24 Zandleem van Hoogstade
- 25 Zandleem westelijk van de Leie (Hoogstade uitgezonderd)
- 26 Zandleem van het Centrum, Westelijk van de Zenne; uitgezonderd het zuidelijk gebied met invloed van het Landeniaan
- 27 Zandleem van het Centrum, Oostelijk van de Zenne
- 28 Zandleem van het Zuidelijk gebied, met invloed van het Landeniaan (kaartbladen Doornik (124E) en Antoing (125W) inbegrepen)
- 29 Lichte zandleemgronden van de Hainestreek
- 30 Normale Oostelijke Leemstreek (kaartblad Gembloux (130E) en noordoosten ervan)
- 31 Normale Westelijke Leemstreek (Hertaing – Antoing, Leuze – Lens – Lessines, evenals het Oost-Vlaamse en Brabantse gebied)
- 32 Normale Zuidelijke Leemstreek tussen kaartbladen Roisin (161W) en Chastre – Villeroux – Blanmont (130W))
- 33 Haspengouwse Leemstreek
- 34 Vochtige Leemstreek, noord en west (noordelijk van de Haine-streek)
- 35 Vochtige Leemstreek, zuid en oost
- 36 Zuid-Brabantse Leemstreek
- 37 Zuid-Vlaams Heuvelland en 2 eilandjes op het kaartblad Nieuwerkerke (95W)
- 38 Krijt-Leemstreek
- 39 Terrassen van Samber en Maas
- 40 Geul van Samber en Maas
- 65 Beekalluvium ten noorden van de Samber- en Maasvallei
- 66 Rivieralluvium ten noorden van de Samber- en Maasvallei

71	Zandgronden in de Hainestreek
72	Landduinen; stuifzandgronden – Noorderkempen
73	Landduinen; stuifzandgronden – Zuiderkempen
74	Landduinen; stuifzandgronden – Rest van België

1.2 Niveau 2: De bodemzonegroepering

Niv2	Niv1	Situering
01	01	Kustduinen
02	02	Recente Zeepolders en Braakmanpolders
03	03	Scheldepolders
04	04	Zeepolders – Middelland
05	05	Zeepolders – Oudland
06	06	Moeren
07	07 + 09	Vlaams Zandgebied, ten westen en ten oosten van de Vlaamse Vallei, en fijnzanden tussen Leie en Schelde
08	08	Fijnzanden van de Vlaamse Vallei
09	10	Zanden van Beernem
10	11 + 12 + 13 + 72 + 73	Noordelijke, zuidelijk en oostelijke Kempen en landduinen in de Kempen
11	14 + 15	Oost- en West-Vlaamse leemzanden en leemzanden van Antwerpen, Waasland en Brabant (Hageland uitgezonderd)
12	16 + 22 + 23	Leemzanden van Noord-Hageland, Noord- en Centraal-Hageland
13	17 + 39	Leemzanden van de Maas en terrassen van Samber en Maas
14	18 + 19	Licht zandleem, westelijk van de Schelde en licht zandleem van het Centrum (Wetteren – Lebbeke – Tisselt – Weerde – Wespelaar)
15	20 + 21	Licht zandleem van Waasland en Kontich en van Rummen en Zuid-Limburg
16	24 + 25 + 26 + 28	Zandleem van Hoogstade, westelijk van de Leie en van het centrum, westelijk van de Zenne, inclusief het zuidelijk gebied met invloed van het Landeniaan
17	27	Zandleem van het centrum, oostelijk van de Zenne
18	29 + 71	Lichte zandleemgronden en zandgronden van de Haine-streek
19	30 + 32 + 35	Normale oostelijke en zuidelijke en vochtige zuidoostelijke Leemstreek
20	31 + 34	Normale westelijke en vochtige noordwestelijke Leemstreek
21	33	Haspengouwse Leemstreek
22	36	Zuid-Brabantse Leemstreek
23	37	Zuid-Vlaams Heuvelland
24	38	Krijt-Leemstreek
25	40	Geul van Samber en Maas
26	65	Beekalluvia
27	66	Rivieralluvia
28	74	Overige landduinen

1.3 Niveau 3: De bodemzonegroepering

Niv3	Niv1	Situering
01	02 + 03 + 04 + 05 + 06	Polders
02	alle overige zones	Niet-Polders

Bijlage 2: Overzicht van de groeperingen van kaarteenheden (Van Orshoven *et al.*, 1988)

Op het hoogste niveau wordt gewerkt met de uitgebreide bodemserie per bodemzone. Op de niveaus 2 en 3 gebeurt een identieke kaarteenhedenverruiming die lichtjes verschilt voor de horizontensequentiebepaling (trap 1) en de horizontkenmerkberkening (trap 2).

Voor de horizontsequentie-bepaling (trap 1):

↵ sub_gr	N	geen substraat in het profiel
	J	substraat in het profiel
↵ text_gr	Z/S	textuurklassen Z en S
	P	textuurklasse P
	L/A	textuurklassen L en A
	G	textuurklasse G
	E/U	textuurklassen E en U
↵ drain_gr	D	drainageklassen a, b, c, B, D
	M	drainageklasse D
	N	drainageklasse e, f, g, h, i, F

Voor de horizontkenmerkberkening (trap 2):

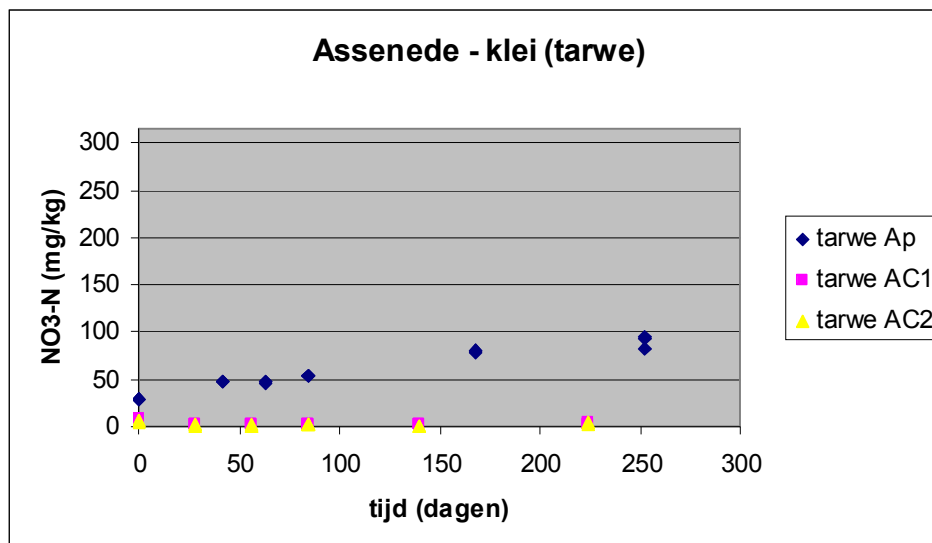
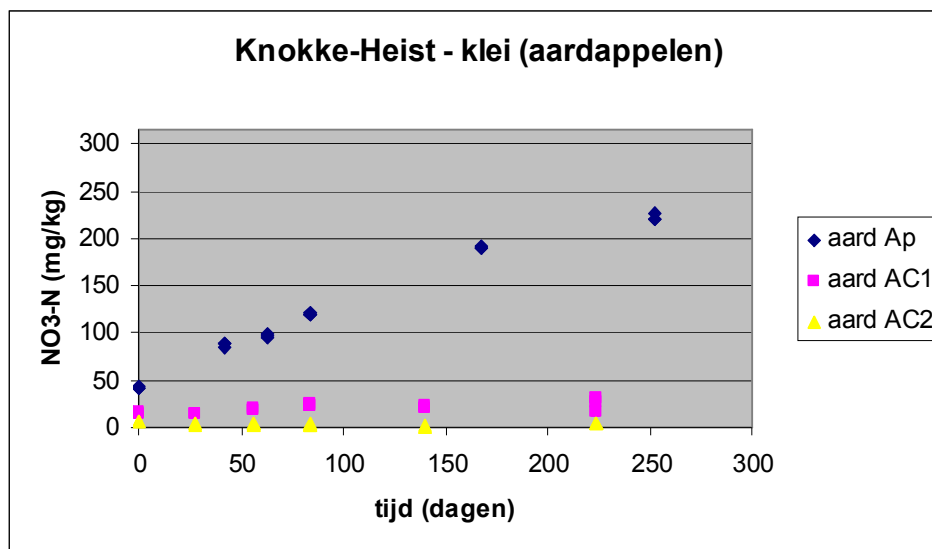
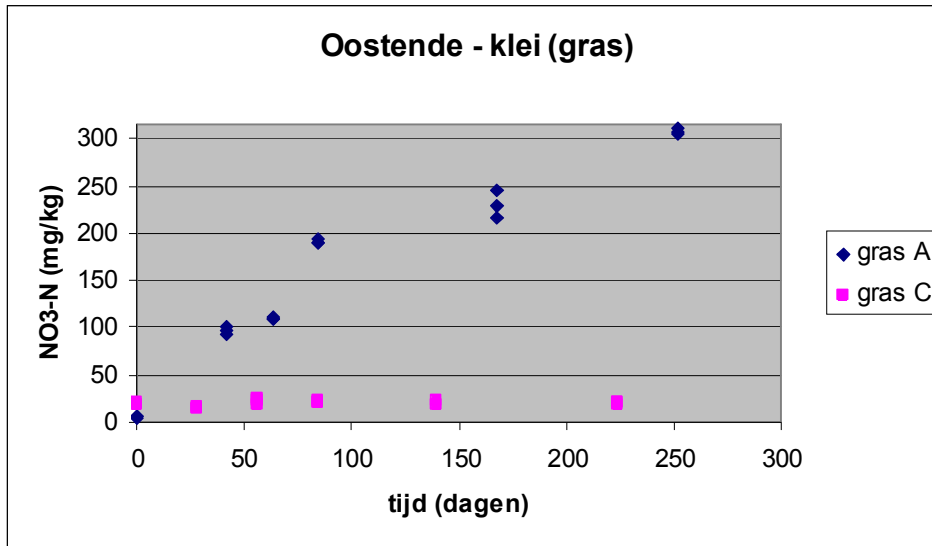
↵ substraat	*	voor horizonten A-, B-, P-, R- waarvoor het eventueel aanwezige substraat verondersteld wordt geen invloed uit te oefenen op de beschouwde kenmerken Courante substraatklassen met gewone symbolen
↵ textuur	*	voor horizonten D-, K-, V waarvoor de textuurklasse verondersteld wordt geen invloed uit te oefenen op de beschouwde kenmerken. Courante textuurklassen met gewone symbolen
↵ drain_gr	D	drainageklassen a, b, c, B, D
	M	drainageklasse D
	N	drainageklasse e, f, g, h, i, F
↵ varmoed	y	textureel zwaarder wordend in de diepte
	z	textureel lichter wordend in de diepte
	*	horizonten behorend tot profielen zonder of met een andere variante van het moedermateriaal dan z of y.

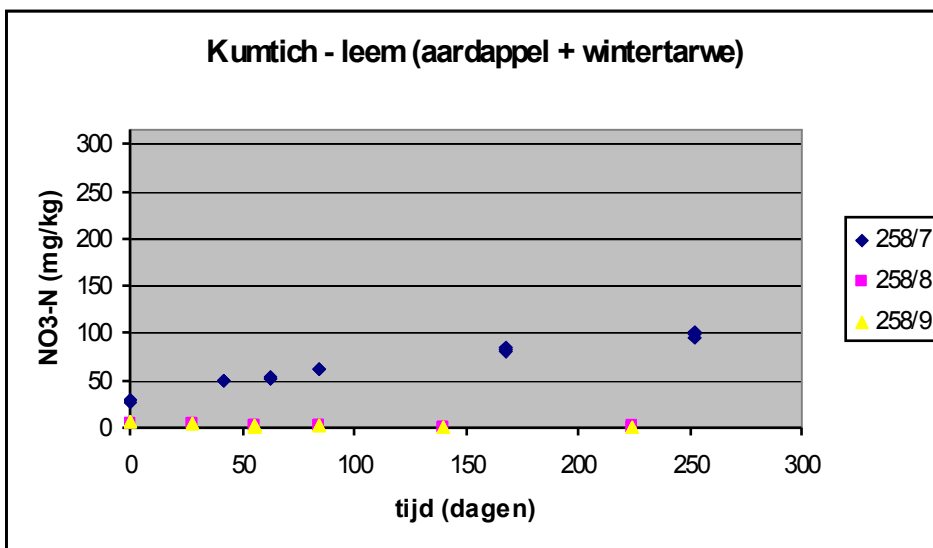
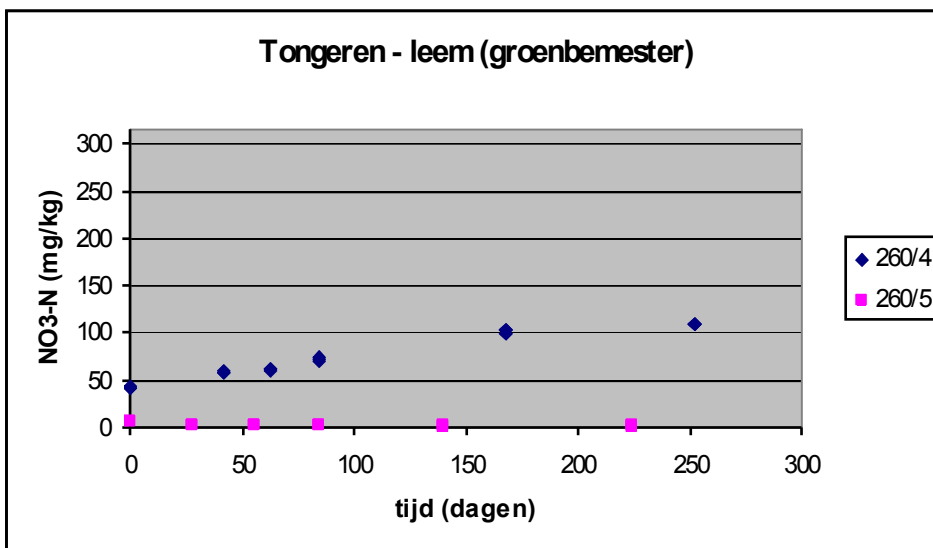
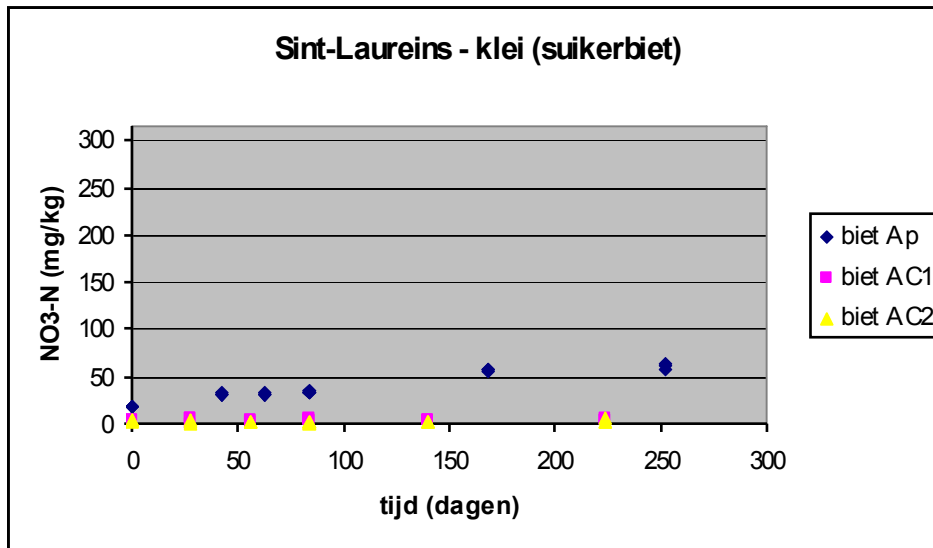
Tabel 2.1: Overzicht van de groeperingen van bodemeenheden op de 3 niveaus en bij de sequentie- en horizontkenmerkenbepaling

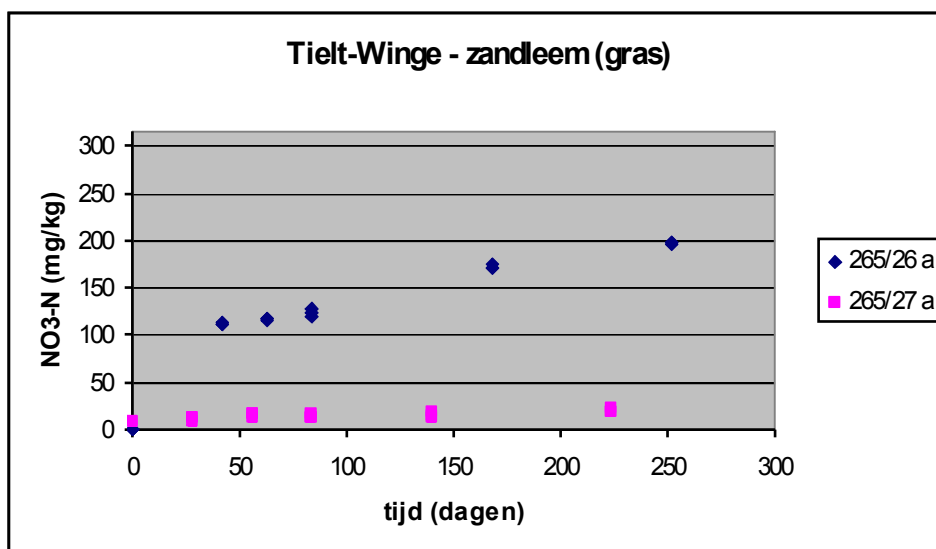
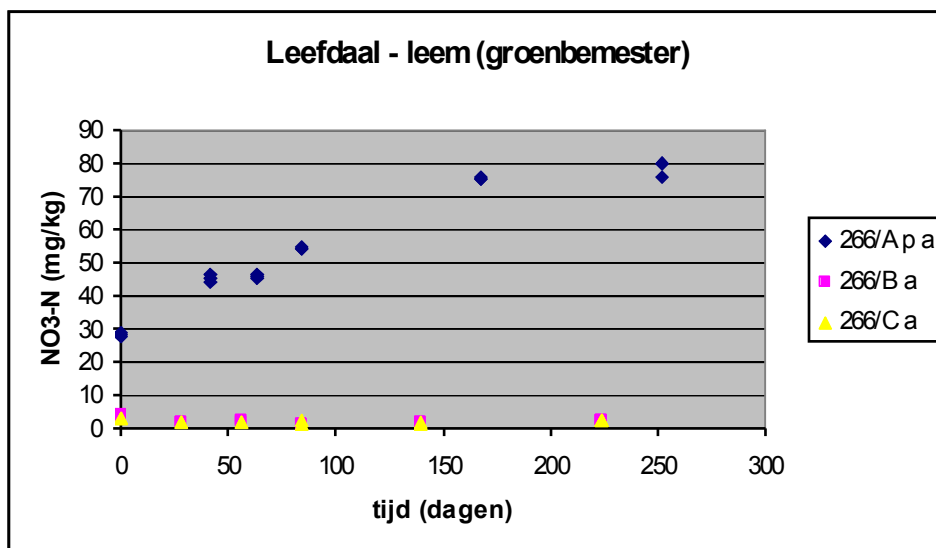
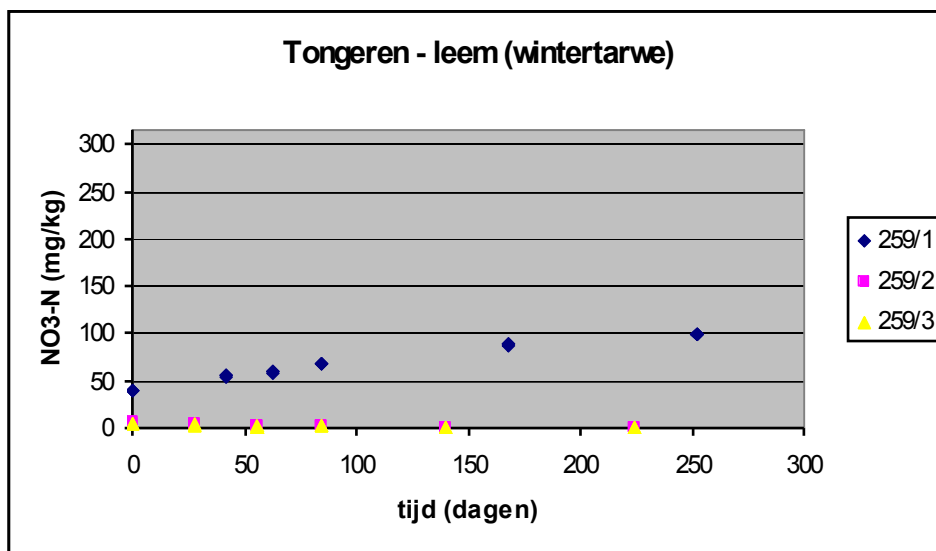
	niveau 1		niveau 2				niveau 3			
	seq	hor	seq	hor			seq	hor		
				A,B,P, R	C,Q,G	D,V,K		A,B,P, R	C,Q,G	D,V,K
Zone	x	x								
Zone_2			x	x	x	x				
Zone_3							x	x	x	x
Substraat	x	x			x	x			x	x
Sub_gr			x							
Textuur	x	x		x	x			x	x	
Text_gr			x				x			
Drainage	x	x								
Drain_gr			x	x	x	x	x	x	x	x
Profielont w	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Variante	x	x								
Varmoed				x	x	x		x	x	x
Fase	x	x	x				x			

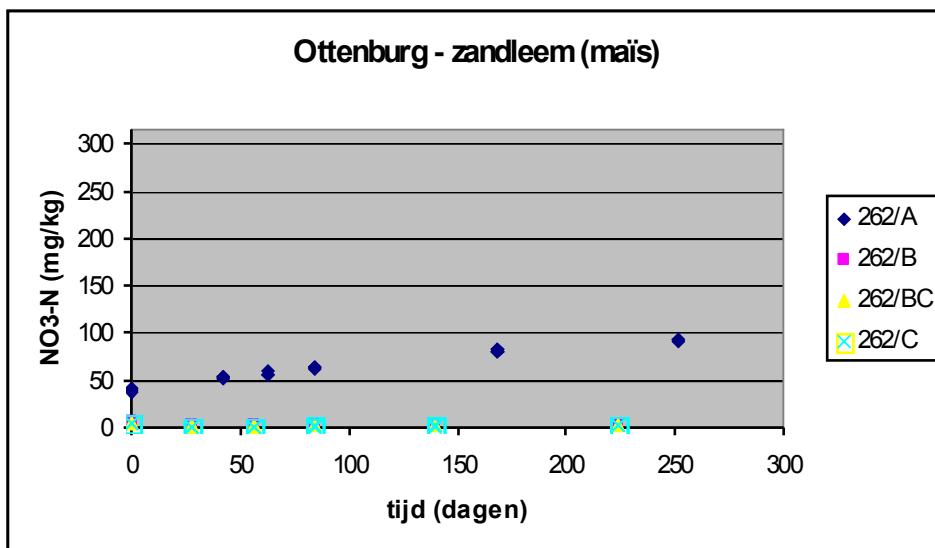
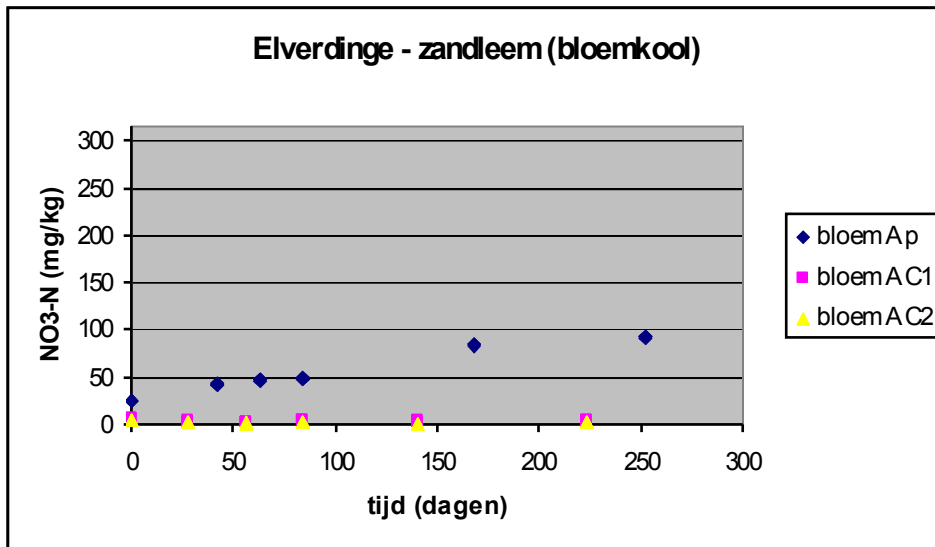
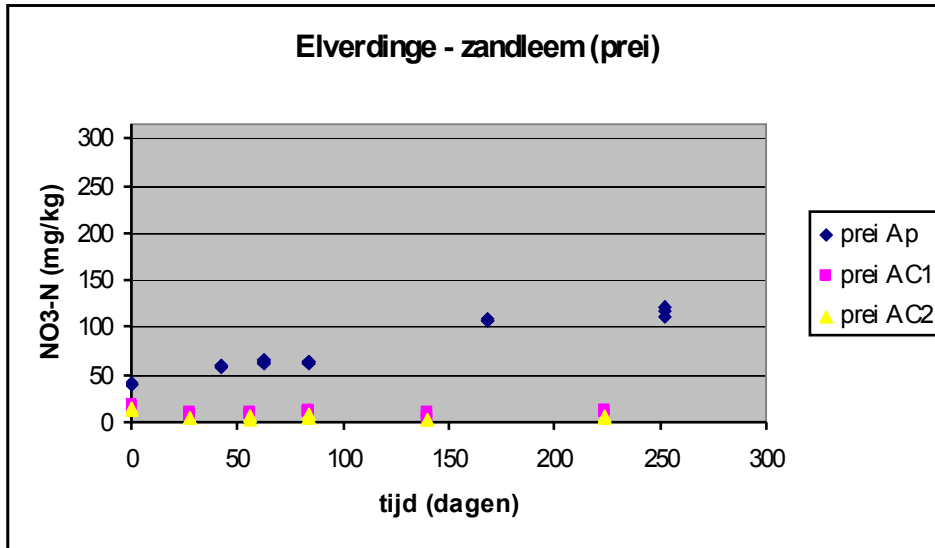
Op niveau 3 is de regio waarin naar een relevante sequentie gezocht wordt, veel groter (enkel nog onderscheid tussen polders en niet-polders). Op niveau 3 wordt er voor het zoeken van een relevante sequentie geen rekening meer gehouden met de aan- of afwezigheid van een substraat (wat wel het geval was op niveau 2). Verder zijn niveau 2 en 3 identiek.

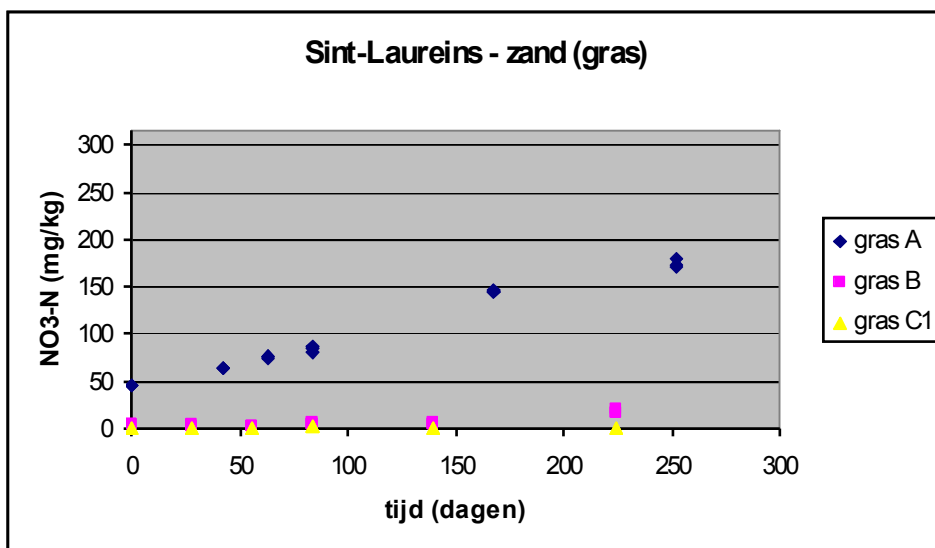
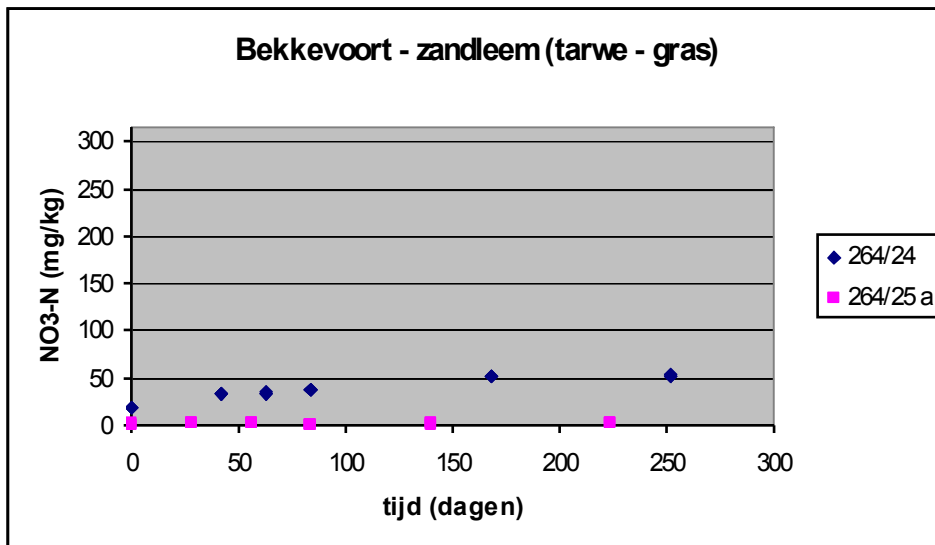
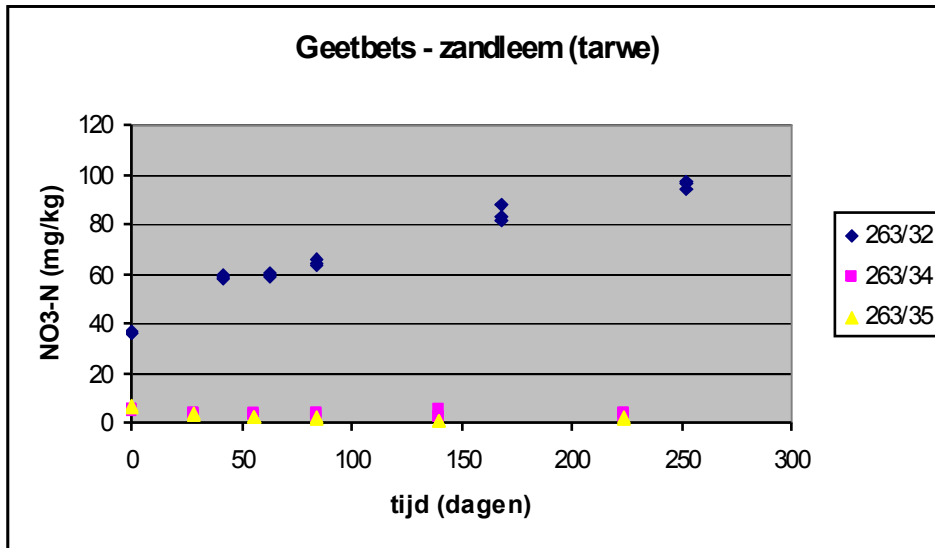
Bijlage 3: Overzicht grafieken mineralisatiesnelheid k

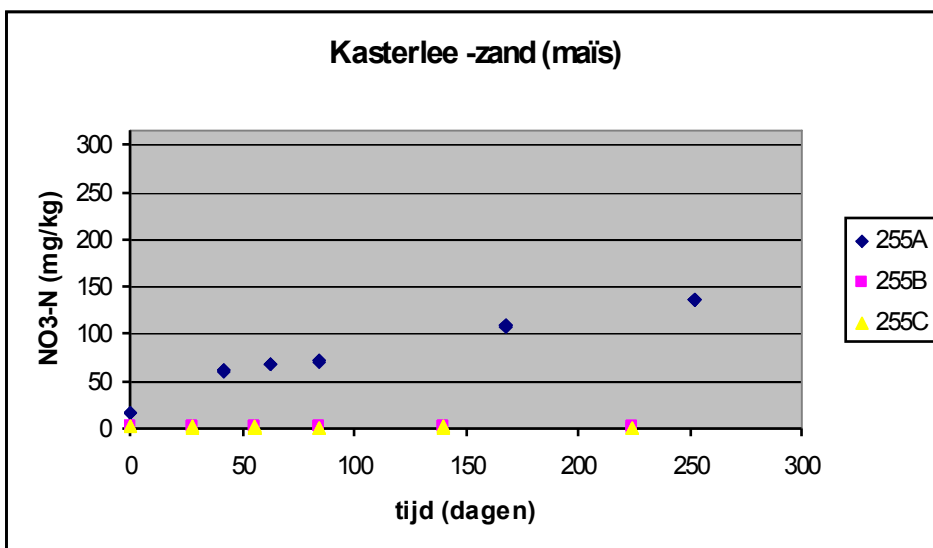
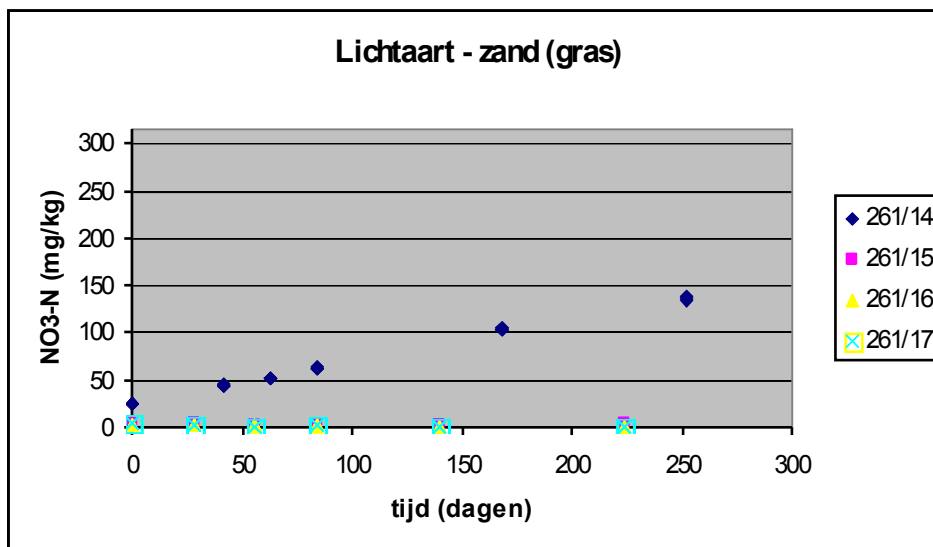
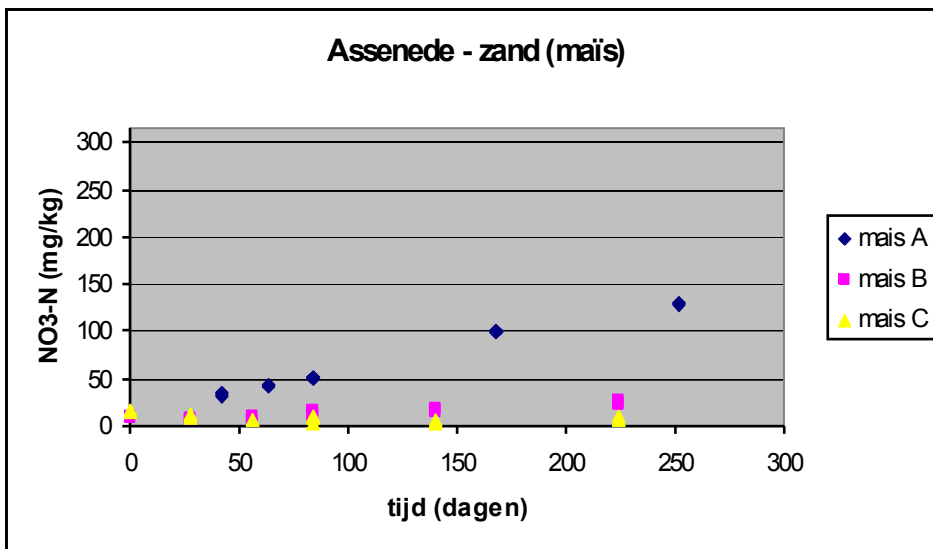


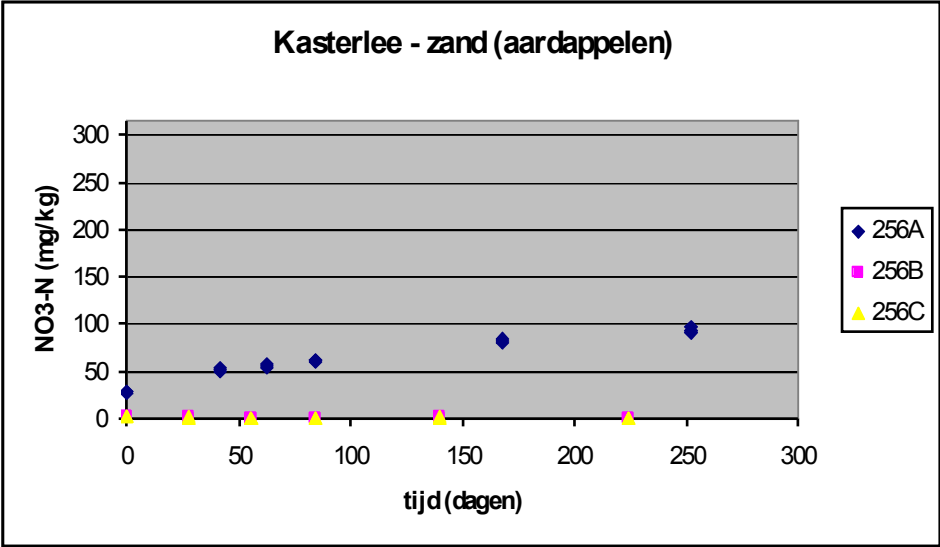
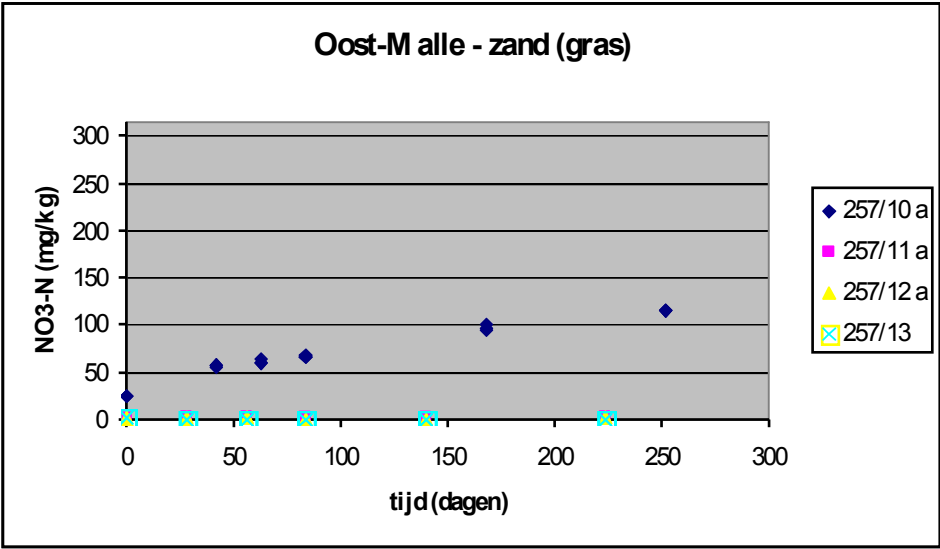












Veld	Locatie-textuur (voortelt)	Staalnummer	Bodemhorizont
1	Oostende-klei (gras)	grasA grasC	A C
4	Knokke-Heist –klei (aardappel)	aardAp aardAC ₁ aardAC ₂	Ap AC C
2	Assenede-klei (tarwe)	tarweAp tarweAC ₁ tarweAC ₂	Ap AC C
3	Sint-Laureins-klei (suikerbieten)	bietAp bietAC ₁ bietAC ₂	Ap AC C
260	Tongeren-leem (groenbemester)	260/4 260/5	Ap Bt
258	Kuntich-leem (aardappel)	258/7 258/8 258/9	Ap B _t C
259	Tongeren –leem (wintertarwe)	259/1 259/2 259/3	Ap B _t C
266	Leefdaal – leem (groenbemester)	266/Ap 266/B 266/C	Ap B _t C
265	Tielt-Winge-zandleem(gras)	265/26 265/27	A B _t
7	Elverdinge-zandleem (prei)	prei/Ap prei/AC ₁ prei/AC ₂	Ap B _t C
8	Elverdinge-zandleem (bloemkool)	bloemAp bloemAC ₁ bloemAC ₂	A _p B _t C
262	Ottenburg-zandleem (maïs)	262/A 262/B 262/BC 262/C	Ap Bw C ₁ C ₂
263	Geetbets-zandleem (tarwe)	263/32 263/34 263/35	A _p B _t C ₁
264	Bekkevoort-zandleem (tarwe-gras)	264/24 264/25	Ap Bw
6	Sint-Laureins – zand (gras)	grasA grasB grasC ₁	A Bh C ₁
5	Assenede –zand (maïs)	maïsA maïsB maïsC	Ap AC C
261	Lichtaart – zand (gras)	261/14 261/15 261/16 261/17	A Bh BC C
255	Kasterlee – zand (maïs)	255A 255B 255C	Ap Bh C
257	Oost-Malle –zand (gras)	257/10 257/11 257/13	Ap Bh C ₁
256	Kasterlee – zand (aardappelen)	256A 256B 256C	Ap Bh C

Tabel 3.1: Overzicht van de nummering van de stalen van de mineralisatie proef met de overeenkomstige bodemhorizonten

Bijlage 4: Overzicht referenties gebruikt bij de modellering van mineralisatie van oogstresten en van gewasgroei van groenbemesters en gras

Auteurs	Jaar	Titel	Tijdschrift
Allison, M.F. and Killham, K.	1988	Response of soil microbial biomass to straw incorporation	Journal of Soil Science, 39: 237-242
Aulakh, M.S. & Rennie, D.A.	1987	Effect of straw incorporation on denitrification of N under anaerobic and aerobic conditions	Can. J. Soil Sci., 67: 825-834
Aulakh, M.S., Doran, J.W., Walters, D.T. & Powers, J.F.	1991	Legume residu and soil water effects on denitrification in soils of different textures	Soil Biol Biochem, 23(12): 1161 -1167
Aulakh, M.S., Doran, J.W., Walters, D.T., Mosier, A.R. & Freancis, D.D.	1991	Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization	Soil Sci. Soc. Am. J., 55: 1020-1025
Benckiser, G. G., Syring, K.-M., Haider, K. and Sauerbeck, D.	1987	Denitrification losses from an Inceptisol field treated with mineral fertilizer or sewage sludge	Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 150: 241-248
Blombäck, K. and Eckersten, H.	1997	Simulated growth and nitrogen dynamics of a perennial rye grass	Soil Biol. Biochem. 28: 1451-1457
Boon, R.	1985	Evolutie van organische stofgehalten in de Belgische bodems	KVIV, 24/10/1985
Bosch, H. & de Jonge, P.	1989		Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989, 252p
Breimer, T.	1988	Oogstresten en uitspoeling beïnvloeden N _{min} voorraad	Vollegrond, 10.6: 12-14
Bries, J., Vandendriessche, H. & Geypens, M.	1995	Organische bemesting	Bemesting en berekening van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit, I.W.O.N.L.
Christensen, B.T. and Olesen, J.E.	1998	Nitrogen mineralization potential of organomineral size separates from soils with annual straw incorporation	European Journal of Soil Science, 49: 25-36
Cookson, W. R., Beare, M. H. & Wilson, P. E.	1998	Effects of prior crop residue management on microbial properties and crop residue decomposition	Applied Soil Ecology, 7: 179-188
Corbeels, M., Hofman, G., Van Cleemput, O.	1999	Simulation of net N immobilisation and mineralisation in substrate-amended soils by the NCSOIL computer model	Biology and Fertility of Soils, 28(4): 422-430
De Klein, C.A.M. & Logstetijn, R.S.P.	1996	Denitrification in grassland soils in the Netherlands in relation to irrigation, N-application rate, soil water content and soil temperature	Soil Biol Biochem, 28(2): 231 -237
De Neve, S. & Hofman, G.	1996	Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations	Soil Biol. Biochem., 28: 1451-1457

Auteurs	Jaar	Titel	Tijdschrift
De Neve, S. & Hofman, G.	1993	Control of N supply and irrigation of field grown vegetable crops by computer model and fertigation.	Intermediate report EC project N° 8001-CT91-0115, 28p
De Neve, S. and Hofman, G.	1998	N mineralization and nitrate leaching from vegetable crop residues under field conditions: a model evaluation	Soil. Biol. Biochem., 30: 2067-2075
De Neve, S., Pannier, J. & Hofman, G.	1994	Fractionation of vegetable crop residues in relation to in situ N mineralization	Eur. J. Agron., 3(4): 267-272
de Waal, B. & Titulaar, H.H.H.	1993	Control of N supply and irrigation of field grown vegetable crops by computer model and fertigation	Intermediate report EC project N° 8001-CT91-0115, 23p
Demyttenaere, P.	1991	Stikstofdynamiek in de bodems van de West-Vlaamse groentestreek	Doctoraat, Fac. Landbouwwetenschappen Gent, 203p
Demyttenaere, P., Hofman, G. & Vulsteke, G.	1986	Residual nitrates and nitrate losses after harvest of blanching celery	In: Verloo M. (ed.). Belgian research on Agriculture and Environment. Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België, Scope Committee, Brussel, België, 109-117
Dendooven, L.	1990	Nitrogen mineralization and nitrogen cycling	Doctoraat, Fakulteit der Landbouwwetenschappen, KULeuven, 180p
Dendooven, L.	1997	Failure of an iterative curve-fitting procedure to successfully estimate two organic N pools	Plant and Soil, 195: 121-128
Doel, D.S., Honeycutt, C.W. & Halteman, W.A.	1990	Soil water effects on the use of heat units to predict crop residue carbon and nitrogen mineralization	Biol Fertil. Soils, 10: 102-106
Fox, R.H., Myers, R.J.K. & Vallis, I.	1990	The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents	Plant and Soil, 129: 251-259
Frankenberger, W.T. & Abdelmagid, H.M.	1985	Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil	Plant and Soil, 87: 257-271
Goossens, A. & Van Cleemput, O.	1999	Field study on the emissions of nitrous oxide: effect of soil type and land use	10th nitrogen Workshop, Denmark
Goossens, A., De Visscher, A., Van Cleemput, O. & Boeckx, P.	1999	A field study on the emission/absorption of NO, N ₂ O and NH ₄	In: Borrell, P.M. & Borrell, P., Proceedings of EUROTRAC Symposium '98
Gutser, R. & Vilsmeier, K.	1985	N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen	Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 148: 595-606

Auteurs	Jaar	Titel	Tijdschrift
Hagin, J. & Amberger, A.	1974	Contribution of fertilizers and manures to a N- and P-load of Water. A Computer Simulation Model	Final Report to the Deutsche Forischangs Gemeinschaft. Technicon, Israel
Hassink, J.	1994	Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in dutch grassland soils	Soil. Biol. Biochem., 26(11): 1573-1581
Hofman, G.	1988	Nitrogen supply from mineralization of organic matter	Biological Wastes, 26: 315-324
Hofman, G.	1983	Minerale N-evolutie in zandleemprofielen	Agregaat voor Hoger Onderwijs Fac. Landbouwwetenschappen Gent, 183p
Janssen, B.H.	1996	Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials	Plant and soil, 181: 39-45
Jensen, E. S.	1992	The release and fate of nitrogen from catch-crop materials decomposing under field conditions	Journal of Soil Science, 43: 335-345
Jensen, E.S.	1994	Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C:N ratio plant residues with different particle sizes	Soil Biol. Biochem., 26: 519-521
Kaiser, E.-A., Eiland, F., Germon, J.C., Gispert, M.A., Heinemeyer, O., Hernault, C., Lind, A.M., Maag, M., Saguer, E., Van Cleemput, O., Vermoesen, A. & Webster, C.	1996	What predicts nitrous oxide emissions and denitrification N-loss from European soils?	Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 159: 541-547
Kirchmann, H. & Bergqvist, R.	1989	Carbon and nitrogen mineralization of white clover plants (<i>Trifolium repens</i>) of different age during aerobic incubation with soil	Z Pflanzenernähr Bodenk., 152: 283-288
Landman, A.	1990	Stikstofconservering door groenbemesters	Jaarboek 1989/1990, PAGV, Lelystad, Nederland
Landman, A.	1990	Use of green manures to prevent nitrate leaching after slurry application	In: Merckx, R., Vereecken, H. & Vlassak, K. (eds.) Fertilization and the Environment, 348-356
Lewan, E.	1994	Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: Simulations and measurements	Plant and Soil, 166: 137-152
Macdonald, A. J., Poulton, P. R., Powelson, D. S. & Jenkinson, D. S.	1997	Effects of season, soil type and cropping on recoveries, residues and losses of N-15-labelled fertilizer applied to arable crops in spring	Journal of Agricultural Science, 129: 125-154
Mary, B., Recous, S., Darwis, D., Robin, D.	1996	Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil	Plant and Soil, 181(1): 71-82

Auteurs	Jaar	Titel	Tijdschrift
Matus, F.J.	1994	Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures (Hoofdstuk 7)	Doctoraat, Wageningen, 141p
Matus, F.J. and Rodriguez, J.	1994	A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralisation to nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent input	Plant and Soil, 162:259-271
Meeùs-Verdinne, K., Ninane, V., Goffart, J.P., Destain, J.P. & François, E.	1994	Gestion raisonnée de l'azote: sa restitution par la minéralisation de trois engrais verts marqués	Colloque Internationale AIEA, Vienne, Autriche, 17-21 octobre
Nicolardot B., and Molina, J. A. E.	1994	C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term field experimental data	Soil Biol. Biochem., 26: 245-251
Nicolardot B., Molina J. A. E. and Allard M. R.	1994	C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term incubation data	Soil Biol. Biochem., 26: 235-243
Ninane, V., Goffart, J.P., Meeùs-Verdinne, K., Destain, J.P., Guiot, J., François, E., Ducat, N. & Block, L.	1995	Inbreng van organisch materiaal en de gevolgen op landbouwkundig en milieukundig vlak	In: Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem, ed. Geypens, M. & Honnay, J.P., I.W.O.N.L.
Ocio, J.A., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S.	1991	Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N	Soil Biol. Biochem. 23(2): 171-176
Pelser, L.	1988	Uitgangspunten voor het opstellen van weidegebruiksplannen	In: Handboek voor de rundveehouderij, Proefstation voor de rundveehouderij, schapehouderij en paardenhouderij, Lelystad
Quemada, M. and Cabrera, L.	1995	CERES-N Model Predictions of Nitrogen Mineralized from Cover Crop Residues	Soil Sci. Soc. Am. J., 59: 1059-1065
Rahn, C. R., Bending, G. D., Lillywhite, R. D. & Turner, M. K.	1999	Chemical characterisation of vegetable and arable crop residue materials: a comparison of methods	Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 1715-1721
Richter, J.	1985	Simulation of nitrogen regime in loess soils in the winter half-year: comparison between field measurements and simulations	Plant and Soil, 83: 419-431
Rijkers, B. & Timmers, H.	1983	Inventarisatie van agrarische afvalstoffen ten behoeve van de Energiekaart NEOM	Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwproducten, Wageningen, 45 p
Sakala, W. D., Cadisch, G. & Giller, K. E.	2000	Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization	Soil Biology & Biochemistry, 32: 679-688

Auteurs	Jaar	Titel	Tijdschrift
Salomez, J., Pannier, J; Deneve, S., Hofman, G., Demyttenaere, P., Versteegen, P., Vanparys, L; & Sarrazyn, R.	1995	Het belang van de inbreng van groente-oogstresten	In: Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem, ed. Geypens, M. & Honnay, J.P. ,I.W.O.N.L.
Scharpf, H. & Wehrmann, J.	1988	Stickstoffdüngung in Gemüsebau	AID-Heft, Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 42 p
Schultz, E.	1988	N-Transformationsprozesse beim Abbau von organischer Primärschubstanz im Boden in Abhängigkeit von ihrer Stabilität and dem C/N-Verhältnis	Acker-Plantzenbau Bodenk., Berlin 32, 577-582
Smit, A.L.	1994	Stikstofbenutting	In: Themadag stikstofstrome, in de vollegrondsgroenteteelt., Eds.: Haverkort, A.J., Zwart, K.B., Struik, P.C., Dekker, P.H.M
Vandendriessche, H., Bries, J., Smeets, E., Vanongeval, L. en Geypens, M.	1995	N-monitoring in relatie tot de mineralisatie van diverse groenbemers	Comité voor toegepaste bodemkunde (1993-1995), Sectie 1: Bodemkundige Dienst van België, Deel 1
Vandevelde, I.	2000	Modellering van de N-mineralisatie in serrebodems	Thesis, Fac. Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Gent, 96p
Velthof, G.L., P.J. van Erp, J.C.A. Steevens.	1998	Stikstoflevering door groenbemers en gewasresten-noodzaak tot verfijning stikstofadvisering	Meststoffen 1997/1998: 20-28
Ver Elst, P., Vanongeval, L. en Bries, J.	1999	Praktijkids bemesting suikerbieten	Bodemkundige Dienst van België, Heverlee
Vos, G.J.M., Bergevoet, I.M.J., Védý, J.C. and Neyroud, J.A.	1994	The fate of spring applied fertilizer N during the autumn-winter period: comparison between winter-fallow and green manure cropped soil	Plant and Soil, 160: 201-213
Webb, J., Harrison, R. and Ellis, S.	2000	Nitrogen fluxes in three arable soils in the UK	European Journal of Agronomy, 13: 207-223
Whitmore, A.P.	1996	Modelling release and loss of nitrogen after vegetable crops	Netherlands Journal of Agricultural Science, 44: 73-86
Whitmore, A.P.	1994	Modellering van stikstofverliezen na de oogst	In: Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt., Eds.: Haverkort, A.J., Zwart, K.B., Struik, P.C., Dekker, P.H.M
Wu, L. and McGechan, M.B.	1998	A review of carbon and nitrogen processes in four soil nitrogen dynamics models	J. agric. Eng. Res., 69: 279-305

Bijlage 5: pF curven van de 20 geselecteerde proefvelden

Kleibodems

Tabel 5.1: Volumetrisch vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) bij verschillende pF-waarden

Veld	Laag	pF				
		0	1	2	2.7	4.2
1	0 - 20	0.575	0.531	0.511	0.449	0.221
1	20 - 90	0.488	0.446	0.429	0.395	0.232
2	0 - 25	0.407	0.351	0.334	0.292	0.109
2	25 - 50	0.369	0.341	0.315	0.131	0.054
2	50 - 90	0.363	0.338	0.320	0.142	0.050
3	0 - 25	0.396	0.371	0.356	0.313	0.119
3	25 - 80	0.454	0.397	0.370	0.271	0.110
3	80 - 90	0.448	0.409	0.370	0.241	0.086
4	0 - 30	0.496	0.455	0.442	0.402	0.215
4	30 - 75	0.499	0.460	0.438	0.408	0.283
4	75 - 90	0.408	0.376	0.339	0.279	0.113

Leembodems

Tabel 5.2: Volumetrisch vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) bij verschillende pF-waarden

Veld	Laag	pF				
		0	1	2	2.7	4.2
258	0 - 25	0.419	0.393	0.373	0.331	0.124
258	25 - 70	0.443	0.414	0.361	0.211	0.106
258	> 70	0.452	0.426	0.390	0.228	0.102
259	0 - 40	0.413	0.388	0.357	0.324	0.100
259	40 - 130	0.393	0.369	0.335	0.305	0.147
259	> 130	0.417	0.396	0.355	0.244	0.107
260	0 - 40	0.413	0.388	0.357	0.324	0.100
260	40 - 130	0.393	0.369	0.335	0.305	0.147
260	> 130	0.417	0.396	0.355	0.244	0.107
266	0 - 25	0.396	0.377	0.355	0.323	0.118
266	25 - 95	0.397	0.371	0.345	0.313	0.135
266	> 95	0.468	0.440	0.390	0.262	0.107

Zandleembodems

Tabel 5.3: Volumetrisch vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) bij verschillende pF-waarden

Veld	Laag	pF				
		0	1	2	2.7	4.2
262	0 - 35	0.376	0.358	0.335	0.278	0.078
262	35 - 75	0.364	0.354	0.330	0.302	0.142
262	75 - 115	0.337	0.322	0.290	0.256	0.117
262	> 115	0.322	0.307	0.070	0.059	0.032
263	0 - 40	0.375	0.360	0.335	0.298	0.112
263	40 - 80	0.434	0.427	0.417	0.401	0.258
263	80 - 85	0.363	0.348	0.323	0.251	0.106
264	0 - 30	0.396	0.381	0.335	0.268	0.082
264	> 30	0.392	0.378	0.347	0.284	0.124
265	0 - 25	0.506	0.491	0.445	0.381	0.138
265	25 - 80	0.432	0.416	0.381	0.323	0.110
7	0 - 30	0.408	0.357	0.331	0.274	0.101
7	30 - 70	0.409	0.375	0.354	0.310	0.139
7	70 - 90	0.387	0.357	0.331	0.240	0.108
8	0 - 30	0.391	0.348	0.318	0.227	0.091
8	30 - 75	0.398	0.349	0.312	0.250	0.121
8	75 - 90	0.392	0.360	0.335	0.251	0.115

Zandbodems

Tabel 5.4: Volumetrisch vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) bij verschillende pF-waarden

Veld	Laag	pF				
		0	1	2	2.7	4.2
255	0 - 40	0.409	0.386	0.193	0.124	0.041
255	40 - 50	0.302	0.288	0.112	0.050	0.020
255	> 50	0.330	0.315	0.152	0.046	0.021
256	0 - 45	0.402	0.385	0.287	0.182	0.066
256	45 - 55	0.310	0.295	0.112	0.046	0.019
256	> 55	0.308	0.293	0.175	0.071	0.029
257	0 - 45	0.405	0.403	0.322	0.268	0.075
257	45 - 70	0.338	0.326	0.202	0.069	0.022
257	> 70	0.363	0.342	0.294	0.094	0.039
261	0 - 25	0.423	0.419	0.322	0.225	0.083
261	25 - 40	0.403	0.380	0.178	0.108	0.042
261	40 - 70	0.376	0.357	0.220	0.123	0.038
261	> 70	0.375	0.357	0.233	0.105	0.038
5	0 - 30	0.431	0.408	0.311	0.197	0.058
5	30 - 55	0.414	0.395	0.259	0.146	0.054
5	55 - 90	0.350	0.334	0.182	0.053	0.020
6	0 - 20	0.509	0.482	0.402	0.297	0.107
6	20 - 50	0.378	0.363	0.217	0.096	0.049
6	50 - 70	0.327	0.312	0.200	0.119	0.047
6	70 - 90	0.356	0.338	0.320	0.292	0.093

Bijlage 6: Evolutie van het ammoniumgehalte in het bodemprofiel

Kleibodems

Veld 1

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
10-okt-00	4	17	8
25-okt-00	54	15	10
14-nov-00	5	6	4
11-dec-00	29	17	10
20-dec-00	28	12	9
16-jan-01	17	7	7
8-feb-01	28	12	12
28-feb-01	40	32	11
20-mrt-01	8	9	5
12-sep-01	28	10	-
1-okt-01	5	6	6
24-okt-01	12	10	8
13-nov-01	17	10	8
3-dec-01	13	7	6
19-dec-01	12	13	13
16-jan-02	6	6	5
6-feb-02	12	13	11
28-feb-02	11	9	10
18-mrt-02	15	19	19

Veld 2

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
2-okt-00	10	5	3
13-nov-00	3	2	1
7-dec-00	4	3	2
20-dec-00	4	1	0
16-jan-01	0	0	0
8-feb-01	6	6	5
28-feb-01	4	5	4
19-mrt-01	11	4	1
17-sep-01	5	6	4
2-okt-01	6	6	6
23-okt-01	1	0	1
13-nov-01	6	4	3
3-dec-01	2	2	0
19-dec-01	7	15	6
16-jan-02	3	3	2
6-feb-02	7	7	7
27-feb-02	5	4	3
18-mrt-02	6	7	6

Veld 3

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
2-okt-00	7	5	3
13-nov-00	6	3	3
11-dec-00	10	5	3
20-dec-00	5	1	1
16-jan-01	7	2	0
8-feb-01	7	7	5
28-feb-01	4	4	3
19-mrt-01	6	1	2
23-apr-01	1	1	1
21-mei-01	4	3	2
25-jun-01	1	1	2
26-jul-01	8	8	7
17-sep-01	11	5	6
2-okt-01	5	6	5
23-okt-01	1	0	1
13-nov-01	4	4	3
3-dec-01	7	2	1
19-dec-01	7	10	7
16-jan-02	5	5	3
6-feb-02	7	11	7
27-feb-02	4	5	4
18-mrt-02	12	10	9

Veld 4

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
5-okt-00	4	7	4
7-dec-00	21	17	5
20-dec-00	11	7	3
16-jan-01	7	4	4
8-feb-01	13	8	6
28-feb-01	22	9	5
19-mrt-01	26	16	6
12-sep-01	8	6	13
1-okt-01	7	5	4
24-okt-01	11	9	6
14-nov-01	8	9	4
3-dec-01	11	8	5
19-dec-01	12	16	10
16-jan-02	7	6	4
6-feb-02	11	11	7
28-feb-02	7	9	5
18-mrt-02	12	16	11

Leembodems

Veld 258

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
17-okt-00	6	2	1
7-nov-00	10	3	1
30-nov-00	9	2	1
27-dec-00	6	2	1
24-jan-01	8	2	0
8-feb-01	8	2	1
6-mrt-01	16	1	0
27-mrt-01	11	1	0
17-apr-01	20	2	1
6-jun-01	46	7	1
12-jul-01	9	2	1
14-aug-01	13	2	1
11-sep-01	10	1	1
2-okt-01	8	4	1
23-okt-01	5	2	1
16-nov-01	11	7	4
4-dec-01	2	1	1
26-dec-01	10	4	2
5-jan-02	10	5	2
6-feb-02	8	6	4
26-feb-02	1	0	0
20-mrt-02	13	8	4

Veld 259

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
3-okt-00	5	11	2
27-okt-00	9	4	2
30-nov-00	7	2	1
27-dec-00	7	2	1
12-jan-01	2	1	2
29-jan-01	17	3	5
8-feb-01	12	3	1
6-mrt-01	14	3	0
27-mrt-01	13	4	1
17-apr-01	10	1	1
30-mei-01	21	2	2
27-jun-01	8	2	1
18-jul-01	4	1	1
14-aug-01	11	3	1
11-sep-01	16	3	1
27-sep-01	12	4	3
23-okt-01	9	2	1
6-nov-01	10	0	0
26-nov-01	5	0	0
27-dec-01	11	1	1
15-jan-02	8	3	2
5-feb-02	6	2	1
21-feb-02	2	1	1
20-mrt-02	12	12	9

Veld 260

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
3-okt-00	4	1	1
27-okt-00	6	3	2
30-nov-00	8	2	1
27-dec-00	11	2	1
12-jan-01	2	2	2
29-jan-01	10	3	2
8-feb-01	10	3	1
6-mrt-01	14	2	1
27-mrt-01	12	2	1
17-apr-01	6	0	0
8-mei-01	10	3	0
30-mei-01	5	2	1
18-jul-01	5	1	1
14-aug-01	12	1	1
11-sep-01	11	2	3
27-sep-01	9	3	3
23-okt-01	5	2	2
6-nov-01	4	1	2
27-dec-01	12	2	1
15-jan-02	12	3	3
5-feb-02	11	4	2
21-feb-02	9	1	1
20-mrt-02	20	11	12

Veld 266

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
13-okt-00	7	3	2
6-nov-00	9	2	3
1-dec-00	5	1	1
27-dec-00	10	2	2
24-jan-01	18	7	0
8-feb-01	9	2	1
6-mrt-01	13	4	1
27-mrt-01	17	5	2
19-apr-01	5	0	0
14-sep-01	8	2	5
9-okt-01	1	0	0
9-nov-01	6	4	2
26-nov-01	4	2	1
19-dec-01	19	5	2
9-jan-02	17	20	15
31-jan-02	12	7	3
21-feb-02	2	1	1
14-mrt-02	19	16	11

Zandleembodems

Veld 262

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
5-okt-00	3	2	2
26-okt-00	14	7	4
14-nov-00	3	1	1
4-dec-00	3	2	1
3-jan-01	4	2	1
26-jan-01	14	10	4
8-feb-01	11	3	2
6-mrt-01	12	4	1
27-mrt-01	10	3	1
25-apr-01	10	7	2
6-jun-01	8	7	3
13-jul-01	6	4	2
14-aug-01	9	1	0
14-sep-01	10	4	3
5-okt-01	6	4	3
25-okt-01	4	3	3
16-nov-01	9	9	7
4-dec-01	1	1	3
26-dec-01	8	5	3
14-jan-02	3	2	2
8-feb-02	5	4	4
26-feb-02	0	0	0
19-mrt-02	17	15	9

Veld 263

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
6-okt-00	3	3	1
26-okt-00	8	4	5
22-nov-00	4	3	5
16-dec-00	7	3	3
3-jan-01	5	2	4
22-jan-01	5	1	4
16-feb-01	20	6	5
9-mrt-01	20	7	9
29-mrt-01	20	11	20
30-mei-01	4	1	4
12-jul-01	4	3	8
14-aug-01	6	2	1
10-sep-01	9	4	9
3-okt-01	9	7	9
22-okt-01	8	5	10
9-nov-01	6	3	12
16-nov-01	9	13	21
4-dec-01	2	3	7
27-dec-01	6	2	2
15-jan-02	4	3	5
5-feb-02	5	5	10
26-feb-02	0	0	0
18-mrt-02	10	7	8

Veld 264

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
11-okt-00	14	5	3
2-nov-00	8	6	4
24-nov-00	29	8	3
16-dec-00	7	4	5
3-jan-01	6	3	2
22-jan-01	6	4	3
16-feb-01	29	12	5
27-feb-01	84	17	9
9-mrt-01	47	13	6
29-mrt-01	27	10	7
10-sep-01	11	4	5
3-okt-01	15	4	4
22-okt-01	9	7	3
14-nov-01	7	4	2
26-nov-01	12	1	1
19-dec-01	16	5	6
9-jan-02	19	22	10
29-jan-02	18	8	3
18-feb-02	18	11	4
14-mrt-02	20	13	16

Veld 265

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
11-okt-00	26	12	10
2-nov-00	12	11	6
24-nov-00	31	19	7
16-dec-00	13	5	4
3-jan-01	18	7	3
22-jan-01	12	7	3
16-feb-01	43	17	9
9-mrt-01	51	23	12
29-mrt-01	45	19	14
10-sep-01	14	7	14
3-okt-01	27	10	8
22-okt-01	13	7	4
14-nov-01	24	11	6
5-dec-01	24	6	4
26-dec-01	28	14	9
14-jan-02	19	10	6
5-feb-02	29	14	11
26-feb-02	19	8	4
18-mrt-02	51	16	8

Veld 7

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
5-okt-00	10	5	2
25-okt-00	11	4	2
14-nov-00	2	2	2
12-dec-00	1	1	0
20-dec-00	4	0	0
16-jan-01	14	3	1
8-feb-01	18	6	10
28-feb-01	13	4	4
20-mrt-01	21	2	2
1-okt-01	5	9	5
24-okt-01	18	6	5
14-nov-01	9	3	2
3-dec-01	6	3	2
19-dec-01	15	6	6
16-jan-02	7	3	3
6-feb-02	11	9	8
28-feb-02	9	6	5
18-mrt-02	8	9	7

Veld 8

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
5-okt-00	9	4	2
25-okt-00	11	5	3
14-nov-00	4	3	2
12-dec-00	5	1	1
20-dec-00	10	1	0
16-jan-01	6	12	1
8-feb-01	19	7	5
28-feb-01	7	4	3
20-mrt-01	6	0	0
1-okt-01	4	4	4
24-okt-01	6	5	5
14-nov-01	6	3	3
3-dec-01	3	1	1
19-dec-01	8	6	6
16-jan-02	5	3	3
6-feb-02	16	7	7
28-feb-02	10	7	6
18-mrt-02	10	8	7

Zandbodems

Veld 255

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
29-sep-00	11	29	28
26-okt-00	11	22	22
15-nov-00	6	25	14
4-dec-00	3	17	23
23-dec-00	4	19	16
15-jan-01	6	21	10
2-feb-01	19	33	22
23-feb-01	20	36	57
16-mrt-01	24	27	12
30-mrt-01	21	26	24
25-apr-01	17	29	21
1-jun-01	24	19	13
4-jul-01	28	20	20
25-jul-01	18	14	6
20-aug-01	5	3	1
25-sep-01	12	16	11
18-okt-01	15	9	6
9-nov-01	22	28	16
29-nov-01	15	8	1
20-dec-01	44	54	15
10-jan-02	25	47	20
30-jan-02	25	34	18
6-mrt-02	15	21	14
18-mrt-02	22	38	22

Veld 256

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
29-sep-00	11	6	3
26-okt-00	8	7	4
15-nov-00	8	8	4
4-dec-00	2	3	2
23-dec-00	6	5	4
15-jan-01	9	7	6
2-feb-01	22	15	9
23-feb-01	29	15	7
16-mrt-01	26	8	3
30-mrt-01	20	9	7
25-apr-01	52	11	7
1-jun-01	86	20	9
4-jul-01	17	15	10
25-jul-01	13	8	6
28-aug-01	10	9	8
28-sep-01	11	11	9
18-okt-01	13	6	4
9-nov-01	24	17	10
29-nov-01	6	3	2
20-dec-01	26	18	26
10-jan-02	27	30	22
30-jan-02	25	21	9
26-feb-02	12	10	7
18-mrt-02	23	24	15

Veld 257

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
29-sep-00	13	7	2
26-okt-00	11	9	7
15-nov-00	11	9	4
4-dec-00	13	6	2
23-dec-00	10	4	1
15-jan-01	28	16	7
2-feb-01	24	17	10
23-feb-01	31	17	6
16-mrt-01	36	12	5
30-mrt-01	33	15	8
25-apr-01	13	9	6
21-mei-01	30	12	9
20-jun-01	14	8	5
25-jul-01	30	2	2
28-aug-01	21	11	7
25-sep-01	12	13	7
18-okt-01	17	10	7
9-nov-01	30	25	7
29-nov-01	41	10	5
20-dec-01	39	28	20
10-jan-02	35	30	25
30-jan-02	34	23	13
22-feb-02	13	12	11
18-mrt-02	37	47	25

Veld 261

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
3-okt-00	11	5	4
26-okt-00	33	14	12
15-nov-00	26	7	5
4-dec-00	10	9	3
23-dec-00	33	15	7
15-jan-01	56	20	10
2-feb-01	43	27	15
23-feb-01	42	19	12
16-mrt-01	56	19	12
30-mrt-01	38	19	12
25-apr-01	32	14	8
21-mei-01	35	21	7
20-jun-01	14	9	6
25-jul-01	1	1	1
28-aug-01	23	17	10
25-sep-01	20	17	9
18-okt-01	31	11	12
9-nov-01	32	14	11
29-nov-01	28	10	6
20-dec-01	61	29	6
10-jan-02	46	46	38
30-jan-02	52	34	28
6-mrt-02	30	29	25
18-mrt-02	50	40	39

Veld 5

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
10-okt-00	19	10	26
25-okt-00	11	8	17
13-nov-00	10	4	18
7-dec-00	16	13	31
20-dec-00	7	5	38
16-jan-01	12	10	23
8-feb-01	13	28	65
28-feb-01	21	22	10
19-mrt-01	40	36	60
17-sep-01	10	10	21
2-okt-01	9	9	9
25-okt-01	10	12	56
13-nov-01	8	8	49
3-dec-01	4	9	8
19-dec-01	19	10	15
16-jan-02	14	25	8
6-feb-02	17	19	9
27-feb-02	6	8	8
18-mrt-02	14	15	8

Veld 6

Datum	NH ₄ -N (kg ha ⁻¹)		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm
2-okt-00	17	8	3
25-okt-00	24	6	1
13-nov-00	12	4	0
7-dec-00	24	9	3
20-dec-00	16	2	1
16-jan-01	8	2	0
8-feb-01	25	9	6
28-feb-01	24	10	6
19-mrt-01	28	14	2
23-apr-01	26	23	1
21-mei-01	18	9	5
25-jun-01	2	2	1
26-jul-01	9	9	7
2-okt-01	12	9	6
23-okt-01	11	6	2
13-nov-01	26	10	2
3-dec-01	23	5	1
19-dec-01	29	12	6
16-jan-02	25	11	5
6-feb-02	20	16	9
27-feb-02	40	22	12
18-mrt-02	19	13	7

Bijlage 7: Invloed van de textuur

Tabel 7.1: Correlatiematrix waarbij alle metingen in beschouwing werden genomen

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
grondwater ppm	Pearson Correlation	1.000	.681**	.348**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.003
	N	218	188	71
bodemwater ppm	Pearson Correlation	.681**	1.000	.035
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.757
	N	188	354	79
drainwater ppm	Pearson Correlation	.348**	.035	1.000
	Sig. (2-tailed)	.003	.757	.
	N	71	79	96
no3n_okt laag a	Pearson Correlation	.242**	.264**	.281**
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.009
	N	194	324	86
no3n_okt laag b	Pearson Correlation	.386**	.363**	.372**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
no3n_okt laag c	Pearson Correlation	.399**	.343**	.365**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
no3n_okt laag a & b	Pearson Correlation	.332**	.334**	.344**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
no3n_okt laag b & c	Pearson Correlation	.404**	.367**	.385**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
no3n_okt laag a & c	Pearson Correlation	.335**	.330**	.343**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
no3n_okt laag a, b & c	Pearson Correlation	.363**	.352**	.363**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
berekende concentratie	Pearson Correlation	.481**	.495**	-.004
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.972
	N	170	236	77

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 7.2: Correlatiematrix voor percelen uit textuurklassen Z, S en P

Correlations

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
grondwater ppm	Pearson Correlation	1.000	.598**	.470**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.001
	N	137	119	44
bodemwater ppm	Pearson Correlation	.598**	1.000	.090
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.510
	N	119	144	56
drainwater ppm	Pearson Correlation	.470**	.090	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.510	.
	N	44	56	66
no3n_okt laag a	Pearson Correlation	.248**	.267**	.254
	Sig. (2-tailed)	.006	.002	.057
	N	120	132	57
no3n_okt laag b	Pearson Correlation	.357**	.393**	.400**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.002
	N	120	132	57
no3n_okt laag c	Pearson Correlation	.420**	.481**	.360**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.006
	N	120	132	57
no3n_okt laag a & b	Pearson Correlation	.324**	.356**	.352**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.007
	N	120	132	57
no3n_okt laag b & c	Pearson Correlation	.394**	.441**	.399**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.002
	N	120	132	57
no3n_okt laag a & c	Pearson Correlation	.358**	.404**	.334*
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.011
	N	120	132	57
no3n_okt laag a, b & c	Pearson Correlation	.363**	.406**	.368**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.005
	N	120	132	57
berekende concentratie	Pearson Correlation	.436**	.681**	.009
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.951
	N	110	102	51

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabel 7.3: Correlatiematrix voor percelen uit textuurklassen L en A

Correlations

		bodemwater ppm
bodemwater ppm	Pearson Correlation	1.000
	Sig. (2-tailed)	.
	N	141
no3n_okt laag a	Pearson Correlation	.054
	Sig. (2-tailed)	.553
	N	125
no3n_okt laag b	Pearson Correlation	.166
	Sig. (2-tailed)	.065
	N	125
no3n_okt laag c	Pearson Correlation	.084
	Sig. (2-tailed)	.354
	N	125
no3n_okt laag a & b	Pearson Correlation	.117
	Sig. (2-tailed)	.193
	N	125
no3n_okt laag b & c	Pearson Correlation	.128
	Sig. (2-tailed)	.154
	N	125
no3n_okt laag a & c	Pearson Correlation	.076
	Sig. (2-tailed)	.397
	N	125
no3n_okt laag a, b & c	Pearson Correlation	.111
	Sig. (2-tailed)	.216
	N	125
berekende concentratie	Pearson Correlation	.440**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	84

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 7.4: Correlatiematrix voor percelen uit textuurklassen E en U

Correlations

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
grondwater ppm	Pearson Correlation	1.000	.767**	-.235
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.238
	N	81	69	27
bodemwater ppm	Pearson Correlation	.767**	1.000	-.340
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.112
	N	69	69	23
drainwater ppm	Pearson Correlation	-.235	-.340	1.000
	Sig. (2-tailed)	.238	.112	.
	N	27	23	30
no3n_okt laag a	Pearson Correlation	.246*	.364**	.384*
	Sig. (2-tailed)	.035	.002	.040
	N	74	67	29
no3n_okt laag b	Pearson Correlation	.438**	.484**	.256
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.180
	N	74	67	29
no3n_okt laag c	Pearson Correlation	.336**	.386**	.414*
	Sig. (2-tailed)	.003	.001	.026
	N	74	67	29
no3n_okt laag a & b	Pearson Correlation	.334**	.424**	.319
	Sig. (2-tailed)	.004	.000	.092
	N	74	67	29
no3n_okt laag b & c	Pearson Correlation	.411**	.463**	.344
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.068
	N	74	67	29
no3n_okt laag a & c	Pearson Correlation	.297*	.401**	.404*
	Sig. (2-tailed)	.010	.001	.030
	N	74	67	29
no3n_okt laag a, b & c	Pearson Correlation	.348**	.434**	.357
	Sig. (2-tailed)	.002	.000	.057
	N	74	67	29
berekende concentratie	Pearson Correlation	.566**	.583**	-.189
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.355
	N	60	50	26

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Bijlage 8: Parameters WAVE en DRAINMOD

In Tabel 8.1 worden de voor WAVE gebruikte parameters per proefveld en per winterperiode voorgesteld.

In Tabel 8.2 worden de voor DRAINMOD gebruikte parameters per proefveld en per winterperiode voorgesteld.

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE

		veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kuntich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leefdaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei	
Parameter	eenheid notatie																
klimaat		Eeklo Zelzate	Eeklo Zelzate	Geel Ukkel	Geel Ukkel	Ieper Semmerzake	Beauvechain Beauvechain	Gorseme Beauvechain	Rillaar Beauvechain	Rillaar Beauvechain	Beauvechain Beauvechain	Bierset Bierset	Bierset Bierset	Ukkel Ukkel	Middelkerke Koksijde	Eeklo Zelzate	
ET0		nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	
drainage		nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	
drains diepte grondwater binnen 2 m	cm	ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	
aantal horizonten		3	4	3	4	3	4	3	2	2	3	3	3	3	2	3	
horizont		A B C	A B C1 C2	A E B	A E B C	Ap AC C	A AB B C	A B C	A B	A B	A B C	A B C	A B C	A B C	A C	Ap AC C	
dikte horizonten	cm	0-30 30-55 55-200	0-20 20-50 50-70 70-200	0-45 45-55 55-200	0-25 25-40 40-70 70-200	0-30 30-75 75-200	0-30 30-75 75-115 115-200	0-40 40-85 85-200	0-30 30-200	0-25 25-200	0-25 25-75 75-200	0-40 40-130 130-200	0-40 40-130 130-200	0-25 25-95 95-200	0-20 20-200	0-25 25-80 80-200	
droog volumegewicht	hor1 hor2 hor3 hor4	g cm ⁻³	1,38 1,32 1,60 1,76	1,33 1,47 1,69 1,67	1,50 1,66 1,67 1,60	1,44 1,38 1,52 1,60	1,59 1,58 1,62 1,59	1,62 1,63 1,74 1,65	1,65 1,54 1,63	1,58 1,63 1,44	1,34 1,46 1,42	1,53 1,46 1,47	1,46 1,54 1,47	1,46 1,54 1,47	1,61 1,52 1,41	0,99 1,34 1,28 1,23	
% C	hor1 hor2 hor3 hor4	%	2,26 1,69 0,14	2,60 0,80 0,10 0,20	2,90 0,30 0,10	3,00 1,10 0,40 0,10	1,07 0,27 0,15	1,20 0,40 0,10	1,40 0,30 0,10	0,70 0,30	2,60 0,90	1,30 0,40 0,40	1,60 0,40 0,10	1,40 0,10 0,10	0,90 0,20 0,20	4,32 0,76	0,92 0,59 0,47
Kjeldahl stikstof	hor1 hor2 hor3 hor4	mg/100 g	152 102 6	185 63 15 24	145 26 34	149 81 41 29	88 49 18	101 51 34 23	129 61 40	68 43	210 83	128 43 34	133 56 41	152 56 41	111 44 40	398 91	79 51 42
% zand	hor1 hor2 hor3 hor4	%	93 92 97	88 89 81 50	86 89 93	93 93 93 92	61 56 68	32 16 87 97	41 24 13	31 28	43 44	7 6 7	31 11 22	11 5 22	16 13 10	8 7	55 58 71
% leem	hor1 hor2 hor3 hor4	%	5 6 3	9 9 16 41	5 2 0	1 0 0 0	29 29 20	64 78 11 3	41 38 68	62 65	49 46	71 77 74	50 63 57	67 83 57	64 67 67	37 40	26 24 16
% klei	hor1 hor2 hor3 hor4	%	2 2 0	3 2 3 9	9 9 7	6 7 7 8	10 15 12	4 6 2 0	18 38 19	7 7	8 10	22 17 19	19 26 21	22 12 21	20 20 23	55 53	19 18 13
pH	hor1 hor2 hor3 hor4		3,8 4,1 4,3	5,4 5,7 5,8 7,1	6,0 5,0 5,0	5,3 5,8 4,7 4,7	5,7 5,6 5,9	6,9 6,9 6,5 7,0	7,0 5,9 4,1	5,8 5,8	5,6 5,9	7,3 7,6 7,9	7,6 6,8 7,9	6,5 6,4 7,9	6,3 5,7 5,7	6,7 6,8	7,2 7,0 7,3

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

			veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kumtich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leefdaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei	
Parameter	eenheid	notatie																
parameters van van Genuchten en Muallem model																		
residueel volumetrisch vochtgehalte	hor 1	m ³ m ⁻³	wcr	0,0001	0,001	0,0089	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	hor 2			0,0293	0,0453	0,0246	0,0383	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0949	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	hor 3			0,018	0,0233	0,0189	0,0114	0,0001	0,0001	0,0001		0,0921	0,0001	0,0001	0,0524			0,0001
	hor 4				0,0001		0,0294		0,0435									
verzadigd volumetrisch vochtgehalte	hor 1	m ³ m ⁻³	wcs	0,426	0,41	0,44	0,45	0,37	0,374	0,38	0,45	0,55	0,43	0,3922	0,41	0,41	0,4	0,35
	hor 2			0,4134	0,3747	0,25	0,39	0,34	0,335	0,39	0,42	0,44	0,45	0,3777	0,3777	0,3791	0,43	0,348
	hor 3			0,3446	0,3283	0,32	0,375	0,34	0,33	0,36			0,46	0,4113	0,4113	0,4567		0,42
	hor 4				0,3715		0,39		0,33									
inverse van de luchtintredewaarde	hor 1	m ⁻¹	alfa	0,0196	0,0143	0,0232	0,0201	0,0118	0,0031	0,0027	0,0059	0,004	0,0026	0,0022	0,0022	0,0021	0,0043	0,0026
	hor 2			0,0274	0,0197	0,0193	0,0467	0,0206	0,0028	0,0014	0,0063	0,0036	0,0085	0,0055	0,0055	0,0034	0,0051	0,011
	hor 3			0,017	0,0339	0,0351	0,034	0,0103	0,0058	0,0068			0,0063	0,012	0,012	0,0094		0,0106
	hor 4				0,0017		0,018		0,042									
vorm parameter	hor 1	-	n	1.338	1.2731	1.3282	1.2797	1.2683	1.3745	1.3086	1.3272	1.3008	1.3128	1.3754	1.3754	1.3336	1.2144	1.3098
	hor 2			1.4508	1.8008	1.7741	1.5758	1.1901	1.2402	1.1627	1.2426	1.3245	1.337	1.2049	1.2049	1.2543	1.1553	1.2613
	hor 3			2.0232	1.4070	1.8664	1.4181	1.2351	1.2215	1.2578			1.3775	1.2622	1.2622	1.4012		1.03221
	hor 4				1.3885		1.6735		1.5713									
vorm parameter	hor 1	-	m	0,2526	0,2145	0,2471	0,2186	0,2115	0,2725	0,2358	0,2465	0,2312	0,2383	0,2729	0,2729	0,2501	0,1765	0,2365
	hor 2			0,3107	0,4447	0,4363	0,3654	0,1598	0,1937	0,14	0,1952	0,245	0,4126	0,17	0,17	0,2027	0,1344	0,2071
	hor 3			0,5057	0,2893	0,4642	0,2948	0,1904	0,1813	0,2049			0,4368	0,2077	0,2077	0,2863		0,2436
	hor 4				0,2798		0,4025		0,6111									
conductiviteit bij verzadiging	hor 1	cm dag ⁻¹	Ksat	55,43	16,14	242,36	72,06	45	97,89	2,3	1,71	48,16	8,13	155,01	155,01	25,33	286	21,67
	hor 2			87,16	75,03	89,33	361,39	134	87,39	7,92	86,89	0,53	25,52	28,27	28,27	17,08	202	50,53
	hor 3			99,52	52,53	307,24	122,45	45	70,5	0,15			51,55	9,13	9,13	26,32		119,48
	hor 4				3,65		33,71		878,96									
pore connectivity parameter	hor 1	-	L	5,5	3	3,5	0,5	0,5	0,5	10,5	10,5	5	1,5	0,5	5	0,5	0,5	5
	hor 2			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	10,5	0,5	5,5	5	8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	hor 3			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	0,5			10,5	0,5	0,5	0,5		0,5
	hor 4				0,5		0,5		2									0,5

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

Parameter	eenheid	notatie	veld 5	veld 6	veld 256	veld 261	veld 8	veld 262	veld 263	veld 264	veld 265	veld 258	veld 259	veld 260	veld 266	veld 1	veld 3	
			Assenede zand	St-Laureins zand	Kasterfee zand	Lichtaart zand	Elverdinge zandleem	Ottenburg zandleem	Geetbets zandleem	Bekkevoort zandleem	Tielt-Winge zandleem	Kumtich leem	Tongeren leem	Tongeren leem	Leefdaal leem	Oostende klei	St-Laureins klei	
hydrodynamische dispersiviteit	hor 1	mm	λ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	hor 2		λ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	hor 3		λ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	hor 4		λ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
distributie coëfficiënt NH4	hor 1	l kg ⁻¹	k _D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	hor 2		k _D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	hor 3		k _D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	hor 4		k _D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
nitrificatie constante	hor 1	dag ⁻¹	rknitri	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	2.0	1.0	1.0	0.1	3.0	3.0	3.0	3.0	0.4	1.0
	hor 2		rknitri	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	hor 3		rknitri	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	hor 4		rknitri	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
denitrificatie constante	hor 1	dag ⁻¹	rkdenit	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	0.0008	0.0006	0.0006	0.0004	0.0022	0.0015	0.0016	0.0020	0.0008	0.0050	0.0010
	hor 2		rkdenit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	hor 3		rkdenit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	hor 4		rkdenit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ureum hydrolyse constante	hor 1	dag ⁻¹	rkyd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	hor 2		rkyd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	hor 3		rkyd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	hor 4		rkyd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
afbraakconstante van humuspoel	hor 1	dag ⁻¹	rkhum	0.000116	0.000111	0.000054	0.000112	0.000111	0.000070	0.000054	0.000058	0.000077	0.000070	0.000060	0.000064	0.000059	0.000090	0.000077
	hor 2		rkhum	0.000034	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000010	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	hor 3		rkhum	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000010	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000010
	hor 4		rkhum	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000010	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000010
initiele C/N in humuspoel	hor 1			14.87	14.05		20.13	12.16	11.88	10.85	10.29	12.38	10.16	12.03	9.21	8.11	10.85	11.65
	hor 2			16.57	12.70		13.58	5.51	7.84	4.92	6.98	10.84	9.30	7.14	1.79	4.55	8.35	11.57
	hor 3			23.33	6.67		9.76	8.33	2.94	2.50			11.76	2.44	2.44	5.00		11.19
	hor 4				8.33		3.45		4.35									

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

		veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kumtich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leeftaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei
Parameter	eenheid notatie															
SEIZOEN 1																
begin simulatie		4 okt 00 30 apr 01	2 okt 00 1 okt 01	26 okt 00 13 mei 01	3 okt 00 2 okt 01	5 okt 00 1 apr 01	5 okt 00 4 okt 01	22 nov 00 21 nov 01	11 okt 00 31 maa 01	11 okt 00 31 maa 01	17 okt 00 1 okt 01	3 okt 00 2 okt 01	3 okt 00 8 mei 01	13 okt 00 30 apr 01	10 okt 00 31 maa 01	17 okt 00 16 okt 01
oogstrest datum		mais 4 okt 00		aardappel 15 okt 00		bloemkool okt 00	mais 5 okt 00	wintertarwe	wintertarwe aug 00		aardappel eind sep 00	wintertarwe	groene erwit	wintertarwe		suikerbiet 17 okt 00
gewas (winter) zaaidatum oogstdatum			gras		gras				raaigras	gras	wintertarwe 17 okt 00 5 aug 01	wintertarwe 9 nov 00 beg. aug 01	gele most.	gele most.	gras	wintertarwe 31 okt 00 13 aug 01
gewas (zomer) zaaidatum oogstdatum		mais 9 mei 01 30 okt 01	gras	wortelen 17 mei 01 21 sep 01	gras	mais eind okt 01	mais 21 mei 01 19 okt 01	suikerbiet 10 mei 01 6 nov 01	aardappel 14 apr 01 6 okt 01	gras	gele most. 25 aug 01		suikerbiet 8 mei 01 12 nov 01	suikerbiet 1 mei 01 beg. nov 01	gras	gras 14 sep 01
gem. straal van wortel	mm rorad		0.22		0.22				0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
gem. afstand tussen bodemopl. en wortelopp.	mm rdo		0.00002		0.00002				0.00002	0.00002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.00001	0.0001
fractie van potentiële N opname	g		1		1				1	1					1	
maximale stikstofopname	mg m ⁻² nmax		40000		40000				40000	40000					40000	
worteldensiteit aan bodemoppervlak	cm l ⁻¹ rdenso		10		10				10	10					10	
kc-factoren	kc	10 okt 0.5 28 jan 0.5	15 maa 1.1 14 apr 1.1 28 apr 1.1 2 mei 0.8 9 mei 1.1 22 mei 1.1 26 mei 0.8 2 jun 1.1 16 jun 1.1 20 jun 0.8 27 jun 1.1 14 jul 1.1 18 jul 0.8 25 jul 1.1 13 aug 1.1 17 aug 0.8 23 aug 1.1 20 sep 1.1 24 sep 0.8 30 sep 1.1	26 okt 0.5 13 mei 0.5	3 okt 1.1 9 mei 1.1 10 mei 0.8 18 mei 1.1 4 jun 1.1 8 jun 0.8 15 jun 1.1 24 jun 1.1 28 jun 0.8 7 jul 1.1 24 jul 1.1 28 jul 0.8 4 aug 1.1 23 aug 1.1 27 aug 0.8 2 sep 1.1 30 sep 1.1	5 okt 0.5 28 jan 0.5	5 okt 0.5 21 mei 0.5 10 mei 0.5 20 jun 1.05 13 mei 0.9 29 aug 1.05 21 jun 1.1 29 sep 0.55	22 nov 0.5 10 mei 0.5 17 feb 1.1 18 feb 0.5 31 maa 0.5	11 okt 1.1 17 feb 1.1 18 feb 0.5 31 maa 0.5	11 okt 1.1	17 okt 0.5 1 jan 0.5 15 apr 0.5 17 mei 1.3 15 jun 1.3 4 aug 1.1 5 aug 1.0	3 okt 0.5 1 jan 1.0 15 apr 1.0 17 mei 1.3 15 jun 1.3 5 aug 1.0 6 aug 0.35	3 okt 1.1 30 dec 1.1 31 dec 0.5	13 okt 1.1 30 dec 1.1 31 dec 0.5 30 apr 0.5	15 maa 1.1 14 apr 1.1 28 apr 1.1 2 mei 0.8 9 mei 1.1 22 mei 1.1 26 mei 0.8 2 jun 1.1 16 jun 1.1 20 jun 0.8 27 jun 1.1 14 jul 1.1 18 jul 0.8 25 jul 1.1 13 aug 1.1 17 aug 0.8 23 aug 1.1 20 sep 1.1 24 sep 0.8 30 sep 1.1	17 okt 0.5 1 jan 0.5 15 apr 0.5 17 mei 1.3 15 jun 1.3 12 aug 1.1 26 mei 0.8 13 aug 1.1
maximale wateropname door wortels (per compartiment)	day ⁻¹ smax		1 0.015 6 0.015 7 0.0		1 0.015 6 0.015 7 0.0		1 0.03 6 0.03 7 0.01 12 0.01 16 0.0	1 0.02 6 0.02 8 0.005 18 0.005 24 0.001 26 0.0	1 0.015 6 0.015 7 0.0	1 0.015 6 0.015 7 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.01 16 0.01 17 0.0 40 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.015 16 0.015 17 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.01 12 0.01 13 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.01 12 0.01 13 0.0	1 0.015 6 0.015 7 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.01 16 0.01 17 0.0 40 0.0

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

		veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kuntich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leefdaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei	
Parameter	eenheid notatie																
SEIZOEN 1																	
afbraakconstante van oogstrestpoel	dag ⁻¹ klit	0.03		0.012		0.05	0.03	0.02	0.1		0.012	0.02	0.2	0.2		0.04	
initiele C/N van oogstrestpoel		56.92		25		13	56.92	36			25	36				20	
hoeveelheid oogstrest in oogstrestpoel	kg C ha ⁻¹ kg N ha ⁻¹	1480		950		1560	1480	990			950	27.5				2400	
		26		38		120	26	27.5			38	990				120	
afbraakconstante van bemestingspoel	dag ⁻¹ kman	0.01	0.01	0.01	0.01	0.008	0.011	0.009	0.009	0.01	0.009	0.01	0.008	0.009			
initiele C/N van bemestingspoel		14.98	14.98	14.98	14.98	9.67	18.17		13.62				7.94	10.1			
fractie van totale C gehalte in bemestingspoel	%	0.94	0.42	0.68	0.3	0.31			0.71				0.29	1.41			
initieel vochtgehalte	comp 3 comp 6 comp 9	cm ³ cm ⁻³	0.326	0.365	0.334	0.422	0.259	0.352	0.396	0.4408	0.4811	0.43	0.383	0.368	0.373	0.309	0.342
			0.341	0.35	0.209	0.372	0.274	0.326	0.338	0.3739	0.4198	0.43	0.344	0.353	0.348	0.351	0.308
			0.302	0.335	0.248	0.377	0.308	0.289	0.355	0.3731	0.4198	0.43	0.349	0.349	0.336	0.43	0.336
initieel NH ₄	0-30 cm 30-60 cm 60-90 cm	mg m ⁻²	357	320	154	213	172	73	72	252	398	110	81	128	50	107	
			155	129	121	72	66	43	54	82	189	24	192	18	57	251	
			455	48	80	56	32	32	87	54	157	19	39	19	37	122	
initieel NO ₃	0-30 cm 30-60 cm 60-90 cm	mg m ⁻²	776	90	376	213	337	309	311	427	192	839	237	294	785	809	
			871	70	237	199	380	301	298	549	46	432	472	373	677	585	
			604	224	104	195	153	193	384	426	8	286	269	238	407	132	
bemesting	OC: organische koolstof ON: organische stikstof NH ₄ : ammonium NO ₃ : nitraat UR: ureum	mg m ⁻²	6 mei 01 OC 1223 ON 81.6 NH ₄ 64.63 NO ₃ 0.82	17 maa 01 OC 719 ON 48 NH ₄ 42.77 NO ₃ 0.48	14 apr 01 OC 631 ON 62.47 NH ₄ 78.20 NO ₃ 0.99	7 maa 01 OC 661 ON 38 NH ₄ 42.77 NO ₃ 0.48		15 mei 01 OC 1798 ON 120 NH ₄ 76.8 NO ₃ 24	14 apr 01 OC 749 ON 91.43 NH ₄ 87.83 NO ₃ 1.11	9 apr 01 NH ₄ 133.2 NO ₃ 133.2		2 apr 01 NH ₄ 29.25 NO ₃ 29.25	27 maa 01 NH ₄ 16.25 NO ₃ 16.25	2 mei 01 NH ₄ 30 NO ₃ 30	15 apr 01 NH ₄ 84.5 NO ₃ 84.5	10 apr 01 NH ₄ 50 NO ₃ 39.5	4 apr 01 NH ₄ 39.5
			13 mei 01 NH ₄ 22.5 NO ₃ 22.5 UR 45	13 apr 01 NH ₄ 27 NO ₃ 27	14 apr 01 OC 164 ON 20.62 NH ₄ 21.48 NO ₃ 0.27	3 apr 01 NH ₄ 27 NO ₃ 27		21 mei 01 NH ₄ 25 NO ₃ 25	8 mei 01 NH ₄ 26 NO ₃ 26		5 jun 01 NH ₄ 37.8 NO ₃ 37.8	2 mei 01 NH ₄ 13.75 NO ₃ 13.75			2 mei 01 NH ₄ 50 NO ₃ 50	2 mei 01 NH ₄ 38 NO ₃ 38	
				25 mei 01 NH ₄ 27 NO ₃ 27	19 mei 01 OC 1180 ON 54 NH ₄ 36.89 NO ₃ 0.41						25 aug 01 OC 470 ON 46.5 NH ₄ 58.21 NO ₃ 0.74	28 mei 01 NH ₄ 30 NO ₃ 30			2 jul 01 NH ₄ 50 NO ₃ 50	31 mei 01 NH ₄ 18 NO ₃ 18	
				14 jun 01 NH ₄ 27 NO ₃ 27								24 aug 01 OC 689 ON 68.2 NH ₄ 85.38 NO ₃ 1.08				30 aug 01 OC 501 ON 49.6 NH ₄ 62.09 NO ₃ 0.78	
				8 jul 01 NH ₄ 20 NO ₃ 25													
				22 aug 01 NH ₄ 33 NO ₃ 75													
organische bemesting van oogstrest																	
datum									raaigras 17 feb 01					gele most. 31 dec 00	gele most. 31 dec 00		
organische koolstof	mg m ⁻²								2475					1365	1365		
organische stikstof	mg m ⁻²								99					85.8	85.8		
ploegen									7 mei 01	17 feb 01			11 sep 00	31 jan 01	10 feb 01		

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

		veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kumtich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leeftaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei
Parameter	eenheid notatie															
SEIZOEN 2																
begin simulatie		2 okt 01 16 feb 02	2 okt 01 16 feb 02	28 sep 01 16 feb 02	25 sep 01 16 feb 02	1 okt 01 16 feb 02	5 okt 01 16 feb 02	22 okt 01 16 feb 02	3 okt 01 16 feb 02	3 okt 01 16 feb 02	2 okt 01 16 feb 02	27 sep 01 16 feb 02	6 nov 01 16 feb 02	9 nov 01 16 feb 02	1 okt 01 16 feb 02	17 sep 01 16 feb 02
oogstrest datum		mais 30 okt 01		wortelen 21 sep 01		mais eind okt 01	mais 19 okt 01	suikerbiet 6 nov 01	aardappelen 6 okt 01		wintertarwe 5 aug 01	wintertarwe beg. aug 01	suikerbiet 12 nov 01	suikerbiet beg. nov 01		wintertarwe 13 aug 01
gewas (winter) zaaidatum oogstdatum			gras		gras				wintertarwe	gras	gele most.	gele most.	wintertarwe		gras	gras
gewas (zomer) zaaidatum oogstdatum																
gem. straal van wortel	mm rorad		0.22		0.22				0.2224	0.22	0.22	0.22	0.2224		0.22	0.22
gem. afstand tussen bodemopl. en wortelopp.	mm rdo		0.00002		0.0002				0.0001	0.00002	0.00001	0.00001	0.0001		0.00002	0.00002
fractie potentiële N opname	g		1		1					4					1	1
maximale stikstofopname	mg m ⁻² nmax		40000		40000					40000					40000	40000
worteldensiteit aan bodemoppervlak	cm l ⁻¹ rdenso		10		10					10					10	10
kc-factoren	kc	4 okt 0.5 28 jan 0.5	2 okt 1.1 16 feb 1.1	15 okt 0.5 15 jan 0.5	25 sep 1.1	5 okt 0.5 28 jan 0.5	5 okt 0.5	22 okt 0.5	6 okt 0.5 1 jan 1.0	11 okt 1.1	3 okt 1.1 30 dec 1.1 31 dec 0.5	3 okt 1.1 30 dec 1.1 31 dec 0.5	6 nov 0.5	9 nov 0.5	1 okt 1.1	17 sep 1.1
maximale wateropname door wortels (per compartiment)	dag ⁻¹ smax		1 0.015 6 0.015 7 0.0		1 0.015 6 0.015 7 0.0				1 0.032 6 0.032 7 0.015 12 0.015 16 0.0	1 0.015 6 0.015 7 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.01 12 0.01 13 0.0	1 0.032 6 0.032 7 0.015 12 0.01 13 0.0			1 0.015 6 0.015 7 0.0	1 0.015 6 0.015 7 0.0

Tabel 8.1: Inputparameters van WAVE (vervolg)

		veld 5 Assenede zand	veld 6 St-Laureins zand	veld 256 Kasterlee zand	veld 261 Lichtaart zand	veld 8 Elverdinge zandleem	veld 262 Ottenburg zandleem	veld 263 Geetbets zandleem	veld 264 Bekkevoort zandleem	veld 265 Tielt-Winge zandleem	veld 258 Kumtich leem	veld 259 Tongeren leem	veld 260 Tongeren leem	veld 266 Leefdaal leem	veld 1 Oostende klei	veld 3 St-Laureins klei	
Parameter	eenheid notatie																
SEIZOEN 2																	
afbraakconstante van oogstrestpoel	dag ⁻¹ klit	0,03				0,03	0,03	0,04	0,012		0,2	0,2	0,04	0,04			
initiele C/N van oogstrestpoel	kg C ha ⁻¹						56,92		25					20			
hoeveelheid oogstrest in oogstrestpoel	kg N ha ⁻¹						1480		950					2400			
							26		38					120			
afbraakconstante van bemestingspoel	dag ⁻¹ kman	0,01	0,01	0,009	0,01	0,008	0,01	0,009			0,009	0,009			0,01	0,009	
initiele C/N van bemestingspoel		14,98	14,98	9,57	20,01	14,98	14,98	8,19			10,1	10,1				10,1	
fractie van totale C gehalte in bemestingspoel	%	0,64	0,42	0,19	0,78	0,67	1,51	0,33			0,68	0,76				0,4	
initieel vochtgehalte	comp 3 comp 6 comp 9	cm ³ cm ⁻³	0,401	0,395	0,334	0,346	0,281	0,32	0,404	0,39	0,4811	0,36	0,324	0,342	0,397	0,282	0,35
			0,345	0,356	0,209	0,345	0,334	0,308	0,37	0,338	0,4198	0,35	0,328	0,341	0,358	0,43	0,32
			0,344	0,335	0,248	0,396	0,306	0,314	0,346	0,331	0,4198	0,37	0,33	0,339	0,343	0,185	0,365
initieel NH ₄	0-30 cm 30-60 cm 60-90 cm	mg m ⁻²	161	216	220	378	73	135	157	265	415	145	208	72	110	65	218
			133	162	192	262	68	72	82	80	162	62	64	20	59	96	72
			152	119	169	143	68	51	164	80	122	10	43	29	37	84	78
initieel NO ₃	0-30 cm 30-60 cm 60-90 cm	mg m ⁻²	155	183	296	209	190	471	635	686	231	466	1913	312	259	638	717
			143	215	91	103	93	641	426	275	203	1058	1560	264	289	788	569
			133	145	58	126	263	552	267	216	8	910	996	161	201	804	465
organische bemesting van oogstrest		maïs				maïs		suikerbiet			gele most.	gele most.	suikerbiet				
datum		30 okt 01				25 okt 01		6 nov 01			31 dec 01	31 dec 01	12 nov 01				
organische koolstof	mg m ⁻²	1480				1480		2400			1365	1365	2400				
organische stikstof	mg m ⁻²	26				26		120			85,8	85,8	120				
ploegen																20 nov 01	

Tabel 8.2: Inputparameters van DRAINMOD

		veld 255 Kasterlee zand	veld 257 Oostmalle zand	veld 202 Assenede klei	veld 204 Knokke-Heist klei	veld 207 Elverdinge zandleem
Parameter	eenheid notatie					
klimaat ET0		Geel Ukkel	Geel Ukkel	Eeklo Zelzate	Middelkerke Koksijde	Ieper Semmerzake
drainage drains diepte	cm	ja 115	ja 70	ja 70	ja 75	ja 70
aantal horizonten		3	3	3	3	3
horizont		A B C	A B C	Ap AC C	Ap AC C	Ap AC C
dikte horizonten	cm	0-40 40-50 50-200	0-45 45-70 70-200	0-25 25-50 50-200	0-30 30-75 75-200	0-30 30-70 70-200
droog volumegewicht	g cm ⁻³	1.62	1.57	1.49	1.33	1.56
% C	hor1 hor2 hor3 hor4	1.80 0.10 0.10	2.80 0.90 0.10	1.18 0.22 0.16	2.75 1.08 0.33	1.28 0.27 0.14
% zand	hor1 hor2 hor3 hor4	92 95 91	89 92 86	52 85 88	35 13 75	52 43 76
% leem	hor1 hor2 hor3 hor4	0 0 1	3 2 2	31 9 7	27 35 14	36 39 8
% klei	hor1 hor2 hor3 hor4	8 5 8	8 6 12	17 6 5	38 52 11	12 18 16
pH	hor1 hor2 hor3 hor4	5.7 5.1 5.2	5.8 5.0 4.5	7.0 7.3 7.5	6.8 6.8 7.4	6.5 6.5 7.0

Tabel 8.2: Inputparameters van DRAINMOD (vervolg)

			veld 255 Kasterlee zand	veld 257 Oostmalle zand	veld 202 Assenede klei	veld 204 Knokke-Heist klei	veld 207 Elverdinge zandleem	
Parameter	eenheid	notatie						
parameters van van Genuchten en Mualem model								
residueel volumetrisch vochtgehalte	hor 1	m ³ m ⁻³	wcr	0.0219	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	hor 2			0.0215	0.0190	0.0524	0.0001	0.0001
	hor 3			0.0083	0.0293	0.0050	0.0001	0.0001
	hor 4							
verzadigd volumetrisch vochtgehalte	hor 1	m ³ m ⁻³	wcs	0.4407	0.4018	0.3746	0.4374	0.3811
	hor 2			0.3720	0.3343	0.3554	0.4725	0.3891
	hor 3			0.3542	0.3531	0.3342	0.3851	0.3634
	hor 4							
inverse van de luchtintredewaarde	hor 1	m ⁻¹	alfa	0.0756	0.0094	0.0043	0.0013	0.0067
	hor 2			0.1066	0.0150	0.0058	0.0031	0.0045
	hor 3			0.0449	0.0071	0.0038	0.0384	0.0093
	hor 4							
vorm parameter	hor 1	-	n	1.4135	1.3026	1.2837	1.4944	1.2726
	hor 2			1.5469	1.9006	2.2185	1.2147	1.2381
	hor 3			1.6112	2.2588	2.5642	1.2439	1.2641
	hor 4							
vorm parameter	hor 1	-	m	0.2925	0.2323	0.2210	0.3310	0.2140
	hor 2			0.3535	0.4738	0.5492	0.1770	0.1920
	hor 3			0.3794	0.5570	0.6100	0.1960	0.2090
	hor 4							
conductiviteit bij verzadiging	hor 1	cm h ⁻¹	Ksat	20.13	11.65	17.71	1.57	0.24
	hor 2			3.50	2.36	16.38	6.37	0.94
	hor 3			11.04	0.55	0.17	11.99	1.52
	hor 4							

Tabel 8.2: Inputparameters van DRAINMOD (vervolg)

		veld 255 Kasterlee zand	veld 257 Oostmalle zand	veld 202 Assenede klei	veld 204 Knokke-Heist klei	veld 207 Elverdinge zandleem
Parameter	eenheid notatie					
dispersiviteit	cm	10	10	10	10	10
tortuositeit factor	-	1	1	1	1	1
diffusie coëfficiënt	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
mineralisatie snelheid	dag ⁻¹	0.0003136	0.000342	0.000634	0.000277	0.0004242
denitrificatie snelheid	dag ⁻¹	0.00329	0.00625	0.0187	0.05829	0.01742
opeenvolgende dagen verzadiging voor denitrificatie	dag	3	3	3	3	3
grenswaarde bodemwaarde voor oplossen van meststoffen	cm ³ cm ⁻³	0.218	0.218	0.218	0.218	0.218
gemiddelde oppervlaktetemperatuur	°C	10	10	10	10	10
nitraatconcentratie van neerslag	mg l ⁻¹	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
afstand van bodemoppervlak tot drains	cm B	115	70	70	75	70
afstand tussen drains	cm L	1000	1100	1200	800	700
effectieve straal van drains	cm Re	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
diepte van ondoordringbare laag	cm H	400	400	400	400	400
eq. diepte van drains tot ondoordringbare laag	cm De	81.22	87.88	93.68	68.02	61.29
drainage coëfficiënt	cm dag ⁻¹	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Kirkham's coëfficiënt	- G	9.22	8.08	8.07	8.27	8.3
Kirkham's diepte voor stroming naar drains	cm SI	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
maximale stockage op bodemoppervlak	cm Sm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
initieële concentratie organische N	µg g ⁻¹	563	960	517	1413	547
gewenste plantdatum	dag		120			
groeidagen	dag		365			
SEIZOEN 1						
begin simulatie		1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01
einde simulatie		31 maa 01	31 maa 01	31 maa 01	31 maa 01	31 maa 01
initieel NO3	0 cm mg l ⁻¹	23	10.3	54.80	30.40	76.7
	30 cm mg l ⁻¹	7.8	12.2	50.20	13.20	70.2
	60 cm mg l ⁻¹	4.9	8.3	10.30	24.90	39.3
	90 cm mg l ⁻¹	0.2	8.2	2.20	4.20	39
SEIZOEN 2						
begin simulatie		1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01	1 okt 01
einde simulatie		16 feb 02	16 feb 02	16 feb 02	16 feb 02	16 feb 02
initieel NO3	0 cm mg l ⁻¹	26.7	9.7	4.5	6.2	4
	30 cm mg l ⁻¹	47.4	6.5	4.3	10.43	9
	60 cm mg l ⁻¹	64.5	6.1	5.8	0.78	10.9
	90 cm mg l ⁻¹	0.2	8.2	1.2	0.2	10

