



Afstemming van de organische bemesting op variatie in ruimte en tijd

Rapportage van Lovinkhoeve-experimenten in 1998

J.A. de Vos & M. Heinen

AB, Wageningen
December 1999

Rapport 110

AB, Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek

AB is een moderne, marktgerichte onderzoeksorganisatie die resultaten van wetenschappelijk onderzoek vertaalt naar maatoplossingen voor klanten. Kennis van processen in plant, gewas en bodem benut AB voor het sturen van de kwaliteit van land- en tuinbouwproducten in de keten en voor het duurzaam en landschappelijk aantrekkelijk maken van plantaardige productiesystemen. Integratie van kennis in operationele modellen geeft meerwaarde aan de onderzoeksproducten van AB.

De klantenkring omvat bedrijfsleven, land- en tuinbouw, inrichters van de groene ruimte, nationale en regionale overheden, en internationale organisaties.

AB beschikt over unieke expertise op het gebied van plantenfysiologie, gewas- en productie-ecologie, bodemchemie en -ecologie en systeemanalyse.

Het instituut heeft geavanceerde faciliteiten voor onderzoek aan fysiologische processen, planten, gewassen en eco-systemen: goed geoutilleerde laboratoria, verschillende typen klimaatruimten, het 'Wageningen Phytolab', het 'Wageningen Rhizolab', 'Open-Top kamers' en proefbedrijven op verschillende grondsoorten.

De producten die AB op de markt brengt zijn gegroepeerd in drie productgroepen:

Plantaardige productie en productkwaliteit

- Geïntegreerde en biologische productiesystemen
- Onkruidbeheersingssystemen
- Precisielandbouw
- Groene grondstoffen en inhoudsstoffen
- Innovatie glastuinbouw
- Kwaliteit van plant, gewas en product

Bodem-plant-milieu

- Bodem- en luchtkwaliteit
- Klimaatverandering
- Biodiversiteit

Multifunctioneel en duurzaam landgebruik

- Nutriëntenmanagement
- Rurale ontwikkeling en voedselzekerheid
- Agro-ecologische zonering
- Multifunctionele landbouw
- Agrarisch natuurbeheer

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen
: Postbus 14, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317-475700
Fax : 0317-423110
E-mail : postkamer@ab.wag-ur.nl
Internet : <http://www.ab.wageningen-ur.nl>

AB, CPRO en IPO zijn de fusiepartners in Plant Research International, deel van Wageningen UR

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
1. Inleiding	3
2. Methoden	5
2.1 Proefvelden op de Lovinkhoeve	5
2.2 Meteorologische waarnemingen	5
2.3 Bodemfysische veldmetingen	5
2.3.1 Grondwaterstanden en drukhoogten	5
2.3.2 Frequency Domain (FD) watergehaltemetingen	7
2.3.3 Time Domain Reflectometry (TDR) watergehaltemetingen	7
2.4 N-mineralisatiemetingen	7
2.5 N-profielbemonsteringen	8
2.6 Gewaseigenschappen	8
3. Proefveldgegevens 1998	9
3.1 Meteorologische gegevens 1998	9
3.2 Bodemfysische veldmetingen	9
3.2.1 Grondwaterstanden en drukhoogten	9
3.2.2 FD-watergehalte- en temperatuurmetingen in de aardappelrug	12
3.2.3 TDR-watergehaltemetingen in N-mineralisatiebuizen	13
3.3 N-mineralisatie	15
3.4 N-mineraalprofielen	16
3.5 Gewasontwikkeling	16
3.6.1 Beworteling	17
4. Discussie experimentele resultaten	21
4.1 N-mineralisatie	21
4.2 N-balans	22
5. Simulatieberekeningen met FUSSIM2	25
5.1 Simulatie 1998	25
5.1.1 Samenvatting invoergegevens	25
5.1.2 Resultaten	27
5.2 Exploratieve berekeningen	33
5.2.1 Beschrijvingen casussen	33
5.2.2 Resultaten	35
6. Conclusies	41
7. Referenties	43

Voorwoord

Deze rapportage is bedoeld als tussentijdse verslaglegging ten behoeve van het project 10661.10 *'Afstemming van de organische bemesting op variatie in ruimte en tijd'*. De uitwerking van de gegevens moet als voorlopig worden beschouwd. Balansen voor water en stikstof dienen nog verder te worden uitgewerkt, in samenhang met de gewasontwikkeling. Eventuele statistische analyses zijn nog niet uitgevoerd. De bedoeling is dat aan de hand van deze gegevens realistische scenario's met het FUSSIM-model (Heinen & De Willigen, 1998a) voor tweedimensionale waterstroming en stoffentransport kunnen worden uitgevoerd. In dit rapport worden enkele resultaten van simulaties besproken, waaronder de toetsing van het model aan de hand van de experimenteel verzamelde gegevens.

Eduard Hummelink heeft de experimenten uitgevoerd en veel van de gegevens uitgewerkt. Gerard Brouwer heeft de bewortelingsexperimenten en de wortelanalyses uitgevoerd. Arnout van Delden deed een deel van zijn aardappelexperimenten op onze gezamenlijke proefvelden. Van het werk van de bovenstaande personen is in deze rapportage dankbaar gebruik gemaakt.

Project 10661 valt onder DLO onderzoeksprogramma 342 *'Biologische akkerbouw en vollegrondsgroententeelt'* dat door DWK-LNV wordt gesubsidieerd.

1. Inleiding

De opname van nutriënten door gewassen vindt gedurende het groeiseizoen plaats, afhankelijk van de vraag van het gewas en het aanbod in de bodem. De ruimtelijke verdeling van de beworteling, nutriënten en fysische condities, met name het watergehalte, bepalen uit welk gedeelte van de bodem de nutriënten benut kunnen worden voor gewasgroei. In de ecologische en geïntegreerde landbouw is een groot gedeelte van de nutriënten afkomstig uit de organische mest. De verwachting is dat door een verbeterde toediening van organische meststoffen wat betreft tijdstip en positie in de bodem, de benutting door het gewas geoptimaliseerd kan worden. Onder droge omstandigheden kan berekening worden ingezet om het gewas voldoende van water te voorzien. Een tweede reden voor de toepassing van berekening is de verhoging van de nutriëntenbeschikbaarheid. Bij een hoger bodemwatergehalte kunnen nutriënten, met name N en P, beter door het gewas worden opgenomen. De N-mineralisatie uit organische stof verloopt sneller bij voldoende hoge watergehalten. In droge perioden zijn gewassen met een ondiep wortelstelsel het meest gevoelig voor nutriënten- en watertekorten. Door een hogere opname van nutriënten door het gewas wordt de opbrengst verhoogd en worden de nutriëntenverliezen naar de omgeving laag gehouden. Een gewas dat voldoende van nutriënten en water wordt voorzien kan zich gezond ontwikkelen, waardoor de kans op ziekten wordt verminderd.

Aardappel is een ondiep wortelend gewas dat gevoelig is voor nutriënten- en watertekorten. Aardappelen worden in rijen en eventueel op ruggen geteeld, zodat goed de ruimtelijke aspecten van de plaatsing van organische mest bestudeerd kunnen worden. Op de ecologische proefboerderij Dr. H.J. Lovinkhoeve te Marknesse zijn in 1998 veldexperimenten in aardappelproefvelden uitgevoerd om de effecten van bodemwatergehalte en -temperatuur op stikstofmineralisatie vast te stellen. De bewortelingspatronen zijn van groot belang voor de opnamemogelijkheden van water en nutriënten (Goss *et al.*, 1993) en deze patronen zijn op verschillende tijdstippen gemeten. Voor de opname van nutriënten door het gewas en de gewasontwikkeling wordt gebruik gemaakt van de gegevens van Van Delden (pers. comm.). De opzet van zijn proeven is uitgebreid beschreven door Van Delden (1998).

Dit rapport vormt de basis voor verkennende berekeningen met de gekoppelde modellen FUSSIM (Heinen & De Willigen, 1998a) voor water- en stoffentransport en MOTOR (Whitmore, 1995) voor organische-stofdynamiek voor de beschrijving van de onderliggende mechanismen van de interactie tussen nutriëntendynamiek en de vochtvoorziening, gekoppeld aan een aardappelgroeimodel. De verwachting is dat met deze verkenningen de mogelijkheden voor een gerichte afstemming van organische bemesting in ruimte en tijd kan worden verbeterd (De Willigen *et al.*, 1995).

2. Methoden

2.1 Proefvelden op de Lovinkhoeve

De experimenten op de Lovinkhoeve zijn uitgevoerd op het organische-stofblok OM2, wat betekent dat er een normale organische bemesting is toegediend. De aardappelen hebben $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ runderdrijfmest gekregen als organische bemesting in het voorafgaande najaar (Excursiegids, 1997). De Lovinkhoeve is gedraineerd op een drainafstand van 12 m en een draandiepte van circa 1 m. De afstand tot een drain is in de proefopzet als factor meegenomen, omdat ten gevolge van een opbollende grondwaterspiegel er verschillen in bodemwatergehalte in de bovengrond kunnen optreden (De Vos, 1997). Er zijn in 1998 twee proefvelden aangelegd: akkers 22 en 23. De bedoeling was dat op één van de proefvelden (akker 23) beregening als behandeling zou worden uitgevoerd. Er is echter nooit beregend omdat 1998 een nat jaar was. In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de proefvelden in 1998, met de nummering van de aardappelruggen ten opzichte van de drains. De positie van de meetapparatuur is ook aangegeven.

2.2 Meteorologische waarnemingen

Op een grasveld van de Lovinkhoeve bevindt zich een KNMI-weerstation, waar uurgemiddelde waarden van verschillende meteorologische grootheden worden geregistreerd. Deze meetgegevens worden verwerkt tot daggemiddelden of dagtotalen voor het gebruik in simulatieberekeningen in de FSE-omgeving (Van Kraalingen, 1992). De volgende meteorologische grootheden worden berekend:

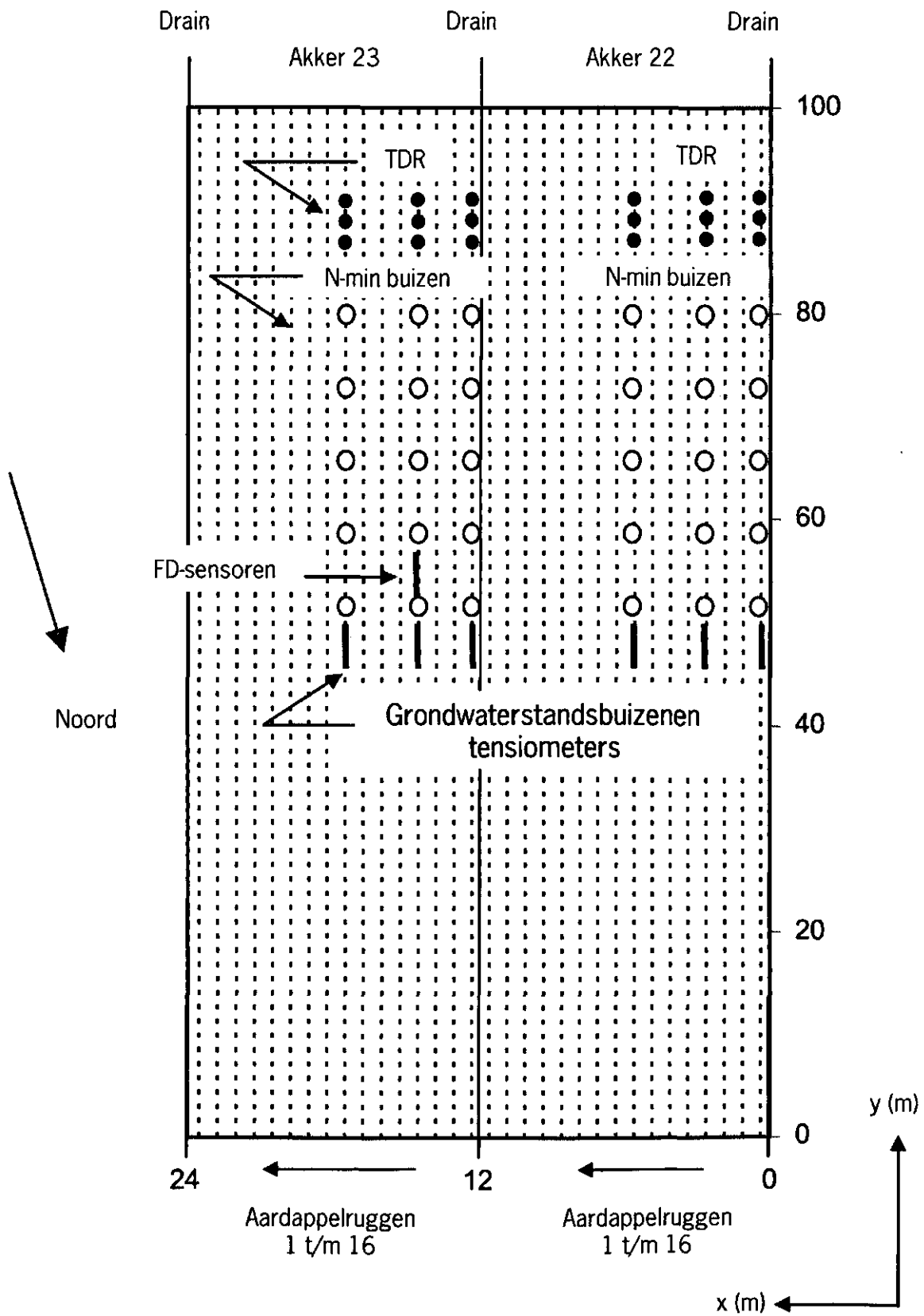
- Globale straling ($\text{kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
- Minimum luchttemperatuur op 1,5 m hoogte ($^{\circ}\text{C}$)
- Maximum luchttemperatuur op 1,5 m hoogte ($^{\circ}\text{C}$)
- Waterdampdruk op 1,5 m hoogte (kPa)
- Gemiddelde windsnelheid op 1,5 m hoogte (m s^{-1})
- Neerslag (mm d^{-1})

De Lovinkhoeve weerfiles hebben de naam NLD74.xxx, waarbij de extensie xxx het jaartal (1900-1999) weergeeft, bijvoorbeeld NLD74.997 en NLD74.998. Het is mogelijk om extra informatie over bodemtemperaturen (0.05 - 1.00 m -mv) en luchttemperaturen op 0.15 m hoogte uit de bestaande KNMI-gegevens af te leiden.

2.3 Bodemfysische veldmetingen

2.3.1 Grondwaterstanden en drukhoogten

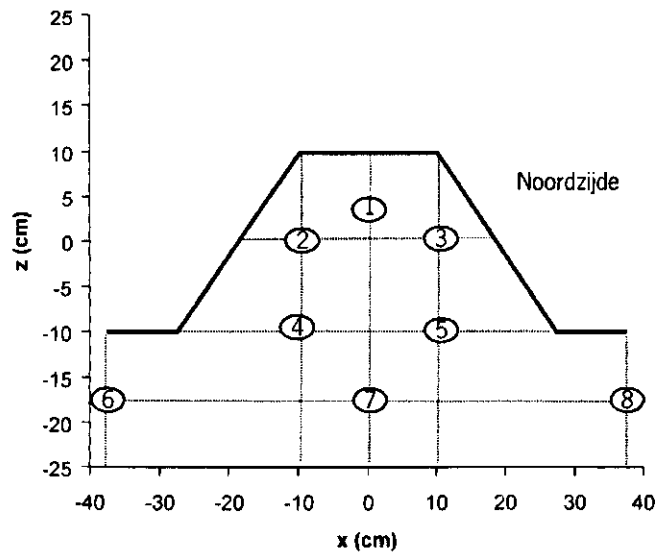
Grondwaterstandbuizen en tensiometers (10, 20, 30, 50 en 100 cm onder de aardappelrug) zijn op verschillende afstanden van de drain in het midden van de aardappelruggen geplaatst (zie Fig. 1). Grondwaterstanden en drukhoogten zijn een- of tweemaal per week handmatig gemeten. Grondwaterstanden zijn gemeten met een maatstok ten opzichte van de bovenkant van de aardappelrug. De drukhoogten zijn met een mobiele drukopnemer gemeten (Marthaler *et al*, 1983; De Vos, 1997).



Figuur 1. Overzicht van de aardappelproefvelden op de Lovinkboere in 1998.

2.3.2 Frequency Domain (FD) watergehaltemetingen

FD-watergehaltesensoren (Hilhorst, 1998) zijn in 1998 op verschillende posities in de aardappelrug geplaatst (Fig. 2). Sensor 3 is aan de noordzijde van de rug geplaatst. De twee pennen van de sensoren hebben een lengte van 60 mm en zijn in de lengterichting van de rug geplaatst. De volumetrische watergehalten zijn berekend door gebruik te maken van de standaard-ijklijnen van de FD-sensoren. De FD-sensoren zijn geijkt in puur water en lucht. Ook wordt de bodemtemperatuur met deze sensoren gemeten.



Figuur 2. Posities van de FD-sensoren in de aardappelrug 5 van akker 23 in 1998.

2.3.3 Time Domain Reflectometry (TDR) watergehaltemetingen

TDR-watergehaltemetingen zijn uitgevoerd in de N-mineralisatiebuizen (par. 2.4) en in natuurlijke grond om vast te kunnen stellen of deze volumetrische watergehalten vergelijkbaar waren. Er is gemeten in buizen die afgesloten werden door een luchtdoorlatend deksel en in buizen die niet waren afgedekt, om zo verschillen in watergehalte ten gevolge van deze afdekking vast te kunnen stellen. Gedurende het gehele seizoen is in vaste buizen gemeten, dit in tegenstelling tot de N-mineralisatiebuizen die voor elke meetperiode opnieuw in het proefveld werden geplaatst. Er is gebruik gemaakt van 30 cm lange TDR-pennen en een mobiel TRASE-meetinstrument (Soil Moisture Equipment, 1995). De standaard-ijklijnen van Soil Moisture Equipment (1995) zijn gebruikt om de TDR-metingen te vertalen naar een volumetrisch watergehalte.

2.4 N-mineralisatiemetingen

Om de netto N-mineralisatie in het veld vast te stellen zijn op verschillende tijdstippen PVC-buizen (inwendige diameter 12 cm) in de laag 0-30 cm van de bodem geïnstalleerd. De buizen zijn op drie posities ten opzichte van de aardappelrug geplaatst: midden in de rug, in de helling en tussen de ruggen. De analyse van de grond in deze buizen vond plaats in diepte-intervallen van 10 cm (0-10, 10-20 en 20-30 cm diepte). De buizen worden aan de bovenzijde afgesloten, zodanig dat de zuurstoftoetreding niet

wordt verhinderd. De toename van het N-min-gehalte in de buizen wordt bepaald door op het moment van plaatsing de N-min-voorraad in de lagen 0-10, 10-20 en 20-30 cm vlak naast de buizen te meten in bodemvolume dat een vergelijkbare grootte heeft als de buis. Vervolgens wordt de N-min-voorraad in de buizen na een verblijf van 4-6 weken in het veld bepaald. De toename van de N-min-voorraad is een schatting voor de netto N-mineralisatie onder veldcondities. De analyse van N-min vond plaats in een mengmonster afkomstig van vijf buizen die op 8 m onderlinge afstand in een aardappelrij waren geplaatst. De afscherming van de bovenkant van de buizen zorgt er voor dat er geen uitspoeling kan optreden. denitrificatieverliezen kunnen echter wel optreden. Een nadeel van deze methode is dat het watergehalte in de buizen kan afwijken van dat in de natuurlijke omgeving en dat door afsterven van wortels extra N-min vrij kan komen. Het watergehalte werd met TDR-apparatuur gemeten in de buizen en in de natuurlijke bodem (Par. 2.3.3) om te controleren of er grote verschillen optraden. Er zijn alleen buizen geplaatst in het midden van de rug en op het eerste tijdstip tussen de ruggen; in 'aardappelrugnummers' 1, 4 en 8 op akkers 22 en 23 (Fig. 1). De installatie van de buizen in de voren gaf dikwijls problemen in verband met de hogere dichtheid van de grond.

2.5 N-profielbemonsteringen

Er zijn gedurende groeiseizoenen ook normale N-min-bepalingen uitgevoerd; deze vonden plaats in een mengmonster dat verkregen was door 5 gutsboor-steken willekeurig in het veld te nemen. De N-min bepalingen werden verricht in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm ten opzichte van de bovenkant van de aardappelrug.

2.6 Gewaseigenschappen

Het aardappelras Agria is op 13 mei 1998 gepoot op een rijafstand van 0.75 m en een onderlinge afstand van 0.3 m in de rug. Er zijn vooral tijdens de begingroei van de aardappel veel proefoogsten verricht waarbij de bovengrondse en ondergrondse biomassa en het stikstofgehalte van het gewas werden bepaald (pers. comm. A. van Delden). De LAI (Leaf Area Index) werd ook op deze tijdstippen bepaald door van de geoogste bladeren het oppervlak te meten. De proefoogsten werden verricht in 3 tot 6 aardappelruggen over een lengte van 2.1 m, wat overeenkomt met een netto oppervlakte variërend van 4.73 tot 9.45 m².

De beworteling is op tijdstippen vastgesteld die zo goed mogelijk overeenkwamen met de proefoogsten. Op drie tijdstippen in 1998 zijn boormonsters genomen. De boormonsters zijn volgens standaardprocedures gespoeld. Van 30 monsters is de wortellengtedichtheid gemeten. Van de overige monsters is deze wortellengtedichtheid geschat m.b.v. een ijklijn die de relatieve visuele verschillen in worteldichtheid tussen de monsters beschrijft.

3. Proefveldgegevens 1998

De experimenten in 1998 zijn uitgevoerd op akkers 22 en 23 van de Lovinkhoeve. Van deze akkers is door het BLGG te Oosterbeek in het voorjaar 1998 een algemeen grondonderzoek naar de nutriënten-toestand uitgevoerd (Tabel 3.1). De fosfaat- en kalitoestand van de akkers 22 en 23 worden als 'ruim voldoende' voor akkerbouw beoordeeld (Van Dijk, 1999). Er is een verschil in het organische-stofgehalte van de akkers. Hiermee moet vooral bij de interpretatie van de N-mineralisatie in de bouwvoor (0-30 cm diepte) rekening worden gehouden.

Tabel 3.1. Algemeen grondonderzoek van akkers 22 en 23 van de Lovinkhoeve in 1998, waarbij bepaald zijn: de pH-KCl, het organische-stofgehalte, de fosfaattoestand (P-Al), de kalitoestand (K-HCl) en het lutumgehalte (deeltjes < 2 μ m).

Akker	Laag (cm)	pH-KCl	Organische stof (% w/w)	P-Al	K-getal	Lutum (% w/w)
22	0-30	7.2	2.2	43	20	20
	30-60	7.2	1.8	11	12	14
	60-90	7.5	1.8	8	10	10
23	0-30	7.3	2.5	46	21	20
	30-60	7.3	1.9	8	12	14
	60-90	7.5	1.6	5	9	9

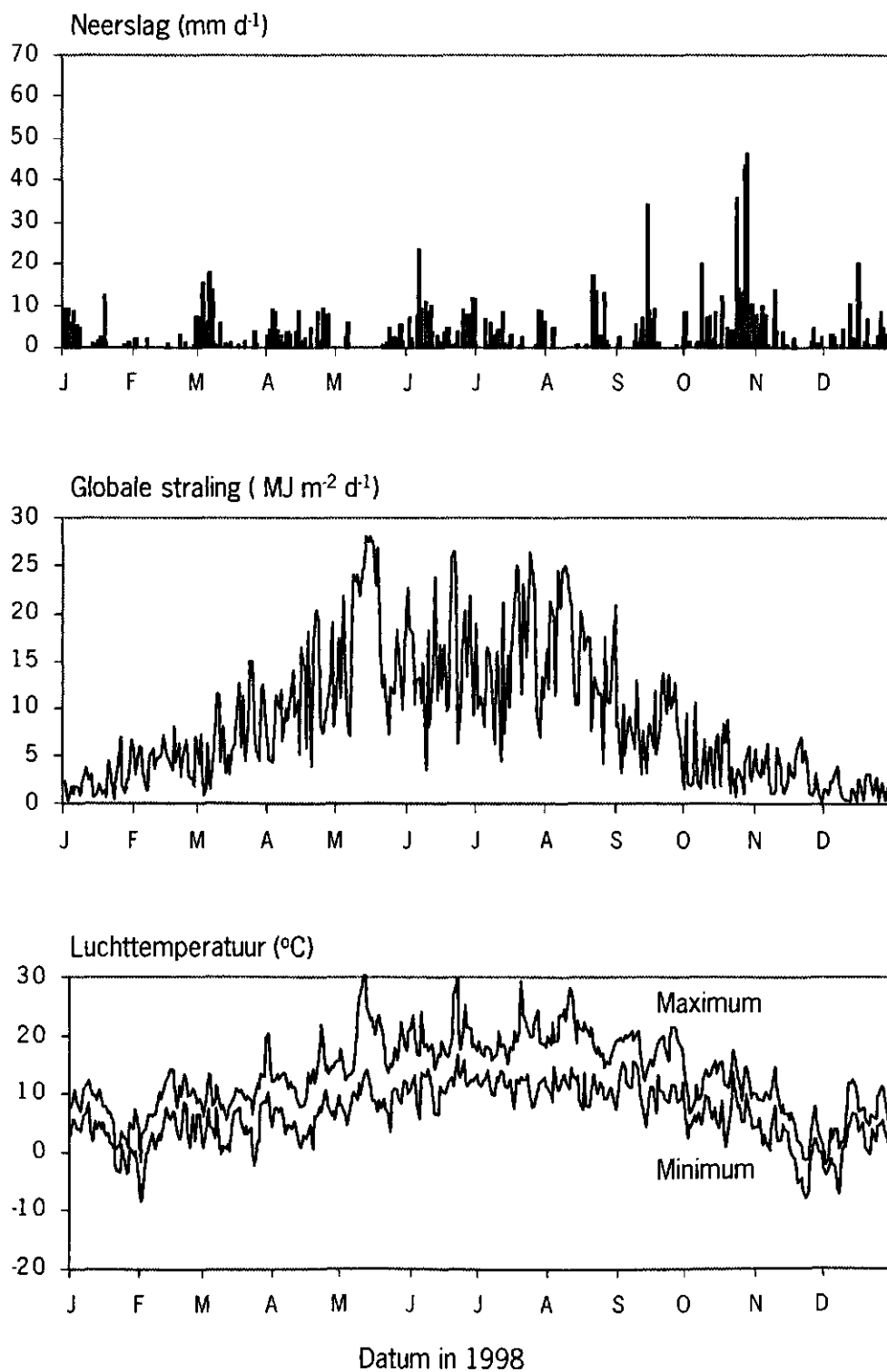
3.1 Meteorologische gegevens 1998

In Figuur 3 zijn de belangrijkste meteorologische gegevens 1998 voor dit project weergegeven. Deze gegevens zijn ook te vinden in de file NLD74.998. De totale hoeveelheid neerslag in 1998 was 1072 mm, wat aanzienlijk hoger is dan het gemiddelde van de Lovinkhoeve van 745 mm (1943-1996).

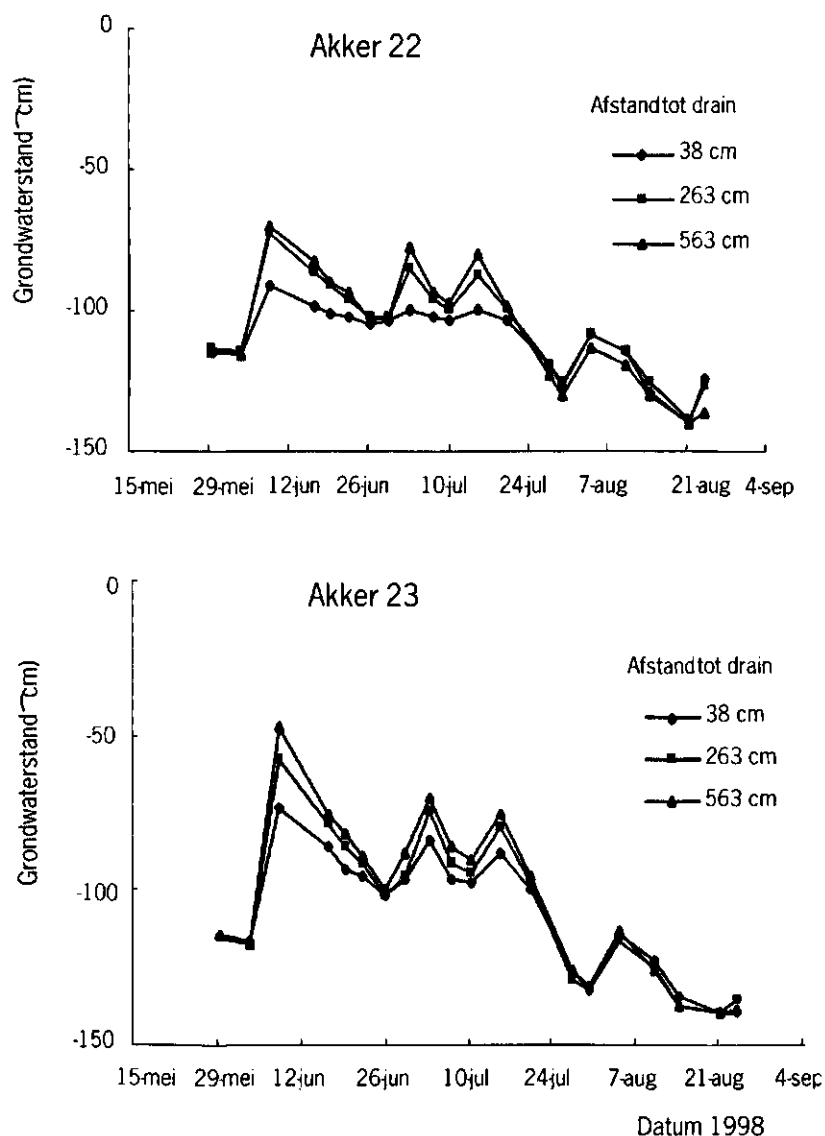
3.2 Bodemfysische veldmetingen

3.2.1 Grondwaterstanden en drukhoogten

Voor het groeiseizoen 1998 zijn de gemeten grondwaterstanden en drukhoogten in de Figuren 4 en 5 weergegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de verschillende afstanden tot de drain. In de periode van 29 mei tot 20 juli 1998 blijven de grondwaterstanden boven de draindiepte en zijn de drukhoogten h in het hele bodemprofiel tussen $-300 < h < 0$ cm. Dit geeft aan dat we met een nat groeiseizoen te maken hebben. Na 20 juli 1998 worden de drukhoogten in de bouwvoor (0-30 cm onder de aardappelrug) weliswaar iets lager en komt de grondwaterstand onder de draindiepte, maar de grond droogt nooit ver uit (Tabel 3.2).



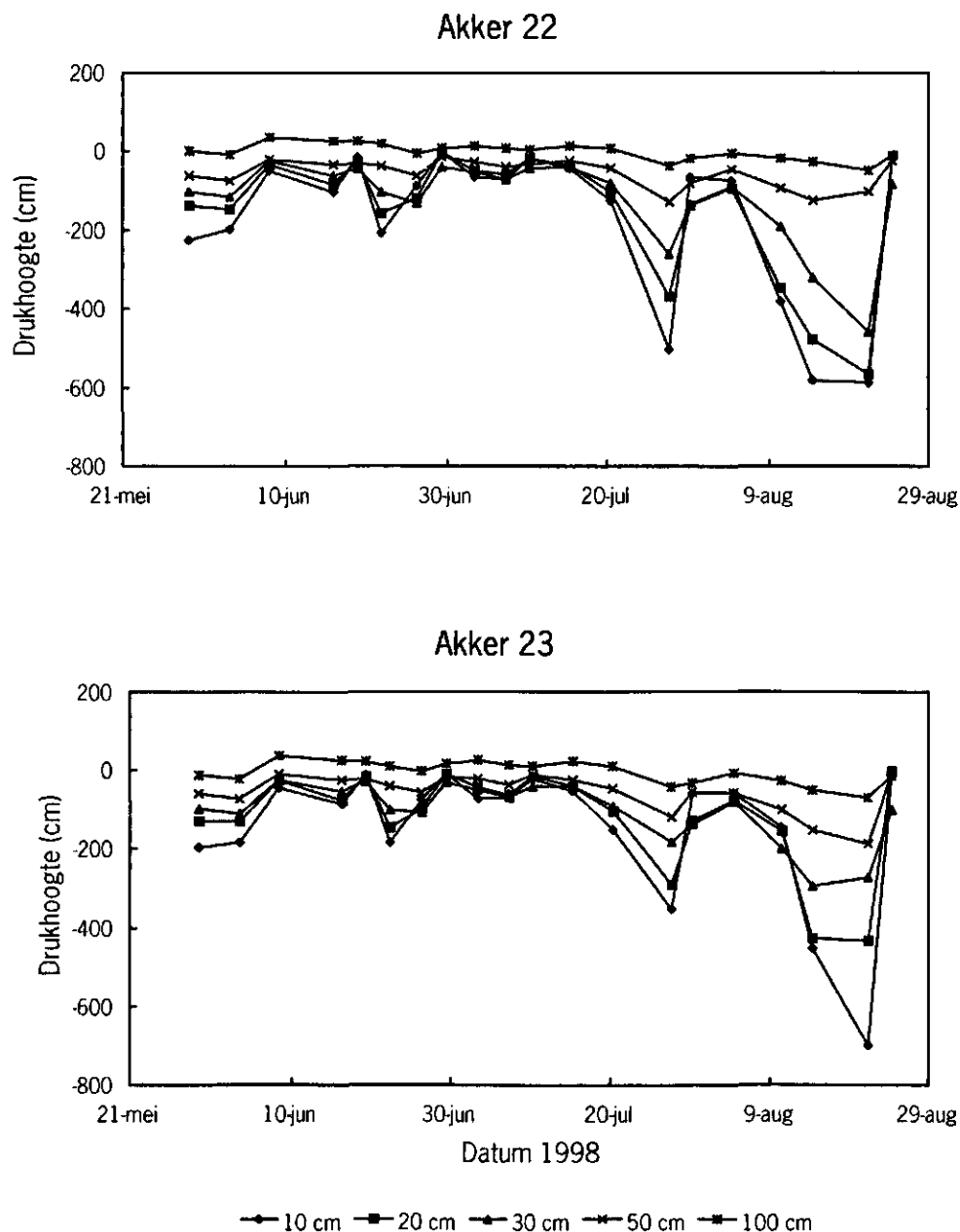
Figuur 3. Neerslag, globale straling en luchttemperatuur gemeten op het KNMI-weerstation Lovinkhoeve in 1998.



Figuur 4. Grondwaterstanden op verschillende afstanden tot de drain in 1998.

Tabel 3.2. Drukhoogten (cm) op verschillende diepten ten opzichte van de bovenkant van de aardappelrug op akkers 22 en 23 in 1998. De resultaten zijn de startwaarde op het tijdstip van het inzetten van de N-mineralisatiebuizen en het gemiddelde van alle metingen gedurende periode.

Akker	Diepte (cm)	26 mei - 7 juli		7 juli - 27 juli		27 juli - 31 aug	
		26 mei	gem.	7 juli	gem.	27 juli	gem.
22	0-10	-227	-102	-70	-172	-502	-284
	10-20	-139	-81	-60	-132	-369	-273
	20-30	-103	-74	-71	-106	-259	-213
23	0-10	-196	-93	-70	-144	-352	-237
	10-20	-128	-73	-63	-113	-291	-204
	20-30	-99	-67	-69	-89	-184	-180



Figuur 5. Gemiddelde drukhoogten op de Lovinkhoeve in 1998.

3.2.2 FD-watergehalte- en temperatuurmetingen in de aardappelrug

Figuur 6 toont de volumetrische watergehalten zoals die in 1998 in een aardappelrug (zie Fig. 3) zijn gemeten. De sensoren 1, 2 en 3 die in de losse rug zijn geplaatst laten duidelijke uitdrogings- en bevochtigingspatronen zien. De sensoren 4-8 zijn dieper geplaatst en laten in dit natte groeiseizoen hoge watergehalten en geringe veranderingen zien. De gemiddelde bodemtemperaturen van akker 23 in 1998 zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3. *Gemiddelde bodemtemperaturen (°C) op verschillende posities in de aardappelrug op akker 23 in 1998. De bodemtemperaturen zijn het gemiddelde van alle metingen gedurende periode.*

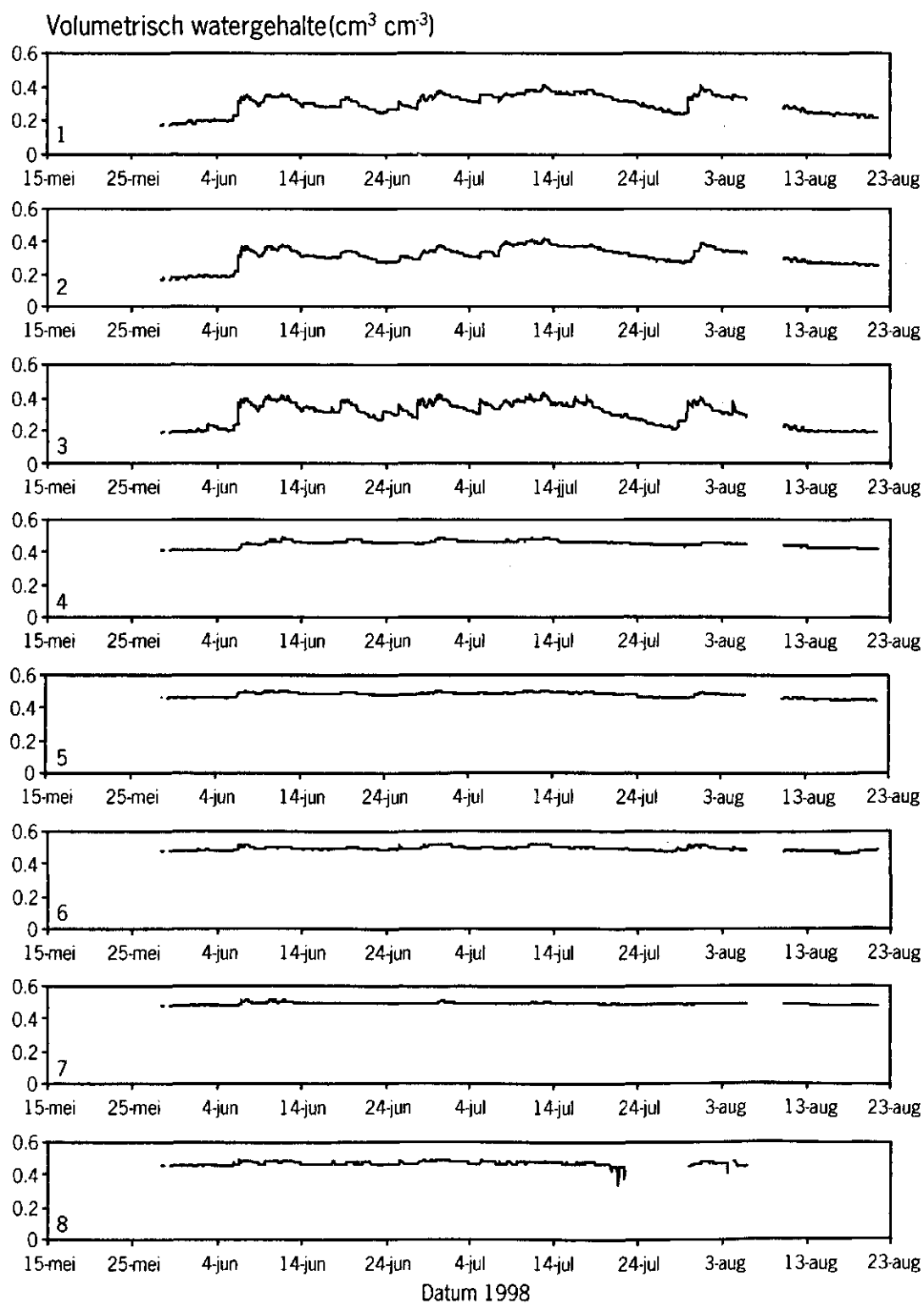
Laag (cm)	26 mei - 7 juli		7 juli - 27 juli		27 juli - 31 aug	
	rug	voor	rug	voor	rug	voor
0-10	16.4	16.1	17.2	16.6	18.7	18.0
10-20	16.1	-	16.7	-	18.2	-
20-30	15.6	-	16.2	-	17.8	-
0-30	16.0	-	16.7	-	18.2	-

3.2.3 TDR-watergehaltemetingen in N-mineralisatiebuizen

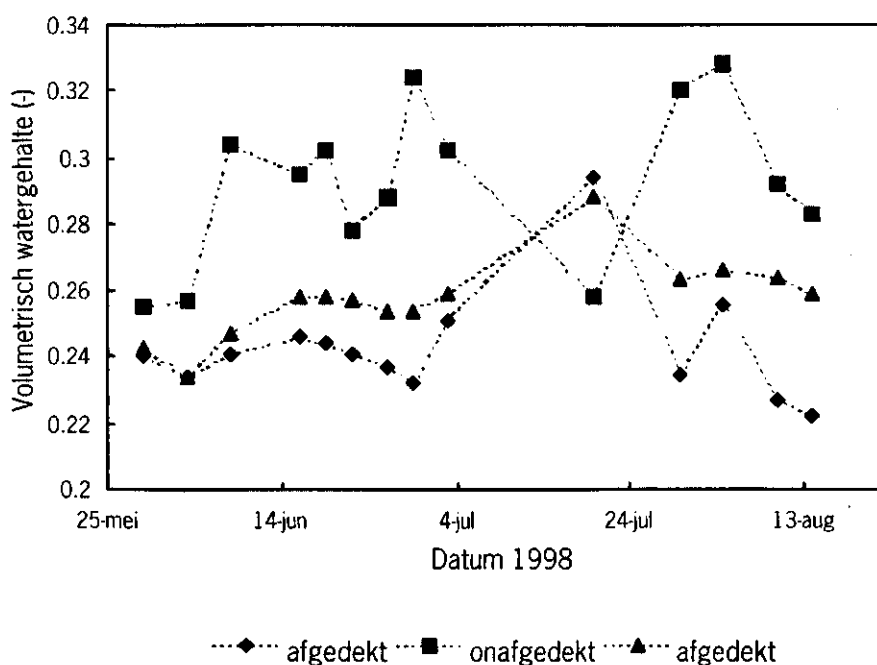
De TDR-watergehaltemetingen laten zien dat de volumetrische watergehalten θ tussen de $0.20 < \theta < 0.35$ lagen gedurende de gehele meetperiode (Tabel 3.4). Onder deze natte condities zijn de verschillen in watergehalten in de laag 0-30 cm diepte als functie van de afstand tot de drain klein. Figuur 7 laat zien dat tussen individuele afdekte en onafgedekte buizen verschillen van $\Delta\theta = 0.10$ in volumetrisch watergehalte kunnen optreden.

Tabel 3.4. *TDR-watergehaltemetingen (0-30 cm diepte) in afgedekte N-min buizen in 1998 op verschillende afstanden van de drain. De resultaten zijn het gemiddelde van metingen op n tijdstippen.*

Afstand tot drain (m)	26 mei - 7 juli (n = 18)	7 juli - 27 juli (n = 2)	27 juli- 31 aug. (n = 10)
0.37	0.247	0.289	0.254
2.62	0.261	0.296	0.255
5.62	0.260	0.289	0.256
Gemiddeld	0.256	0.291	0.255



Figuur 6. FD-watergehalten op acht posities (zie Fig. 2) in 1998.



Figuur 7. TDR-watergehalten in twee afgedekte en één onafgedekte buis op akker 23, 0,37 cm vanaf drain.

3.3 N-mineralisatie

De resultaten van de N-mineralisatiemetingen in de N-min buizen zijn in Tabel 3.5 en 3.6 weergegeven.

Tabel 3.5. N-mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) in 1998 in verschillende diepte-intervallen in de rug en in de voor. De resultaten zijn het gemiddelde van metingen aan drie mengmonsters van akker 22.

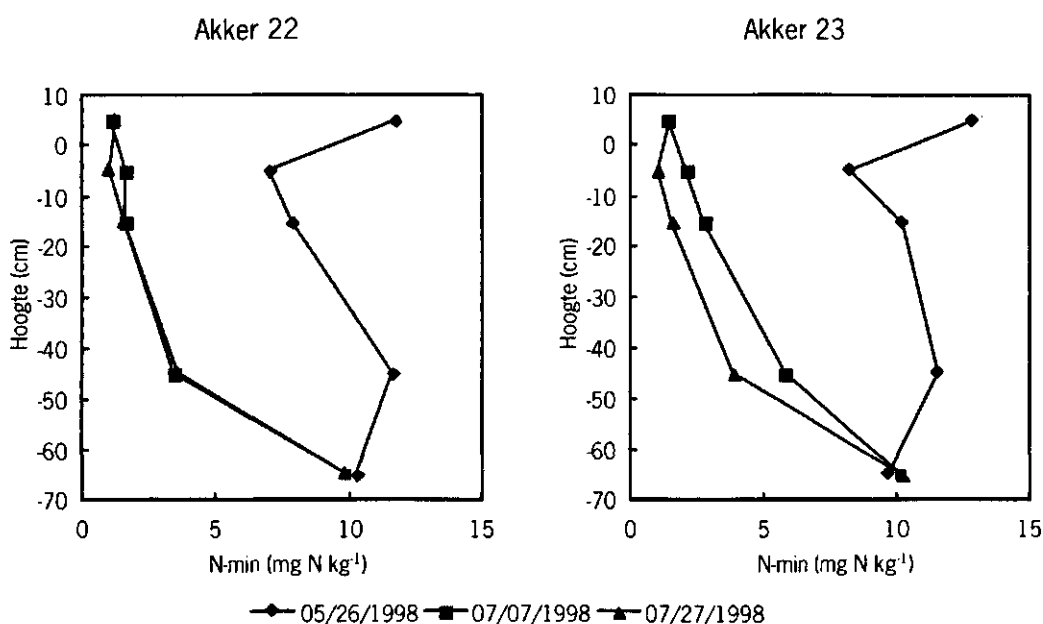
Laag (cm)	26 mei - 7 juli		7 juli - 27 juli	27 juli- 31 aug.
	rug	voor	rug	rug
0-10	0.32	0.35	0.44	0.31
10-20	0.17	0.24	0.33	0.39
20-30	0.21	0.10	0.33	0.48
0-30	0.70	0.79	1.10	1.18

Tabel 3.6. N-mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) in 1998 in verschillende diepte-intervallen in de rug en in de voor. De resultaten zijn het gemiddelde van metingen aan drie mengmonsters van akker 23.

Laag (cm)	26 mei - 7 juli		7 juli - 27 juli	27 juli- 31 aug.
	rug	voor	rug	rug
0-10	0.33	0.35	0.34	0.33
10-20	0.19	0.14	0.26	0.38
20-30	0.12	0.01	0.28	0.42
0-30	0.64	0.50	0.88	1.13

3.4 N-mineraalprofielen

In het begin van het groeiseizoen (26 mei) worden N-gehalten van 7 tot 13 mg N kg^{-1} gevonden in het gehele bodemprofiel (Fig. 8). Op de latere tijdstippen neemt vooral in de bovengrond het N-gehalte af en blijft het N-gehalte op 65 cm diepte ongeveer gelijk.



Figuur 8. N-mineraalprofielen op verschillende tijdstippen in 1998.

3.5 Gewasontwikkeling

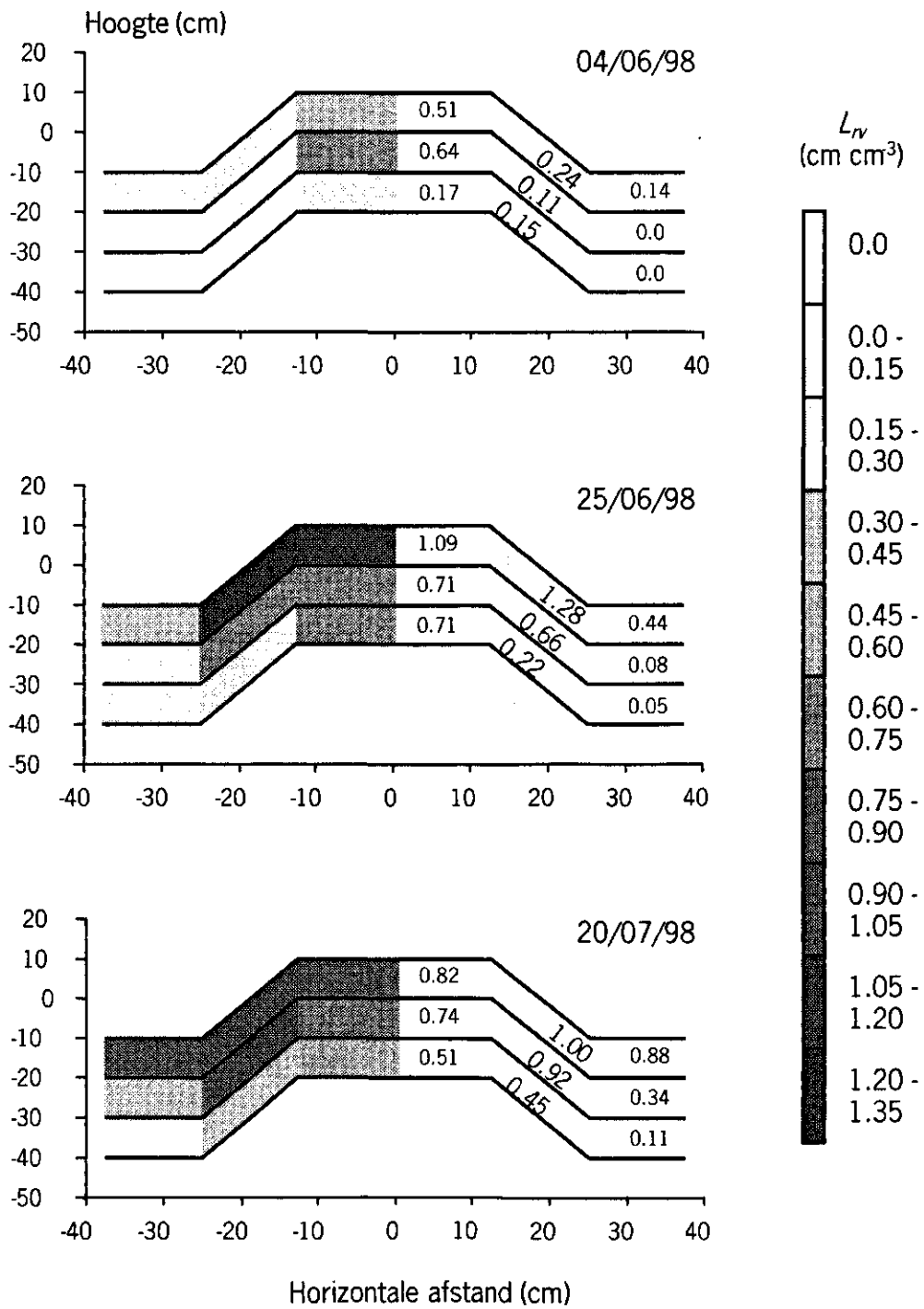
Het aardappelras Agria werd in 1998 verbouwd op de akkers 22 en 23. De aardappelen zijn gepoot op 15 mei 1998 op een diepte van ongeveer 10-12 cm onder de bovenzijde van de aardappelrug. Vooral in het beginstadium van de groei zijn er veel proefoogsten verricht. Door phytophthora-infectie in juli 1998 is het aardappelgewas in de proefvelden 22 en 23 afgestorven. De verdere ontwikkeling van het gewas is gemeten op vergelijkbare objecten. De knolvorming en N-opname gaat nog door tot ongeveer 20 augustus; daarna wordt er netto weinig N meer opgenomen door het gewas.

Tabel 3.7. Ontwikkeling van aardappel in 1998 op het OM2-blok van akker 23 (gegevens van A. van Delden).

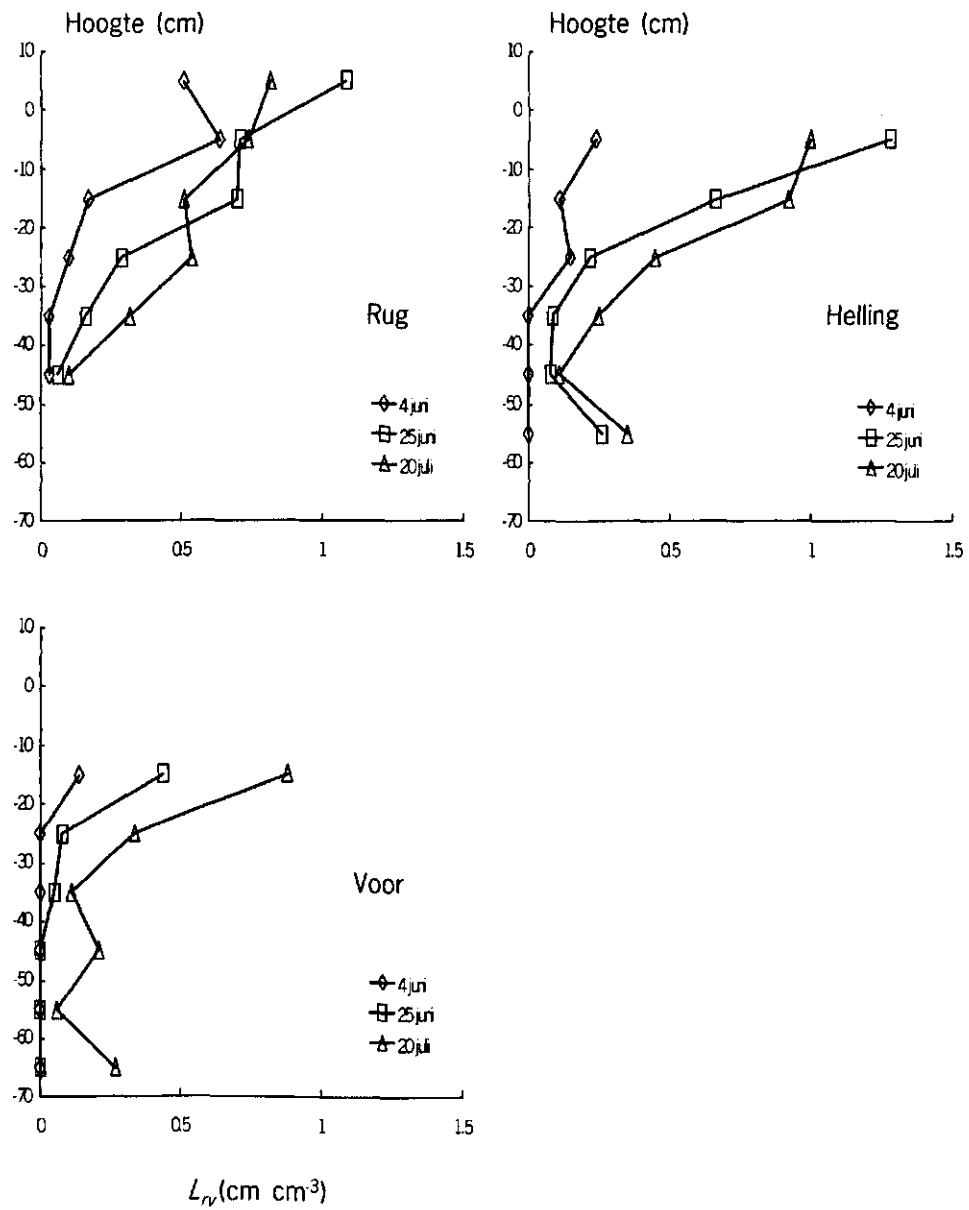
Datum	Drogestof (kg ha ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	Temperatuursom (°C d)	N-opname (kg N ha ⁻¹)
4 juni	69	0.02	70	3.3
15 juni	389	0.41	202	18.6
24 juni	841	0.78	331	25.3
16 juli	3576	1.83	628	50.0
20 augustus	10097	1.68	1135	108.0

3.6.1 Beworteling

De beworteling is gemeten op drie tijdstippen: 4 juni, 25 juni en 20 juli 1998 door middel van boormonsters. In Figuur 9 zijn de gemeten wortellengtedichtheden op de verschillende posities in de aardappelrug weergegeven. De resultaten zijn gemiddelden ($n = 4$) van akker 22 en 23. De beworteling op 4 juni is vooral geconcentreerd rond de aardappelknol die op ongeveer 10-12 cm onder de bovenzijde van de aardappelrug is gepoot. Op 25 juni is de beworteling verder uitgebreid, met vooral hogere dichtheden in de bovenste bodemlagen. Op 20 juli neemt de bewortelingsdichtheid op de meeste posities in de aardappelrug af, waarschijnlijk door de phytophthora-infectie. De bewortelingsdiepte reikt tot circa 50 cm onder de bovenzijde van de aardappelrug (Fig. 10). In de 'helling' en de 'voor' worden op de 4 juni en 30 juli nog wortellengtedichtheden van 0.25 cm cm⁻³ gemeten op 50 tot 70 cm diepte.



Figuur 9. Wortellengedichtheden (L_v) in de aardappelrug in 1998.



Figuur 10. Wortellengtedichtheden (L_v) gemeten ten opzichte van de aardappelrug in 1998.

4. Discussie experimentele resultaten

4.1 N-mineralisatie

De N-mineralisatie in de bouwvoor (0-30 cm) neemt toe in de loop van het groeiseizoen (Tabel 4.1). In periode 1 (26 mei - 7 juli) is er vooral N-mineralisatie in de laag 0-10 cm, later gaan de lagen 10-20 en 20-30 cm meer bijdragen. Door het natte groeiseizoen blijven de drukhoogten laag (Tabel 3.2) en lopen de bodemtemperaturen niet snel op (Tabel 3.3). De 0-10 cm bovenlaag blijft relatief het droogst en warmt het snelst op, waardoor daar de N-mineralisatie het eerst begint. In periode 2 (7 juli - 27 juli) en 3 (27 juli - 31 augustus) blijft de bodemtemperatuur in de 0-10 cm laag het hoogst en liggen de drukhoogten in alle bodemlagen in het traject $-500 < b < -100$ cm. Het is opvallend dat in periode 3 de N-mineralisatie in de laag 20-30 cm het hoogst wordt. De cumulatieve N-mineralisatie is voor alle 10-cm lagen gedurende de gehele periode ongeveer 25 kg N ha^{-1} . Dit resultaat bevestigt onze hypothese dat in de bouwvoor de potentiële mineralisatie voor alle bodemlagen gelijk is, maar dat door de fysische omstandigheden (bodemwatergehalte en bodemtemperatuur) de tijdstippen van N-mineralisatie verschillend zijn. Bij deze specifieke situatie van een aardappelrug die is opgebouwd uit het oorspronkelijke materiaal van de 0-30 cm bouwvoor, ontstaat er een verdeling van de organische stof waarbij de aardappelrug relatief rijk is aan organische stof. De posities 20-30 cm onder de 'voor' liggen onder de oorspronkelijke bouwvoor en bevatten dus weinig mineraleerbaar organisch materiaal. Als eerste benadering veronderstellen we dat er alleen N-mineralisatie optreedt in de bodemlagen die zijn opgebouwd uit materiaal dat afkomstig is van de oorspronkelijke 0-30 cm-mv bouwvoor.

Het verschil in organische-stofgehalte tussen akker 22 (2,2 %) en akker 23 (2,5%) heeft geen effect op de gemeten N-mineralisatie in de aardappelrug. Akker 22 is beter ontwaterd dan akker 23, wat blijkt uit de lagere drukhoogten op alle diepten. Drukhoogten, TDR-watergehaltes en N-mineralisatiesnelheden als functie van de afstand tot de drain zijn niet substantieel verschillend.

Door de wijze van opbouw van de aardappelrug kunnen metingen van N-mineralisatie in de rug niet direct vertaald worden naar N-mineralisatie op de veldschaal. Om een schatting van de N-mineralisatie te maken verdelen we de bovengrond in drie gedeelten: rug, helling en voor, die ieder 1/3 van het totale veld representeren. In de rug hebben we de N-mineralisatie gemeten en nemen we het gemiddelde van akkers 22 en 23 representatief. In de 'voor' zien we in periode 1 een vergelijkbare N-mineralisatie als in de rug voor de lagen 0-10 en 10-20 cm (Tabel 3.2), terwijl voor de laag 20-30 cm in de voor de mineralisatie erg laag was. Ik veronderstel dat de N-mineralisatie in de lagen 0-10 en 10-20 cm voor zowel rug, helling als 'voor' gelijk zijn. De laag 20-30 cm onder de 'voor' bevat nauwelijks organische stof en de N-mineralisatie wordt hier 0 verondersteld. De laag 20-30 cm onder de helling ligt tussen de waarde van 20-30 cm onder de rug en 20-30 cm onder de voor. Met deze veronderstellingen zijn Tabellen 4.1 en 4.2 gecreëerd, die als uitgangspunt voor de modelverkenningen met FUSSIM kunnen dienen.

De relatie tussen N-mineralisatie en bodemtemperatuur is waarschijnlijk niet af te leiden uit de beperkte meetgegevens van deze veldexperimenten. De uitersten in gemiddelde bodemtemperaturen (Tabel 3.3) $15.6 < T < 18.7$ °C zijn relatief klein. De gemeten drukhoogten liggen tussen $-500 < b < -60$ cm en bieden perspectief om een relatie tussen drukhoogte (of watergehalte) en N-mineralisatie af te leiden.

Rodrigo *et al.* (1997) geven een overzicht van de beschrijving en van de relaties tussen N-mineralisatie, bodemtemperatuur en watergehalte zoals die in verschillende (organische-stof)modellen worden gebruikt. Er bestaan verschillen van een factor 3 in de functies voor temperatuur tussen de modellen. Verschillen in de beschrijving van het effect van het watergehalte zijn kleiner. De meest praktische benadering is om de functies in het model MOTOR (Whitmore, 1995) te gebruiken en te evalueren hoe goed onze meetgegevens worden beschreven. Analyses van Bloem *et al.* (1994) laten zien dat verschillen in N-mineralisatie op de Lovinkhoeve voor een groot gedeelte door het organische-stofgehalte worden

verklaard. Het lijkt interessant om ook de bestaande veldgegevens van K.B. Zwart (pers. comm.) voor kleinere N-mineralisatiebuizen te vergelijken met onze resultaten.

Tabel 4.1. N-mineralisatiesnelheid (kg N ha⁻¹ d⁻¹) in 1998 in verschillende diepte-intervallen in de rug, helling en in de voor. De resultaten zijn een interpretatie van de metingen op akkers 22 en 23, waarbij d.m.v. interpolatie schattingen zijn gemaakt voor posities waar niet is gemeten.

Laag (cm)	26 mei - 7 juli			7 juli - 27 juli			27 juli - 31 aug.		
	rug	helling	Voor	rug	helling	voor	rug	helling	voor
0-10	0.33	0.33	0.33	0.39	0.39	0.39	0.32	0.32	0.32
10-20	0.18	0.18	0.18	0.30	0.30	0.30	0.39	0.39	0.39
20-30	0.17	0.09	0.00	0.30	0.15	0.00	0.45	0.23	0.00
0-30	0.68	0.60	0.51	0.99	0.84	0.69	1.16	0.94	0.71

Tabel 4.2. N-mineralisatie (kg N ha⁻¹) in 1998 in verschillende diepte-intervallen in de rug, helling en voor. De resultaten zijn het gemiddelde van akkers 22 en 23.

Laag (cm)	26 mei - 7 juli			7 juli - 27 juli			27 juli - 31 aug.		
	rug	helling	voor	rug	helling	voor	rug	helling	voor
0-10	14	14	14	8	8	8	11	11	11
10-20	7	7	7	6	6	6	14	14	14
20-30	7	4	0	6	3	0	16	8	0
0-30	28	25	21	20	17	14	41	33	25

4.2 N-balans

De hoogste bewortelingsdichtheden zijn gemeten op de posities in de aardappelrug waar de N-mineralisatiesnelheden het hoogst zijn (Fig. 9). De bewortelingsdichtheden zijn voor een aardappelgewas aan de lage kant: de maximale waarde was 1.1 cm cm⁻³. Vos & Groenwold (1986) vonden in andere proeven waarden tot 3 cm cm⁻³. Op 25 juni en 20 juli is een toename in de bewortelingsdichtheden op een diepte van 50- 70 cm gemeten (Fig. 10). De hogere hoeveelheden N op deze posities (Tabel 4.3) kunnen de aanleiding zijn voor een verhoogde wortelgroei op deze dieptes. De N-opname in onze experimenten is tot medio juli gemeten. Vervolgens werd het gewas door phytophthora aangetast. Op een aangrenzend, vergelijkbaar proefveld is 108 kg N ha⁻¹ N-opname gemeten tot de oogst op 31 augustus.

In de bouwvoor (0-30 cm) was op 26 mei 42 kg N ha⁻¹ aanwezig en in de diepere lagen (30-90 cm) bevond zich 81 kg N ha⁻¹. De stikstof is reeds in de natte periode voor het poten naar 30-90 cm diepte getransporteerd. De totale beschikbare hoeveelheid N in het bodemprofiel gedurende de periode 16 mei tot 31 augustus was dus: N-inhoud + N-mineralisatie = 42 + 81 + 75 = 198 kg N ha⁻¹. Het gewas heeft 108 kg N opgenomen, zodat er 90 kg N overblijft die verloren kan gaan. Hierbij zijn de verliezen door denitrificatie in de bouwvoor nog niet meegerekend. Denitrificatie is al deels verrekend in de netto N-mineralisatie zoals die met de N-min buizen wordt gemeten.

*Tabel 4.3. N-inhoud bodemprofiel (kg N ha⁻¹) in 1998 in verschillende diepte-intervallen onder de rug.
De resultaten zijn het gemiddelde van akkers 22 en 23.*

Laag (cm)	26 mei	7 juli	27 juli
0-10	17	2	2
10-20	10	3	1
20-30	15	6	10
0-30	42	11	13
30-60	45	19	16
60-90	36	42	42
0-90	123	72	71

5. Simulatieberekeningen met FUSSIM2

Hierboven is genoemd dat er voldoende informatie is verzameld om met het model FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998a) simulatieberekeningen uit te voeren. In dit hoofdstuk zal een aantal simulatie-resultaten getoond worden. Het is niet de bedoeling om hier een uitgebreide validatie en calibratie uit te voeren. Dit zal pas geschieden wanneer meerdere experimentele gegevens beschikbaar zijn. Tevens zijn de huidige gegevens niet optimaal omdat het gewas afstierf als gevolg van phytophthora-aantasting.

Voor een goede simulatie is het nodig dat een koppeling bestaat tussen FUSSIM2, een aardappelgroei-model en een organische-stofmodel (bijv. MOTOR). Deze koppeling is nog niet beschikbaar. Derhalve is de simulatie uitgevoerd met FUSSIM2 gekoppeld aan een dummy-model welke de benodigde mineralisatie en gewasparameters, zoals gemeten en hierboven beschreven, beschikbaar stelt aan FUSSIM.

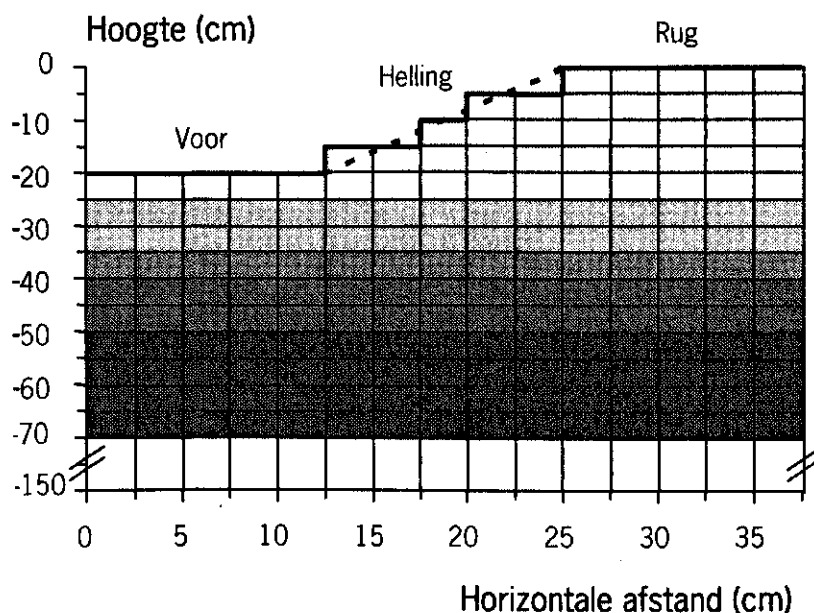
In sectie 5.1 zal de hierboven beschreven situatie nagerekend worden. In sectie 5.2 zal een aantal exploratieve berekeningen uitgevoerd worden.

5.1 Simulatie 1998

5.1.1 Samenvatting invoergegevens

Geometrie en profielopbouw

Voor de simulatieberekening is gekozen voor een aardappelrug gelegen midden tussen twee drains. Omdat er in 1998 weinig verschillen in horizontale verdeling van water (zie Fig. 4) werden waargenomen kan worden volstaan met een simulatie van een enkele rug. De twee-dimensionale voorstelling van de aardappelrug is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11. Schematische voorstelling van een aardappelrug gebruikt voor het simulatiemodel FUSSIM2. De bokjes stellen de rekenelementen van het model voor. De arceringen stellen de laagverdeling voor.

De elementen in Figuur 11 stellen de rekeneenheden van FUSSIM2 voor. De totale diepte van het profiel (onder de rug) werd gesteld op 150 cm, omdat de grondwaterstanden boven dit niveau bleven (zie hieronder). De rijafstand was 75 cm, en de halve rijafstand werd beschouwd, waarbij de voor, de helling en de rug ieder 1/3 deel omvatten. Vanwege symmetrieoverwegingen zijn de linker- en rechterrand ondoorlatend. Aan de bovenrand vindt input via neerslag (NLD74.998) plaats en verdwijnt water door verdamping. De begrenzing aan de onderkant is als volgt behandeld. De gemeten grondwaterstanden van akker 23 (Fig. 4) zijn gebruikt als bekende posities van het grondwater. Simulaties zijn uitgevoerd tot aan dit niveau. Elke tijdstap werd een nieuwe grondwaterstand via lineaire interpolatie uit de meetwaarden verkregen. De profielopbouw met bijbehorende fysische eigenschappen is die volgens De Vos (1997; zijn Tabel 8.3). Hysteresis werd beschouwd, waarbij de hoofd-vernattingscurve, behalve voor de α -parameter, door dezelfde parameters werd beschreven als de hoofd-uitdrogingscurve. De α -parameter voor de vernattingscurve was twee keer groter dan die voor de uitdrogingscurve. De droge bulkdichtheid was voor de verschillende lagen: 1.4 g cm^{-3} (0-30 cm), 1.3 g cm^{-3} (30-60 cm), 1.2 g cm^{-3} (60-90 cm), 1.1 g cm^{-3} (90-150 cm) (J.A. de Vos, ongepubliceerde gegevens). De initiële drukhoogteverdeling werd gegeven door een evenwichtsprofiel met $h = +30 \text{ cm}$ op diepte 150 cm.

Evapotranspiratie, transpiratie, evaporatie

Uit de weersgegevens (NLD74.998) is volgens Makkink de potentiële evapotranspiratie ET_0 berekend (Van Kraalingen & Stol, 1997). Hieruit is de potentiële transpiratie T_p berekend op basis van de LAI en een gewasfactor f_c voor aardappel

$$T_p = f_c ET_0 (1 - \exp(-k_c LAI)), \quad (1)$$

waarin k_c een gewasfactor is waarvoor de waarde 0.525 is gebruikt. De gewasfactor f_c is gehaald uit Feddes & Koopmans (1995; hun Tabel 5.7-1); omdat het gewas in 1998 later is gepoot dan de streefdatum in Feddes & Koopmans, zijn de waarden 1 decade in de tijd opgeschoven (Tabel 5.1). De actuele transpiratie T_a wordt berekend volgens het opnamemodel van FUSSIM2.

Tabel 5.1. Gewasfactor f_c per decade per maand (naar Feddes & Koopmans, 1995; waarden 1 decade in de tijd opgeschoven; zie tekst voor verklaring).

Mei	Juni			Juli			Augustus			September	
III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
0.7	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.7

De potentiële evaporatie E_p volgt uit

$$E_p = ET_0 - T_p. \quad (2)$$

De actuele verdamping wordt berekend volgens Heinen & De Willigen (1998b).

Gewasparameters

De LAI en de benodigde N-opnamesnelheid uit Tabel 3.7 zijn gebruikt. De bewortelingsgegevens van Figuur 10 zijn gebruikt. Voor tussenliggende dagen is de wortelverdeling via lineaire interpolatie verkregen.

Overige benodigde parameters waren ingesteld op aangenomen, realistische waarden: doorlatendheid wortelwand $K_1 = 5.1 \cdot 10^{-6} \text{ cm d}^{-1}$, gemiddelde wortelstraal $R_0 = 0.02 \text{ cm}$, Campbell reductiefunctie parameters $a = 10$ en $b_{r,1/2} = -10^4 \text{ cm}$, reflectiecoëfficiënt $\sigma = 0.9$ en osmotische potentiaal in de wortel $b_{os,r} = 0 \text{ cm}$, en de fysiologische maximale N-opnamesnelheid per eenheid worteloppervlak $F_{max} = 6.05 \cdot 10^{-4} \text{ mmol cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Stikstof

Voor N geldt dat er over de linker-, rechter- en bovenrand geen transport plaatsvindt. Over de onder- rand vindt alleen transport naar beneden plaats indien er water naar beneden stroomt; eenmaal uitge- spoeld N zal dus niet meer terug keren. Er is geen N-bemesting uitgevoerd, en er heeft geen N-depo- sitie plaatsgevonden. Er werd geen gebruik gemaakt van de modules om (de)nitrificatie en ammonium adsorptie te berekenen.

De benodigde N-opnamesnelheid uit Tabel 3.7 is gebruikt. FUSSIM2 rekent uit wat de maximaal mo- gelijke N-opname is op basis van de water- en N-verdeling. Er is gebruik gemaakt van een zero-sink- opnamemodel (zie ook data bij 5.1.3). Indien de vraag kleiner is dan de maximaal mogelijke opname dan wordt de gevraagde hoeveelheid opgenomen, anders wordt het maximaal mogelijke opgenomen.

De initiële N-verdeling (Tabel 5.2) in het profiel is afkomstig uit Figuur 8 (akker 23).

De N-mineralisatiesnelheid uit Tabel 4.1 is gebruikt. Deze is voor de opgegeven intervallen constant gehouden.

De longitudinale en transversale dispersielengtes waren door De Vos (1997) vastgesteld op, respectie- velijk, $a_l = 10 \text{ cm}$ en $a_r = 1 \text{ cm}$. De diffusiecoëfficiënten voor NO_3 en NH_4 zijn, respectievelijk, 1.64 en $1.69 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$. De gebroken-lijn relatie tussen de tortuositeitsparameter en het volumetrisch water- gehalte zijn de waarden die gelden voor zand of zavel (Heinen & De Willigen, 1998a): $f_1 = 1.58$, $f_2 = 0.17$ en $\theta_l = 0.12$.

Tabel 5.2. De initiële verdeling van NO_3 , NH_4 en N-min ($=\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) in de diverse lagen van het bodemprofiel (mg N kg^{-1} droge grond).

Laag (cm)	NO_3 (mg kg^{-1})	NH_4 (mg kg^{-1})	N-min (mg kg^{-1})
0-10	12.16	0.67	12.83
10-20	7.65	0.63	8.28
20-30	9.41	0.81	10.22
30-60	10.99	0.57	11.56
60-90	8.96	0.80	9.76
90-150*	5.0	0.5	5.5

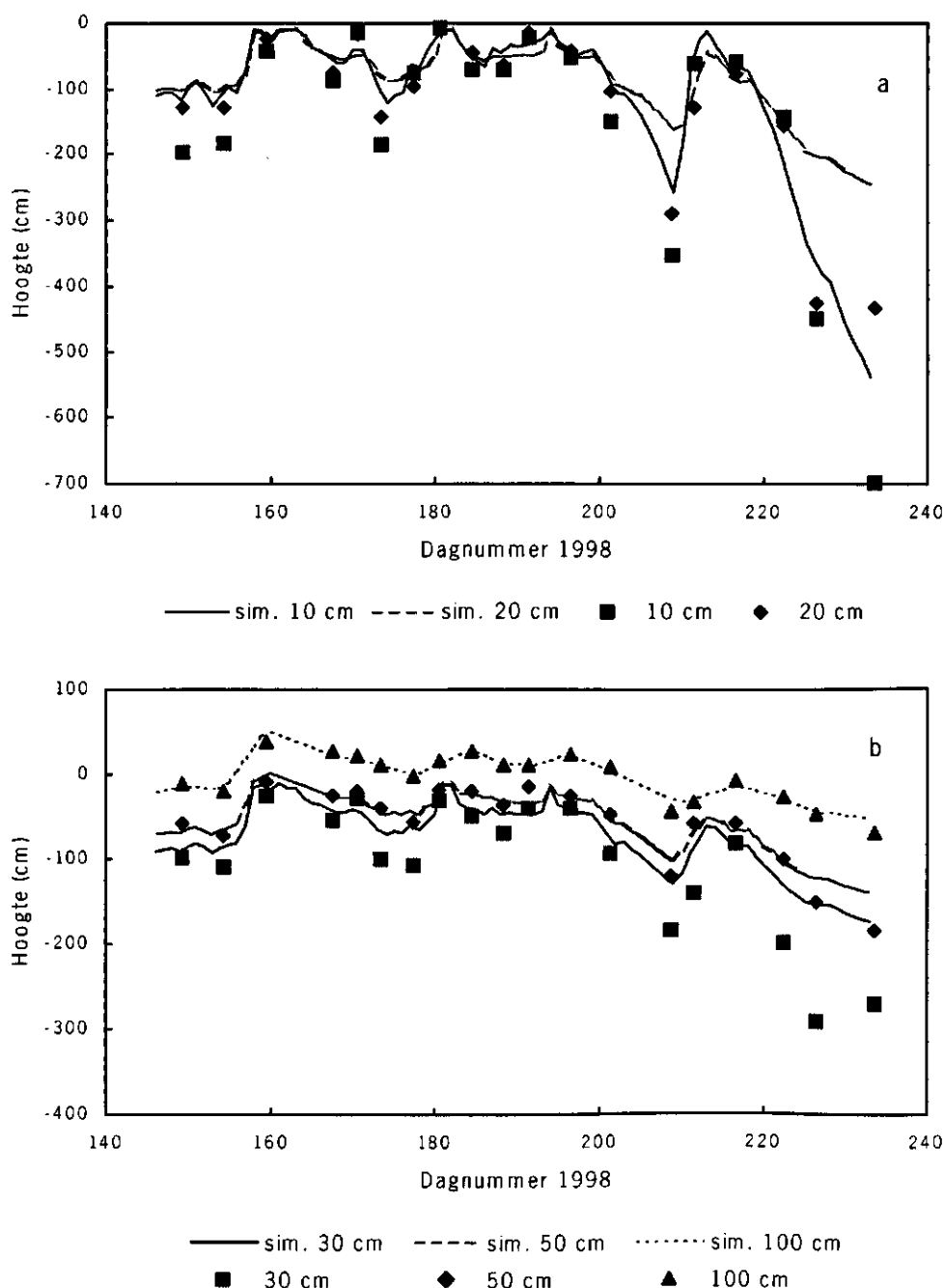
* aangenomen waarden.

5.1.2 Resultaten

In deze sectie wordt een drietal gesimuleerde resultaten vergeleken met metingen: drukhoogteprofiel, transpiratie en evaporatie, N-min profiel en N-opname.

Drukhoogte

Op vijf dieptes (10, 20, 30, 50 en 100 cm) onder de bovenkant van de rug zijn drukhoogtes gemeten als functie van de tijd. Deze metingen hebben ook plaatsgevonden midden tussen twee drains en kunnen dus vergeleken worden met gesimuleerde waarden op deze dieptes. De simulatiewaarden waren niet precies op deze dieptes bekend, maar zijn via middeling van de twee meest nabijgelegen knooppunten verkregen. In Figuur 12a zijn de resultaten voor de dieptes 10 en 20 cm te zien, en in Figuur 12b zijn de resultaten voor de dieptes 30, 50 en 100 cm te zien.



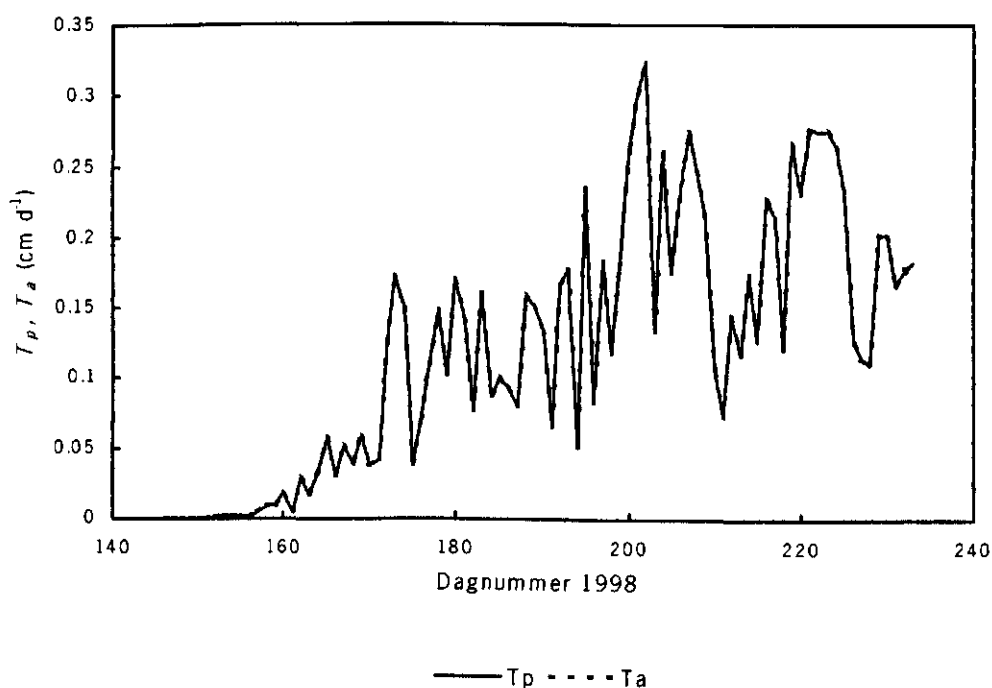
Figuur 12. Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (lijnen) drukhoogteprofielen $b(z)$ op dieptes a) 10 en 20 cm, en b) 30, 50 en 100 cm.

Met name voor de dieptes 50 en 100 cm is de overeenkomst groot. Voor de bovenlaag zijn er verschillen. Hierbij moet in aanmerking genomen worden dat de bovenlaag als gevolg van het opruggen een andere structuur heeft gekregen. Daarom zullen de fysische eigenschappen voor de bovenlaag anders zijn dan die van ongestoorde grond. De gebruikte fysische eigenschappen zijn dus niet correct geweest. Dit is de meest aannemelijke verklaring voor de waargenomen verschillen. Gezien de grote overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde waarden, mag gesteld worden dat we met het model FUSSIM2 goed de waterbeweging in een aardappelrug op de Lovinkhoeve kunnen simuleren.

De overeenkomst op 100 cm is niet zo verwonderlijk, omdat de gemeten grondwaterstand als onder-
randvoorwaarde in FUSSIM2 is gebruikt. De grondwaterstand (Fig. 4) fluctueerde rond deze diepte.

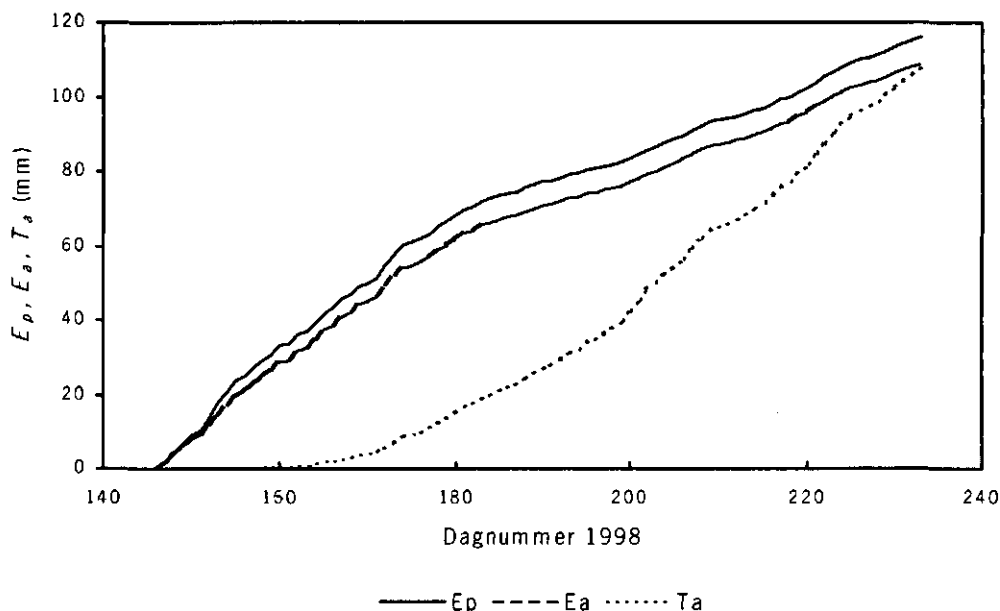
Transpiratie en evaporatie

Uit Figuur 13 valt op te maken dat er geen verschil is tussen actuele en potentiële transpiratie. Vanwege de natte toestand (sectie 3.2.1.) kon het wortelsysteem de gevraagde hoeveelheid water steeds opnemen. Het gewas was niet goed ontwikkeld. Dit levert lage LAI -waarden, en daardoor lage potentiële transpiratie (Vgl. (1)). De lagere groeisnelheid van het gewas leidde ook tot een lagere beworteling. De hoeveelheid wortels waren echter voldoende om de gevraagde hoeveelheid water op te nemen.



Figuur 13. Gesimuleerde potentiële (T_p) en actuele transpiratie (T_a).

Vanwege de geringere gewasontwikkeling betekende het wel dat de bijdrage van verdamping van water aan het bodemoppervlak een groter onderdeel vormde van de totale hoeveelheid water die moest verdampen (Vgl. (2)). Aan deze vraag kon niet altijd worden voldaan door de bodem (Fig. 14).

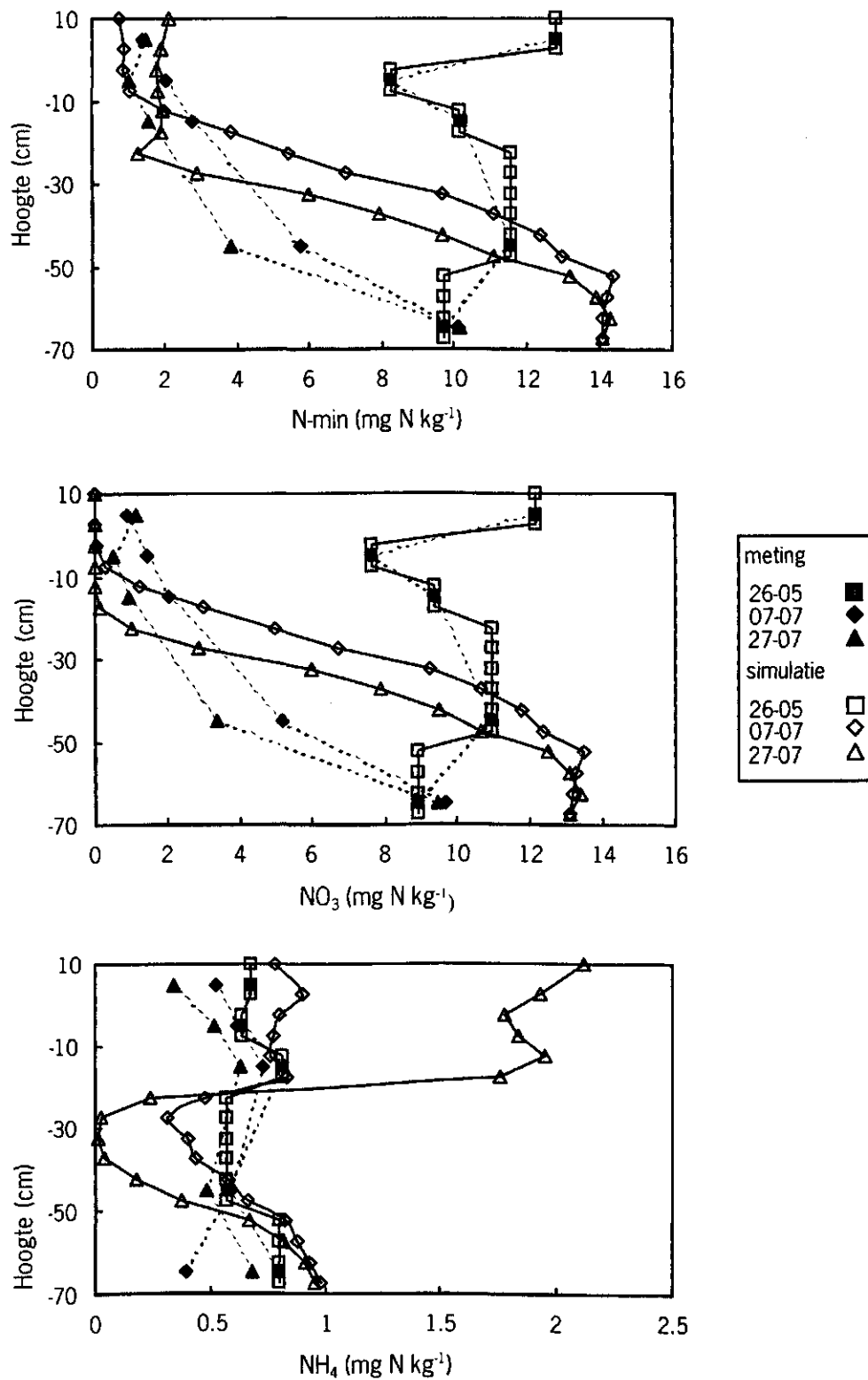


Figuur 14. Gesimuleerde cumulatieve potentiële (E_p) en actuele evaporatie (E_a) van water aan het bodemoppervlak, en gesimuleerde cumulatieve transpiratie (T_a).

N-min profiel

De N-min-bemonsteringen (Fig. 8) geven de mogelijkheid om het onderdeel stoffentransport van FUSSIM2 te toetsen. In Figuur 15a zijn de gemeten en gesimuleerde (midden van de rug) N-min profielen gegeven. Het gesimuleerde en het gemeten profiel aan het begin van de teelt stemmen uiteraard overeen, omdat de metingen gebruikt zijn ter initialisatie van het model. Op de overige twee tijdstippen komen de gesimuleerde waarden in de bovenste 30 cm vrij goed overeen met de metingen. Dieper in het profiel wordt het N-min-gehalte een factor 1.5 à 2 overschat. Een mogelijke verklaring voor de overschatting kan zijn dat op deze diepten denitrificatie een rol gespeeld kan hebben. Immers ook op die diepten komt organische stof voor (Tabel 3.1) en is het altijd zeer nat geweest (sectie 3.2.1). Denitrificatie werd niet beschouwd in de berekeningen.

De metingen en simulaties zijn tevens beschikbaar uitgesplitst over NO_3 en NH_4 . Boven in het profiel wordt gesimuleerd dat op de latere tijdstippen er nauwelijks NO_3 is (Fig. 15b). In de twee diepere lagen bepaalt NO_3 het beeld van N-min (Fig. 15a). Het niet beschouwen van denitrificatie in de simulatieberekeningen kan hier de oorzaak van zijn. Voor NH_4 geldt dat de gehalten veel kleiner zijn dan van NO_3 (Fig. 15c). Over het algemeen zijn de gemeten en gesimuleerde profielen redelijk vergelijkbaar, behalve bovenin op het laatste tijdstip. Op dat moment wordt een heel hoog NH_4 -gehalte gesimuleerd. De overschatting van NH_4 en onderschatting van NO_3 bovenin het profiel kan veroorzaakt zijn doordat er een aanname is gemaakt over de verdeling van NO_3 en NH_4 over de N-opname. De verdeling vond plaats naar verhouding van maximaal opneembaar NO_3 en NH_4 . Er werd dus geen voorkeur voor opname gebruikt. Tevens zijn denitrificatie en NH_4 -adsorptie niet beschouwd bij de simulaties.

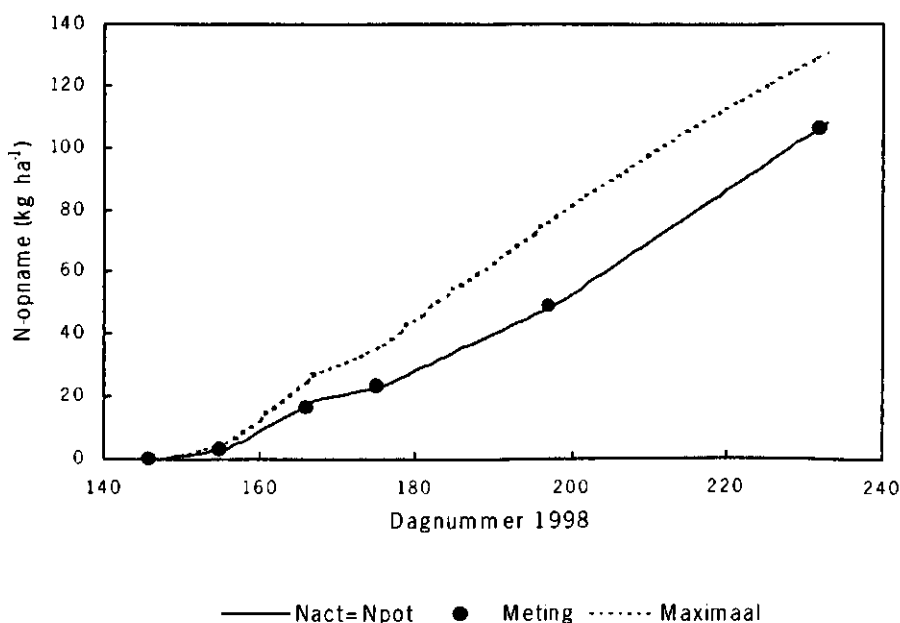


Figuur 15. Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (lijnen) N-profielen $N(z)$ voor a) $N\text{-min}$, b) NO_3 en c) NH_4 .

Uit het bovenstaande mag geconcludeerd worden dat FUSSIM2 redelijk tot goed in staat is het stoffen-transport te simuleren in een aardappelrug op de Lovinkhoeve. Toekomstige berekeningen waarin denitrificatie en eenvoudige NH_4 -adsorptie beschouwd worden zullen uitgevoerd worden om na te gaan in hoeverre deze processen de gesimuleerde N-min-profielen kunnen verbeteren. Tenslotte, er moet ook rekening gehouden worden met de kennis dat de N-min-metingen behept zijn met een grote meetfout (O. Oenema, persoonlijk mededeling). Derhalve moet de interpretatie van gesimuleerde en gemeten N-min-profielen met zorg geschieden.

N-opname

Figuur 16 laat zien dat de waargenomen opname ook inderdaad gerealiseerd kon worden door het huidige wortelstelsel (getrokken lijn versus symbolen). Met andere woorden, transport vanuit de bulkgrond naar de wortelwanden toe was toereikend. Omdat er geen potentiële N-opname bekend was, kan dit resultaat niet als validatie gelden. Ter illustratie is een tweede berekening uitgevoerd waarbij de N-opname-vraag twee keer groter werd gemaakt en alle overige parameters hetzelfde waren als in de eerste berekening. In dat geval zien we (Fig. 16, onderbroken lijn) dat met het huidige wortelstelsel meer opgenomen had kunnen worden, maar dat niet aan de hogere vraag voldaan kon worden. Met andere woorden, dat wat het gewas in werkelijkheid heeft gerealiseerd ligt dicht bij wat volgens het simulatiemodel maximaal mogelijk was. In het simulatiemodel wordt verondersteld dat voor gebieden met gelijke L_v de wortels uniform verdeeld zijn over dat gebied. In werkelijkheid zullen de wortels meer geclusterd voorkomen. In dat geval zal er minder maximaal opgenomen kunnen worden. Tevens is er een 'zero-sink' benadering bij de opname, en kunnen wortels in gunstige omstandigheden compenseren voor tekorten in opname van wortels in minder gunstige omstandigheden. Deze drie concepten leiden tot een overschatting door het model van wat maximaal opgenomen kan worden. Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat de nutriëntenopnamemodule van FUSSIM2 goed heeft gefunctioneerd in deze studie.

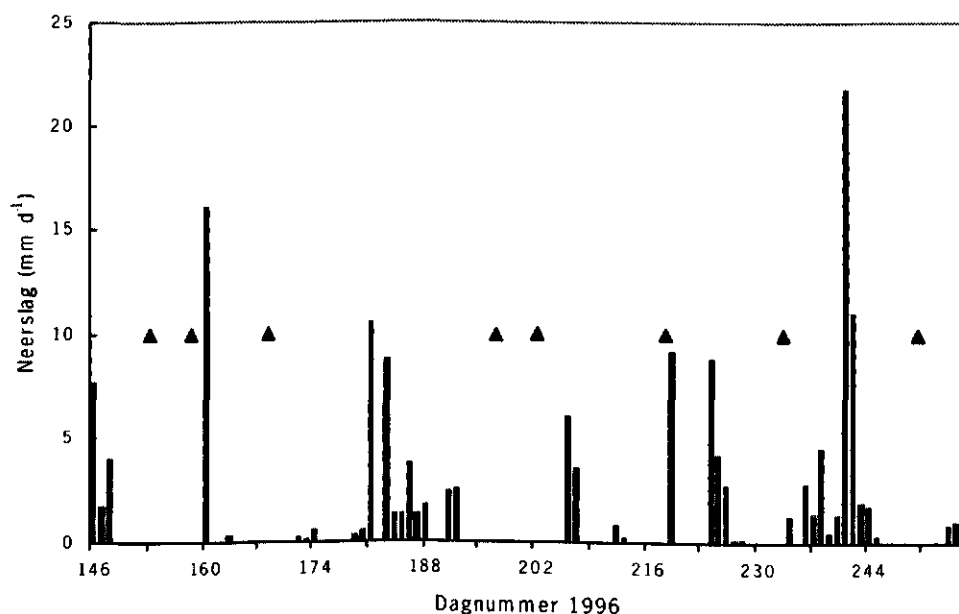


Figuur 16. Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (doorgetrokken lijn) N-opname als functie van de tijd. De onderbroken lijn stelt de gesimuleerde maximale hoeveelheid voor die onder de heersende omstandigheden en het aanwezige wortelstelsel maximaal opgenomen had kunnen worden (zie tekst voor nadere uitleg).

5.2 Exploratieve berekeningen

5.2.1 Beschrijvingen casussen

Ter illustratie hoe met een simulatiemodel verkenningen uitgevoerd kunnen worden volgen hier een paar resultaten van een vijftal berekeningen. Casus 1 lijkt erg veel op de situatie zoals in sectie 5.1 is beschouwd. De verschillen zijn: minder nat jaar met weersgegevens van weerstation Haarweg te Wageningen (NLD1.996) waarvan de neerslag in Figuur 17 te zien is, Lovinkhoeve bodemprofiel 0-100 cm met een constante grondwaterspiegel op 100 cm, gesimuleerde wortelgroei (diffusiemodel) met een constante dagelijkse toename aan wortelbiomassa van $1.76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (uit Jefferies, 1993; specifieke wortelsterfsnelheid 0.02 d^{-1}), L_4I -metingen uit Van den Broek & Kabat (1995; jaar 1987, natte behandeling), en N-opname-vraag uit Karvonen & Kleemola (1995) constant over opgegeven intervallen. De verschillen tussen de vijf casussen worden hieronder weergegeven.



Figuur 17. Neerslagpatroon 1996 voor de gebruikte simulatieperiode tijdens de exploratieve berekeningen. De symbolen stellen de tijden voor waarop in casus 3 berekening van 10 mm is toegepast.

Casus 2. Het initiële N-min-profiel van casus 1 liet zien dat veel N in de diepere lagen was bij aanvang en dat minder N in de bouwvoor aanwezig was. In casus 2 is de initiële N-min-verdeling aangepast zodat meer N in bouwvoor aanwezig is en minder N in de diepere lagen. De totale initiële hoeveelheid N was in beide gevallen vrijwel identiek (115 kg ha^{-1} voor casus 1 en 117 kg ha^{-1} voor casus 2). Casus 2 kan gezien worden als een voorbeeld van mestplaatsing.

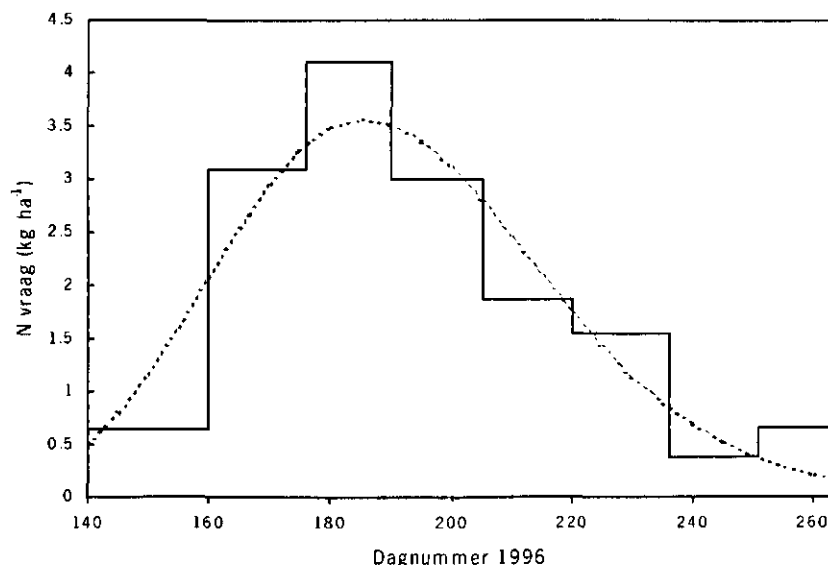
Casus 3. Het verschil tussen casus 2 en casus 3 is dat bij casus 3 berekening is toegepast in de hoop dat dit de N-opname verbetert. Berekening werd toegepast wanneer gedurende vijf achtereenvolgende dagen geen neerslag was gevallen. Berekening bestond uit een gift van 10 mm. Er werd geen rekening gehouden met toekomstige neerslag of met de mate waarin het bodemprofiel eventueel uitgedroogd was. In Figuur 17 zijn de dagen wanneer berekening is toegepast door middel van symbolen aangegeven.

Casus 4. In casus 4 is werd een *grotere wortelgroeisnelheid aangehouden dan in casus 2, namelijk 3.06 kg ha⁻¹ d⁻¹* (uit Jefferies, 1993). Deze casus was gekozen om na te gaan of een groter wortelstelsel in staat is meer N op te nemen.

Casus 5. De vraag naar N-opname in de voorgaande casussen was getrapd. In casus 5 (ten opzichte van casus 2) is een geleidelijk verloop in de vraag naar N verondersteld. In beide gevallen was de totale vraag aan het eind van de simulatieperiode gelijk (228 kg ha⁻¹). Ter illustratie zijn beide N-opname vragen in Figuur 18 opgenomen. De vorm van de getrapte vraag lijkt op een log-normale verdeling. Het geleidelijke verloop is derhalve beschreven door de volgende vergelijking

$$N = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-0.5\left(\frac{\log[t] - \mu}{\sigma}\right)^2\right], \quad (3)$$

waarin N de N-opname vraag is, t = het dagnummer en a , μ en σ zijn fitparameters; a bepaalt de hoogte van het maximum, μ stelt het dagnummer bij het maximum voor, en σ is een maat voor de standaardafwijking van de curve. Met behulp van Mathematica (Wolfram, 1991) is Vgl. (3) gefit aan de getrapte waarden. De gefitte waarden zijn: $a = 0.552$, $\mu = 2.269$, en $\sigma = 0.0617$.



Figuur 18. De N-vraag zoals gebruikt tijdens de exploratieve berekeningen. De getrapte lijn is afgeleid uit gegevens van Karvonen & Kleemola (1995) en is gebruikt in casussen 1-4. De klokvormige lijn is de vraag volgens Vgl. (3) zoals gebruikt in casus 5.

De resultaten hebben betrekking op de gerealiseerde N-opname. Bij de bestudering van de resultaten dient men zich te realiseren dat in de simulaties steeds 1 parameter is aangepast. In werkelijkheid zullen allerlei terugkoppelingen van invloed zijn op de uitkomsten. Betere simulaties kunnen pas uitgevoerd worden wanneer een koppeling met een gewasgroeimodel en een organische-stofmodel tot stand is gebracht. Tenslotte zal getoond worden dat de N- en drukhoogteverdeling in de rug een twee-dimensionaal patroon vertoont.

Als laatste voorbeeld wordt getoond het verschil in opname voor drie situaties waarbij de initiële verdeling van N_{min} verschillend is bij overigens gelijkwaardige omstandigheden. Hierbij is uitgegaan van

de gegevens zoals gebruikt in casus 5. Enkele vereenvoudigingen hierbij waren: bodemprofiel was 100 cm diep met een constante grondwaterspiegel op 100 cm, en enige relaxatie van extreme buien heeft plaatsgevonden (de totale neerslag bleef gelijk).

5.2.2 Resultaten

N-opname

In Tabel 5.3 zijn de gesimuleerde N-opnames (totaal en uitgesplitst over NO_3 en NH_4) voor de vijf casussen vermeld. Ter informatie zijn in Tabel 5.3 tevens de eindgehalten N (totaal, NO_3 , NH_4) gegeven. Casus 1 geeft de laagste opname. De grotere initiële N voorraad in de bouwvoor geeft hogere opnames. De berekening in casus 3 was bedoeld om in drogere periodes de beschikbaarheid van N te verhogen. Dit heeft geen effect op de N-opname gehad. Dus de preventieve berekening was in dit geval niet nodig geweest. Een gewas met een groter wortelstelsel, zoals in casus 4, heeft geleid tot een 21% grotere opname dan waargenomen bij casus 2 en 3. Het wat meer geleidelijke verloop van de N-vraag (casus 5) resulteerde in een 6% grotere opname dan gesimuleerd bij casus 4. Voor casus 5 was de gerealiseerde N-opname ongeveer 74% van de gevraagde opname.

Tabel 5.3. Totale N-opname en N-gehalten in het totale profiel aan het eind van de simulatie, tevens uitgesplitst over NO_3 en NH_4 . Zie tekst (5.2.1) voor uitleg van de verschillen tussen de vijf casussen.

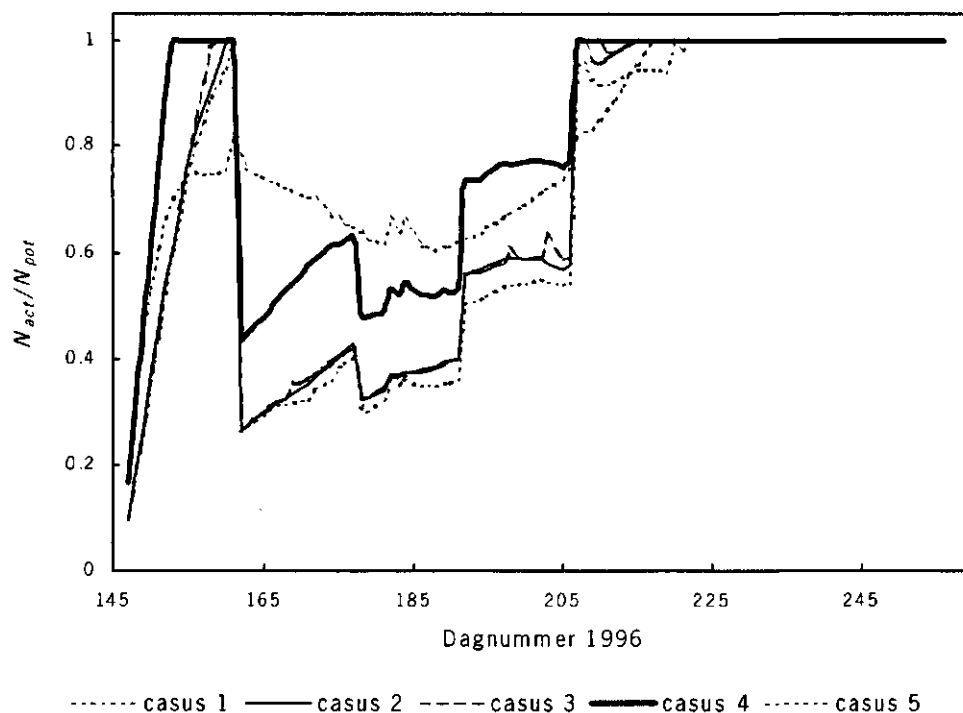
Casus	N-opname (kg ha^{-1})			N-gehalte 0-150 cm (kg ha^{-1})		
	totaal	NO_3	NH_4	totaal	NO_3	NH_4
1	124.8	63.0	61.8	75.0	42.4	32.6
2	130.9	70.9	60.0	72.3	37.9	34.4
3	131.1	69.7	61.4	71.4	38.4	33.0
4	159.0	91.1	67.9	44.3	17.8	26.5
5	169.1	97.3	71.8	34.3	11.7	22.6

In Figuur 19 zijn de gesimuleerde verhoudingen van actuele en gevraagde (potentiële; zie Fig. 18) N-opname per dag uitgezet als functie van de tijd. Een verhouding van 1.0 betekent dat de gevraagde opname ook werkelijk gerealiseerd kon worden. Een verhouding van kleiner dan 1.0 betekent dat niet voldoende N beschikbaar was voor opname. De gerealiseerde opname was in dat geval dus gelijk aan de maximaal op te nemen hoeveelheid (onder de aanname van 'zero-sink', evenredig verdeelde wortels, en compensatie, zoals hierboven genoemd).

Uit deze berekening blijkt dat de gebruikte wortelstelsel, i.c. de totale wortellengte, de beperkende factor is bij de te realiseren opname.

N- en drukhoogteverdeling

Ter illustratie is in Figuur 20 de drukhoogteverdeling en N-verdeling op twee opeenvolgende dagen gegeven. Op dag 219 is 9.1 mm neerslag gevallen. Uit Figuur 20 valt duidelijk te zien dat de dynamiek in de rug groot is, en dat er sprake is van ruimtelijke verdeling van water en N. Een twee-dimensionale aanpak is dus op zijn plaats.

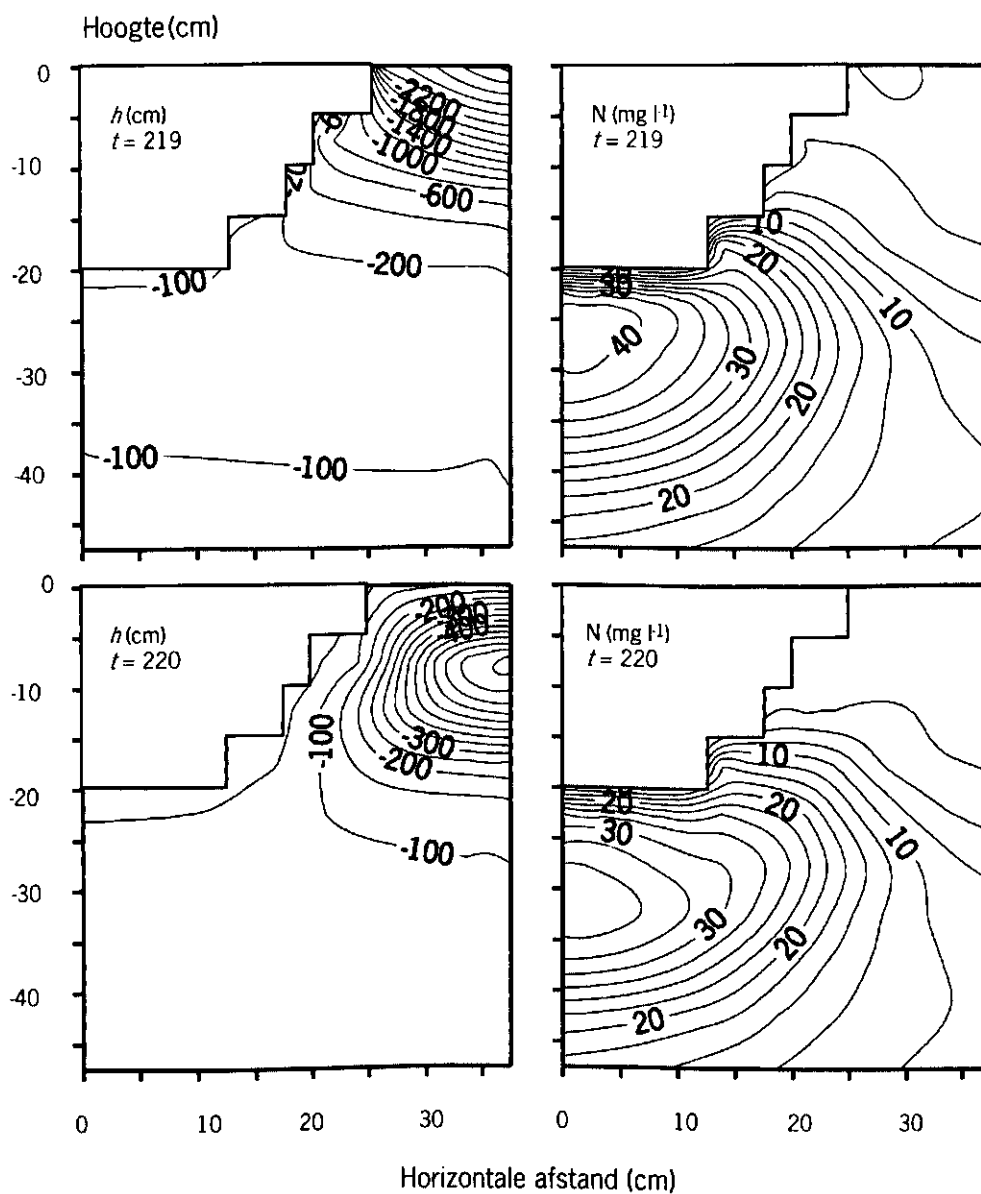


Figuur 19. De verhouding van gesimuleerde N-opname gedeeld door de N-vraag (uit Fig. 18) voor de vijf casussen.

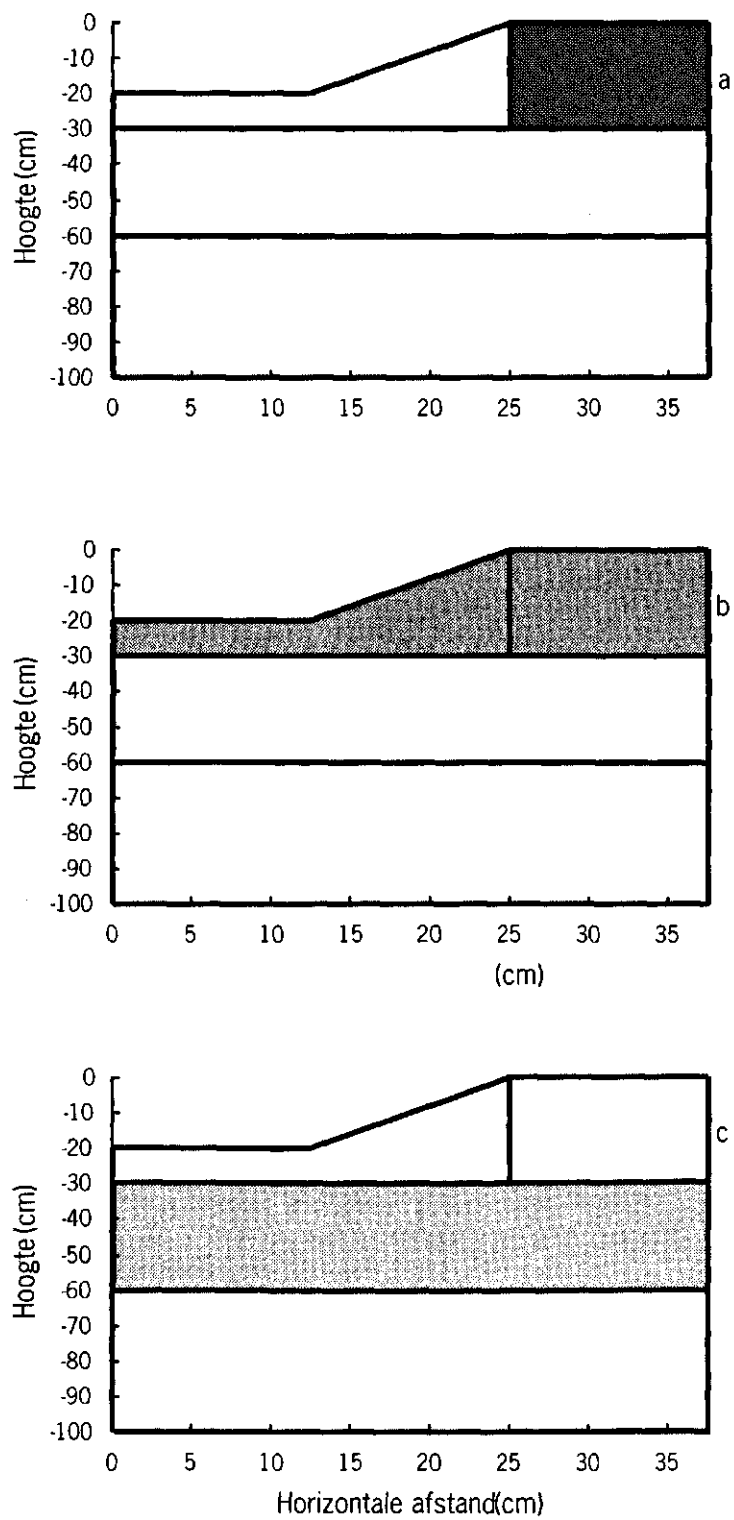
N-opname bij drie verschillende initiële Nmin-verdelingen

In Figuur 21 zijn de drie verschillende initiële Nmin-verdelingen weergegeven: a) alle N in de rug, of b) alle N gelijkmatig verdeeld over de laag 0-30 cm, of c) alle N in de laag 30-60 cm. Situatie c) zou zich voor kunnen doen wanneer N-bemesting in het najaar heeft plaatsgevonden, waarbij in een natte winter en een nat voorjaar de N is uitgespoeld. Situatie c) kan zich ook voordoen indien de mest diep is ondergeploegd. Situaties a) en b) kunnen gezien worden als specifieke plaatsing van mest voorafgaand aan het poten.

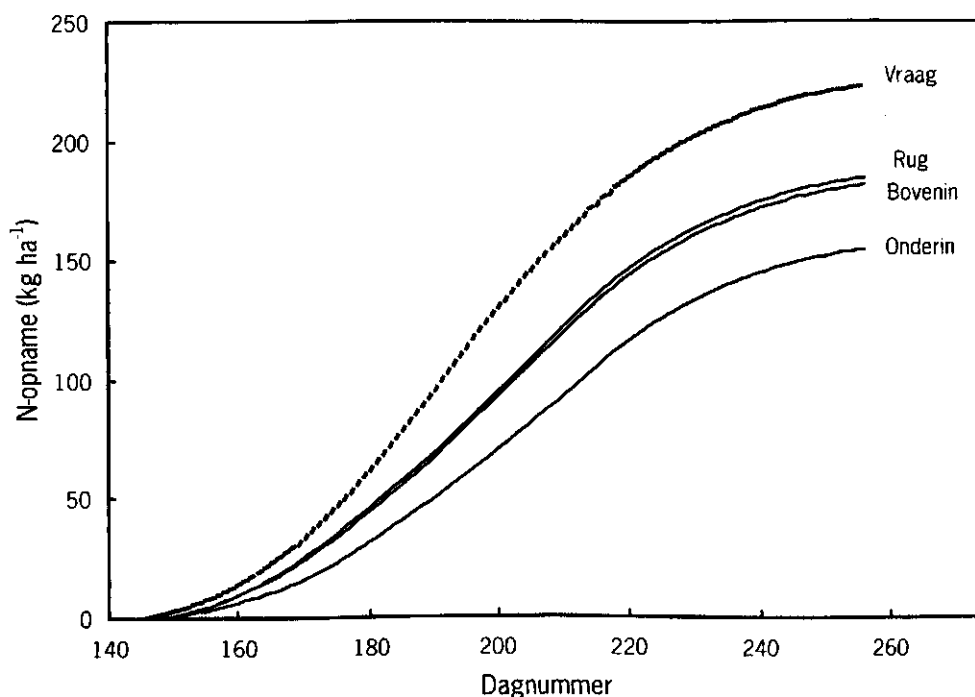
De gerealiseerde N-opname voor de drie situaties is weergegeven in Figuur 22, waarin ook de opgelegde vraag (gelijk voor de drie situaties) is opgenomen. De gerealiseerde N-opname voor situatie c) is duidelijk een stuk lager dan die van situaties a) en b). Het verschil tussen situaties a) en b) is gering. Het is duidelijk dat voor het gewas aardappel, dat niet zo'n groot wortelstelsel ontwikkelt, het gunstig is om bij aanvang van de teelt de initiële Nmin bovenin het bodemprofiel te hebben. Het resultaat kan niet zonder meer vertaald worden naar de praktijk. Daarvoor is de aanname onjuist dat alle overige omstandigheden gelijk zijn geweest. Het is beter om een gewasgroeimodel en een organische-stofmodel te koppelen aan FUSSIM2 om beter de reacties van de plant en van organische stof te voorspellen in afhankelijkheid van de omstandigheden in de bodem.



Figuur 20. Gesimuleerde contourplots voor drukhoogte h (cm) en N-concentratie in bodemoplossing (mg l⁻¹) voor twee achtereenvolgende dagen (219 en 220) in 1996.



Figuur 21. Schematische weergave van drie initiële N_{min} -verdelingen: a) in de rug, b) in de laag 0-30 cm (bovenin), en c) in de laag 30-60 cm (onderin).



Figuur 22. Gerealiseerde N-opname bij drie verschillende initiële Nmin-verdelingen (zie Fig. 21), gegeven een opgelegde vraag.

Volledigheidshalve is in Tabel 5.4 de massabalans voor N voor de drie situaties gegeven. Er was geen noemenswaardige uitspoeling naar het grondwater.

Tabel 5.4. N-balans voor het voorbeeld met drie verschillende initiële Nmin-verdelingen.

Post	Rug	Bovenin (0-30 cm)	Onderin (30-60 cm)
Initieel	122	122	121
Mineralisatie	87	87	87
Opname	184	182	154
Eind	24	27	54

De Willigen *et al.* (1995) hebben bij eerdere simulaties gekeken naar het effect van de initiële N-verdeling in de rug: uniforme verdeling in de laag 0-20 cm (ten opzichte van bovenkant rug) in vergelijking tot plaatsing van N in de bovenste 3 cm (rug, helling, voor). Er werd geen effect op N-opname gesimuleerd voor een matig lichte zavelgrond, maar wel een effect voor een leemarme fijne zandgrond. Voor de zandgrond had plaatsing in de eerste 3 cm een gunstig effect op de totale N-opname. Met andere woorden, conclusies over het nut van plaatsing moeten plaatsvinden in combinatie met het gekozen bodemtype.

6. Conclusies

De conclusies zijn gebaseerd op één jaar (1998) veldproeven op de zware zavelgrond van de Lovinkhoeve onder vrij natte omstandigheden.

De verdeling van organische stof en de drukhoogte bepalen grotendeels het verloop van N-mineralisatie in een aardappelrug. In het begin van het groeiseizoen (mei-juni) is de N-mineralisatie het hoogst in de 0-10 cm lagen van de rug. Later (juli-augustus) komt de N-mineralisatie in de diepere lagen (10-20 en 20-30 cm) op gang. De totale N-mineralisatie in de aardappelrug wordt op 75 kg N ha^{-1} geschat in de periode van 26 mei tot 31 augustus. Vooral de natte condities lijken het N-mineralisatieproces in het begin van het groeiseizoen te hebben geremd. Een betere ontwatering kan leiden tot hogere mineralisatie. Er lijkt een relatie te zijn tussen de relatief hogere bewortelingsdichtheid op dieptes $> 50 \text{ cm}$ en de daar nog aanwezige stikstof.

De experimentele gegevens zijn gebruikt voor een eerste aanzet tot toetsing van het model FUSSIM2. De gesimuleerde drukhoogteprofielen kwamen goed overeen met de gemeten profielen. Volgens de modelberekeningen kon de gemeten N-opname inderdaad gerealiseerd worden. Volgens het model kon onder ideale omstandigheden door het huidige wortelstelsel bij de heersende toestanden in de bodem niet veel meer N opgenomen worden dan gemeten. De gesimuleerde N-profielen kwamen redelijk goed overeen met de gemeten profielen. De oorzaken hiervoor zijn enerzijds de meetfout van de N-min-meting en anderzijds het feit dat niet alle N-processen in het model werden beschouwd. De meetfout in N-min heeft ook invloed op de gemeten N-mineralisatie die als input voor het model is gebruikt. Derhalve kan nog geen conclusie over de (on)juistheid van de N-min simulaties gegeven worden.

Ter illustratie zijn enkele verkennende berekeningen met het model FUSSIM2 uitgevoerd. In een later stadium worden de effecten van fysische condities op N-mineralisatie via het model MOTOR ingebracht.

7. Referenties

- Bloem, J., G. Lebbink, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, S.L.G.E. Burgers, J.A. De Vos & P.C. De Ruiter, 1994.
Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 51: 129-143.
- Broek B.J. van den & P. Kabat, 1995.
SWACROP: dynamic simulation model of soil water and crop yield applied to potatoes.
In: P. Kabat, B. Marshall, B.J. van den Broek, J. Vos & H. van Keulen (Eds.), *Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System*. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, pp. 299-333.
- Delden, A. van, 1998.
Analysis of competitiveness and yield in organic management of nutrients and crop protection. Report 82, AB-DLO, Wageningen.
- Dijk, W. van (Ed.), 1999.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PAV-publicatie nr. 95, Lelystad.
- Excursiegids, 1997.
Dr. H.J. Lovinkhoeve - Ecologisch proefbedrijf AB-DLO Marknesse. AB-DLO, Wageningen.
- Feddes, R.A. & R.W.R. Koopmans, 1995.
Agrohydrology 1995. Dictaat, Landbouwuniversiteit, Wageningen, 205 pp.
- Goss, M.J., M.H. Miller, L.D. Bailey & C.A. Grant, 1993.
Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands, 140 p.
- Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands, 140 p. *Eur. J. Agron.* 2 (2): 57-76.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998a.
FUSSIM2 A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media, Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands, 140 p.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998b.
From potential to actual evaporation of water at the soil surface. Internal Note, AB-DLO, Wageningen, 5 pp.
- Hilhorst, M.A., 1998.
Dielectric characterisation of soil. PhD thesis, Wageningen Agricultural University.
- Jefferies, R.A., 1993.
Cultivar responses to water stress in potato: effect of shoot and roots.
New Phytol. 123: 491-498.
- Karvonen, T., & J. Kleemola, 1995.
CROPWATN: prediction of water and nitrogen limited potato production.
In: P. Kabat, B. Marshall, B.J. van den Broek, J. Vos & H. van Keulen (Eds.), *Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System*. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, pp. 335-369.
- Kraalingen, D.W.G. van, 1992.
The FSE system for crop simulation, version 2.1. Quantitative approaches in system analysis No. 1. AB-DLO/TPE, Wageningen.

Kraalingen, D.W.G. van & W. Stol, 1997.

Evapotranspiration modules for crop growth simulation. Implementation of the algorithms from Penman, Makkink and Priestly-Taylor. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 11, DLO Research Institute for Agrobiological Sciences and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands, 29 p.

Marthaler, H.P., W. Vogelsanger, F. Richard & P.J. Wieringa, 1983.

A pressure transducer for field tensiometers. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 624-627.

Rodrigo, A., S. Recous, C. Neel & B. Mary, 1997.

Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models. Ecol. Modelling 102: 325-339.

Soil Moisture Equipment. 1995.

TRASE-manual.

Vos, J.A. de, 1997.

Water flow and nutrient transport in a layered silt loam soil. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 287 pp.

Vos, J. & J. Groenwold, 1986.

Root growth of potato crops on a marine-clay soil. Plant and Soil 19: 17-33.

Whitmore, A.P., 1995.

Modelling the mineralization and leaching of nitrogen from crop residues during three successive growing seasons. Ecol. Modelling 81: 233-241.

Willigen, P. de, M. Heinen & B.J. van den Broek, 1995.

Modelling water and nitrogen uptake of a potato crop growing on a ridge. In: A.J. Haverkort and D.K.L. MacKerron (Eds.), Potato ecology and modelling of crops under conditions limiting growth. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 75-88.

Wolfram, S., 1991.

Mathematica. A system for doing mathematics by computer, 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Company Inc., Redwood City, CA, 961 p.