

Themadag Stikstofstromen in de Vollegrondsgroenteteelt

Georganiseerd door de projectgroep 'Nutriëntenstromen in de vollegrondsgroenteteelt' in samenwerking met het PAGV.

Inhoudelijke redactie : dr. ir. A.J. Haverkort en dr. K.B. Zwart (AB-DLO)
prof. dr. ir. P.C. Struik (LUW-vakgroep Agronomie)
ir. P.H.M. Dekker (PAGV)

Technische redactie : ing. H.K.J. Bosch (PAGV)

Themaboekje nr. 18
9 december 1994

AB-DLO, DLO-instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek,
Postbus 14, 6700 AA Wageningen, tel. 08370-75700

AB-DLO Haren, Postbus 129, 9750 AC Haren, tel. 050-337777

Landbouwuniversiteit, vakgroep Agronomie, Postbus 341, 6700 AH, Haarweg 333, 6709
RZ Wageningen, tel. 08370-83040

PAGV, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond,
Postbus 430, 8200 AK Lelystad, tel. 03200-91111

INHOUD

WOORD VOORAF	6
DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEKSPROGRAMMA	7
dr. ir. A.P. Everaarts, PAGV Lelystad	
Aanleiding	7
Probleemstelling	7
Uitvoering en resultaten	8
STIKSTOFBENUTTING	9
dr. ir. A.C. Smit, AB-DLO Wageningen	
Inleiding	9
Benutting van stikstof door verschillende gewassen	11
Nadere analyse van stikstofbenutting	16
Aanbod van stikstof	16
Behoeftte aan stikstof	16
Opname van stikstof	18
Conclusies en consequenties: Gewasspecifieke bemestingsstrategieën en onderzoeksvragen	21
STIKSTOFHUISHOUDING BIJ DE TEELT VAN PREI EN SPRUITKOOL	23
dr. ir. R. Booij, AB-DLO Wageningen en ir. H. Biemond LU Wageningen	
Inleiding	23
Input-output relaties	23
Stikstofverliezen	25
Relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst	30
Relatie tussen lichonderschepping en drogestofopbrengst	30
Conclusies en consequenties	34
EFFECTEN VAN BEMESTINGSSTRATEGIE OP GEWASSTRUCTUUR EN NITRAATGEHALTE VAN SPRUITKOOL, PREI EN SPINAZIE	37
ir. H. Biemond, LU Wageningen	
Inleiding	37
Groei en ontwikkeling van bladeren	37
Nitraatgehalte van oogstprodukt	47
Conclusies en consequenties	51

BEMESTINGSSTRATEGIE BIJ BLOEMKOOL	52
dr. ir. A.P. Everaarts en C.P. de Moel, PAGV Lelystad	
Inleiding	52
Stikstofaanbod	52
Benutting en verliezen	54
Conclusies en consequenties	57
EEN MODEL VOOR DE OPNAME EN UITSPOELING VAN STIKSTOF IN DE TEELT VAN SPRUITKOOL EN PREI	58
dr. ir. P. de Willigen, AB-DLO Haren	
Inleiding	58
Fysische beperkingen aan de stikstofopname	59
Modelbeschrijving	61
Geometrie	61
Waterhuishouding	62
Stikstofhuishouding	62
Parameters en functies	63
Waterhuishouding	63
Stikstofhuishouding	63
Resultaten en discussie	66
Conclusies en consequenties	68
MODELLERING VAN STIKSTOFVERLIEZEN NA DE OOGST	70
dr. A.P. Whitmore, AB-DLO Haren	
Inleiding	70
Een model voor de afbraak van gewasresten	70
Resultaten en discussie	74
Conclusies en consequenties	78
PERSPECTIEVEN VOOR SELECTIE VAN RASSEN MET EEN HOGERE STIKSTOFPRODUKTIVITEIT	80
dr. A. van der Werf, AB-DLO Wageningen	
Inleiding	80
Factoren die de groeisnelheid bepalen	81
Factoren die de stikstofproduktiviteit bepalen	82
Conclusies en consequenties	86
STIKSTOFBIJMESTSYSTEEM	89
ir. H.H.H. Titulaer, PAGV Lelystad	
Inleiding	89
Stikstofopname	90
Stikstofaanbod	93
Mineralisatie	94

Beworteling	96
Vochthuishouding	96
Praktische uitvoerbaarheid	98
Buffer	98
Tijdstip meting N-voorraad	99
Plaats meting N-voorraad	99
Toepassing	99
Gewascriteria voor NBS	99
Toepassing bij prei; (als voorbeeld)	100
Discussiepunten	100
Conclusies	102
 HOE VERDER MET DE STIKSTOFBEMESTING VAN VOLLEGRONDS- GROENTEN?	 103
dr. ir. J. Vos, LU Wageningen	
De aanleiding: stikstof en het milieu	103
Hoofdwegen voor betere benutting van stikstof en beperking van verliezen ..	103
Optimale stikstofbemesting van een gewas	104
Bemestende waarde van gewasresten	106
Emissie-beperkende maatregelen buiten het teeltseizoen (winterhalfjaar)	107
Tot besluit	108
 LITERATUUR	 109

Woord vooraf

De afnemers van vollegrondsgroenten-handel, verwerkende industrie en consumenten - hebben bij hun koopgedrag niet langer alleen belangstelling voor de uitwendige kwaliteit, zoals gaaf, vers en fris, en de daarbij te betalen prijs. Naast zichtbare kwaliteit en prijs spelen ook aspecten als inhoudsstoffen en de wijze waarop een produkt wordt geproduceerd, onder andere in relatie tot het milieu, een rol bij de koopbeslissing.

Juist in een markt waarin vele concurrenten zijn en waar geen zware belemmeringen zijn om de produktie te starten, is het van belang actief op de veranderende eisen van de afnemers in te spelen. Naast de noodzaak om op het gebied van de gewasbescherming aan deze markteisen te voldoen, zal er ook bij de bemesting ingespeeld moeten worden op de wensen van de consument.

De bemesting moet zodanig plaatsvinden dat een optimale opbrengst en kwaliteit wordt behaald, zonder dat vermijdbare verliezen van nutriënten optreden. Daarbij moet de prijs van het produkt concurrerend blijven. Naast externe kwaliteit moet voldaan worden aan de normen voor nitraatgehalten.

Om de telers in staat te stellen aan deze wensen te kunnen voldoen, en daarmee hun concurrentiepositie veilig te stellen, is de laatste jaren door het Instituut voor Agrobiologisch- en Bodemvruchtbaarheids-onderzoek (AB-DLO), de Vakgroep Agromie van de LUW en het PAGV, onderzoek gedaan naar de stikstofbemesting en -benutting van vollegrondsgroenten. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma Geïntegreerde Plantaardige Produktie en voor een deel ook additioneel vanuit dit programma gefinancierd. Van de resultaten van dit onderzoek wordt verslag gedaan in dit themaboekje. De nauwe samenwerking tussen het fundamenteel-

strategisch en praktijkgerichte onderzoek in het programma heeft een duidelijke meerwaarde gehad door een efficiënte uitvoering van het onderzoek en een effectieve besteding van de beschikbare gelden. Een dergelijke samenwerking met het doel discipline-, gewas- en sector kennis te integreren tot in de praktijk toepasbare teeltmaatregelen zal in de toekomst bij meer vraagstukken aan de orde zijn.

De inhoud van dit themaboekje vormt een stap op weg naar een geïntegreerde vollegrondsgroenteteelt, waarbij met gebruikmaking van de beschikbare teelt- en bodemvruchtbaarheidskennis er geen onnodige verliezen van stikstof optreden en een renderende groenteteelt mogelijk is.

Het onderzoek heeft een flinke bijdrage geleverd aan het inzicht in stikstofstromen en -benutting in de groenteteelt. Daarmee zijn zeker niet de vragen op dit gebied opgelost.

Toch hoop ik dat de hier gepresenteerde resultaten zowel voor telers, afnemers als beleidsmakers van nut zullen zijn.

Namens de samenwerkende onderzoeksinstellingen,

ir. A.J. Riemens,
directeur PAGV

DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEKSPROGRAMMA

dr.ir. A.P. Everaarts, PAGV Lelystad

Aanleiding

In Nederland worden jaarlijks op ongeveer 65.000 hectare vollegrondsgroenten geteeld. Er zijn circa 35 gewassen met een areaal van enige omvang en er zijn vele teeltwijzen. Voor de stikstofbemesting van de gewassen bestaan richtlijnen. In de vollegrondsgroenteteelt worden vaak hoge mestgiftten toegepast. Enerzijds om de opbrengst en kwaliteit van het produkt te waarborgen en daarmee de rentabiliteit van het bedrijf te bewaken, anderzijds omdat de kosten van (kunst)mest ten opzichte van de waarde van het produkt meestal gering zijn. Een te hoge bemesting leidt echter, naast verlies aan kwaliteit, tot een direct verlies van onbenutte nutriënten naar het milieu. Bovendien treedt er verlies aan nutriënten op uit de vaak aanzienlijke hoeveelheden gewasresten die na de oogst op het land achterblijven.

De laatste jaren is er meer maatschappelijke bezorgdheid ontstaan ten aanzien van de effecten op het milieu van de gangbare methoden in de land- en tuinbouw, met name met betrekking tot de gewasbescherming en de bemesting. Vanuit de overheid wordt aan deze effecten ook beleidsmatig aandacht besteed, zoals beschreven in de Structuurnota Landbouw (1990), in het Meerjarenplan Gewasbescherming (1990) en in de Nota Derde Fase Mestbeleid (1993). Het ontwikkelen van een mineralenbeleid, waarin elementen als evenwichtsbemesting en mineralenbalansen, werd in 1993 opgedragen aan de Projectorganisatie Mineralenemissies uit de landbouw (POM).

Probleemstelling

In het verleden is in vergelijking tot de

akkerbouw in de vollegrondsgroenteteelt minder aandacht besteed aan onderzoek naar bemesting en nutriëntenbenutting. Om de kennis ten behoeve van normstelling voor beleid op dit terrein te vergroten en om mogelijkheden aan te kunnen geven om negatieve neveneffecten van bemesting tegen te gaan, werd in 1989 in het kader van het Aanvullend Onderzoeksplan van de NRLO-Taakgroep Geïntegreerde Plantaar-dige Produktie 1989-1993 (NRLO-rapport 89/21), het voorstel gedaan het volgende onderzoeksproject uit te voeren:

'Experimenteel en modelmatig onderzoek naar de beheersing van nutriëntenstromen bij de vollegrondsgroenteteelt in relatie tot milieu, opbrengstvorming en kwaliteit.'

De doelstellingen van dit project omvatten:

1. het kwantificeren van de behoefte aan nutriënten van het gewas in relatie tot gewassoort, teeltwijze, produktieniveau en kwaliteit;
2. het vaststellen van de benutting van stikstof, mede met het oog op het nitraatgehalte, in afhankelijkheid van het bemestingsregime, gewaseigenschappen en groeiomstandigheden;
3. het kwantificeren van de stikstofdynamiek in de bodem bij uiteenlopende bemestingsniveaus en toevoer van oogstresten;
4. het ontwikkelen van modellen ter beschrijving van nutriëntenstromen in bodem en gewas om daarmee effecten van teelt en bemestingsstrategieën door

te kunnen rekenen met betrekking tot opbrengst, kwaliteit en nutriëntenemissies van vollegrondsgroentegewassen.

Uitvoering en resultaten

Dit project ging in 1990 van start en concentreerde zich op stikstof. Prei, spinazie en spruitkool werden gekozen als onderzoeksgewassen, aangezien deze gewassen uiteenlopende groepen vollegrondsgroentegewassen vertegenwoordigen. Het onderzoek werd uitgevoerd door een projectgroep bestaande uit onderzoekers van het Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO), de vakgroep Agronomie van de Landbouwuniversiteit te Wageningen en het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV) te Lelystad.

In 1994 wordt het onderzoek afgerond. Dit themanummer geeft een overzicht van de resultaten. Allereerst wordt een overzicht gegeven van de stikstofstromen in het gewas/bodem-systeem. Ingegaan wordt op de stikstof in de bodem bij aanvang van de teelt, de stikstofopname door het gewas en

de stikstof die in de bodem en in de gewasresten bij de oogst achterblijft. Vervolgens wordt beschreven hoe bemestingsstrategieën gewasstructuur, nitraatgehalte, opbrengst en benutting kunnen beïnvloeden. De opname en uitspoeling van stikstof en stikstofverliezen uit gewasresten worden modelmatig benaderd. Het perspectief van rassen met een betere stikstofbenutting wordt uitgewerkt en een overzicht wordt gegeven van ervaringen met het stikstofbijmeststelsel. Elk hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies en consequenties.

Tenslotte worden in een synthese aanbevelingen gedaan voor de praktijk en voor verder onderzoek. Naast de hier gepresenteerde bijdragen brengt het project een aantal wetenschappelijke publikaties voort. De medewerkers aan het project verwachten dat de resultaten van het onderzoek leiden tot een vergroot inzicht in de nutriëntenstromen in de vollegrondsgroenteteelt en daarmee tot verbeterde bemestingsstrategieën en onderbouwing van beleid. De projectgroep dankt een ieder die aan de uitvoering van het onderzoek heeft meegewerkt. Daarnaast dank aan het PAGV om door middel van deze themadag de resultaten ook onder aandacht van de praktijk te brengen.

STIKSTOFBENUTTING

dr.ir. A.L. Smit, AB-DLO Wageningen

Inleiding

In vergelijking met andere nutriënten reageren vrijwel alle gewassen sterk op stikstof (N), zowel wat betreft de opbrengst als de kwaliteit. Stikstof is dan ook een essentieel onderdeel van structurele (celwanden enz.) en niet-structurele componenten (aminozuren, enzymen) van de plantecel. Relatief veel van de opgenomen stikstof komt terecht in enzymen die bij het fotosyntheseproces betrokken zijn. Bij stikstoftekort zal de fotosynthese dan ook direct negatief beïnvloed worden met als gevolg een lagere produktie. Andere invloeden van stikstof, bijvoorbeeld op de snelheid van bladoppervlaktontwikkeling, de uiteindelijke oppervlakte die bladeren krijgen, de snelheid van het in bloei komen, maken het tot een van de belangrijkste nutriënten. De stikstofkringloop is complex. De belangrijkste processen worden besproken aan de hand van figuur 2.1. Daarin zijn de stikstofstromen in een veldsituatie weergegeven.

- Mineralisatie

In de bodem zijn er twee belangrijke voorraden van stikstof: organisch gebonden stikstof (stikstof in dode organische stof en in het bodemleven) en minerale stikstof. De organisch gebonden stikstof is de bulkvoorraad aan stikstof in de grond die, afhankelijk van het organischestof-gehalte, varieert tussen de 4000 en 15000 kg N per ha. Uit deze grote hoeveelheid stikstof, die niet voor de plant opneembaar is, komen jaarlijks via mineralisatie slechts enkele procenten in de vorm van ammonium vrij.

- Nitrificatie

Via het nitrificatieproces wordt, onder Nederlandse omstandigheden, de in ammonium-vorm uit de organische stof

vrijkomende stikstof binnen enkele dagen omgezet in nitraat.

- Stikstofopname

Slechts de gemineraliseerde stikstof (ammonium of nitraat) kan worden opgenomen door een gewas. Het patroon van opname en de totale hoeveelheid opgenomen N hangt sterk af van gewas en opbrengstniveau.

- Bemesting

De hoeveelheid minerale stikstof wordt veelal aangevuld met een kunstmestbemesting. Een organische bemesting (mest, groenbemesters, gewasresten) kan ook leiden tot een grotere hoeveelheid minerale stikstof, maar dit gaat weer via de organische gebonden stikstofpool en dus na mineralisatie. Hetzelfde geldt als stikstofbinding door vlinderbloemigen plaatsvindt.

- Stikstofdepositie

Aan de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel wordt ook bijgedragen door de atmosferische stikstofdepositie, die tegenwoordig circa 40 kg N per ha per jaar bedraagt.

- Immobilisatie

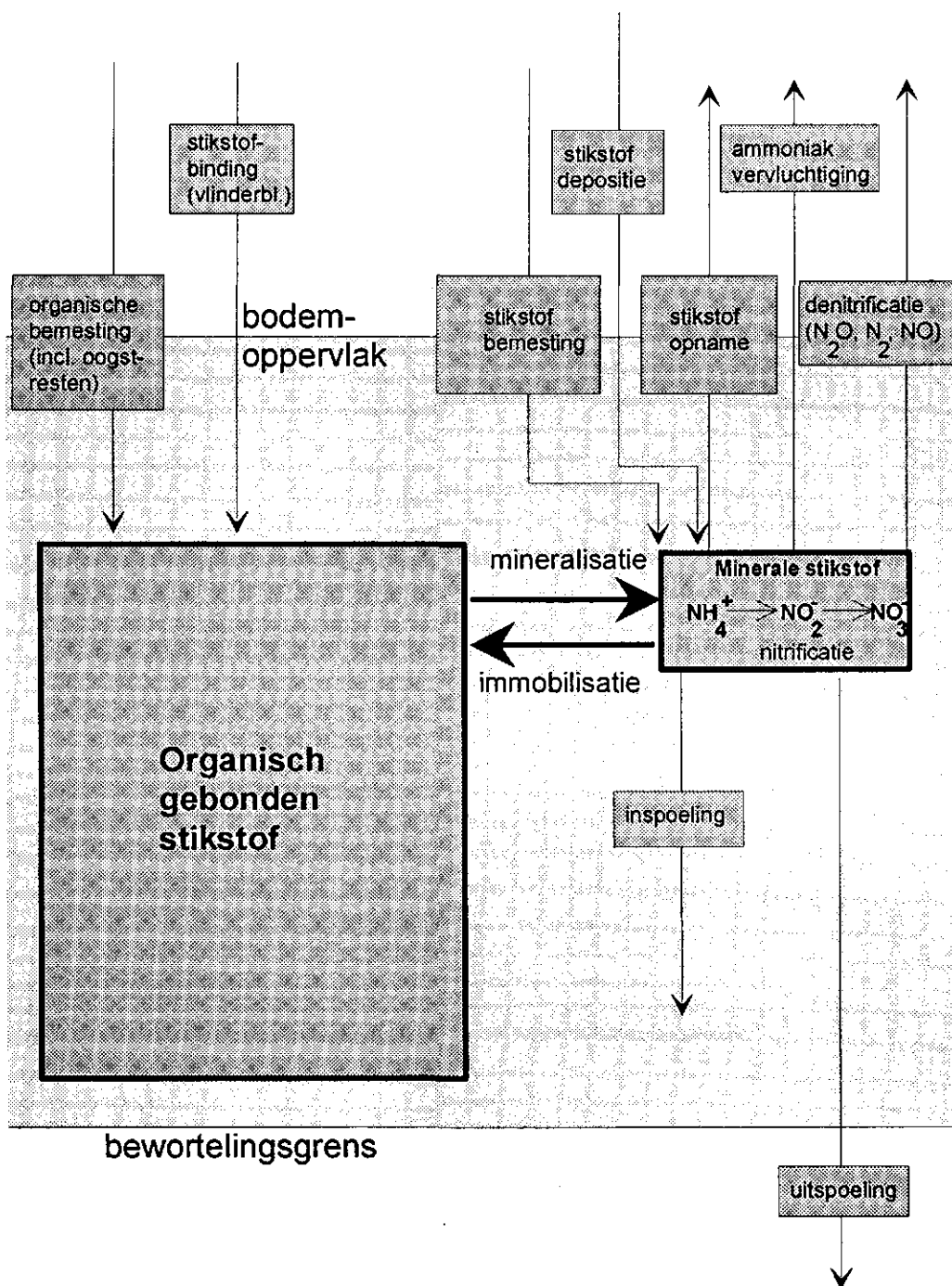
De hoeveelheid minerale stikstof wordt verlaagd (soms tijdelijk) door immobilisatie. Dit is vastlegging van minerale stikstof door onder andere het bodemleven.

- Denitrificatie en ammoniakvervluchtiging

Vooral onder natte omstandigheden wordt nitraat via denitrificatie omgezet tot gasvormige N-verbindingen. Verliezen vinden ook plaats via ammoniakvervluchtiging.

- Uitspoeling en inspoeling

Tijdens perioden met een neerslagoverschot vindt transport van het mobiele nitraat plaats in verticale richting (inspoeling). Vooral gedurende het wintersei-



Figuur 2.1. De stikstofhuishouding in de bodem (naar Scharpf & Wehrmann 1991).

zoen kan nitraat buiten het bereik van de wortels in het grondwater terecht komen en gaat dan voor een volgend gewas verloren (uitspoeling).

In het verleden werd de hoogte van de optimale gift voornamelijk op grond van economische motieven (de financiële opbrengst per ha) bepaald. De relatief lage prijs van stikstof maakte dat zelfs supra-optimale giften gerechtvaardigd waren gezien het risico van opbrengst- en kwaliteitsverlies bij een te lage gift. De schadelijke gevolgen van te hoge giften werden echter langzamerhand duidelijk: via uitspoeling van de niet-benutte stikstof trad N-verrijking van het oppervlaktewater en de Noordzee op en stegen op veel plaatsen nitraatgehalten in het te winnen drinkwaterboven de norm van 50 mg per liter. Daarom formuleerde in 1990 de zogenaamde 'Commissie Stikstof' concrete werkdoelstellingen voor de landbouwkundige bedrijfsvoering om de N-belasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen (Goossens en Meeuwissen, 1990). Voorlopig zou de voorraad minerale stikstof in het profiel in het najaar niet hoger moeten zijn dan 70 kg per ha N en in het jaar 2000 zelfs niet hoger dan 45 kg per ha. Uitgangspunt bij het stellen van deze streefwaarden was dat dan de nitraatnorm van 50 mg nitraat per liter op 2 meter beneden de grondwaterspiegel niet overschreden zou worden. De voorstellen van de commissie zijn echter (nog) niet in beleid omgezet. In navolging van de situatie bij de P- en K-bemesting wordt tegenwoordig ook bij N meer gesproken van 'evenwichtsbemesting' waarbij de definitie als volgt luidt:

$$N_{\text{bemesting}} = N_{\text{onttrekking}} + \text{Onvermijdbare}$$

N-verliezen(1)

De definitie van 'onvermijdbare verliezen' is essentieel bij de bepaling van de optimale gift. Hieronder wordt aannemelijk gemaakt

dat verliezen voor het ene groentegewas onvermijdbaar zijn en voor het andere niet. Daarom is het ook de vraag of er bij N-bemesting in de vollegrondsgroenteteelt wel van 'evenwichtsbemesting' gesproken kan worden.

De complexiteit van de totale N-huishouding van een perceel (figuur 2.1) in relatie tot bepaalde gewaseigenschappen maakt een hoge benutting van de stikstof die aan het gewas wordt aangeboden via bemesting en mineralisatie niet eenvoudig. Niet alleen de mineralisatiesnelheid is een onvoorspelbare factor. Wil een gewas de stikstof goed benutten (en een zo 'schoon' mogelijk profiel achterlaten) dan moet de N-behoefte van het gewas in de tijd synchroon lopen met het aanbod van stikstof. Dit themanummer maakt duidelijk dat er grote verschillen tussen de gewassen in behoeftepatroon bestaan. Op deze verschillen zal via de bemestingsstrategie zo goed mogelijk ingespeeld moeten worden, om te voorkomen dat gedurende en na het seizoen stikstof via uitspoeling verloren gaat. Stikstof moet aangeboden worden op plaatsen waar ook wortels aanwezig zijn, dus ook ruimtelijk gezien moet er sprake zijn van afstemming. Deze laatste afstemming is vaak gebrekkig door een combinatie van bepaalde gewaseigenschappen (bewortelingsdiepte, -intensiteit, snelheid van beworteling), teelttechniek (berekening!), N-behoefte in de tijd en de gevolgde bemestingsstrategie.

De volgende paragraaf behandelt de N-benutting van verschillende gewassen bij bemesting volgens de huidige richtlijnen.

Benutting van stikstof door verschillende gewassen

Bij de start van dit gezamenlijke onderzoeksproject is globaal geanalyseerd of er karakteristieke verschillen tussen de gewassen bestaan in N-benutting. Hierbij werd gebruik gemaakt van het gegeven dat

Tabel 2.1. Drogenstof en N-opbrengst van produkten en gewasresten van verschillende gewassen. N_{advies} is de adviesgift als er 50 kg N/ha ($=N_0$) bij het begin van de teelt aanwezig is in het bodemprofiel. N_{min} is de hoeveelheid stikstof die gedurende deelperiode mineraliseert. N_{tot} is het totale stikstof-aanbod ($=N_0+N_{min}+N_{advies}$). NBI= N-Benuttings Index, de verhouding tussen opgenomen en de voor het gewas beschikbare stikstof.

gewas	datum		droge stof opbr. (t/ha)			N opbrengst (kg/ha)			Formule voor N_{advies}		N_{advies}	N_{min} (kg N/ha)	N_{tot}	NBI
	planten	oogst	produkt	rest	totaal	produkt	rest	totaal	N_{advies}					
aardappel	15/4	15/9	12,0	1,0	13,0	180	20	200	$=285-1,1 \cdot N_0$	230	84	364	0,55	
andijvie	1/7	15/9	2,5	1,5	4,0	115	45	160	$=190-1,4 \cdot N_0$	120	47	217	0,74	
bloemkool	15/5	15/8	1,9	3,5	5,4	80	120	200	$=300-N_0$	250	53	353	0,57	
boerenkool	15/6	15/11	2,9	3,1	6,0	89	85	174	$=200-N_0$	150	81	281	0,62	
bospeen	15/3	1/6	5,2	spoor	5,2	95	spoor	95	$=80-N_0$	30	30	110	0,87	
broccoli	1/6	15/8	0,9	3,7	4,6	201	55	175	$=300-N_0$	250	45	345	0,51	
Chinese kool	15/6	1/9	1,9	1,5	3,4	60	65	125	$=160-N_0$	110	125	208	0,60	
dopenwtien	1/4	1/8	1,0	6,3	7,3	37	188	225	$=60$	60	61	171	1,31	
ijsbergsla	15/5	1/8	1,6	1,7	3,3	64	70	134	$=190-1,4 \cdot N_0$	120	45	215	0,62	
knolselderij	15/5	1/1	13,2	3,3	6,5	73	75	148	$=210-1,4 \cdot N_0$	140	93	283	0,52	
knolvenkel	15/5	15/7	2,3	3,1	5,4	70	110	180	$=160-N_0$	110	34	194	0,93	
koolraap	15/5	15/1	18,5	2,3	10,8	98	52	150	$=180-N_0$	130	97	277	0,54	
koolrabi	15/5	1/8	2,6	1,2	3,8	73	42	115	$=180-N_0$	130	45	225	0,51	
mais (kuil)	1/5	1/10	13,0	0,3	13,0	180	spoor	180	$=205-N_0$	155	86	291	0,62	
pret	15/6	15/1	12,9	1,7	4,6	140	60	200	$=270-N_0$	220	81	351	0,57	
radijs	15/4	15/6	0,6	0,1	0,7	50	spoor	50	$=80$	80	28	158	0,32	
rode biet	1/5	1/9	7,9	3,5	11,4	135	90	225	$=215-1,4 \cdot N_0$	145	70	265	0,85	
rode kool	15/5	15/1	14,5	5,0	9,5	185	175	360	$=300-N_0$	250	97	397	0,91	
schorseneren	1/5	15/1	15,2	2,2	7,4	75	42	117	$=90$	90	103	243	0,48	
sla	1/6	15/8	1,7	0,6	2,3	75	20	95	$=190-1,4 \cdot N_0$	120	45	215	0,44	
spinazie	1/4	15/5	1,4	0,7	2,1	70	35	105	$=240-1,4 \cdot N_0$	170	17	237	0,44	
spruitkool	1/6	15/1	12,7	8,6	11,3	97	135	232	$=240-N_0$	190	89	329	0,71	
stamslabonen	15/5	15/8	1,8	2,9	4,7	45	95	140	$=150-N_0$	100	53	203	0,69	
suikerbiet	1/4	1/11	15,0	4,0	19,0	90	120	210	$=210-1,7 \cdot N_0$	125	109	284	0,74	
ui	15/3	1/10	6,6	1,0	7,6	120	5	125	$=180-N_0$	130	102	282	0,44	
wintertarwe	<1/1	1/8	9,0	5,0	14,0	200	45	245	$=140-N_0+60$	150	84	284	0,86	
witlof	1/5	1/1	17,7	2,3	10,0	71	44	115	$=60-N_0$	10	99	159	0,72	
witte kool	15/5	15/1	15,5	4,3	9,8	200	115	315	$=350-N_0$	300	97	447	0,70	
wortelen	15/4	1/1	17,7	3,1	10,8	110	40	150	$=100-N_0$	50	105	205	0,73	

er voor de meeste groentegewassen een N-bemestingssysteem ontwikkeld is. Meerjarig onderzoek waarbij de stikstof in verschillende hoeveelheden aan het gewas werd toegediend, leverde voor veel gewassen een empirische relatie op waarin de hoogte van het N-advies afhangt van de hoeveelheid minerale stikstof die vòòr de teelt in het bodemprofiel aanwezig is. De (gewasafhankelijke) adviesformule heeft meestal de vorm:

$$N_{\text{advies}} = a \cdot b \cdot N_0(2)$$

waarbij geldt:

N_0 is de hoeveelheid N die in het profiel voor aanvang van de teelt aanwezig is;

N_{advies} is de berekende adviesgift;

a, b zijn constanten voor het betreffende gewas.

Tabel 2.1 laat de verzamelde gegevens zien van 29 gewassen (zie voor de gebruikte literatuurbronnen Smit en Van der Werf (1992)). Uitgaande van een gemiddelde situatie werd op grond van literatuur- en proefgegevens een gemiddelde drogestofopbrengst aangenomen waarbij onderscheid werd gemaakt tussen het uiteindelijke oogstproduct en eventuele achterblijvende gewasresten. Hetzelfde is gedaan voor de stikstofonttrekking. In deze globale benadering gaat het om een gemiddelde situatie. Voor een specifiek perceel zullen opbrengstniveau en daarmee de stikstofonttrekking een aanzienlijke afwijking kunnen vertonen. Voor de algemene situatie is met behulp van de gewasspecifieke N-adviesformule het advies uitgerekend, aannemende dat er aan het begin van de teelt een hoeveelheid van 50 kg N per ha (N_0) aanwezig is.

Bij de benutting of emissie naar het milieu kan geen onderscheid gemaakt worden tussen stikstof afkomstig van bemesting of stikstof afkomstig van mineralisatie. Daarom werd voor ieder gewas afzonderlijk de hoeveelheid stikstof geschat (N_{min}) die

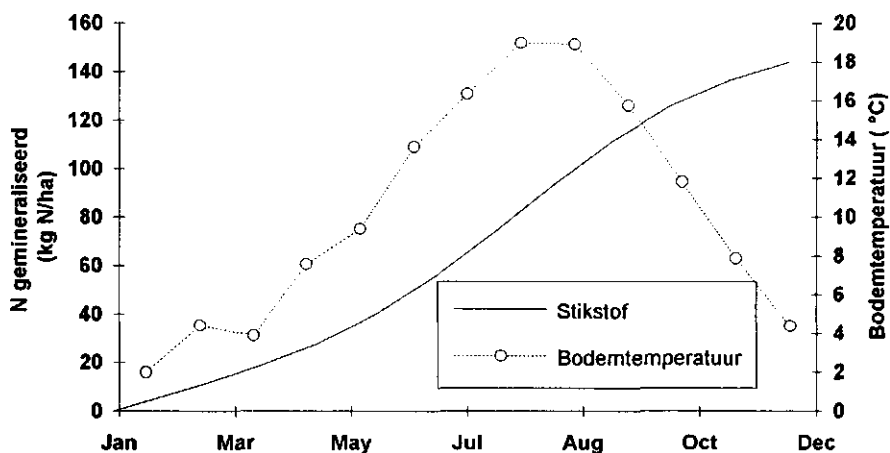
gedurende de veldperiode (lengte afhankelijk van plant/zaai tijdstip en oogstdata, tabel 2.1) gemiddeld vrij zal komen. Hierbij werd het volgende aangenomen:

1. de snelheid van stikstofmineralisatie is alleen van de bodemtemperatuur afhankelijk;
2. de mineralisatiesnelheid is 0,7 kg N per ha per dag bij een bodemtemperatuur van 20°C;
3. De Willigen (1986) volgend, werd aangenomen dat het mineralisatieproces een Q_{10} -waarde van 2 heeft, hetgeen wil zeggen dat de mineralisatie bij een bodemtemperatuur van 10°C twee maal zo langzaam verloopt als bij 20°C;
4. Er werd uitgegaan van de bodemtemperatuur zoals weergegeven in figuur 2.2, een gemiddelde van drie meteostations.

Vervolgens is berekend hoeveel N (N_{tot}) in totaal voor het gewas opneembaar is: nl.

$$N_{\text{tot}} = 50 (N_0) + N_{\text{min}} + N_{\text{advies}}(3)$$

Door de gemiddelde onttrekking (kolom 9 van tabel 2.1) te delen door N_{tot} (kolom 13 van tabel 2.1) werd voor ieder gewas een benuttingsindex berekend (NBI, laatste kolom tabel 2.1) die in theorie tussen 0 en 1 ligt. Naarmate het getal lager is de benutting slechter. Duidelijk wordt dat er een grote variatie in de benuttingscoëfficiënt is. Gemiddeld over alle gewassen is de benutting ongeveer 60%. Indien een volggewas de resterende 40% van de stikstof niet benut, of deze anderszins niet wordt vastgelegd, bestaat de mogelijkheid van uitspoeling of denitrificering. Dit geeft aan dat ook bij een nauwgezet opvolgen van de huidige adviezen de benutting matig is. In werkelijkheid is de situatie nog ongunstiger omdat de schatting van de mineralisatiesnelheid aan de lage kant is en (risicovermijdende) telers vaak wat meer stikstof geven dan het advies voorschrijft. Hier staat tegenover dat in deze analyse immobilisatie van N niet in ogenschouw geno-



Figuur 2.2. De gemiddelde bodemtemperatuur op 10 cm diepte (gemiddelde van drie meteostations) en de op basis hiervan geschatte stikstofmineralisatie.

men wordt. Door immobilisatie van N kan een slechte N-benutting minder gevolgen voor het milieu hebben.

Ook is het lot van de stikstof in de gewasresten nog niet verwerkt. Tabel 2.1 toont dat sommige gewassen weliswaar een goede benutting hebben van de stikstof die voor de plant beschikbaar is, maar toont ook dat vervolgens veel stikstof in de vorm van gewasresten op het veld achterblijft. Deze stikstof kan in het volgende winterseizoen na mineralisatie uitspoelen voordat een volggewas het benut (zie hoofdstuk 'modellering stikstofverliezen na oogst'). Op basis van deze gegevens zijn daarom in tabel 2.2 de gewassen ingedeeld naar enerzijds de benutting van de beschikbare stikstof en anderzijds naar de hoeveelheid stikstof die in de vorm van gewasresten op het veld achterblijft.

Linksonder in tabel 2.2 staan gewassen die een goede benutting (een leeg profiel) combineren met achterlating van weinig stikstof in de vorm van gewasresten. Vanuit milieukundig oogpunt gezien zijn dit de

ideale gewassen, zoals witlof en wintertarwe. Gewassen die weliswaar een goede benutting laten zien maar waarbij veel van de opgenomen stikstof op het veld achterblijft, zijn minder ideaal. Rechtsonder in tabel 2.2 blijkt dat enkele koolgewassen en suikerbieten hier onder vallen.

In het bovenste gedeelte van de tabel komen gewassen voor die in het algemeen (zelfs bij een adviesbemesting) de beschikbare stikstof slecht benutten. Het is opvallend dat er relatief veel gewassen onder vallen die geoogst worden op het moment dat de groei in volle gang is (sla, spinazie, radijs). Dit is tevens de verklaring voor de slechte benutting: op het moment van oogsten is de behoefte aan stikstof groot (voor spinazie zijn opnamesnelheden in deze periode van meer dan 10 kg N per ha per dag gemeten, (mondelinge mededeling H. Biemond (LUW-Agronomie)). Dit maakt het vrijwel onmogelijk voor deze gewassen de beschikbare stikstof volledig te benutten, omdat een zekere buffervoorraad in het profiel nodig is aan het eind van het sei-

Tabel 2.2. De gewassen van Tabel 2.1 ingedeeld naar de N-benuttingsindex (NBI) en de hoeveelheid N in de gewasresten.

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

zoen (zie ook hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling stikstof'). Het gevaar van N-gebrek is anders groot.

Dit verklaart ook waarom bloemkool, broccoli en koolrabi (die alle snel groeien op het moment van oogsten) slechte benutters zijn, terwijl de overige koolgewassen zeer goede N-benutters zijn. De laatste gewassen hebben echter een afrijpingsfase waardoor de N-vraag aan het einde van het seizoen tot vrijwel nul gereduceerd is. Deze gewassen laten dan ook een vrijwel leeg profiel achter.

Tabel 2.2 toont ook een aantal gewassen die een lage benutting hebben maar waarbij niet direct duidelijk is waardoor dit veroorzaakt wordt, bijvoorbeeld ui, prei en

aardappel. Mogelijk moet hier de oorzaak in bewortelingskarakteristieken gezocht worden.

De benuttingscijfers zoals die hier bekend zijn, komen goed overeen met benuttingscijfers die in veldproeven gemeten zijn. Er zijn dus duidelijke, grote verschillen tussen de gewassen in grootte en aard van de N-emissie. Bij het zoeken naar mogelijke oplossingen om de benutting te verbeteren zal er terdege rekening moeten worden gehouden met deze inherente verschillen.

Op grond van tabel 2.2 lijkt het mogelijk om in ieder geval vier gewastypen te onderscheiden:

A. gewassen met een hoge benutting van

stikstof en grote hoeveelheden stikstof in de gewasresten;

- B. gewassen met een hoge benutting en geringe hoeveelheden N in de gewasresten;
- C. gewassen met een lage benutting doordat de oogst plaatsvindt op het moment dat het gewas erg snel groeit;
- D. gewassen met een lage benutting veroorzaakt door andere factoren, waaronder mogelijk de suboptimale beworteling.

De aandacht heeft zich in dit onderzoeksprogramma, met het oog op de bovengenoemde aspecten, gericht op gewassen uit verschillende groepen, namelijk spruitkool (type A), spinazie (type C) en prei (type D).

Nadere analyse van stikstofbenutting

In het algemeen zal, rekening houdende met het gewasstype, vraag naar en aanbod van stikstof beter op elkaar moeten worden afgestemd. Afstemming van vraag en aanbod wil zeggen dat stikstof op het juiste tijdstip in de gewenste hoeveelheden aanwezig moet zijn, maar ook op de juiste plaats in het bodemprofiel.

Aanbod van stikstof

De voor het gewas beschikbare stikstof komt hoofdzakelijk uit mineralisatie van organische stof en uit de kunstmestgift. Veelal wordt de mineralisatie als een ongewisse (sterk jaarafhankelijke) factor gezien die een goede afstemming tussen vraag en aanbod verhindert. Het is echter de vraag of de verschillen tussen jaren wel zo groot zijn op één en het zelfde perceel. Bovendien is de hoeveelheid stikstof uit mineralisatie niet voor alle gewassen even belangrijk als het gaat om de benutting. In tabel 2.3 is voor de gewassen de totale hoeveelheid voor het gewas beschikbare N berekend bij drie mineralisatiesnelheden, 0,7 (zoals dat in tabel 2.1 gebeurd is) en nu ook voor een 50% hogere en een 50%

lagere mineralisatiesnelheid. Het verschil in de hoeveelheid stikstof die in totaal voor het gewas beschikbaar is, is bij de hoogste en de laagste snelheid weergegeven in de één na laatste kolom. De gewassen zijn vervolgens gesorteerd op dit getal als percentage van de hoeveelheid N die bij een mineralisatiesnelheid van 0,7 kg N per ha per dag beschikbaar zou zijn. De tabel geeft hiermee een indruk van de gevoeligheid van de benutting voor sterk uiteenlopende mineralisatiesnelheden. Voor spinazie met zijn korte groeiduur is een variatie in mineralisatiesnelheid nauwelijks van belang. De extremen betekenen slechts een verschil van 7% in beschikbare hoeveelheid stikstof (= 17 kg N per ha). Uit de tabel valt af te leiden dat naarmate de groei korter is en de N-adviesgift hoger de mineralisatiesnelheid er minder toe doet.

Omgekeerd is (een voorspelling van) de mineralisatiesnelheid van groot belang bij gewassen die lang op het veld staan en/of een relatief geringe N-behoefte hebben. Het NBS-systeem (hoofdstuk 'stikstofbijmeststelsysteem') is een bemestingsstrategie die via de hoogte van de gift probeert zoveel mogelijk direct op de mineralisatiesnelheid in te spelen.

Behoefte aan stikstof

De totale behoefte van het gewas aan N hangt af van het opbrengstniveau, maar is in grote lijnen bekend. Hoe de behoefte in de tijd voor de verschillende groentegewassen verloopt, is minder bekend. Er zijn weinig N-opname-curves bepaald en zeker niet bij giften die lager zijn dan tot nu toe voor optimaal gehouden giften. Opname-curves zijn ook bij lagere giften van belang, omdat bekend is dat er dan terugkoppelingsmechanismen gaan werken, extra wortelgroei kan plaatsvinden of dat het gewas zijn stikstof anders over het bladapparaat verdeelt (zie hoofdstuk 'perspectieven voor selectie rassen met hogere stikstofproductiviteit'). Bij het streven naar een

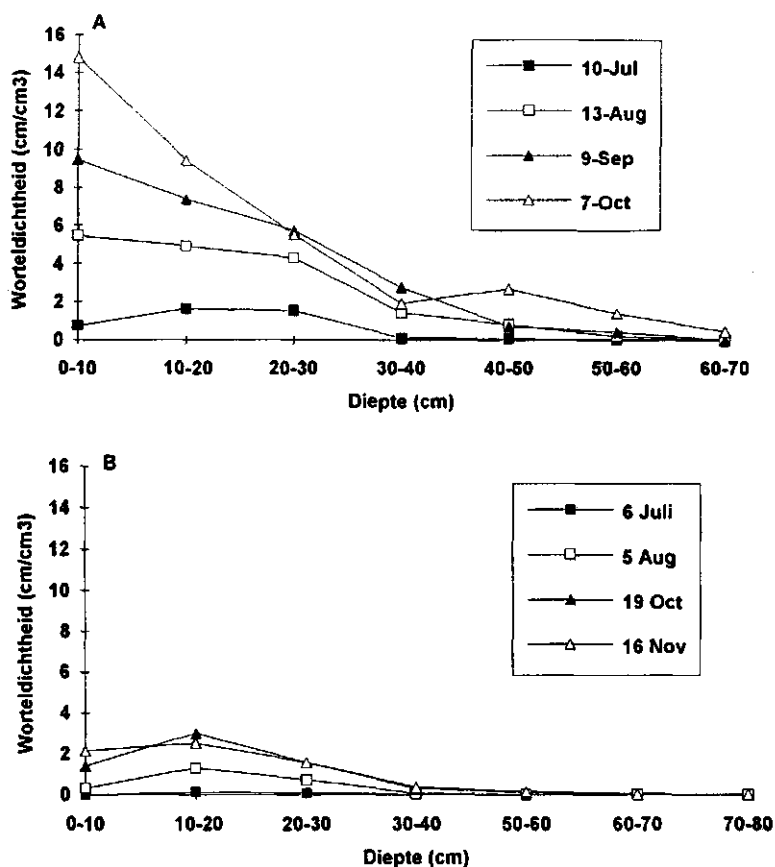
Tabel 2.3. De invloed van de hoogte van de mineralisatiesnelheid op de benutting van stikstof bij opvolging van het advies. De beschikbare hoeveelheid stikstof voor elk gewas is uitgerekend bij mineralisatiesnelheden van 0.35, 0.70 en 1.05 kg N/ha/dag.

gewas	beschikbare hoeveelheid N (kg/ha) bij een mineralisatiesnelheid (kg N /ha/dag) van:			max. verschil (kg N/ha)	als % van (b):
	.35 (a)	.70 (b)	1.05 (c)	(c-a)	(c-a)/b*100
spinazie	228	237	245	17	7
broccoli	323	345	368	45	13
bloemkool	327	353	380	53	15
knolvenkel	177	194	211	34	17
radijs	144	158	172	28	18
koolrabi	202	225	247	45	20
ijsberg sla	192	215	237	45	21
sla	193	215	238	45	21
andijvie	193	217	240	47	22
witte kool	399	447	496	97	22
aardappel	322	364	406	84	23
Chinese kool	184	208	232	48	23
prei	311	351	392	81	23
rode kool	349	397	446	97	24
stamslaboon	177	203	230	53	26
kroten	230	265	300	70	26
spruitkool	284	329	373	89	27
bospeen	95	110	125	30	27
boerenkool	241	281	322	81	29
wintertarwe	242	284	326	84	30
mais (kuil)	248	291	334	86	30
knolselderij	236	283	329	93	33
koolraap	229	277	326	97	35
doperwt	141	171	202	61	36
ui	231	282	333	102	36
suikerbiet	230	284	339	109	38
schorseneer	192	243	295	103	42
wortel	152	205	257	105	51
wittlof	109	159	208	99	62

betere benutting van N moet in het onderzoek meer aandacht geschonken worden aan het behoeftepatroon van het gewas, omdat anders geen nauwkeurige afstemming van vraag en aanbod in de tijd plaatsvindt.

Naarmate de behoefte in de tijd beter bekend is, kan de stikstof ook nauwkeuriger in de tijd toegediend worden. Op die manier worden uitspoeling, inspoeling en denitrificatie tijdens het groeiseizoen voorkomen. Hoe minder kennis er is over de behoefte in de tijd, hoe meer het nodig is om

het gewas in een overmaatsituatie te houden. De behoefte in de tijd is echter ook geen vaststaand gegeven voor elk gewas. Het zal sterk afhangen van de uitwendige (groeio)omstandigheden. Een techniek als fertigatie, het gedoseerd toedienen van N zo veel mogelijk synchroon aan de behoefte van het gewas, zal dan ook moeilijk succes kunnen hebben zonder op de achtergrond draaiende modelberekeningen. De invloed van de actuele klimaatomstandigheden (straling en temperatuur) op de groei, en daarmee de behoefte, kan hier-



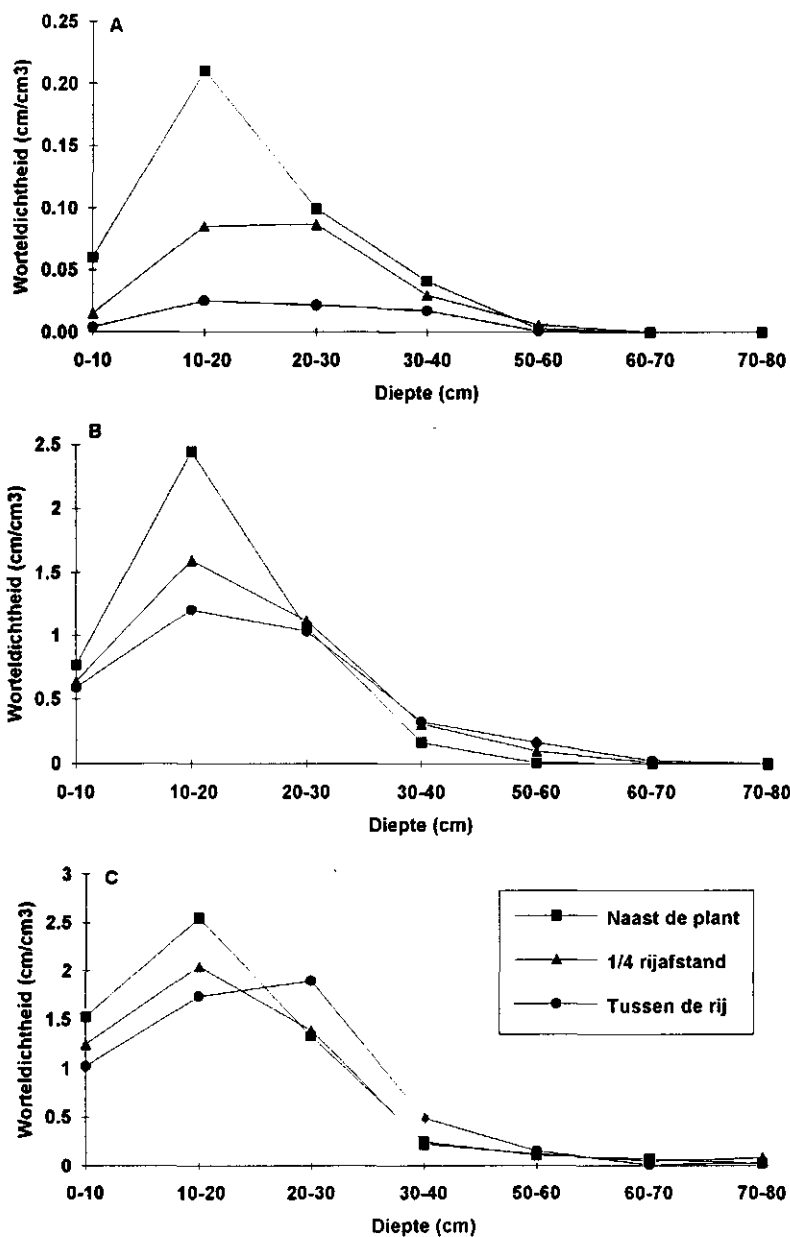
Figuur 2.3. De worteldichtheid in cm wortel per cm^3 grond in de loop van het seizoen bij spruitkool (fig. 3a, plantdatum 28 mei 1991) en prei (fig. 3b, plantdatum 11 juni 1992).

mee snel worden geschat.

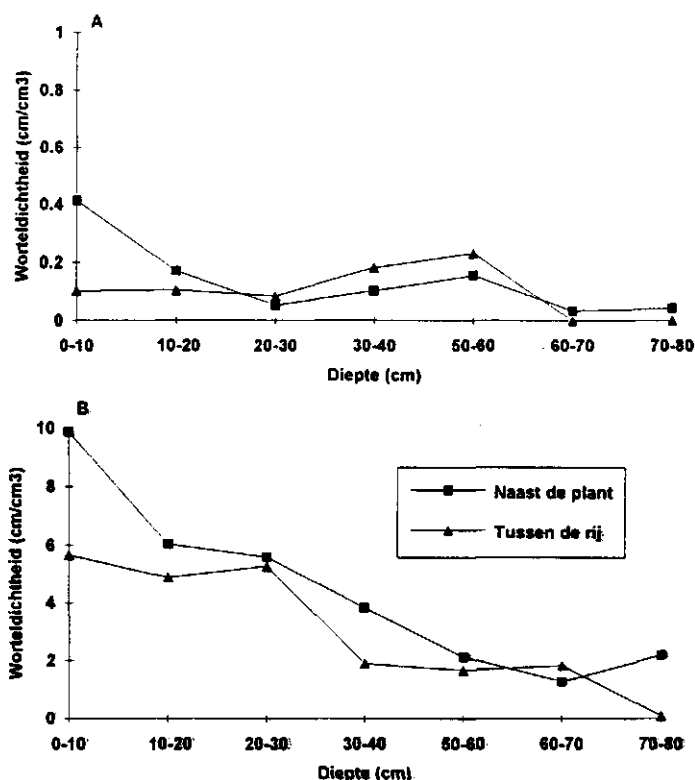
Opname van stikstof

Naast een goede afstemming in de tijd dient er ook in de ruimte een goede afstemming te zijn. Dit betekent dat op elk moment het gewas de N in het profiel ook op moet kunnen nemen. De vraag komt daarbij naar voren in hoeverre de beworteling een factor is die de benutting van N in de weg staat. Daarom is aandacht besteed aan de bewortelingspatronen van spruitkool (een goede N-benutter) en van prei (een relatief slechte benutter). Figuur 2.3 laat zien dat er karakteristieke verschillen in het

bewortelingspatroon tussen de beide gewassen bestaan. Bij spruitkool (figuur 2.3a) is er sprake van een hoge bewortelingsintensiteit, in de bovenste laag tot zelfs 15 cm wortel per cm^3 grond. Bij prei daarentegen (figuur 2.3b) is de maximale waarde slechts 3 cm wortel per cm^3 grond. Het verschil in verdeling over het profiel is opvallend. Prei vormt de meeste wortels op een diepte van 10-20 cm. Er boven komen duidelijk minder wortels voor en beneden de 40 cm vormt prei nog nauwelijks wortels. Bij spruitkool daarentegen is er weliswaar sprake van een geleidelijke afname van de beworteling met de diepte, maar de



Figuur 2.4. De horizontale en verticale verdeling in het profiel van preiwortels (plantdatum 11 juni 1992) op 6 juli 1992 (A), 14 september (B) en 15 november (C). N.B. Fig. 2.4A en 2.4B hebben een verschillende schaal op de y-as.

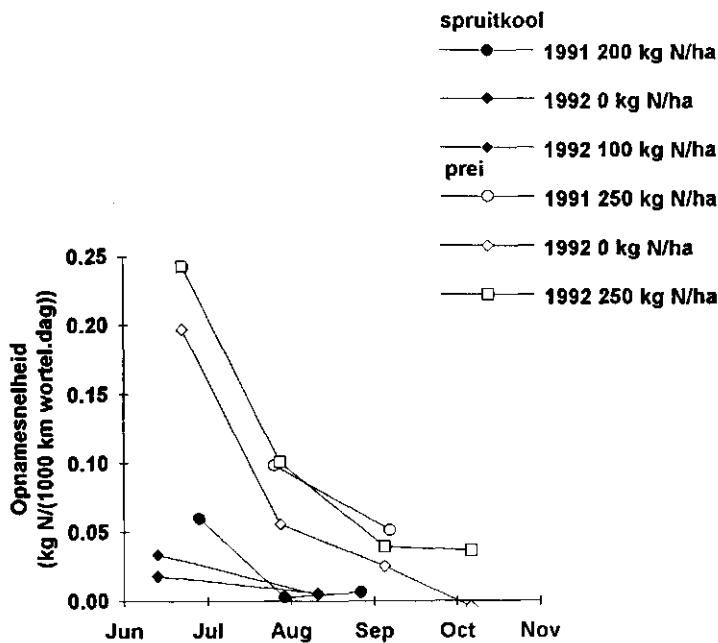


Figuur 2.5. De horizontale en verticale verdeling in het profiel van spruitkoolwortels (plant-datum 19 mei 1992) op 12 juni (A) en 9 november (B). N.B. De schaal van beide grafieken is verschillend.

grote aantallen wortels maken dat dit gewas het gehele profiel goed doorwortelt. Figuur 2.3 gaat er aan voorbij dat door de teelt in rijen ook variatie in beworteling in horizontale richting bestaat, vooral bij gewassen met een ruime plantafstand zoals spruitkool. Figuur 2.4 laat de beworteling van prei zien vlak naast de plant, op 1/4 van de rijenafstand en precies tussen de rijen. Op een vroeg tijdstip (figuur 2.4a) komen vlak naast de plant veel meer wortels voor dan tussen de rijen. Dit blijft ook later in het seizoen zo, maar prei heeft toch al vrij snel (figuur 2.4b en 2.4c) een redelijk homogene verdeling van wortels in horizontale richting. In figuur 2.5a en 2.5b is ook voor spruitkool de horizontale verde-

ling van wortels op twee tijdstippen weergegeven, namelijk vlak naast de plant en precies tussen de rijen. Ook hier geldt dat er behalve in de bovenste 10 cm van het profiel geen duidelijke invloed van de plaats van de rij is. Het bovenstaande is van belang, omdat een niet-homogene verdeling van wortels kan leiden tot plaatselijk uitspoelen van stikstof. Ook het succes van rijenbemesting hangt er in grote mate van af.

Is de beworteling nu een factor die de lage benutting van stikstof door prei kan verklaren? Vooruitlopende op de berekeningen van De Willigen in dit themanummer kan geconcludeerd worden dat ook de relatief lage bewortelingsintensiteit van prei vol-



Figuur 2.6. De opnamesnelheid van stikstof per lengte-eenheid wortel bij verschillende N-giften voor spruitkool en prei in 1991 en 1992.

doende is om de gevraagde hoeveelheden stikstof op te nemen. Wel moet men rekening houden met de geringe bewortelingsdiepte. Vooral bij te vroeg gegeven stikstof is het gevaar aanwezig dat bij een zich traag ontwikkelend gewas als prei (hoofdstuk 'stikstofhuishouding bij teelt van prei en spruitkool') stikstof in de loop van het groeiseizoen onder de bewortelde zone terecht komt, vooral in jaren met natte zomers.

Dat het wortelstelsel van prei kwalitatief zeker niet onderdoet voor dat van spruitkool is nog eens geïllustreerd in figuur 2.6. Door de N-opname-curve -zoals waargenomen in de in 1991 en 1992 op het AB-DLO uitgevoerde N-trappen-proeven bij prei en spruitkool (hoofdstuk 'stikstofhuishouding bij teelt van prei en spruitkool')- te relateren aan de totale wortellengte (in km

per ha) werden opnamesnelheden per eenheid wortellengte voor de beide gewassen berekend. Hoewel het wortelstelsel van prei in de praktijk nog wel eens als 'zwak' betiteld wordt, neemt het per cm wortel meer stikstof op dan spruitkool.

Conclusies en consequenties: gewasspecifieke bemestingsstrategieën en onderzoeksvragen

Bij het streven naar een lagere emissie van stikstof dient men rekening te houden met het gewastype. Tabel 2.4 laat het verband zien tussen gewastype en mogelijke bemestingsstrategieën voor een betere N-benutting. De gewassen van gewastype A laten al een hoge benutting van N zien. Het is daarom weinig zinvol om te proberen dit nog hoger te maken. Het is dan beter om

Tabel 2.4. Mogelijke bemestingsstrategieën en onderzoeksvragen in relatie tot het gewasstype.

gewas- type	karakteristieke gewassen	strategieën	onderzoeksvragen
A	rode/witte kool, spruitkool	- compostering van gewasresten - voeren van gewasresten aan vee - N-vanggewassen	- veredeling op rassen met minder N in gewasresten - tot van N in gewasresten in relatie tot: vanggewassen, inwerken van gewasresten, samenstelling van gewasresten enz.
B	tarwe witlof	- huidig advies opvolgen	- verfijning advies door perceelsgericht voorspellen van mineralisatie en behoefte op basis van klimaatsomstandigheden
C	spinazie, radijs sla, bloemkool	- fertigatie gecombineerd met gewasgroeimodellen om de behoefte in de tijd te schatten - deling van N-giften - gewasopvolging binnen het seizoen (N-rest opruimen) - vanggewassen	- opname van achtergebleven N door volggewassen - beworteling en opnamepatroon door volggewassen - verdere ontwikkeling van gewasgroeimodellen (behoefte in de tijd)
D	ui, prei aardappel	- rij/band/plant bemesting - gedeelde bemesting - fertigatie	- veredeling op bewortelingsdiepte - wortelkwaliteit - synchronisatie van bemesting en behoefte

zowel in het onderzoek als in de praktijk zich te richten op het lot van de stikstof in de gewasresten. Voor bepaalde bedrijfstypen (bijvoorbeeld ecologische landbouw) kan voeren aan vee of compostering goed in het bedrijfssysteem passen. In de gangbare landbouw kan de teelt van een N-vanggewas een bijdrage leveren.

Bij gewasstype C zal de nadruk moeten liggen op het zo goed mogelijk synchroon laten lopen van vraag en aanbod. De (vrij

wel niet te vermijden) rest-stikstof in het profiel na de oogst zal dan door andere gewassen moeten worden opgenomen. Een goede keuze (snelheid en diepte van beworteling, N-opname capaciteit) van volg- of vanggewas is dan van belang. Bij gewasstype D speelt waarschijnlijk speciaal de diepte van de beworteling een rol. Toedieningstechnieken als rijen- of plantbemesting hebben bij deze categorie gewassen de grootste kans op succes.

STIKSTOFHUISHOUDING BIJ DE TEELT VAN PREI EN SPRUITKOOL

dr. ir. R. Booij (AB-DLO Wageningen) en ir. H. Biemond (LU-Wageningen)

Inleiding

De stikstofhuishouding in de bodem is gecompliceerd (hoofdstuk 'stikstofbenutting'). Voor het gewas is alleen de minerale stikstof opneembaar. De hoeveelheid minerale stikstof in de bodem varieert doordat er aan de ene kant minerale stikstof bijkomt (onder andere mineralisatie van organischestof), terwijl aan de andere kant afname plaats vindt (immobilisatie, denitrificatie, uitspoeling). Om te komen tot ecologisch verantwoorde bemestingsadviezen is het noodzakelijk de snelheid en orde van grootte van deze afzonderlijke processen te kennen. Een globale indruk van verliezen als gevolg van bemesting kan worden verkregen door alleen het totaalresultaat te beoordelen. Er kunnen dan balansen worden opgesteld met betrekking tot de minerale stikstof met aan de ene kant de hoeveelheid die beschikbaar is gekomen en aan de andere kant de hoeveelheid die op dat moment aanwezig is. Het verschil tussen deze twee is het verlies van voor de planten opneembare minerale stikstof.

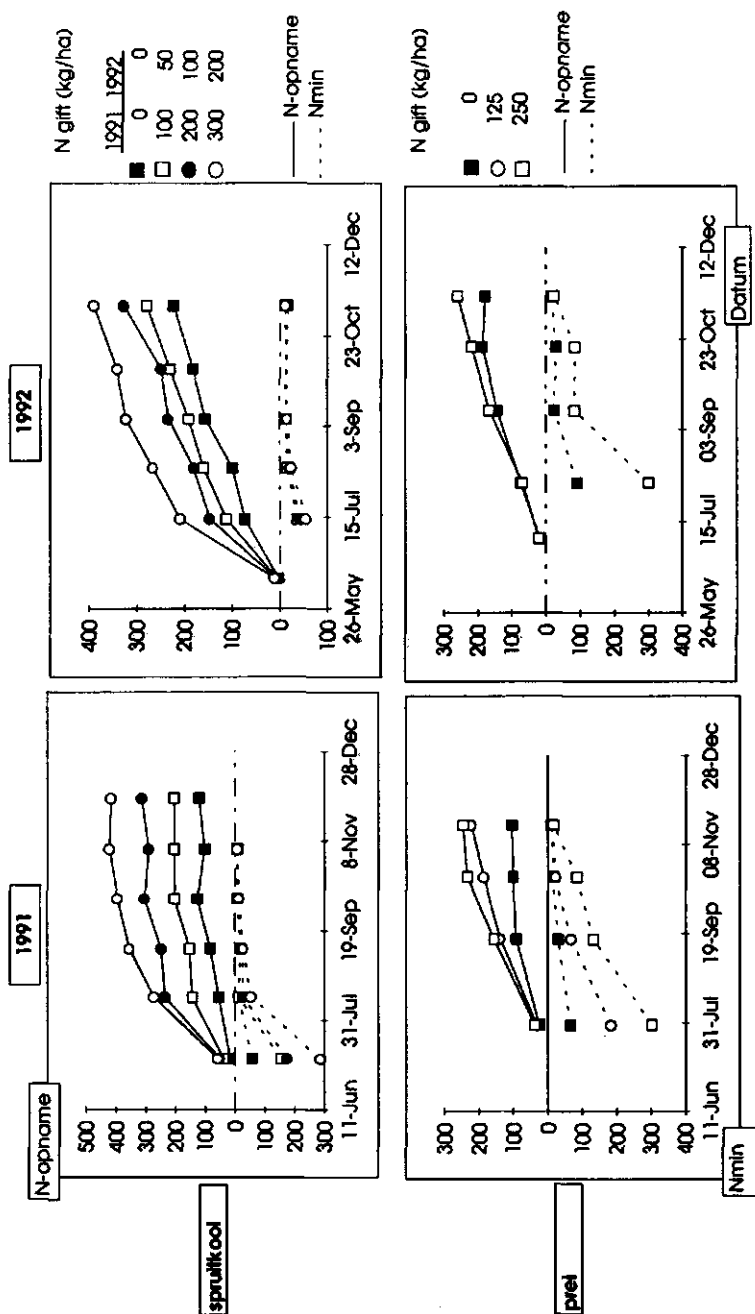
Door de stromen van stikstof in het bodemgewas systeem te kwantificeren gedurende de groei van het gewas worden knelpunten gesignaleerd.

Niet alle gewassen reageren gelijk op het stikstofaanbod (hoofdstuk 'stikstofbenutting'). Het is daarom van belang aan te geven waardoor verschillen in gewassen ontstaan. Voor prei en spruitkool zijn in een aantal veldproeven de stikstofstromen in gewas en bodem onderzocht. Daarvan zullen de belangrijkste resultaten worden

gepresenteerd.

Input-output relaties

De minerale stikstof ($N_{min.}$), die bij het begin van de teelt in de bodem aanwezig is, is afkomstig van de voorafgaande mineralisatie van organische stof, depositie en de toegediende kunstmeststikstof. Deze voorraad aan direct door het gewas opneembare stikstof daalt gedurende het seizoen (figuur 3.1) doordat het gewas er stikstof aan onttrekt, maar kan ook het gevolg zijn van verliezen door uitspoeling, denitrificatie of immobilisatie (hoofdstuk 'stikstofbenutting'). Spruitkool onttrekt zo snel stikstof aan de aanwezige bodemvoorraad minerale stikstof, dat deze ongeveer 8 weken na het planten reeds geheel verdwenen is, zelfs bij een kunstmestgift van 300 kg per ha N. Prei onttrekt in een veel lager tempo stikstof uit de voorraad minerale stikstof (figuur 3.1). In bepaalde periodes is de opname door het gewas prei kleiner dan de afname van de voorraad, vooral bij een hoge N-gift. Dit laatste betekent dat er in deze periode verliezen zijn opgetreden (figuur 3.1). Het afwezig zijn van een voorraad direct opneembare stikstof op een zeker moment, betekent niet dat er geen stikstof meer beschikbaar is voor een volgende periode, maar dat de opname dan afhankelijk is van de snelheid waarmee minerale stikstof vrijkomt door bijvoorbeeld mineralisatie. Als de hoeveelheid N die vrij komt direct wordt opgenomen, blijft de voorraad klein. Het is duidelijk, dat naarmate de voorraad sneller wordt opgenomen het risico van directe verliezen



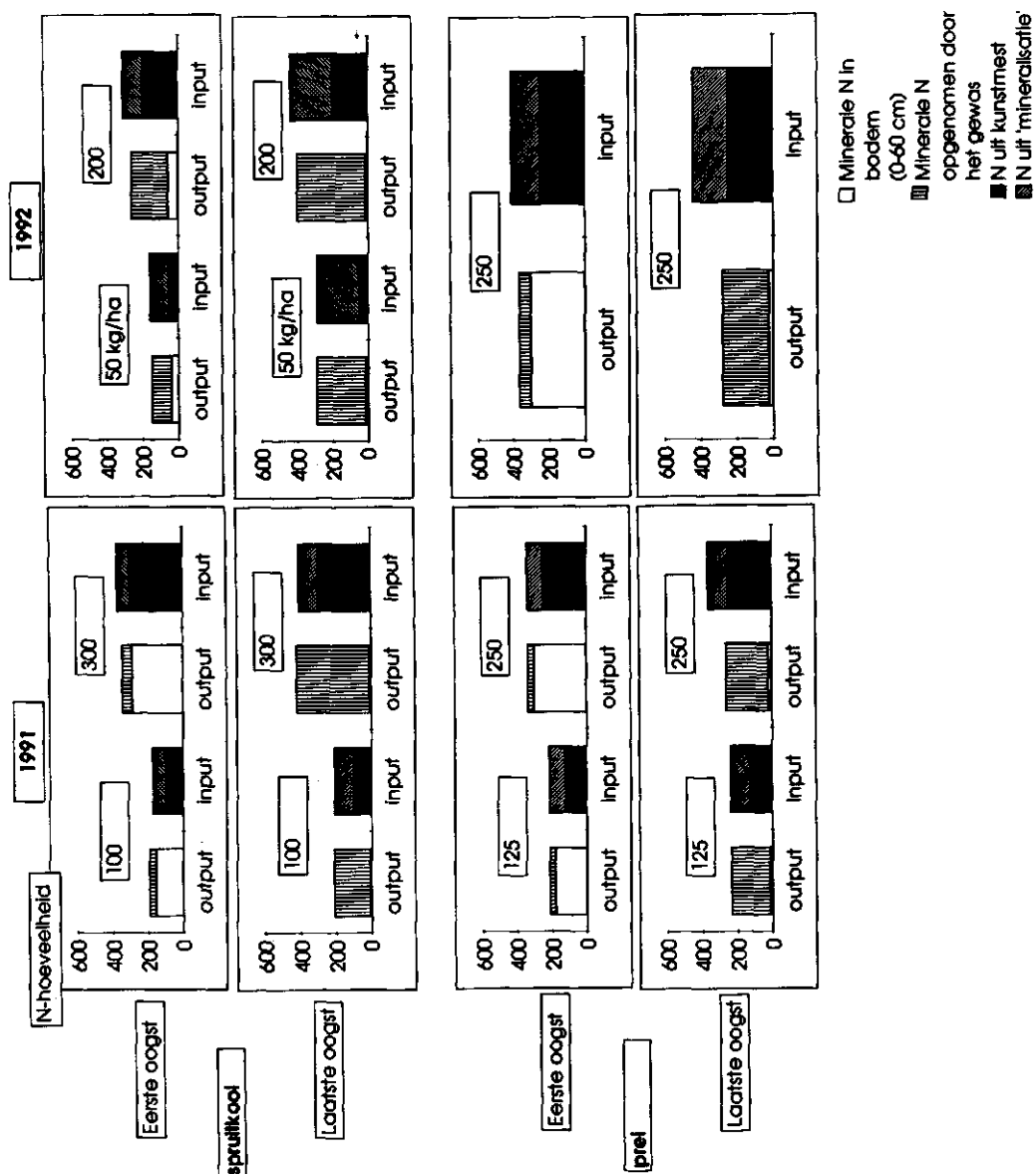
Figuur 3.1. De stikstofopname (kg/ha) door het gewas en de minerale stikstof bodemvoorraad (Nmin (kg/ha) in 0-60 cm) gedurende de groei van spruitkool en prei bij verschillende stikstofgiften gedurende 1991 en 1992.

kleiner is. De maximum opnamesnelheid is gewasspecifiek. Spruitkool neemt bijvoorbeeld veel grotere hoeveelheden stikstof per tijdseenheid op dan prei. Het stikstofaanbodniveau waarbij een verhoging van het aanbod geen hogere opname tot gevolg heeft, ligt bij prei lager dan bij spruitkool (figuur 3.1). Bij prei werd nauwelijks nog een verhoging van de opname geconstateerd als de stikstofgift werd verhoogd van 125 naar 250 kg per ha N, terwijl bij spruitkool een verhoging van 200 naar 300 kg per ha N een evenredige toename van de opname tot gevolg had (figuur 3.1).

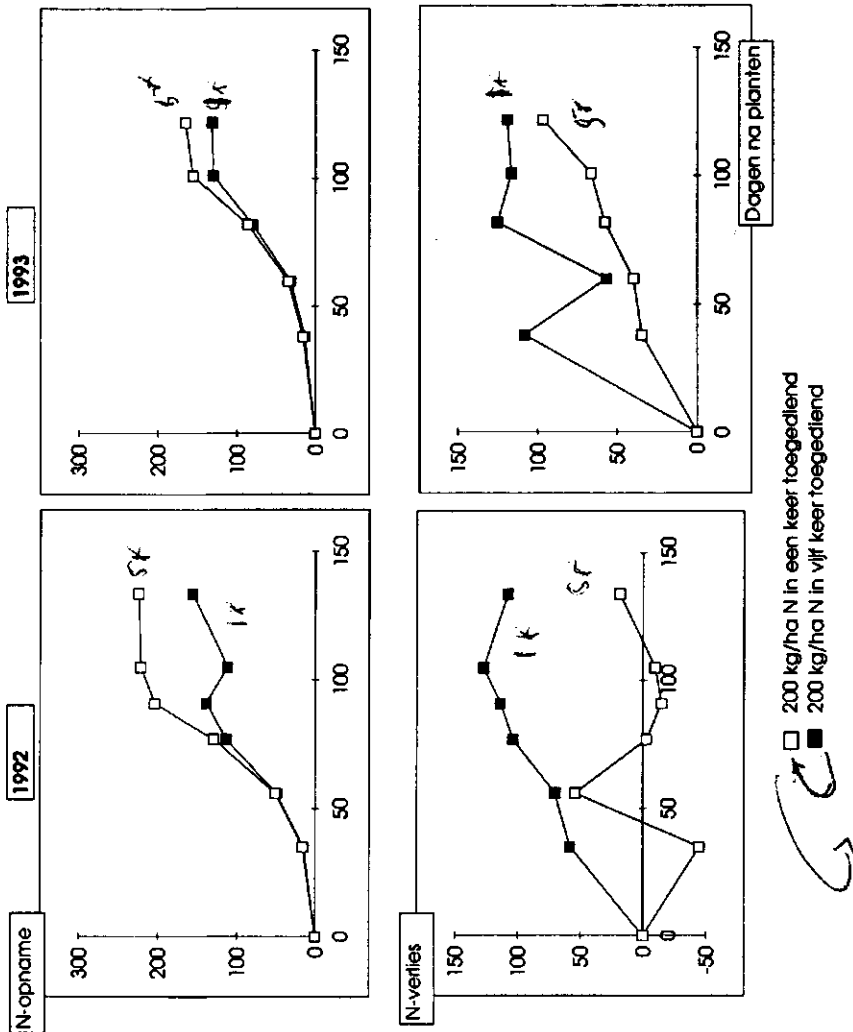
Stikstofverliezen

Indicaties over verliezen aan voor de plant opneembare stikstof tijdens de teelt verkrijgt men door een balans op te stellen. Deze beschouwing heeft betrekking op de hoeveelheid minerale stikstof. Dit betekent onder andere dat vastlegging van stikstof door immobilisatie verlies is. Zolang er een gewas groeit kunnen bodem en gewas als één systeem worden beschouwd, met aan de ene kant de door het gewas reeds opgenomen stikstof en de nog aanwezige bodemvoorraad, en aan de andere kant de hoeveelheid stikstof die beschikbaar is gekomen voor opname in de voorafgaande periode (kunstmest, mineralisatie, depositie). Zolang deze twee gelijk zijn, is er geen sprake van verliezen aan minerale stikstof uit het systeem bodem-gewas in de periode voorafgaande aan het moment waarop de balans wordt opgemaakt (figuur 3.2). Gedurende de beginperiode blijken er geen of nauwelijks verliezen op te treden en als aan het einde van de teelt opnieuw de balans wordt opgemaakt, blijkt er in het geval van spruitkool evenwicht te zijn. Maar bij prei zijn de verliezen aanzienlijk geweest, vooral als er veel stikstof beschikbaar is geweest (figuur 3.2). Door geduren-

de de teelt op een aantal tijdstippen een dergelijke balans op te stellen, is nagegaan wanneer deze verliezen optreden. Een mogelijkheid om de verliezen tijdens de teelt bij prei kleiner te maken, is een zekere hoeveelheid stikstof gedeeld toe te dienen. Uit tabel 3.1 blijkt dat het berekende verlies als gevolg van het toedienen van kunstmeststikstof kleiner is als de kunstmest gedeeld is toegediend. De reductie is sterk afhankelijk van het jaar, waarbij het verschil in onttrekking het belangrijkste verschil in verlies tot gevolg heeft. Het verlies blijkt zich gedurende de gehele groeiperiode op te bouwen (figuur 3.3). Omdat in onze berekeningswijze immobilisatie van stikstof tot verlies wordt gerekend, kunnen de berekende cumulatieve verliezen in een bepaalde periode kleiner zijn dan in een voorafgaande periode, als eerder geïmmobiliseerde stikstof weer vrijkomt (figuur 3.3). De hoeveelheid stikstof die beschikbaar is om door de plant te worden opgenomen, is hoofdzakelijk afkomstig uit de kunstmestgift en de mineralisatie uit de organische stof (inclusief gewasresten van voorafgaande teelten) in de bodem. Een gedeelte daarvan is al aanwezig bij het begin van de teelt, het restant komt beschikbaar tijdens de teelt. De hoeveelheid afkomstig uit mineralisatie bij het begin van de teelt hangt af van het moment waarop de teelt wordt begonnen en het er aan voorafgaande weer. De hoeveelheid die door mineralisatie vrijkomt tijdens de teelt kan worden geschat uit de opname van stikstof door een gewas dat geteeld wordt op een onbemeste grond. Deze wijze van schatten van de netto mineralisatie leidt tot een onderschatting als in het onbemeste veldje ook verliezen als gevolg van denitrificatie en/of uitspoeling plaatsvinden. Volgens modelberekeningen (hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N') treden er op onbemeste veldjes evenwel nauwelijks verliezen op. Daarnaast



Figuur 3.2. Vergelijking van de input (kg/ha) aan minerale stikstof (kunstmest + mineralisatie (geschat aan de hand van de onbemeste veldjes)) en de output (kg/ha) (minerale stikstof in de bodem (0-60 cm) + gewasopname) in het bodem/ge-wassysteem van spruitkool en prei bij het begin en het einde van de teelt en verschillende stikstofgiften (1991 en 1992).



Figuur 3.3. Berekende (zie tabel 3.1) cumulatieve verliezen (kg/ha) van voor de plant opneembare stikstof gedurende de groeiperiode van prei bij een eenmalige- en meermalige (5 keer) gift van totaal 200 kg/ha stikstof.

Tabel 3.1. Balans voor opneembare stikstof van prei, opgemaakt bij beëindiging van de teelt, na al dan niet delen van een stikstofgift van totaal 200 kg/ha.

	1992			1993		
aantal bemestingen	0	1	5	0	1	5
onttrekking (kg/ha)	62	156	224	62	131	169
totale N-gift (kg/ha)	0	200	200	0	200	200
N _{min} ¹⁾ (kg/ha)	20	18	39	32	50	39
bodem + gewas ²⁾ (kg/ha)	82	174	263	94	181	208
beschikbaar ³⁾ (kg/ha)	82	282	282	94	294	294
verlies ⁴⁾ (kg/ha)	0	108	19	0	113	86

1) in de bodemlaag 0-60 cm bij beëindiging van de teelt

2) stikstofinhoud van het totale systeem bodem (0-60 cm) en gewas

3) toegediende hoeveelheid kunstmeststikstof en netto mineralisatie (incl. depositie), waarde betrokken uit onbemeste object

4) verschil tussen inhoud systeem bodem/gewas en beschikbaar

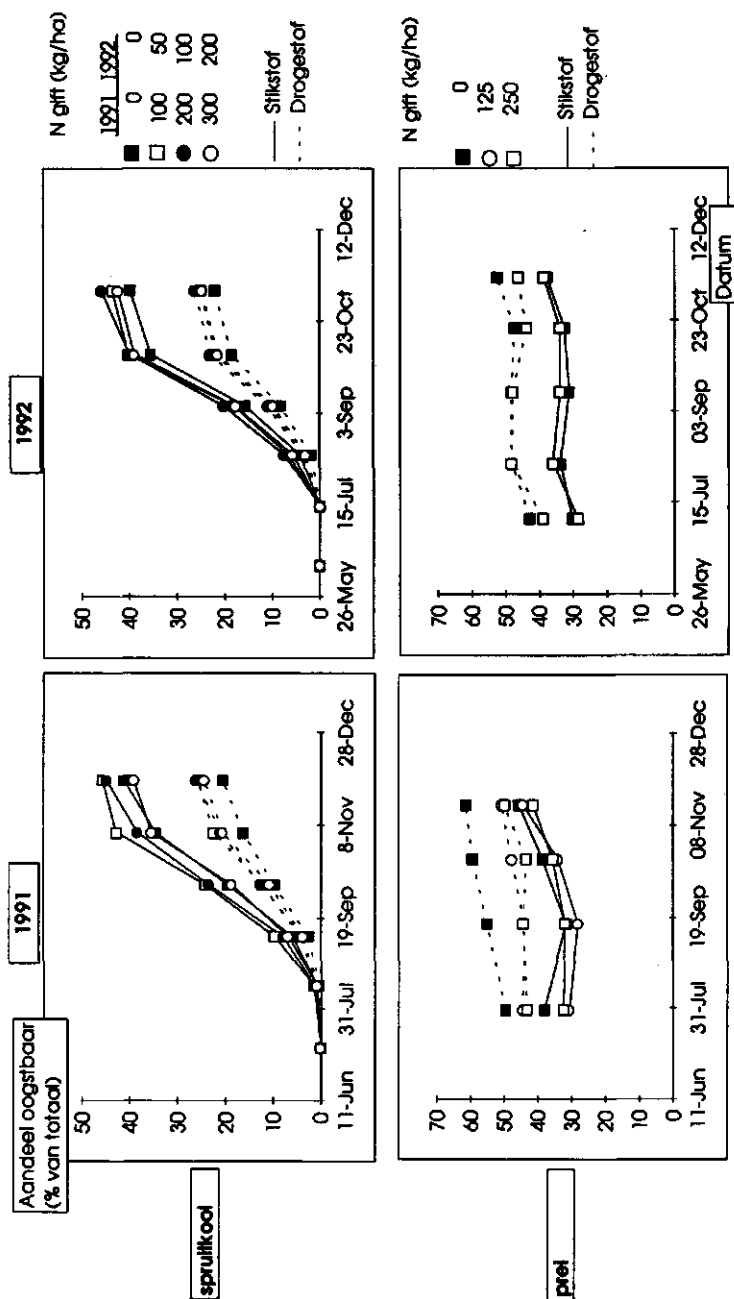
wordt dat gedeelte dat door depositie binnen komt, toegerekend aan de mineralisatie. De mineralisatiesnelheid is sterk afhankelijk van het jaar c.q. perceel. Het grootste deel heeft echter plaatsgevonden voor half augustus. De hoeveelheden die daarna nog vrijkomen zijn beperkt (figuur 3.1), zoals blijkt uit de stikstofopnamecurve vande onbemeste veldjes.

Bij het einde van de teelt kan in de bodem nog sprake zijn van een restvoorraad aan minerale stikstof, terwijl bovengronds de niet geoogste delen van de plant (gewasresten) stikstof bevatten welke niet wordt afgevoerd. Deze twee voorraden aan stikstof kunnen in de periode na de oogst alsnog verliezen tot gevolg hebben. Aan het einde van de teelt kan de balans worden opgemaakt aangaande de stikstof die is afgevoerd in het geoogste produkt en de hoeveelheid die is aangevoerd als kunstmest. In het geval van een lage gift en een hoge mineralisatie wordt er meer afgevoerd dan er is aangevoerd vanuit de kunstmest. De verhouding tussen enerzijds de hoeveelheid stikstof die wordt afgevoerd in het produkt bij de oogst en anderzijds is aangevoerd middels kunstmest daalt met toenemende gift en is hoger naarmate er meer stikstof door mineralisatie is vrijge-

komen. De hoeveelheid minerale stikstof in de bodem bij de oogst in november en december is op zandgrond laag, gedeeltelijk omdat verliezen ten gevolge van uitspoeling reeds eerder hebben plaatsgevonden (hoofdstuk 'een model voor opname en uitspoeling van N').

De stikstofhoeveelheid die in de gewasrest achterblijft, hangt af van de totale hoeveelheid door de plant opgenomen hoeveelheid stikstof en de verdeling van stikstof binnen de plant. De door het gewas opgenomen stikstof wordt niet gelijkelijk verdeeld over de verschillende organen van de plant. De verdeling over het marktbaar deel en de gewasrest is afhankelijk van het te oogsten orgaan en daarmee van het betreffende gewas. In het geval van prei is de verdeling vrij constant gedurende de groeiperiode (figuur 3.4), wanneer alleen de schacht als oogstbaar deel wordt beschouwd. In de praktijk is een groter deel oogstbaar, daar eveneens een gedeelte van het blad wordt meegeoogst. De hoogte van de stikstofgift blijkt nauwelijks van invloed te zijn op de verdeling van stikstof over beide componenten.

Bij spruitkool, waar het te oogsten deel pas tijdens het tweede deel van de groeiperiode wordt gevormd, neemt het aandeel in



Figuur 3.4. De ontwikkeling van het marktbaar deel als percentage van de totaal door het gewas opgenomen stikstof en geproduceerde drogestof gedurende de groei van het gewas in afhankelijkheid van de stikstofgift voor spruitkool en prei gedurende 1991 en 1992.

de spruiten sterk toe tijdens deze periode (figuur 3.4). Gedurende de spruitgroei vindt er bladval plaats onderin het gewas. Een groot gedeelte van de in het blad aanwezige stikstof haalt de plant uit het blad, voordat het afvalt. Mede hierdoor stijgt het aandeel stikstof in het oogstbare deel tijdens de periode van spruitgroei. De verdeling over het oogstbare en het niet oogstbare deel wordt ook bij spruitkool nauwelijks beïnvloed door het stikstofaanbod (figuur 3.4). Dit betekent dat een hogere spruitopbrengst tengevolge van een hogere N gift, samengaat met een grotere hoeveelheid stikstof in de gewasrest. Hoewel een gedeelte van de stikstof uit het blad wordt herverdeeld, voordat het blad afvalt, wordt aan het einde van de teelt 10-20% van de totaal door het gewas opgenomen stikstof teruggevonden in de afgefallen bladeren. Dit aandeel neemt toe met toenemende stikstofgift. In hoeverre de stikstof in de gewasresten beschikbaar komt aan een volggewas of leidt tot verliezen is afhankelijk van het tijdstip waarop de gewasrest beschikbaar komt en de samenstelling van de gewasrest. Beide aspecten bepalen de snelheid waarmee de gewasrest verteert en de in de gewasrest vastgelegde stikstof vrijkomt (hoofdstuk 'modellering N-verliezen na oogst').

Relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst

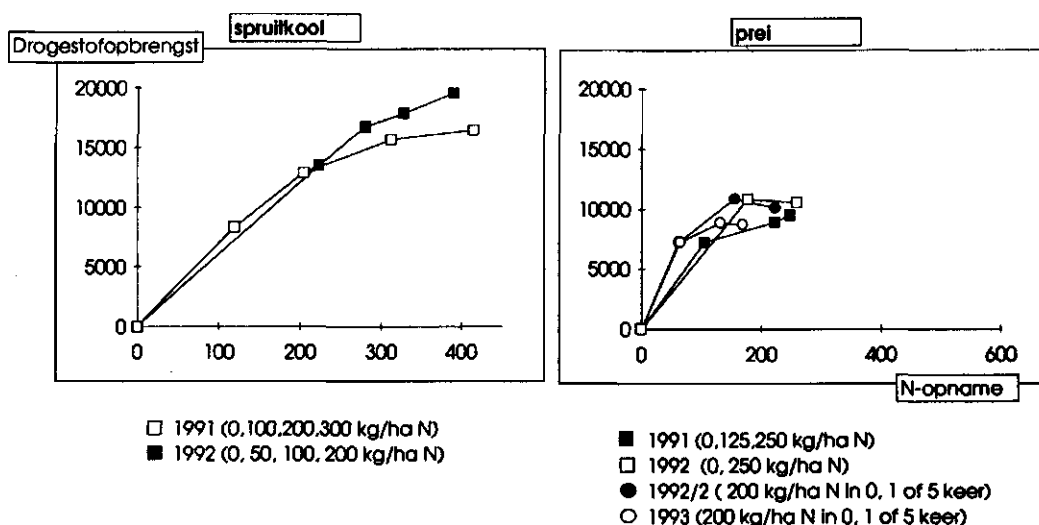
Drogestofopbrengst en stikstofopname door het gewas zijn van elkaar afhankelijk, immers stikstof is noodzakelijk voor de koolstofvastlegging (fotosynthese) en koolstof is nodig voor de stikstofopname (vorming van wortels).

De totale drogestofopbrengst bij de eind-oogst neemt toe met toenemende hoeveelheid opgenomen stikstof (figuur 3.5). Deze relatie geeft informatie omtrent de stikstof-

efficiëntie, hier gedefinieerd als de drogestofopbrengst per eenheid opgenomen stikstof (stikstofefficiëntie = massa drogestof/massa stikstof). Deze stikstofefficiëntie neemt af met toenemende hoeveelheid opgenomen stikstof. Bij lage stikstofbeschikbaarheid is de stikstofefficiëntie bij prei gelijk aan die van spruitkool (tot opnames van ongeveer 100 kg per ha) en bedraagt 60-70 (kg ds per kg N). Naarmate er meer stikstof beschikbaar is, neemt de stikstofefficiëntie bij prei veel sneller af dan bij spruitkool (figuur 3.5). Dit laatste heeft bij prei een hoger stikstofgehalte in het gewas bij een hogere stikstofbeschikbaarheid tot gevolg. Deling van de stikstofgift geeft bij prei eveneens hoofdzakelijk een toename van het stikstofgehalte; de grotere stikstofopname bij een gedeelde gift resulteert niet in een hogere drogestofopbrengst (figuur 3.5). Bij prei breekt daarom bij een lagere stikstofgift, eerder dan bij spruitkool, het moment aan waarop de mogelijkheden van een verdere toename in drogestofopbrengst beperkt zijn. Dit evenwel niet als gevolg van een limiet aan de stikstofopname, immers het stikstofgehalte stijgt bij een toenemend aanbod.

Relatie tussen lichtonderschepping en drogestofopbrengst

De verschillen in stikstofefficiëntie tussen prei en spruitkool resulteren in verschillende totale drogestofopbrengsten bij toenemend stikstofaanbod (figuur 3.6). Een hogere stikstofgift geeft bij spruitkool een toenemende snelheid van drogestofproductie. Bij prei is dit effect veel minder uitgesproken. De grootte van het effect van de stikstofgift op de drogestofopbrengst is niet in alle situaties gelijk en hangt sterk af van de bijdragen van de mineralisatie aan het stikstofaanbod. Vooral bij prei wordt het effect van het stikstofaanbod op de droge-



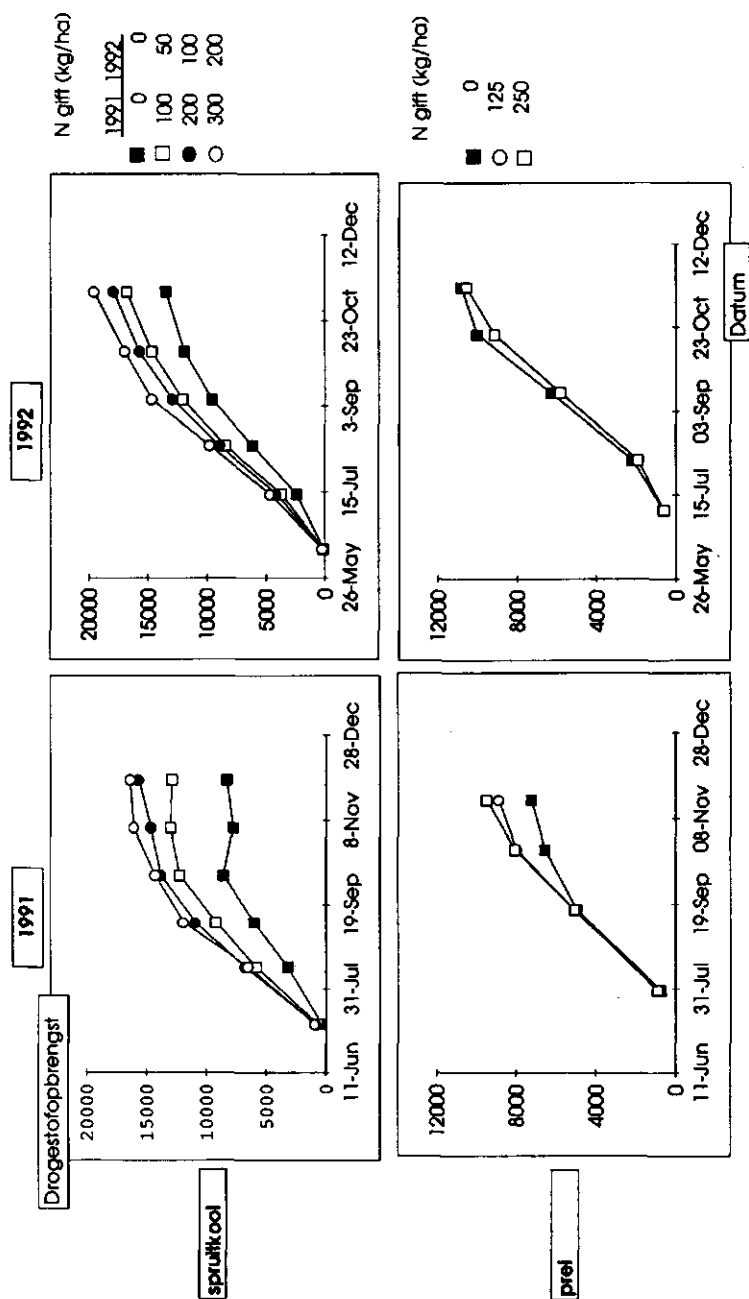
Figuur 3.5. De relatie tussen de totaal door het gewas opgenomen stikstof (kg/ha) aan het einde van het groeiperiode en de drogestofopbrengst (kg/ha) voor spruitkool en prei. Voor spruitkool inclusief de hoeveelheid stikstof en drogestof in het afgefallen blad.

stofproductie snel klein (figuur 3.6), als de hoeveelheid stikstof afkomstig uit de mineralisatie groot is (figuur 3.1).

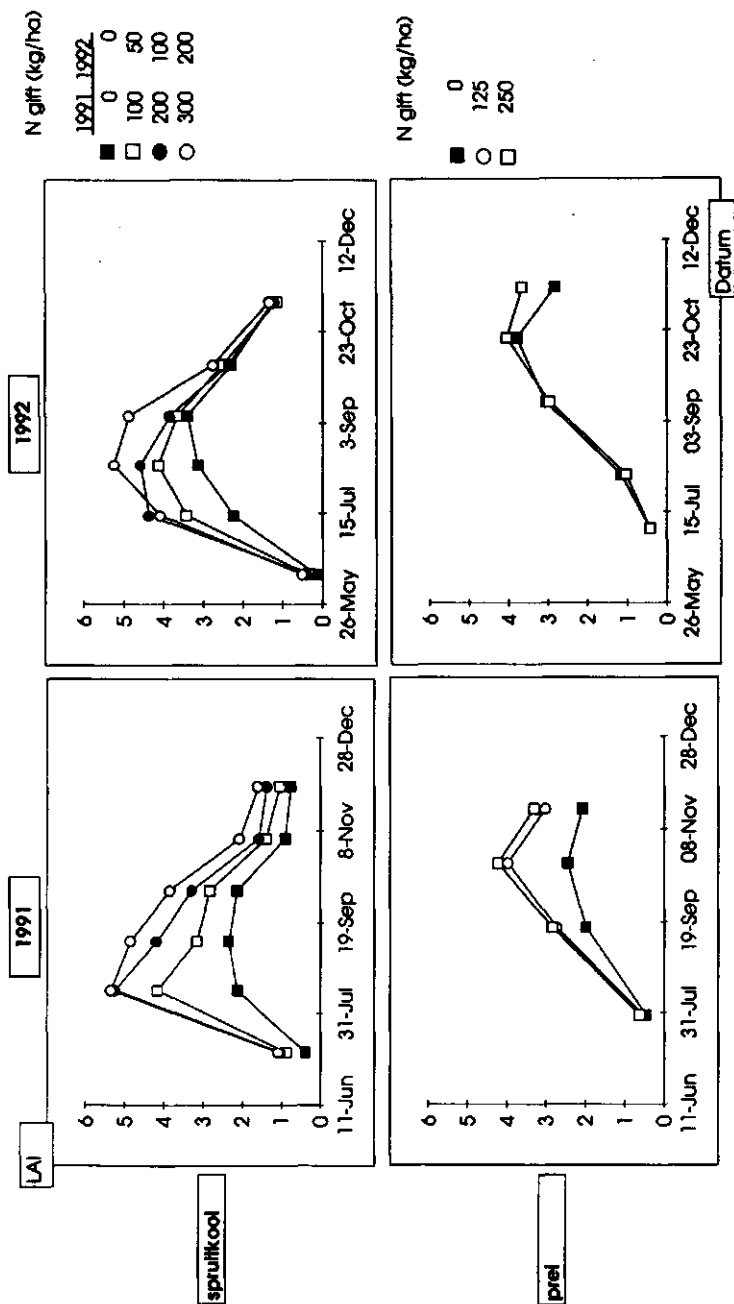
De verdeling van de drogestof over het oogstbare deel en de gewasrest wordt bij zowel spruitkool als prei nauwelijks beïnvloed door de hoogte van de stikstofgift (figuur 3.4). Bij spruitkool is sprake van een sterke bladval tijdens de spruitgroei. Het aandeel van de totaal geproduceerde drogestof welke aanwezig is in het afgefallen blad, bedraagt in het oogstbare stadium ongeveer 30% en is onafhankelijk van de hoogte van de stikstofgift. De verdeling van geproduceerde drogestof over de verschillende organen, met name over blad en wortels bepaalt de mate waarin de plant enerzijds in staat is licht te onderscheppen en anderzijds nutriënten op te nemen. De drogestofopbrengst per eenheid bodemoppervlak hangt af van de stralingsintensiteit, de stralingsduur en het deel van de inkomende straling dat door het gewas wordt

onderschept en benut. De totale lichtonderschepping wordt bepaald door de snelheid waarmee het moment bereikt wordt waarop alle invallende straling wordt onderschept en de duur van de periode van maximale onderschepping. De snelheid van bladexpansie en het maximum bladoppervlak per eenheid grondoppervlak worden sterk beïnvloed door de hoogte van de stikstofgift. Beide nemen toe met toenemende gift, maar de snelheid van de vorming van bladoppervlak en het maximale niveau dat wordt bereikt is bij spruitkool hoger dan bij prei (figuur 3.7).

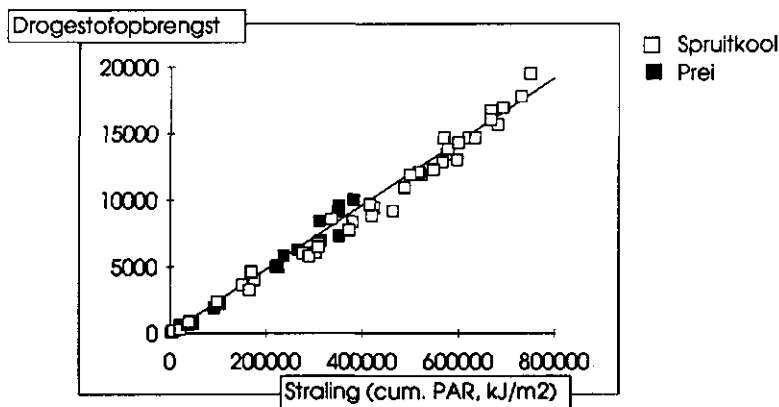
Dit verschil tussen beide gewassen is het gevolg van een verschil in het deel van de totaal geproduceerde drogestof, die gebruikt wordt voor de vorming van bladoppervlak, welke bij spruitkool hoger is dan bij prei (hoofdstuk 'perspectieven voor selectie van rassen met hogere N-productiviteit').



Figuur 3.6. De totale drogestofopbrengst (kg/ha) van spruitkool en prei in 1991 en 1992 bij verschillende stikstofgiften.



Figuur 3.7. De ontwikkeling van het bladoppervlak ($LAI = m^2$ blad per m^2 bodem) gedurende de groei van spruitkool en prei in 1991 en 1992 bij verschillende stikstofgiften.



Figuur 3.8. De relatie tussen de door het gewas onderschepte fotosynthetisch actieve straling (kJ/m^2) en de drogestofopbrengst (kg/ha). De verzameling punten betreft alle oogsten van alle stikstoftrappen in beide jaren.

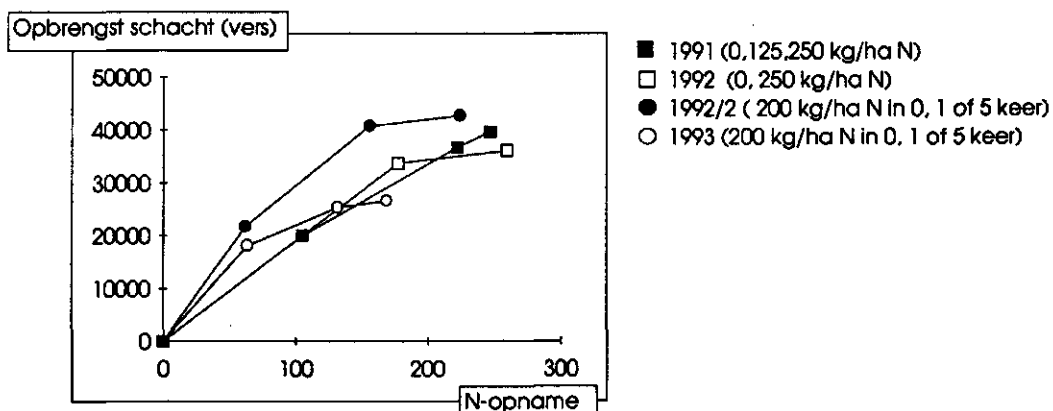
Zoals reeds is genoemd, is de drogestofopbrengst afhankelijk van de onderschepte straling en efficiëntie waarmee de straling wordt omgezet in drogestof. Voor zowel spruitkool als prei neemt de drogestofopbrengst lineair toe met de hoeveelheid onderschepte straling (figuur 3.8). De helling van deze lijn is een maat voor de efficiëntie waarmee licht wordt omgezet in drogestof. Deze efficiëntie blijkt niet afhankelijk te zijn van het jaar en evenmin van de stikstofgift en bedraagt 2,3 gram per mJ.

Daarnaast blijkt deze voor prei en spruitkool gelijk te zijn. Dit betekent dat de verschillen in drogestofopbrengst van beide gewassen een gevolg zijn van een verschil in de mogelijkheid voldoende blad te vormen om daarmee licht in te vangen.

Conclusies en consequenties

Uitgaande van de bij spruitkool geconstateerde geringe verliezen tijdens de teelt bij hoge stikstofgiften (figuur 3.2) rijst de vraag waarom deze verliezen wel optreden bij

prei. De lichtbenuttingsefficiëntie is voor beide gewassen hetzelfde en voor beide onafhankelijk van de stikstofgift. Verschillen in drogestofopbrengst zijn dus het gevolg van verschillen in de expansie van het bladoppervlak. De veel tragere expansie van het bladoppervlak bij prei is het gevolg van een geringer deel van de geproduceerde drogestof dat prei investeert in bladoppervlak. De als gevolg daarvan geringere groeisnelheid betekent dat 'de vraag' naar stikstof zich veel minder snel ontwikkelt, waardoor, als de gift in zijn geheel bij het begin van de teelt is gegeven, het risico van directe verliezen groter is. Dit laatste is bij prei dan ook het geval (figuur 3.2). De lagere drogestofopbrengst bij prei dan bij spruitkool bij een hoge gift en de daarmee gepaard gaande verliezen, zijn niet het gevolg van onvermogen om stikstof op te nemen. Het stikstofgehalte in de plant stijgt immers bij toenemende stikstofbeschikbaarheid (figuur 3.5). Veelal wordt bij een gewas als prei de aard van de beworteling als oorzaak van verliezen aangegeven. De opnamecapaciteit per eenheid wortel is geen probleem, daar stikstofopname mogelijk is bij lage hoeveelheden minerale stik-



Figuur 3.9. De verse opbrengst (kg/ha) aan schacht van prei in afhankelijkheid van de door het gewas opgenomen hoeveelheid stikstof.

stof in de bodem (figuur 3.1). De omvang van het wortelstelsel zou wel een probleem kunnen zijn. De beworteling is minder diep (hoofdstuk 'doelstelling onderzoekprogramma' en 'model voor opname en uitspoeling N'), waardoor de kans groter is dat stikstof verdwijnt uit de bewortelde zone door uitspoeling. Dit kan een gevolg zijn van de geringere drogestofproductie, immers daarvoor is eveneens absoluut minder beschikbaar voor wortelgroei.

De vraag is nu waarom de adviesgift voor prei ligt in het traject van de hier beschreven hoge giften. Uit oogpunt van drogestofopbrengst lijkt dit immers niet nodig. Het marktbaar produkt is echter een vers produkt en bevat naast drogestof ook water. Nu blijkt dat de maximale drogestofopbrengst bereikt wordt bij een stikstofopname van ongeveer 100 kg per ha (figuur 3.5). De maximale verse opbrengst aan schacht wordt echter pas bereikt bij een stikstofopname van 200 kg per ha (figuur 3.9). Het hogere watergehalte bij hogere stikstofgiften hangt samen met het hogere stikstofgehalte in de drogestof (figuur 3.5). Daar de adviesgift gebaseerd is op de verse opbrengst, is het advies hoger dan

de gift welke resulteert in maximale drogestofopbrengst. De verse opbrengst is niet alleen afhankelijk van de drogestofopbrengst, maar wordt eveneens bepaald door het als gevolg van 'luxe consumptie' verhoogde stikstofgehalte. Daarnaast heeft het hogere stikstofgehalte in het blad een sterkere groenkleuring van het blad tot gevolg, hetgeen een positief kwaliteitskenmerk is.

Consequenties:

- De directe verliezen aan stikstof tijdens de teelt kunnen aanzienlijk zijn in het geval er sprake is van een trage ontwikkeling van 'de vraag' naar stikstof. Dit betekent dat alleen vaststelling van de N_{min} na de oogst niet voldoende is om het risico van verliezen aan te geven (hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N').
- Daar de effectiviteit van het wortelstelsel van prei niet beperkend voor de stikstofopname is, moet het mogelijk zijn middels gedeelde bemesting eenzelfde, in vergelijking met een eenmalige gift, drogestofopbrengst te verkrijgen met geringere verliezen (hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N').

- De sterke koppeling tussen de hoeveelheden stikstof in het marktbaar deel en die in de gewasrest betekent dat indien reducties ten aanzien van de gewasrest noodzakelijk zijn, dit eveneens resulteert in lagere opbrengsten.
- Indien de in de bodem aanwezige voorraad stikstof snel wordt opgenomen, zoals bij spuitkool, zijn maatregelen aangaande toedieningstechnieken, zoals gedeelde bemesting, rijenbemesting etc. niet nodig.

Ter nagedachtenis aan Tessa Enserink

De proeven op AB-DLO, welke ten grondslag liggen aan de hier gepresenteerde resultaten, werden uitgevoerd onder de bezielende leiding van Tessa Enserink. Met veel enthousiasme zorgde zij er voor dat er betrouwbare data werden verkregen. Door een noodlottig ongeval op 12 maart 1994 heeft ze de 'eindoogst' van het project, waarvan deze publicatie een belangrijk deel uitmaakt, niet mogen meemaken. Dit hoofdstuk is daarom ter nagedachtenis aan haar opdragen.

EFFECTEN VAN BEMESTINGSSTRATEGIE OP GEWASSTRUCTUUR EN NITRAATGEHALTE VAN SPRUITKOOL, PREI EN SPINAZIE

ir. H. Biemond Vakgroep Agronomie, Landbouwniversiteit Wageningen

Inleiding

Doelstelling van dit deelproject was om de effecten van het bemestingsregime op de groei en ontwikkeling van groentegewassen en op het verloop van de nutriëntenopname te kwantificeren. Door toedieningstijdstip en hoeveelheid toe te dienen stikstof te variëren kunnen periodes met stikstofgebrek gedurende het gehele groeiseizoen voorkomen. Te verwachten is dat veranderingen in de beschikbaarheid van stikstof effecten op groei en ontwikkeling hebben. In 1991, 1992 en 1993 werden met spruitkool, prei en spinazie diverse kas- en veldproeven uitgevoerd, waarin de effecten werden bestudeerd van hoeveelheid toegediende stikstof en tijdstip van toediening op groei en ontwikkeling van deze gewassen. Gedetailleerde informatie hierover werd verkregen door regelmatig tussentijdse oogsten uit te voeren. Daarbij werd vooral veel aandacht geschonken aan bladkenmerken, zoals bladgewicht en bladoppervlakte. Tevens werden bij deze oogsten stikstofgehaltes en nitraatgehaltes van alle plantedelen gemeten.

Groei en ontwikkeling van bladeren

De totale hoeveelheid groen blad die een gewas op een bepaald moment heeft, is een factor die essentieel is voor de produktiviteit van dat gewas. De reden hiervoor is dat het blad lichtenergie onderschept en gebruikt voor produktie van assimilaten. Stikstof (N) beïnvloedt de ontwikkeling en groei van bladeren meestal positief.

Voor spruitkool is de hoeveelheid blad indirect belangrijk voor de hoeveelheid oogstbaar produkt, omdat niet de bladeren, maar de spruiten geconsumeerd worden. Bij prei en spinazie ligt dit anders. Bij prei wordt het onderste deel van de bladeren geconsumeerd, dus aantal en dikte van de bladeren is belangrijk. Bij spinazie worden de bladeren geconsumeerd; de oppervlakte, de dikte en het aantal bladeren bepalen de opbrengst.

Het verloop van de hoeveelheid groen blad in de tijd is het resultaat van de volgende variabelen: bladverschijningssnelheid, bladverdwijningssnelheid (ook wel bladafsterfingssnelheid genoemd), groeisnelheid van elk blad en tijdsduur van de groei van elk blad. De tijdstippen van verschijnen en verdwijnen van een blad (welke voortvloeien uit de eerstgenoemde twee factoren) bepalen de levensduur van dat blad. De laatste twee factoren bepalen hoe groot de oppervlakte van een blad op een willekeurig moment zal zijn.

De dikte van een blad bepaalt mede hoeveel licht onderschept en doorgelaten wordt door dat blad. De bladdikte hangt samen met de specifieke bladoppervlakte. Dat is de bladoppervlakte per eenheid drogestof. Vaak wordt dit aangeduid met de Engelse term specific leaf area (SLA).

Om de effecten van stikstofbemesting op groei en ontwikkeling van bladeren te illustreren, worden gegevens van vijf verschillende proeven met spruitkool, prei en spinazie gebruikt. In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de in deze proeven

Tabel 4.1. Overzicht van de behandelingen in enkele veld- en kasproeven met spruitkool, prei en spinazie. Met optimale stikstofgift (Nopt) wordt een hoeveelheid stikstof bedoeld waarbij geen groeiremmingen voorkwamen als gevolg van stikstofgebrek.

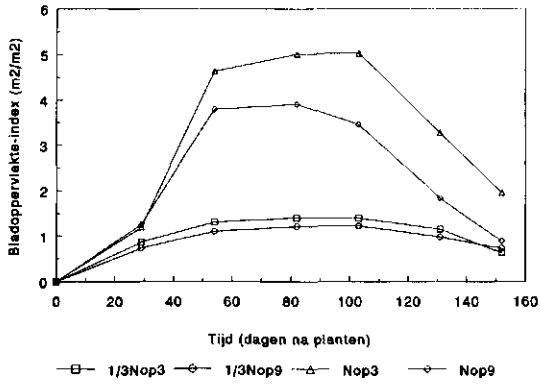
proef 1:	kasproef met spruitkool, uitgevoerd in 1991; plantdatum 1 mei; plantdichtheid 3,25 planten per m ² ; laatste oogst op 30 september; Nopt = 43,9 g/m ² .
behandelingen:	1/3Nop3: 1/3 deel van Nopt in drie keer toegediend; 1/3Nop9: 1/3 deel van Nopt in negen keer toegediend; Nop3: Nopt in drie keer toegediend; Nop9: Nopt in negen keer toegediend.
proef 2:	kasproef met spruitkool, uitgevoerd in 1992; plantdatum 14 april; plantdichtheid 3,2 planten per m ² ; laatste oogst op 6 oktober; Nopt = 62,7 g/m ² .
behandelingen:	2/7Nop: 2/7 deel van Nopt, zodanig toegediend, dat stikstof steeds limiterend was voor de groei; 1/2Nopv: de helft van Nopt, vroeg toegediend, zodat er aan het eind gebrek, maar aan het begin voldoende stikstof was; 1/2Nopl: de helft van Nopt, laat toegediend, zodat er aan het begin gebrek, maar aan het eind voldoende stikstof was; Nop: Nopt zodanig toegediend, dat stikstofgebrek niet voorkwam.
proef 3:	kasproef met prei, uitgevoerd in 1991; plantdatum 1 mei; plantdichtheid 20 planten per m ² ; laatste oogst op 26 augustus; Nopt = 27,0 g/m ² .
behandelingen:	1/3Nop2: 1/3 deel van Nopt in twee keer toegediend; 1/3Nop6: 1/3 deel van Nopt in zes keer toegediend; Nop2: Nopt in twee keer toegediend; Nop6: Nopt in zes keer toegediend.
proef 4:	veldproef met prei, uitgevoerd in 1993; plantdatum 7 mei; plantdichtheid 20 planten per m ² ; laatste oogst op 6 september; Nopt = 20,0 g/m ² .
behandelingen:	geenN: geen stikstofbemesting; Nopt1: Nopt direct na planten toegediend; Nopt5: Nopt in vijf keer, verdeeld over het groeiseizoen, toegediend.
proef 5:	kasproef met herfstspinazie, uitgevoerd in 1993; zaaidatum 4 augustus; plantdichtheid 460 planten per m ² ; laatste oogst op 12 oktober; Nopt = 37,3 g/m ² .
behandelingen:	1/3Nopt: 1/3 deel van Nopt zodanig toegediend, dat stikstof steeds limiterend was voor de groei; 2/3Nopt: 2/3 deel van Nopt laat toegediend, zodat er aan het begin gebrek, maar aan het eind voldoende stikstof was; Nopt: Nopt zodanig toegediend, dat stikstofgebrek niet voorkwam.

aangelegde behandelingen.

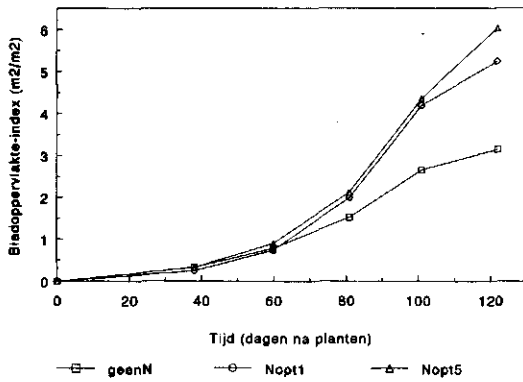
In figuur 4.1a wordt de totale oppervlakte groen blad per m² grond in de tijd gegeven voor proef 1 (spruitkool). De bladoppervlakte nam enkele weken na planten toe, om vervolgens zo'n 50 dagen min of meer constant te blijven en daarna af te nemen. De hoeveelheid stikstof had veel grotere effecten op de bladoppervlakte dan het aantal keren dat werd bemest. In andere spruitkoolproeven werd eveneens gevonden dat vooral de hoeveelheid voor de plant beschikbare stikstof bepalend is voor

de hoeveelheid blad die gevormd wordt (zie ook hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool').

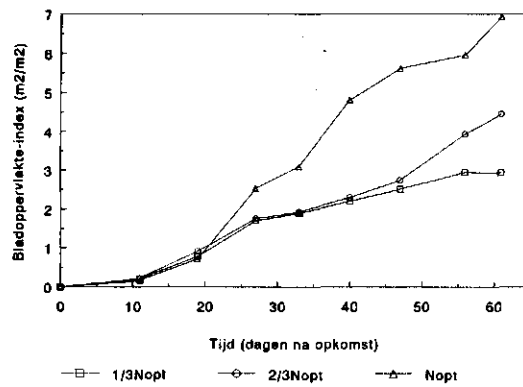
In figuur 4.1b is van proef 4 (prei) de hoeveelheid blad per m² grond in de tijd gegeven. De bladoppervlakte nam in het begin slechts langzaam toe, maar bleef wel tot het einde toenemen. Omdat er bij het begin van de teelt al circa 56 kg minerale stikstof in de bodemlaag van 0-60 cm aanwezig was, werden pas na half juli verschillen waargenomen tussen de bemeste en onbemeste behandelingen. De effecten van



A; spruitkool

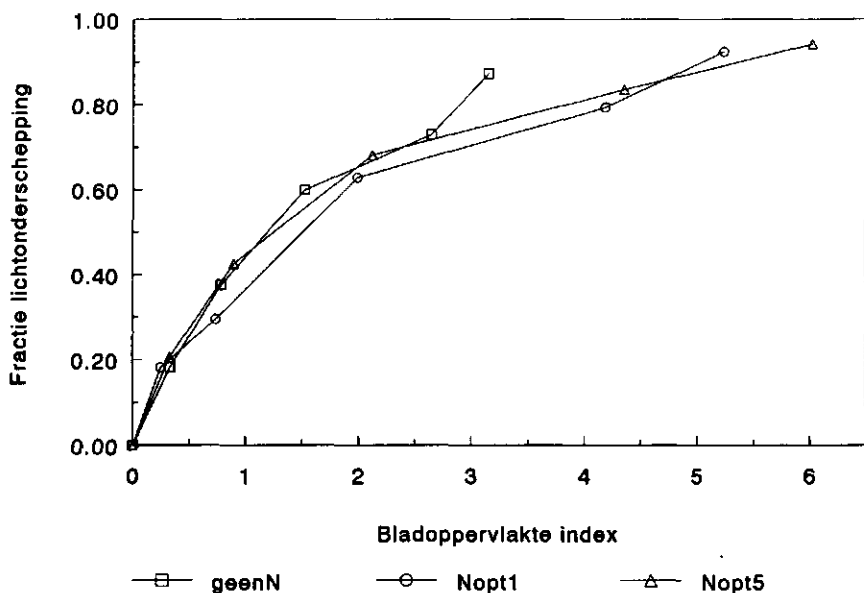


B; prei



C; spinazie

Figuur 4.1. Bladoppervlakte per m² in proef 1 (A; spruitkool), in proef 4 (B; prei) en in proef 5 (C; spinazie) tegen de tijd. Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.



Figuur 4.2. Fractie onderschept licht tegen de bladoppervlakte-index in proef 4 (prei). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

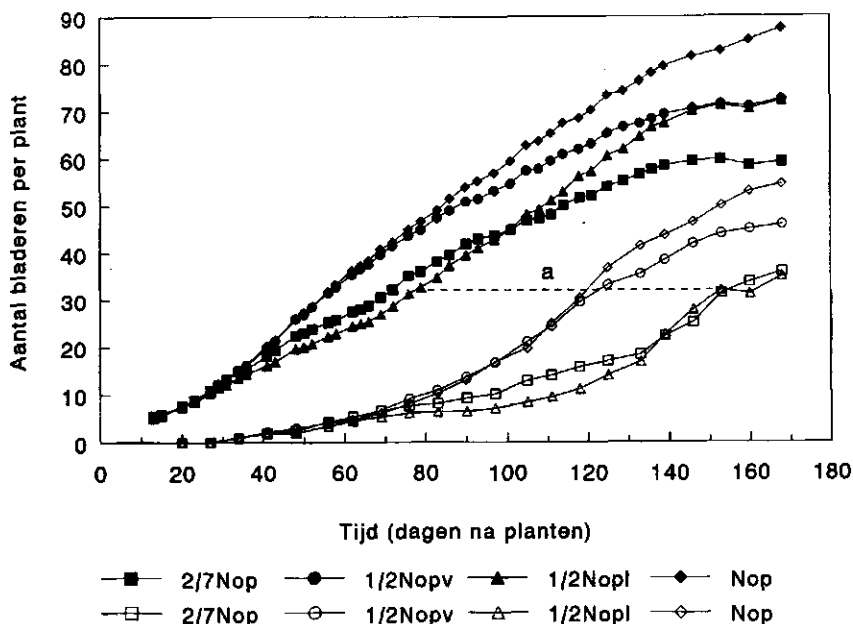
deling van de stikstofgift op de bladoppervlakte waren gering, hetgeen in andere prei-proeven werd bevestigd (zie ook hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool').

Figuur 4.1c geeft de bladoppervlakte per m² grond van proef 5 (spinazie). Bij alle behandelingen bleef de bladoppervlakte tot het eind toe stijgen. Er waren echter al snel verschillen tussen de behandelingen, vanwege stikstofgebrek bij 1/3 Nopt en 2/3 Nopt. Door de extra stikstof kwam 2/3 Nopt uiteindelijk wel boven 1/3 Nopt uit. Bij deze proef moet bedacht worden, dat de uitvoering plaats vond in een kas bij constante temperatuur. In het veld zou door lage temperaturen de toename van de bladoppervlakte aan het eind zeker minder geweest zijn.

In figuur 4.2 wordt de relatie tussen hoeveelheid blad en de fractie onderschept licht weergegeven voor proef 4 (prei). Deze relatie werd niet door de behandelingen

beïnvloed. Met een toenemende hoeveelheid blad nam de lichtonderschepping bijna lineair toe totdat bij een bladoppervlakte-index van 2,5 circa 70% van het licht werd onderschept. (Bladoppervlakte-index: totale bladoppervlakte per eenheid grondoppervlak, m² per m².) Daarboven nam de lichtonderschepping slechts langzaam toe. Hetzelfde verschijnsel werd bij andere gewassen waargenomen.

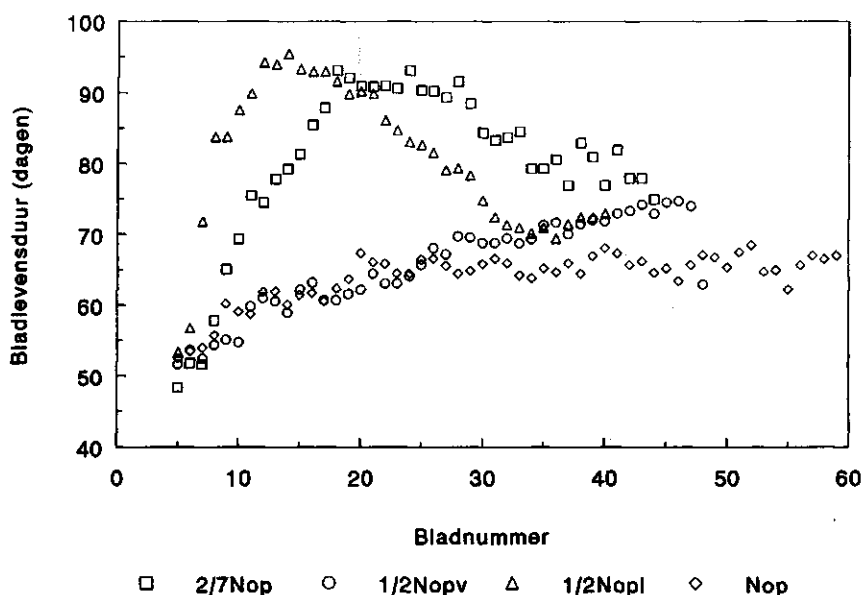
Hierna zal besproken worden hoe verschillende deelprocessen de totale bladoppervlakte bepalen en hoe deze deelprocessen door stikstof worden beïnvloed. De bladverschijningsnelheid voor proef 2 (spruitkool) is in figuur 4.3 gegeven. De bladverschijningsnelheid was gedurende een groot deel van het groeiseizoen ongeveer constant, maar werd wel door de behandelingen beïnvloed. Als meer stikstof beschikbaar was, was de bladverschijningsnelheid groter. Tevens veroorzaakte een wisseling in stikstofbeschikbaarheid een afna-



Figuur 4.3. Totaal aantal verschenen bladeren (gesloten symbolen) en aantal afgestorven bladeren (open symbolen) in proef 2 (spruitkool) tegen de tijd. Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen. De lengte van stippellijn a geeft de levensduur (zie figuur 4.4) van een bepaald blad aan.

me of toename, alnaar gelang de stikstofvoorziening beperkter of ruimer werd. Het verschil in hoeveelheid toegediende stikstof was echter veel groter dan het verschil in het uiteindelijke aantal bladeren: de behandeling met de hoogste stikstofgift bijvoorbeeld kreeg 3,5 maal zoveel stikstof toegediend als de behandeling met de laagste stikstofgift, maar had uiteindelijk maar 1,5 maal zoveel verschenen bladeren. In andere spruitkoolproeven werd de bladverschijningssnelheid eveneens door stikstof beïnvloed. In proeven met prei werden echter nooit effecten van stikstof gevonden, terwijl bij spinazie geringe effecten werden waargenomen. Het totaal aantal verschenen bladeren per plant was bij spruitkool veel hoger dan bij prei en spinazie. Bij spruitkoolplanten die zonder stikstofgebrek waren opgekweekt, werden circa 100 bladeren gevonden, maar bij prei

lag dat in de buurt van de 20 à 25. Bij spinazie, die niet in bloei was geschoten, werden circa 15 bladeren waargenomen; een volgroeide bloemstengel had circa 50 bladeren. De bladafsterving verliep bij proef 2 (spruitkool) als volgt (figuur 4.3). Enkele weken na planten begonnen de oudste bladeren te vergelen en af te vallen. Het aantal dode bladeren nam kort na planten langzaam toe, trager dan het totale aantal bladeren, maar begin augustus juist sneller dan het totale aantal bladeren. Dit werd in andere spruitkoolproeven eveneens waargenomen. Door dit niet-lineaire verloop nam het aantal groene bladeren in het begin van de groeiperiode toe, maar aan het einde af. De bladafstervingssnelheid was hoger bij meer stikstof, waarschijnlijk als gevolg van een groter aantal bladeren. Bij prei werd tijdens het groeiseizoen eveneens bladafsterving waargenomen. De



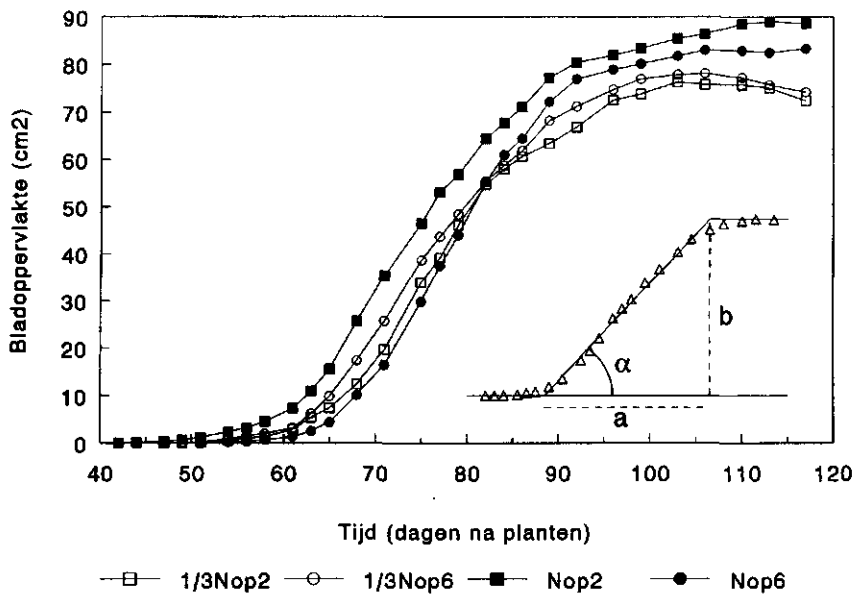
Figuur 4.4. Bladlevensduur in proef 2 (spruitkool). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

bladafstervingsnelheid was min of meer constant en lager dan de bladverschijningsnelheid. Hierdoor nam het aantal groene bladeren per plant steeds toe in de tijd. Bij de spinazieproeven werden op het moment dat het gewas marktbaar was, nauwelijks dode bladeren waargenomen. Overigens werden de spinazieproeven pas enkele weken na het tijdstip van oogstrijpheid beëindigd, maar ook dan was bij herfstspinazie (geteeld in de periode augustus-oktober) het aantal dode bladeren gering, alhoewel bij zomerspinazie (geteeld in de periode april-juli), die dan een bloemstengel had, wel dode bladeren voorkwamen.

In figuur 4.4 is de levensduur gegeven van de bladeren van proef 2 (spruitkool), waarvan zowel verschijnings- als afstervingsstijdstip bekend was. In de eerste plaats valt op dat de meeste bladeren van de twee behandelingen, die de eerste periode na planten stikstofgebrek hadden, een langere levensduur hadden dan die van de twee behandelingen die in deze periode

geen stikstofgebrek kenden. De snellere bladverschijning bij deze laatste twee behandelingen compenseerde daar niet voor. Bij andere spruitkoolproeven werd eveneens gevonden dat de bladlevensduur bij behandelingen met veel stikstof korter was dan bij behandelingen met weinig stikstof. Uit de proefgegevens kan de bladlevensduur van prei niet exact vastgesteld worden. Aangezien de verschijnings- en afstervingsnelheid beide constant waren, maar de afstervingsnelheid lager was, nam de bladlevensduur waarschijnlijk evenredig toe met een toename van het bladnummer. Over de levensduur van spinaziebladeren is niets bekend, omdat het tijdstip van bladafsterving -uiteraard- niet is waargenomen.

In het algemeen verloopt de groei van individuele bladeren als in figuur 4.5. In figuur 4.5 is de oppervlakte van blad 12 van proef 3 (prei) gegeven. Bladeren zijn altijd van onderaf genummerd. Al afgevalen bladeren zijn altijd meegerekend, zodat

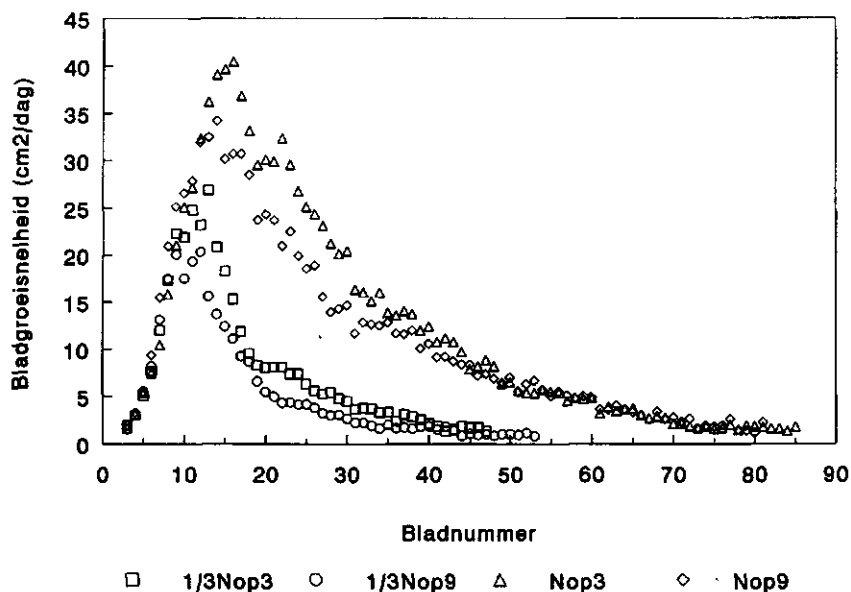


Figuur 4.5. Oppervlakte van blad 12 in proef 3 (prei) tegen de tijd. Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen. Rechtsonder in deze grafiek wordt de berekeningsmethode van de snelheid en de duur van de fase van lineaire groei uitgelegd. De lengte van lijn a stelt de duur van lineaire groei (in dagen) voor, de lengte van lijn b stelt de oppervlakte van het volwassen blad voor (in cm²) en de grootte van hoek α de snelheid van bladgroei (in cm²/dag).

een blad nooit van nummer veranderde. Eerst is de oppervlaktetoename (van een blad) gering, maar na enige tijd bereikt het blad een constante groeisnelheid. Deze fase met constante groeisnelheid noemen we de fase van lineaire groei. Als een blad zijn volwassen oppervlakte bijna bereikt heeft, neemt de groeisnelheid weer tot nul af. Na verloop van tijd sterft het blad dan af.

De belangrijkste twee factoren, die de uiteindelijke oppervlakte van een blad bepalen, zijn de groeisnelheid van de bladoppervlakte (valt af te leiden uit de grootte van hoek α in figuur 4.5) tijdens de fase van lineaire groei en de duur van deze fase (= lengte van lijn a in figuur 4.5). In figuur 4.6 is voor proef 1 (spruitkool) de bladgroeisnelheid weergegeven. Deze nam snel toe met bladnummer tot circa blad 15 en nam daarna af. De bladgroeisnelheid

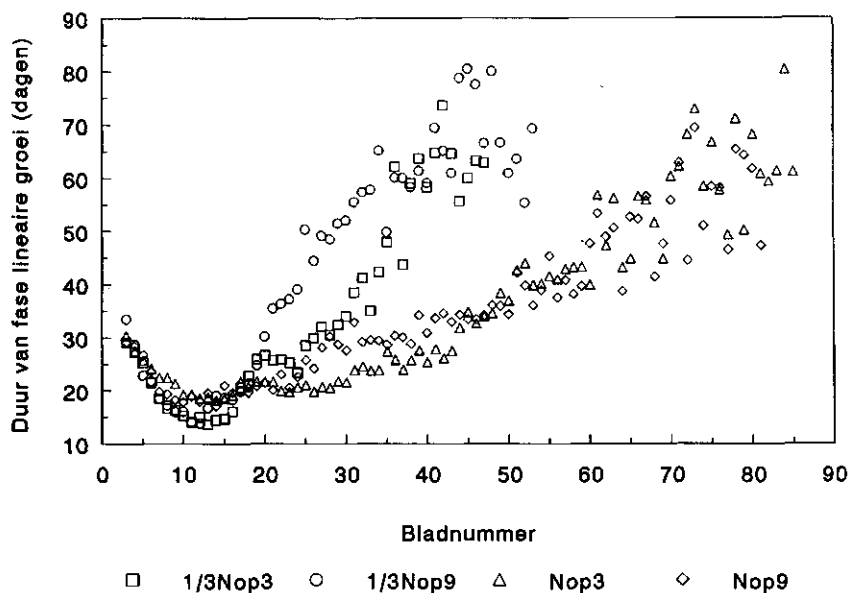
verschilde voor de laagste bladeren niet tussen de behandelingen, waarschijnlijk omdat tijdens de groeiperiode van deze bladeren, de planten met de lage hoeveelheid stikstof nog geen stikstofgebrek ervoeren. Bij hogere bladnummers was er echter een duidelijk positief effect van hoeveelheid stikstof op de bladgroeisnelheid. Bij een andere proef met spruitkool werd eenzelfde beeld waargenomen: een maximum groeisnelheid bij circa blad 15 en een duidelijk positief effect van stikstofbemesting. Bij prei werd de hoogste groeisnelheid dicht bij de middelste bladnummers gevonden. Als meer stikstof was toegediend, werden hogere bladgroeisnelheden waargenomen. Bij spinazie werd in de meeste gevallen een maximum gevonden bij lage bladnummers, net als bij spruitkool. Ook bij spruitkool leidde een grotere hoeveelheid beschikbare stikstof tot hogere bladgroeisnel-



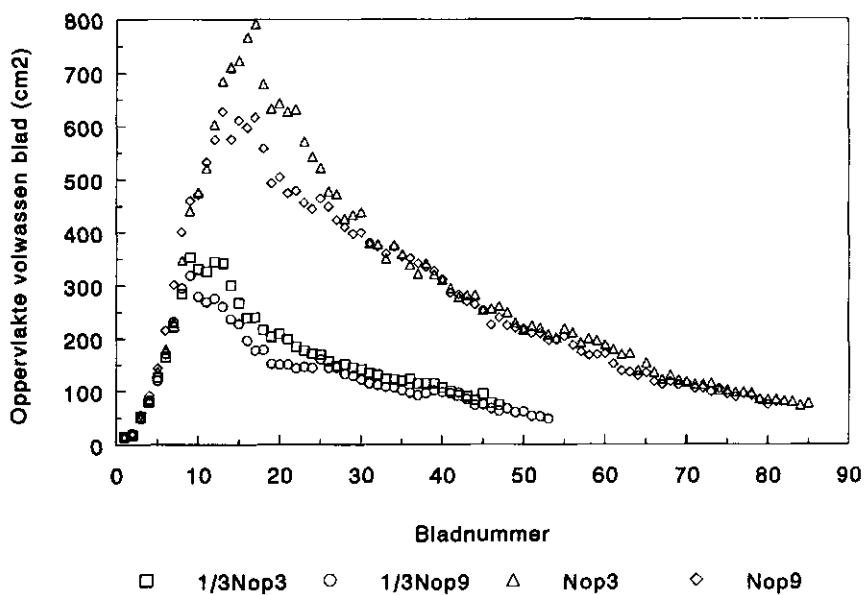
Figuur 4.6. Bladgroeisnelheid tijdens lineaire groeifase van bladeren in proef 1 (spruitkool). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

heden. De duur van de fase van lineaire groei van een blad was bij proef 1 (spruitkool) in de eerste plaats sterk verschillend tussen bladnummers (zie figuur 4.7). Merkwaardig genoeg hadden de grootste bladeren de kortste groeiduur. Vanaf blad 15 nam de groeiduur toe met bladnummer, maar bij de behandelingen met de lage stikstofhoeveelheid was deze toename veel sterker dan bij de twee behandelingen met hoge stikstofgiften, waardoor bij hogere bladnummers flinke verschillen ontstonden tussen de behandelingen. Bij spruitkool werd in een andere proef eveneens gevonden, dat bij meer stikstof de groeiduur van individuele bladeren korter werd. Bij prei werden geen effecten van stikstof op de groeiduur waargenomen. De verschillen tussen bladnummers waren gering: meestal was er een geringe afname met toenemend bladnummer. De groeiduur lag in de buurt van de 40 dagen. De groeiduur werd bij spinazie niet door stikstof beïnvloed, maar wel waren er verschillen tussen blad-

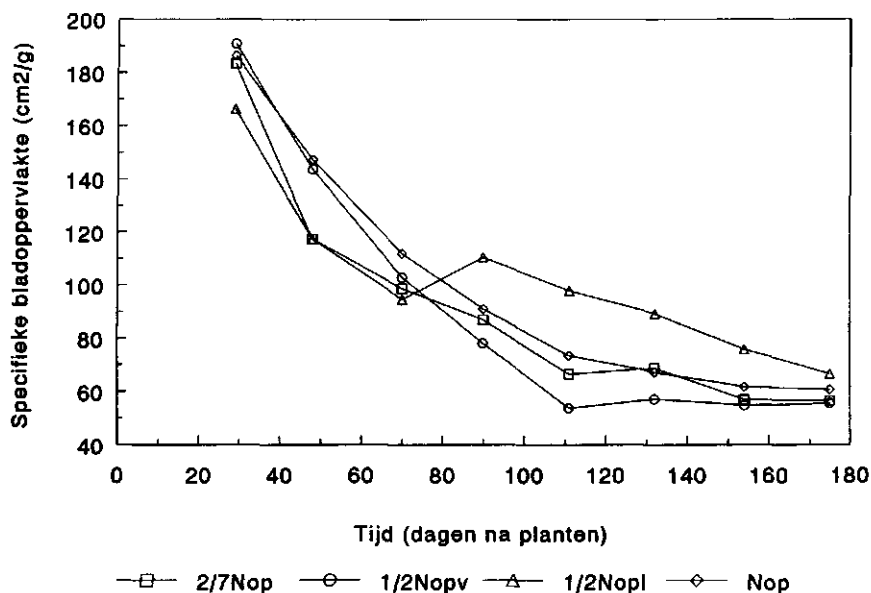
nummers. Er was in de meeste gevallen een toename tot circa blad 5, waarna een langzame afname volgde. Deze afname kan overigens gedeeltelijk veroorzaakt zijn door het feit, dat de hogere bladnummers nog niet uitgegroeid waren. De maximale oppervlakte wordt bepaald door de hierboven beschreven bladkenmerken groeisnelheid en groeiduur. Bij spruitkool werd de maximale oppervlakte (figuur 4.8) door beide bladkenmerken beïnvloed: beide verschilden tussen verschillende bladnummers. De maximale oppervlakte nam tot circa bladnummer 15 (afhankelijk van stikstofbehandeling) toe en nam daarna af. Omdat vooral voor de hogere bladnummers de fase van lineaire groei lang duurde, bereikten deze bladeren, ondanks een erg lage groeisnelheid, toch nog een niet te verwaarlozen oppervlakte. De resultaten van een andere proef met spruitkool bevestigden het hierboven beschreven beeld. Bij prei (en in mindere mate spinazie) was de duur van de fase van lineaire groei veel



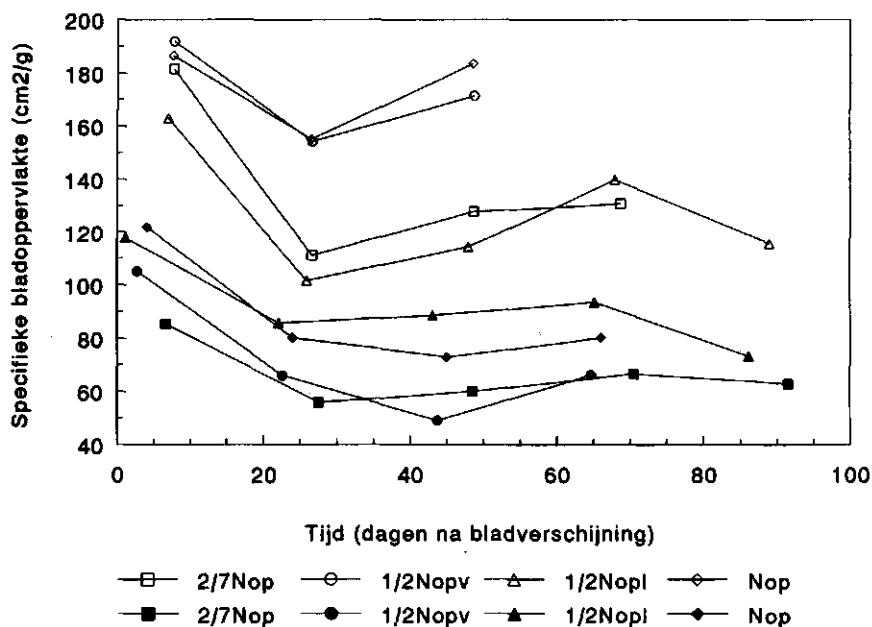
Figuur 4.7. Duur van de fase van lineaire groei van bladeren in proef 1 (spruitkool). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.



Figuur 4.8. Oppervlakte van volwassen bladeren in proef 1 (spruitkool). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.



Figuur 4.9. De specifieke bladoppervlakte over alle bladeren van een plant in proef 2 (spruitkool). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.



Figuur 4.10 De specifieke bladoppervlakte van twee groepen van vijf bladeren, uitgezet tegen dagen na bladverschijning; proef 2 (spruitkool). Open symbolen: blad 6 t/m 10, gesloten symbolen: blad 36 t/m 40. Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

minder verschillend tussen bladeren, hetgeen betekent dat bij deze gewassen de groeisnelheid een veel belangrijkere invloed had op de maximale oppervlakte van elk blad, omdat de groeisnelheid wel tussen bladeren verschilde. Als gevolg hiervan vertoonden de curves van de bladgroeisnelheid en de maximale bladoppervlakte grote overeenkomsten.

De SLA (specifieke bladoppervlakte) over alle groene bladeren verliep in proef 2 (spruitkool) als volgt (zie figuur 4.9). De SLA daalde voor alle behandelingen in de tijd. De behandelingen waren nauwelijks verschillend, maar meestal was de SLA hoger, als meer stikstof beschikbaar was. Dit leidde ertoe dat de SLA van de behandeling die laat nog extra stikstof kreeg toegediend, op een gegeven moment boven de andere drie behandelingen uit steeg. De daling van de SLA in de tijd werd niet veroorzaakt doordat de SLA van individuele bladeren steeds daalde, maar doordat bladeren hoger aan de stam, door een dichtere nerfstructuur, een lagere SLA hadden (zie figuur 4.10). De trends dat de SLA afneemt in de tijd en hoger is als meer stikstof beschikbaar is, werden in andere proeven met spruitkool bevestigd. Bij prei en spinazie was er eveneens een afname in de tijd, maar deze was veel geringer dan bij spruitkool. Tevens werd de SLA bij deze twee gewassen meestal hoger als meer stikstof beschikbaar was. Bij prei lag de SLA meestal rond 100 cm² per g, net als aan het eind van het groeiseizoen bij spruitkool. De SLA van spinazie was echter veel hoger en lag meestal rond 300 cm² per g. De positieve invloed van stikstofbemesting op de SLA verklaart gedeeltelijk waarom de bladoppervlakte zo sterk door stikstofbemesting beïnvloed. De bladoppervlakte neemt bij een betere voorziening met stikstof al toe, omdat per eenheid drogestof een grotere bladoppervlakte wordt gevormd.

In tabel 4.2 is samengevat op welke manier de drie in het onderzoek opgenomen gewassen reageerden op stikstofbemesting.

Uit deze tabel blijkt dat spruitkool het sterkst reageerde op stikstofbemesting en prei het minst sterk. Verder blijkt dat de grootte van bladeren veel meer beïnvloed werd (door effecten op de bladgroeisnelheid) dan het aantal bladeren.

Nitraatgehalte van oogstprodukt

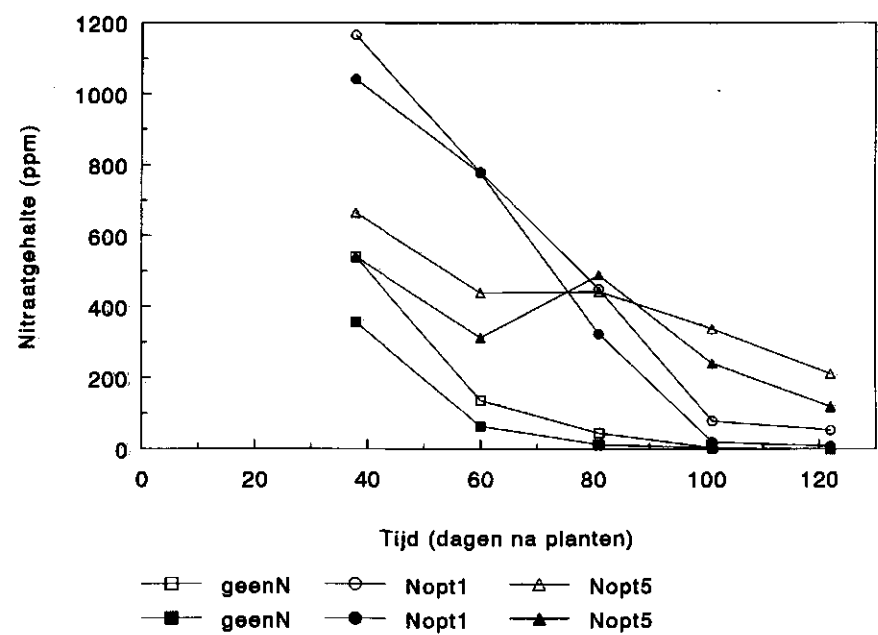
Het nitraatgehalte van het oogstprodukt is een belangrijk kwaliteitskenmerk. Het oogstprodukt van spinazie kan grote hoeveelheden nitraat bevatten. Te verwachten valt dat Nederland zich conformeert aan de Duitse wetgeving en dat met ingang van 1995 een maximale norm van 2500 ppm NO₃⁻ zal worden gehanteerd. Vooral in de herfst is het gevaar groot dat de norm wordt overschreden.

In deze paragraaf zal aan de hand van gegevens van de reeds in tabel 4.1 genoemde proeven getoond worden hoe variatie in toedieningstijdstip en hoeveelheid toegediende stikstof het nitraatgehalte in het oogstprodukt en het verloop daarvan in de tijd beïnvloeden, zowel voor spruitkool en prei als voor spinazie. Hierbij wordt onder de term 'oogstbaar produkt' niet bij elk gewas dat deel van de plant bedoeld dat gewoonlijk geoogst en verkocht wordt. Dit omdat bij het oogsten van de proeven het gewas niet in 'oogstbaar' en 'oogstrest' werd gesplitst en de beschikbare gegevens niet daarnaar terug zijn te rekenen. Onder 'oogstbaar produkt' worden bij spruitkool alle spruitjes bedoeld. Bij prei worden alleen de schachten bedoeld en is het gedeelte van het blad dat gewoonlijk aan de schachten blijft, niet meegenomen. Bij spinazie worden alleen de bladschijven bedoeld, zonder bladstelen.

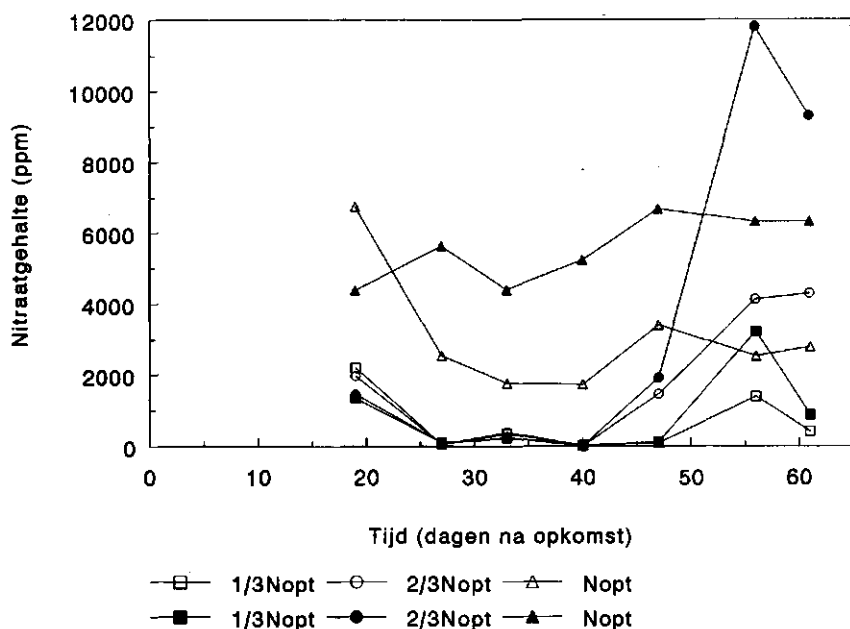
Tabel 4.2. Samenvatting van de effecten van stikstofbemesting op de bladgroei van spruitkool, prei en spinazie.

bladkarakteristiek	spruitkool	prei	spinazie
bladverschijningssnelheid	+	0	+
bladafstervingsnelheid	+	0	?
bladlevensduur	-	0	?
bladgroeisnelheid	+	+	+
bladgroeiduur	-	0	0
oppervlakte volwassen blad	+	+	+
specifieke bladoppervlakte	+	+	+

+ : wordt positief beïnvloed door betere stikstofvoorziening
 0 : wordt niet of nauwelijks beïnvloed door betere stikstofvoorziening
 - : wordt negatief beïnvloed door betere stikstofvoorziening
 ? : gewasreactie op stikstofvoorziening onbekend



Figuur 4.11. Nitraatgehaltes in verse schachten (open symbolen) en bladschijven (gesloten symbolen) van prei (proef 4). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.



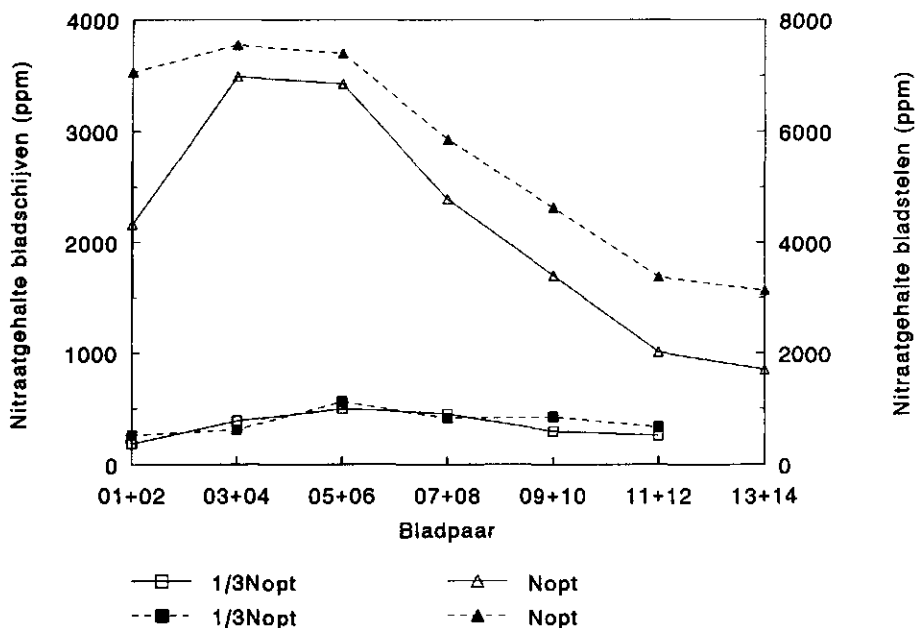
Figuur 4.12. Nitraatgehaltes in verse bladschijven (open symbolen) en bladstelen (gesloten symbolen) van herfstspinazie (proef 5). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

In spruitjes werd meestal geen nitraat aangetroffen, ook niet als ruim voldoende stikstof voor ongelimiteerde groei aanwezig was. Slechts in enkele gevallen werden enkele tientallen ppm's nitraat in verse spruitjes aangetroffen en dan meestal niet op het moment dat de spruitjes marktbaar waren.

In figuur 4.11 wordt het nitraatgehalte in schachten en bladschijven van prei (proef 4) getoond. Als niet met stikstof was bemest, werd circa vijf weken na planten ruim 500 ppm nitraat in de schachten aangetroffen. Dit was echter bij de eindoogst geheel verdwenen. Als direct na planten met 200 kg N per ha werd bemest, werd na vijf weken ruim 1100 ppm nitraat gevonden, maar aan het eind was dat slechts 50 ppm. Het delen van de stikstofgift leidde ertoe dat de nitraatgehaltes in het begin bijna de

helft lager waren, maar aan het eind juist hoger (circa 210 ppm). Dit hierboven geschetste beeld werd door andere proeven bevestigd. Een late stikstofgift bij prei leidt tot hogere nitraatgehaltes in het oogstproduct. Overigens zijn de gehalten zo laag, dat ze ruim onder de Warenwethnorm liggen. Omdat bij prei gewoonlijk een gedeelte van het blad wordt meegeogst, zijn de nitraatgehaltes van de bladeren in figuur 4.11 gegeven. Deze wijken niet veel af van de nitraatgehaltes van de schachten. Dat betekent dat het voor het nitraatgehalte van het oogstproduct niet veel uitmaakt hoeveel blad met de schachten meegeogst wordt.

Van spinazie is bekend dat het veel nitraat kan bevatten. Dit blijkt ook wel uit figuur 4.12, waarin het nitraatgehalte van zowel bladschijven als bladstelen van proef 5



Figuur 4.13. Nitraatgehaltes in verse bladschijven (open symbolen; linker verticale as) en bladstelen (gesloten symbolen; rechter verticale as) bij de eindoogst van twee behandelingen van proef 5 (herfstspinazie). Zie tabel 4.1 voor verklaring van de behandelingen.

(kasproef) is gegeven. Zelfs als met weinig stikstof was bemest, werd regelmatig tot meer dan 1000 ppm nitraat in bladschijven gevonden. Als steeds ruim met stikstof was bemest, lagen de nitraatgehaltes van de bladschijven meestal rond 2500 ppm, bij de eindoogst op circa 2800 ppm. Als er in het begin stikstofgebrek was, maar halverwege de groeiperiode met extra stikstof werd bemest, steeg het nitraatgehalte echter dramatisch. Omdat circa 4300 ppm nitraat aanwezig was in de bladschijven, werd bij de eindoogst de norm van 2500 ppm ruimschoots overschreden. Proef 5 werd in de periode augustus-oktober uitgevoerd. Spinazie, die in deze periode wordt geteeld, heeft vaak (te) hoge nitraatgehaltes. In spinazieproeven, die in de periode mei-juli werden uitgevoerd, waren de nitraatgehal-

tes vaak de helft lager, zodat de Warenwetnorm niet werd overschreden. Net als bij prei werd in spinazie waargenomen, dat een late (extra) stikstofbemesting tot hogere nitraatgehaltes in het oogstprodukt (op het moment dat dit marktbaar was) leidde. In figuur 4.12 is tevens het nitraatgehalte van bladstelen gegeven, die gewoonlijk gedeeltelijk met de bladschijven worden meegeoogst. In tegenstelling tot prei, waarbij nauwelijks verschillen in nitraatgehalte tussen schachten en bladschijven werden waargenomen, waren bij spinazie de nitraatgehaltes van bladstelen soms een factor twee hoger dan die van bladschijven.

Als men het nitraatgehalte van het oogstprodukt laag wil hebben, is het belangrijk om zo weinig mogelijk bladstelen mee te

oogsten.

De nitraat is niet evenredig over de plantdelen verdeeld. Bij spinazie (proef 5) was het nitraatgehalte bij de eind oogst het hoogst in bladschijven en -stelen die bijna het oudst waren (figuur 4.13) en het laagst in de jongste bladschijven en -stelen. Op andere tijdstippen en bij spruitkool en prei (als daar nitraat werd aangetroffen) werd eenzelfde verdeling waargenomen: de jongste bladschijven, -stelen of schachten hadden het laagste nitraatgehalte, terwijl de (bijna) oudste het hoogste nitraatgehalte hadden.

Conclusies en consequenties

De resultaten van dit onderzoek hebben inzicht opgeleverd in de gewasreacties bij variatie van hoeveelheid en toedieningstijdstip van stikstof. Gebleken is dat de totale hoeveelheid blad bij de drie in het onderzoek betrokken gewassen, sterk positief beïnvloed werd door de hoeveelheid toegediende stikstof, maar nauwelijks door het toedieningstijdstip. In het algemeen verliep de groei van de totale bladoppervlakte bij prei veel trager dan bij spruitkool en spinazie.

De waargenomen verschillen in totale bladoppervlakte werden slechts gedeeltelijk veroorzaakt door verschillen in aantal bladeren. Bij prei en spinazie werden hierin zelfs nauwelijks of geen verschillen gevonden. Bij meer stikstof werd vooral de groeisnelheid van individuele bladeren gestimu-

leerd, waardoor bladeren groter werden. Bij spruitkool was bij hetzelfde bladnummer bij meer stikstof de groeiduur van bladeren korter, maar deze werd bij prei en spinazie niet beïnvloed. De groeiduur was bij spruitkool nogal verschillend tussen verschillende bladnummers, maar bij prei en spinazie was de variatie in groeiduur relatief klein.

Omdat er niet of nauwelijks nitraat in spruitjes wordt aangetroffen, heeft men bij spruitkool bij het bemesten met stikstof geen rekening te houden met mogelijke nitraatophoping in het oogstproduct. Ook bij prei blijven de nitraatgehalten in het oogstproduct onder alle omstandigheden op een aanvaardbaar laag niveau, alhoewel ze wel enkele honderden ppm's kunnen bedragen. Als spinazie echter in de herfst wordt geteeld, als de risico's voor nitraatophoping groot zijn, kan een late stikstoftoediening tot forse verhogingen van het nitraatgehalte leiden, tot zelfs boven de norm.

De in dit deelproject verzamelde informatie geeft een beter begrip van de gewasreacties op stikstof. Duidelijk is geworden hoe een bepaalde bemestingsstrategie ten aanzien van stikstof direct (prei, spinazie) of indirect (spruitkool) de bladontwikkeling en -groei en daarmee de opbrengst beïnvloedt. In het begin van het groeiseizoen kan stikstofgebrek de opbrengst negatief beïnvloeden, maar aan het eind van het groeiseizoen kan teveel stikstof tot een lagere kwaliteit als gevolg van een te hoog nitraatgehalte leiden.

BEMESTINGSSTRATEGIE BIJ BLOEMKOOL

dr.ir. A.P. Everaarts en C.P. de Moel, PAGV Lelystad

Inleiding

In de vollegrondsgroenteteelt in Nederland is bloemkool een belangrijke groente. Jaarlijks wordt ongeveer 2700 hectare van dit gewas geteeld. Het advies voor de kunstmeststikstofgift voor bloemkool bedraagt 300 kg per ha stikstof, gecorrigeerd voor de bij het planten beschikbare hoeveelheid minerale stikstof (N_{min}) in de bodemlaag 0-60 cm (tabel 5.1). Het geschatte jaarlijkse gebruik van kunstmeststikstof in de bloemkoolteelt ligt rond de 700 ton (Everaarts, 1993a).

Bloemkool is een gewas dat in de volle groei wordt geoogst. De opname van stikstof gaat door tot aan het moment van oogsten (figuur 5.1). Een bloemkoolgewas neemt ongeveer 200 kg stikstof per hectare op (Everaarts, 1993a). Schattingen van het percentage stikstof dat uit de toegediende kunstmest wordt opgenomen, variëren van 30 tot 80 procent (Everaarts, 1993a). Dit percentage kan variëren met de toegediende hoeveelheid, de wijze van toediening en de mate van stikstofmineralisatie in de bodem. Niet alle toegediende stikstof wordt dus benut. Daarnaast laat bloemkool 55 tot 65 procent van de opgenomen stikstof in de gewasresten bij de oogst op het veld achter (Everaarts, 1993a).

In veldproeven in Duitsland werd bij de oogst in de bodemlaag 0-90 cm, bij een kunstmestgift van ongeveer de adviesgift (tabel 5.1), een hoeveelheid van ongeveer 50 kilogram stikstof per hectare gevonden (Weier en Scharpf, 1988). In Nederland zijn in veldproeven bij bemesting rond de adviesgift, bij de oogst hoeveelheden van 50-

90 kg per ha stikstof in de bodemlaag 0-60 cm gevonden (Anonymus, 1988; 1989).

Aangezien bloemkool wordt geoogst op het moment dat er nog opname van stikstof plaatsvindt (figuur 5.1), betekent dit dat er rond de oogst altijd voldoende stikstof in de bodem beschikbaar moet zijn om groei tot aan de oogst mogelijk te maken.

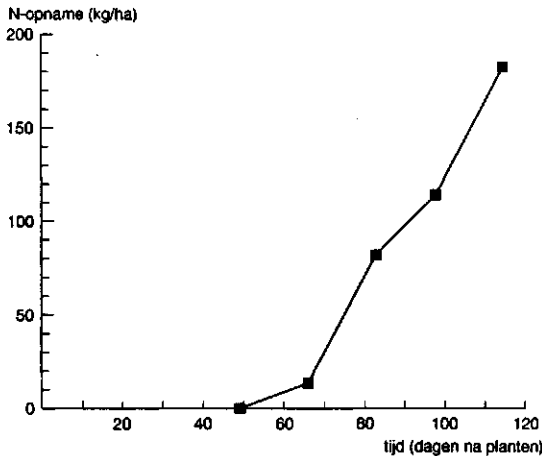
Uit bovenstaande blijkt dat bij toepassing van het huidige bemestingsadvies een gedeelte van de gegeven stikstof niet zal worden benut en een aanzienlijk deel van de opgenomen stikstof in de gewasresten op het veld achterblijft. Deze situatie is aanleiding geweest te onderzoeken of de kunstmestgift in de bloemkoolteelt met behoud van opbrengst en kwaliteit zou kunnen worden verlaagd om verliezen naar het milieu tegen te gaan.

Stikstofaanbod

Momenteel is het onder telers nog geen algemeen gebruik om voor de teelt een bodemonster te nemen en de kunstmestgift te corrigeren voor de bodembeschikbare hoeveelheid minerale stikstof bij het planten. Uit het onderzoek is echter gebleken dat bij aanvang van de teelt vrij grote hoeveelheden minerale stikstof in de bodem aanwezig kunnen zijn. In tabel 5.2 zijn van proefvelden op praktijklocaties, op het ROC Zwaagdijk en op het PAGV de hoeveelheden bodembeschikbare stikstof bij aanvang van de teelt weergegeven. Uit deze gegevens blijkt dat door rekening te houden met de hoeveelheid bodembeschikbare stikstof

Tabel 5.1. Stikstofbemestingsadvies voor bloemkool (kg/ha N, Nmin: 0-60 cm; Sieling, 1992).

totaal	basisbemesting		bijbemesting zes weken na planten
	minimaal	maximaal	
300 - Nmin	50	250 - Nmin	50



Figuur 5.1. Opname van stikstof door bloemkool tot aan de oogst (Welch e.a., 1987).

bij het planten er meestal al een aanzienlijke besparing op de hoeveelheid te geven stikstof kan worden bereikt.

In de literatuur is vermeld dat rijenbemesting bij koolgewassen een positief effect kan hebben op de opbrengst (Everaarts, 1993b). Wanneer plaatsing nabij de rij bijdraagt aan een verbeterde beschikbaarheid van de stikstof, zou met een lagere gift kunnen worden volstaan. In het onderzoek is daarom naast het effect van de hoogte van de kunstmestgift ook gekeken naar het effect van plaatsing van de stikstofkunstmest vlak naast de rij. Tevens is bij één stikstofniveau onderzocht of een deling van de stikstofgift in twee giften een positief effect zou hebben. De tweede gift, bestaande uit een derde van de totale hoeveelheid, werd rond vijf weken na planten breedwerpig toegediend. Uit de resultaten

van de proeven is gebleken dat plaatsing van de kunstmest vlak naast de rij geen invloed had op het aantal geoogste planten of op de kwaliteit van het geoogste produkt. Deling van de gift leidde niet tot een hogere opbrengst dan wanneer dezelfde hoeveelheid in één keer bij aanvang van de teelt werd gegeven. De opbrengst werd uitgedrukt als percentage 'zessen' kwaliteit I van het aantal geoogste planten. Voor één late teelt werd de opbrengst als percentage 'achten' uitgedrukt. Bij analyse van de proeven gezamenlijk werd de opbrengst per proef uitgedrukt als relatieve opbrengst, door de hoogste opbrengst in een proef op 100 procent te stellen. In figuur 5.2 staan de relatieve opbrengsten bij breedwerpig en rijenbemesting van de proefvelden uit tabel 5.3 uitgezet tegen de kunstmestgift en tegen de kunstmestgift plus de bij planten beschikbare minerale stikstof in de

Tabel 5.2. De hoeveelheid minerale stikstof (kg/ha N) in de bodem van de proefvelden voor het planten.

jaar	locatie	datum bemonstering	bodemlaag (cm)		
			0-30	30-60	0-60
1990	ROC Zwaagdijk	06 - 06	68	72	140
	Bovenkarspel I	22 - 05	50	32	82
	Bovenkarspel II	02 - 07	66	51	117
1991	Bovenkarspel	06 - 06	40	30	70
1992	PAGV Lelystad	04 - 06	31	23	54
	Lutjebroek I	04 - 06	80	53	133
	Lutjebroek II	06 - 07	32	80	112

bodemlagen 0-30 of 0-60 cm. Uit de gegevens bleek dat de variatie in de respons op de kunstmestgift het laagst werd, wanneer de stikstof bij planten in de laag 0-60 cm werd meegerekend. Dit betekent dat het gewas de bodembeschikbare minerale stikstof uit de laag 0-60 cm benut, hetgeen het belang bevestigt van de correctie van de kunstmestgift voor de bodembeschikbare stikstof bij planten.

De optimale kunstmestgift ligt rond de 200 tot 250 kg per ha N, gecorrigeerd voor de bij planten bodembeschikbare stikstof in de laag 0-60 cm. Uit analyse van de proeven tezamen bleek plaatsing van kunstmest geen betrouwbaar effect te hebben op de opbrengst.

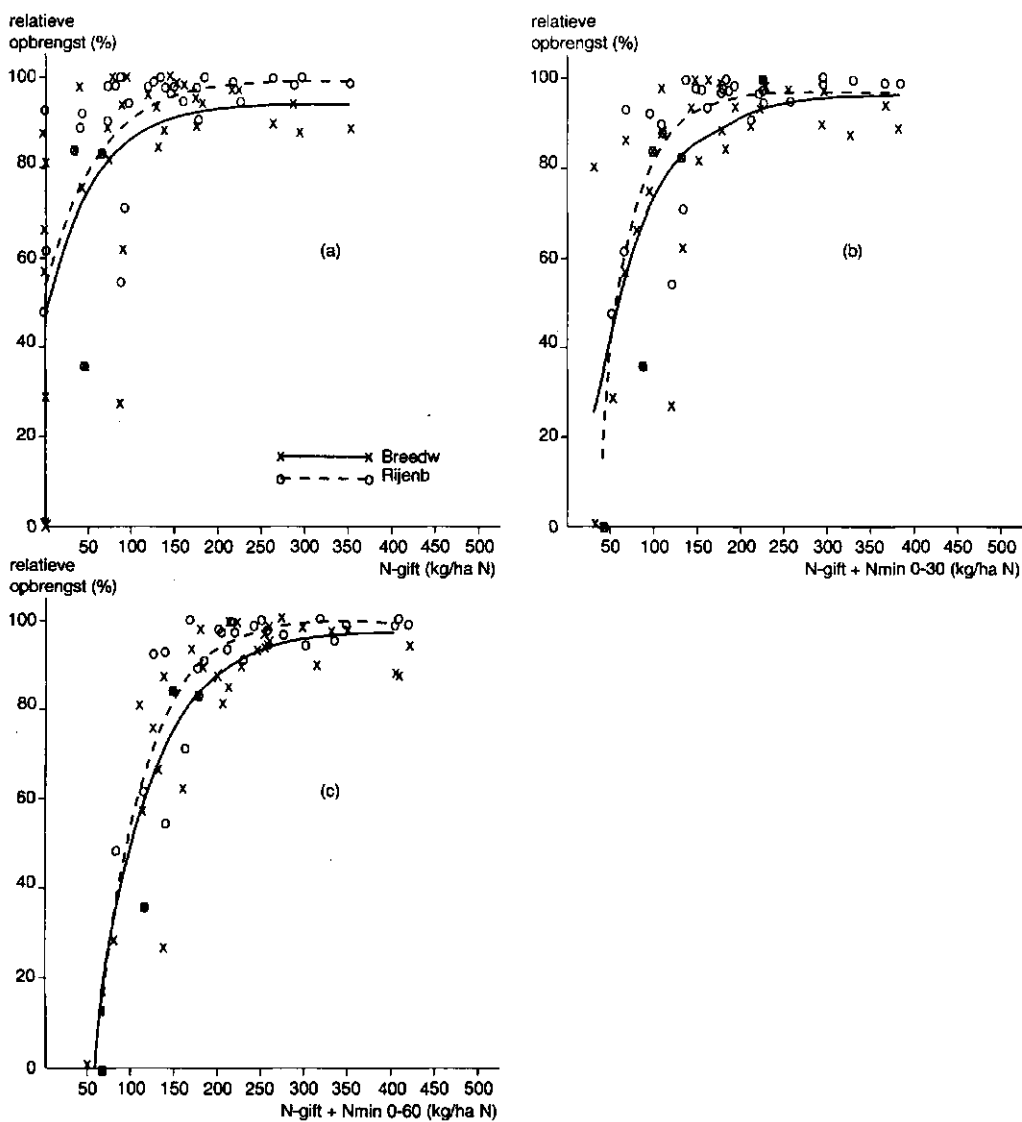
Benutting en verliezen

In tabel 5.3 staat voor twee locaties de hoeveelheid stikstof die bij breedwerpig toediening door het bovengrondse gedeelte van het gewas werd opgenomen en de benutting van de gegeven kunstmeststikstof weergegeven. De benutting van de kunstmeststikstof werd berekend als het verschil in stikstofopname tussen een gewas met stikstofbemesting en een gewas zonder stikstofbemesting, gedeeld door de gegeven hoeveelheid stikstof. Naarmate meer werd bemest nam het gewas meer stikstof op, maar nam de benutting van de

gegeven kunstmeststikstof af. Bij een lagere hoeveelheid minerale stikstof in de bodem bij aanvang van de teelt (PAGV Lelystad, tabel 5.2) was de benutting van de kunstmest aanzienlijk hoger dan bij een hoge hoeveelheid minerale stikstof in de bodem (Lutjebroek II).

Gemiddeld werd er, bij de aangegeven kunstmestgift, 230 kg per ha stikstof door het gewas opgenomen (tabel 5.4). De stikstof oogstindex, dat wil zeggen de hoeveelheid stikstof die met het produkt van het veld wordt afgevoerd als percentage van de totale opgenomen hoeveelheid, was 46-47 procent. In de gewasresten bleef 120-125 kg per ha stikstof op het veld achter. De stikstof in de gewasresten zal voor een deel, afhankelijk van oogsttijdstip, voor of tijdens de winter beschikbaar komen (Scharpf en Schrage, 1988; hoofdstuk 'modellering N-verliezen na oogst') en mogelijk uitspoelen (Versteeg, 1987).

Naarmate meer kunstmeststikstof werd gegeven, nam de hoeveelheid stikstof in de bodem bij de oogst toe (figuur 5.3). Op de locatie PAGV Lelystad was de hoeveelheid stikstof in de bodem bij de oogst aanzienlijk lager dan op de locatie Lutjebroek II. Een geringere mineralisatie van stikstof tijdens de teelt kan hierbij een rol gespeeld hebben. Echter ook aanzienlijke regenval rond



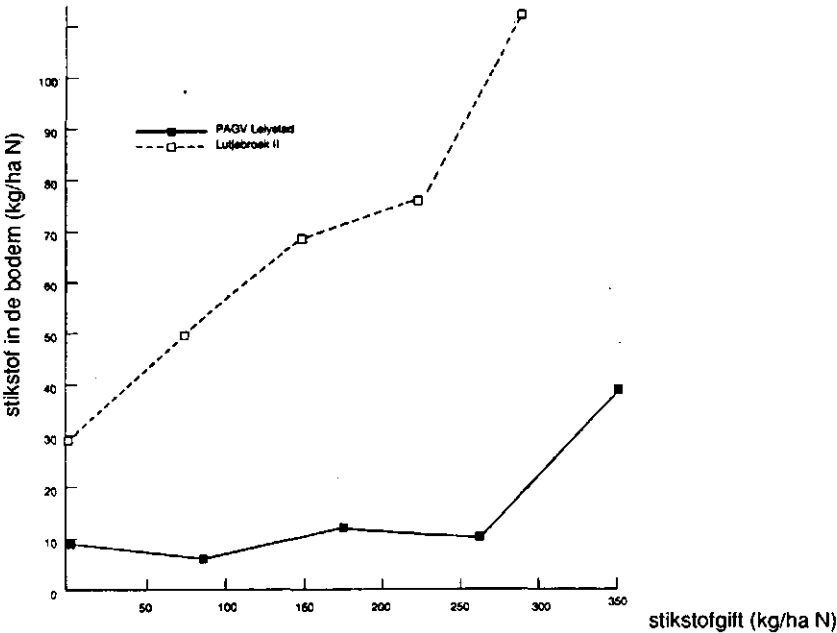
Figuur 5.2. De relatieve opbrengst (percentage 'zessen' of 'achten' kwaliteit I) van bloemkool in relatie tot de bemestingswijze (breedwerpig of rijenbemesting) en (a) de stikstofgift (N-GIFT), (b) de stikstofgift en de bodembeschikbare stikstof in de laag 0-30 cm (N-GIFT + NMIN 0-30) en (c) de stikstofgift en de bodembeschikbare stikstof in de laag 0-60 cm (N-GIFT + NMIN 0-60).

Tabel 5.3. De opname van stikstof door het gewas en de benutting van de kunstmeststikstof (1992).

locatie	stikstofgift (kg/ha N)				
	0	88	176	264	352
PAGV Lelystad					
opname door gewas (kg/ha N)	113	172	221	272	312
stikstofbenutting	-	0,67	0,61	0,60	0,57
Lutjebroek II	stikstofgift (kg/ha N)				
	0	74	148	222	296
opname door gewas (kg/ha N)	211	240	238	236	255
stikstofbenutting	-	0,38	0,18	0,11	0,15

Tabel 5.4. De opname van stikstof door het gewas (1992).

locatie	kunstmest- gift (kg/ha N)	opbrengst (% zessen ¹ % achten ² kwal. I)	stikstofopname (kg/ha)			stikstof oogst- index (%)
			merkbaar gedeelte	gewas- resten	totaal	
PAGV Lelystad	176	79 ¹	101	119	221	46
Lutjebroek II	148	81 ²	112	126	238	47



Figuur 5.3. De hoeveelheid stikstof in de bodem (0-60 cm) bij de oogst (1992).

de oogstperiode in Lelystad kan van belang zijn geweest bij de lage hoeveelheid gemeten minerale stikstof. De gegevens van de locatie Lutjebroek II laten zien, dat bij een beschikbare hoeveelheid stikstof van 260 kg per ha bij planten (112 kg bodembeschikbare stikstof plus 148 kg kunstmeststikstof) er 66 kg per ha stikstof in de bodem bij de oogst werd gevonden.

Conclusies en consequenties

Het huidige stikstofbemestingsadvies voor bloemkool behoeft wellicht aanpassing. In de meeste gevallen lijkt een bemesting van 200 tot 250 kg per ha stikstof, minus de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof

in de bodem bij planten, voldoende. Plaatsing van kunstmest naast de rij biedt geen perspectief voor verlaging van de kunstmestgift.

Er zal verder onderzocht moeten worden hoe snel de stikstof uit de gewasresten vrijkomt. Wanneer dit snel is, zal onderzocht moeten op welke wijze uitspoeling van stikstof tijdens de winter kan worden tegengegaan.

Bij een juiste bemesting is het wellicht mogelijk de hoeveelheid stikstof in de bodem bij de oogst op een gewenst niveau (hoofdstuk 'stikstofbenutting') te houden.

EEN MODEL VOOR DE OPNAME EN UITSPOELING VAN STIKSTOF IN DE TEELT VAN SPRUITKOOL EN PREI

dr. ir. P. de Willigen, AB-DLO Haren

Inleiding

Met de term vollegrondsgroenten wordt een scala aan gewassen aangeduid, waarvan de stikstofonttrekking sterk verschilt, van 50 kg per ha voor radijs oplopend tot 100 kg per ha voor gewassen als sla en spinazie, tot circa 200 kg per ha voor kroot, broccoli en winterpeen, en tot meer dan 300 kg per ha voor sommige koolsoorten (hoofdstuk 'stikstofbenutting').

Het benuttingspercentage van de N-opname is voor een aantal gewassen laag: 30-40% in het geval van radijs, spinazie en sla (hoofdstuk 'stikstofbenutting'). De minerale stikstofvoorraad in de bodem na het groeiseizoen is dan ook vaak hoog. In een onderzoek naar de hoeveelheid minerale stikstof in de laag 0-30 cm na de oogst (die afhankelijk van het gewas en teelt tussen 9/8 en 27/10 plaats vond) op 14 praktijkpercelen in de jaren 1982-1984 (Versteeg 1987) bleek in 66% van de gevallen de voorraad hoger dan 50 kg per ha; in 32% was deze hoger dan 100 kg per ha. Voor de laag 0-60 cm bedroegen de cijfers 90, resp 74%.

De toenemende zorg voor een schoon milieu brengt met zich mee dat de eisen die aan landbouwproductiesystemen worden gesteld steeds strenger worden. Hierdoor ontstaat een steeds grotere behoefte aan stikstofbemestingsstrategieën die erop gericht zijn een rendabele bedrijfsvoering mogelijk te maken bij, voor zover het om stikstofuitspoeling gaat, een acceptabele grond- en oppervlaktewaterbelasting.

Stikstof spoelt vrijwel alleen uit in de vorm van nitraat. Tijdens het zomerhalfjaar zal onder Nederlandse omstandigheden de

uitspoeling van stikstof op landbouwgronden van geringe omvang zijn. Dan is immers gemiddeld de verdamping groter dan de neerslag. Verliezen door uitspoeling treden vnl. op in het winterhalfjaar. Het ligt dan ook voor de hand dat in geval van gewassen waarvan het groeiseizoen in het zomerhalfjaar valt, er in de eerste plaats voor gezorgd dient te worden dat een minimale hoeveelheid nitraat in de bodem achterblijft aan het eind van het groeiseizoen. Met andere woorden men dient er voor te zorgen dat het gewas een zo groot mogelijk deel van de aangeboden stikstof opneemt. Bovenstaande wil natuurlijk niet zeggen dat uitspoelingsverliezen in het zomerhalfjaar nooit optreden. Greenwood et al. (1985) nam in een experiment dat meer dan 10 jaar werd voortgezet dergelijke verliezen waar in het natste jaar en op de lichtste grond een uitspoelingsverlies van 30% van de minerale stikstofvoorraad. Dit stuk bespreekt resultaten van theoretische verkenningen over de betekenis van de omvang van het wortelstelsel voor de efficiëntie van de stikstofopname. De berekeningen hebben betrekking op proeven met spruitkool en prei, zoals die in 1991 gedaan werden op de proefboerderij Droevendaal (hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool'). Voor het gebruikte model wordt beschreven, volgt eerst een meer algemene beschouwing over de beperkingen voor de stikstofopname door plantewortels.

Tabel 6.1. Parameterwaarden gebruikt voor de berekening van figuur 6.1 en de minimale voorraad benodigd om aan de opname-eis te voldoen.

parameter	spruitkool	prei	spinazie
laagdikte (cm)	30	30	30
vochtgehalte (cm ³ /cm ³)	0,2	0,2	0,2
wortelstraal (cm)	0,01	0,02	0,006
worteldichtheid (cm/cm ³)	3	1	2
maximale opnamesnelheid kg/ha/dag	7	3	10
berekende minimaal benodigde voorraad kg/ha	14	17	38

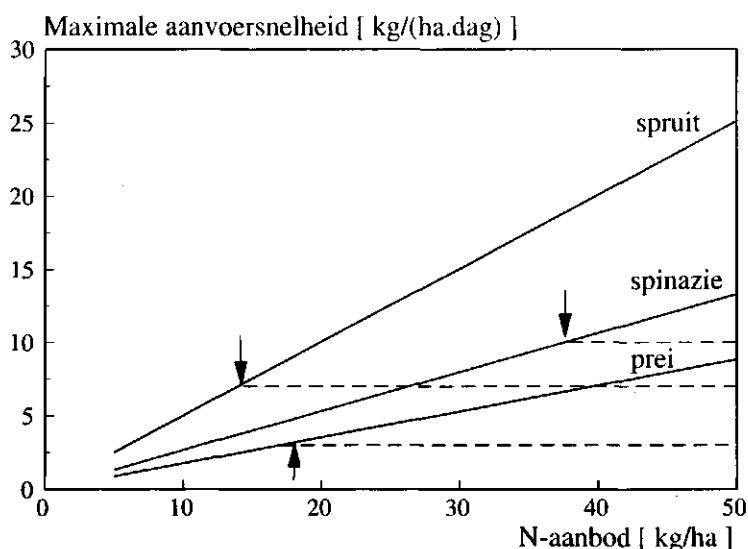
Fysische beperkingen aan de stikstofopname

Uit proeven met goed gemengde voedingsoplossingen bleek dat voor opname van nutriënten als N, P en K de concentratie in de oplossing een ondergeschikte rol speelt. Zolang deze maar groter dan een zekere minimumwaarde $C_{\min}$ is, blijkt opnamesnelheid onafhankelijk van de concentratie. Dit betekent dat de plant nitraat kan opnemen met de vereiste snelheid zolang de concentratie in de onmiddellijke omgeving van de wortels groter is dan $C_{\min}$. Voor nitraat treedt maximale opname al op bij een concentratie van 100 μmol per liter of lager (Heins en Schenk, 1986, De Willigen en Van Noordwijk, 1987). Deze concentratie komt overeen voor een laagdikte van 30 cm en een vochtgehalte van 20% met een hoeveelheid van 0,8 kg per ha. Men kan dus verwachten dat in de grond de voornaamste beperking voor de stikstofopname ligt in het transport van nitraat naar de wortel. Wanneer een plantewortel stikstof opneemt, neemt de hoeveelheid stikstof in de onmiddellijke omgeving van de wortel af. Opname zou spoedig wegens gebrek aan stikstof stoppen als geen aanvoer zou plaatsvinden. Transport van nitraat -en in het algemeen van opgeloste stoffen- naar een plantewortel in de grond geschiedt op tweeërlei wijze:

1. Transport door massastroming welke een gevolg is van de stroming van water naar de wortel. Deze stroming wordt gegenereerd door de opname van water door de wortel. Water dat naar de wortel toestroomt neemt opgeloste stoffen mee.
2. Transport door diffusie. Als de met de waterstroming meegevoerde hoeveelheid stikstof onvoldoende is om de opname te compenseren neemt de concentratie dichtbij de wortel af en ontstaat een concentratiegradiënt. Concentratieverschillen van een opgeloste stof (in dit geval nitraat) veroorzaken een stroming van hogere naar lagere concentratie, ook bij afwezigheid van waterstroming. Dit type stroming wordt diffusie genoemd. Een lagere concentratie vlak bij de wortel veroorzaakt dus diffusie van stikstof in de richting van de wortel.

Beide mechanismen hangen samen met de vochttoestand van de grond. Het massa transport, omdat de vochttoestand mede bepaalt hoe snel de wateropname kan verlopen, en de diffusie, omdat voor dit transportmechanisme water het transportmedium is. De diffusiecoëfficiënt van een grond hangt dan ook sterk af van het vochtgehalte.

Een ander belangrijk aspect voor het realiseerbaar transport is de afstand waarover transport moet plaatsvinden. Deze wordt



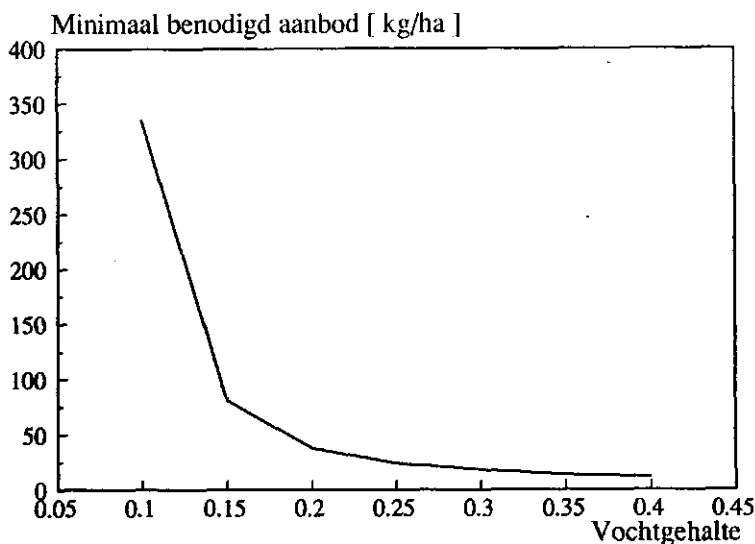
Figuur 6.1. Maximale aanvoersnelheid naar de wortels als functie van het aanbod (de getrokken lijnen) en de opname-eis (de gestippelde lijnen) voor spruitkool, prei en spinazie. De snijpunten van de getrokken en gestippelde lijnen, aangeduid door pijlen, geven aan wat het minimale aanbod moet zijn om aan de opname-eis te voldoen.

bepaald door de gemiddelde afstand tussen wortels die op zijn beurt een functie is van de wortelengtedichtheid (cm wortel per cm^3 grond).

Voor gegeven worteldichtheid en transportparameters kan een vergelijking afgeleid worden waarmee de maximale aanvoersnelheid naar de wortel berekend kan worden (De Willigen en Van Noordwijk, 1994). Figuur 6.1 geeft deze maximale aanvoersnelheid als functie van het stikstofaanbod voor de drie gewassen spruitkool, prei en spinazie. De gebruikte parameterwaarden staan in tabel 6.1. De horizontale lijnen geven de maximale opnamesnelheid. Deze is voor spruitkool op 7 kg per (ha.d) (hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool'), voor prei op 3 kg per (ha.d) (hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool'), en voor spinazie op 10 kg per (ha.d) (Niers, 1994) gesteld. De minimale hoeveelheid die aanwezig moet zijn om aan de opname-eis van het gewas te voldoen kan worden gevonden uit het snijpunt van opnamesnelheid en aanvoersnelheid.

Men kan deze eveneens in tabel 6.1 vinden. Voor spruitkool en prei hoeft dus maar een geringe hoeveelheid nitraat aanwezig te zijn om aan de opname-eis te voldoen. Met andere woorden: vrijwel al het aanwezige nitraat kan door deze gewassen met de optimale snelheid worden opgenomen. Of om het nog weer anders te formuleren: voor een preigewas dat zo'n 250 kg per ha opneemt, zou in het groeiseizoen een aanbod van 270 kg per ha voldoende moeten zijn, dus slechts 7% meer dan de opname. Voor spruitkool met een totaal opname van 400 kg per ha zou dit circa 415 kg per ha of 3,5% bedragen. Voor spinazie ligt dit anders, vooral vanwege de hoge opname-eis. Er zou minstens 175 kg per ha beschikbaar moeten zijn om een opname van 135 kg per ha te garanderen. Dat is dus 23% meer dan de opname.

Zoals eerder is opgemerkt wordt transport sterk bepaald door het vochtgehalte van de grond. Figuur 6.2 toont het minimaal noodzakelijk aanbod in geval van spinazie als functie van het vochtgehalte. Duidelijk is



Figuur 6.2. Minimaal benodigde hoeveelheid stikstof om aan de opname-eis van spinazie te voldoen, als functie van het vochtgehalte.

dat bij lagere vochttoestand een groter aanbod nodig is om de opnamesnelheid van 10 kg per ha te kunnen realiseren.

De resultaten weergegeven in figuur 6.1 en 6.2 betreffen een momentopname. In werkelijkheid zijn de parameters, die bij berekening van de resultaten constant zijn verondersteld, een functie van de tijd en van de diepte: het vochtgehalte van de bewortelde zone hangt af van regen, irrigatie en verdamping; de diepte van de bewortelde zone neemt toe met de tijd; de wortellengtedichtheid hangt af van tijd en diepte enz. Om dergelijke tijd- en diepte-afhankelijke processen in rekening te brengen is een dynamisch model geconstrueerd, dat hieronder in het kort besproken wordt. Omdat de nadruk bij de berekeningen ligt op de mogelijkheid van een gegeven wortelstelsel om bij een bepaald stikstofaanbod aan de eisen van het gewas te voldoen, is geen poging gedaan de gewasgroei en de ontwikkeling van het wortelstelsel te simuleren. Deze worden op eenvoudige wijze uitgerekend door uit te gaan van

gemeten waarden en waar nodig tussen deze waarden te interpoleren.

Modelbeschrijving

Geometrie

Omdat met name in het geval van sprouiten de rijenafstand aanzienlijk kan zijn (75 cm), kan men verwachten dat vooral in het begin van de groei behoorlijke verschillen in vochtgehalte, water- en nitraatonttrekking, beworteling e.d. in horizontale richting zullen optreden naast verschillen in de diepte. Om hier rekening mee te houden is gekozen voor een twee-dimensionaal model, dat transport en opname van water en nitraat berekent in een doorsnede van de bodem loodrecht op de rij. De doorsnede betreft een rechthoek waarvan de horizontale afmeting wordt gegeven door de halve rijenafstand. De diepte hangt af van bodemprofiel, grondwaterstand e.d. De rechthoek is opgedeeld in kleinere eenheden, in het geval van spuitkool bijvoorbeeld in 30 hokjes. Er wordt aangenomen dat binnen

een hokje geen gradiënten optreden. Variabelen als vocht- en nitraatgehalte zijn binnen een hokje overal gelijk. De wortels worden verondersteld regelmatig over een hokje verdeeld te zijn.

Waterhuishouding

Een gedetailleerde beschrijving van het gebruikte model is te vinden in Heinen en De Willigen (1992). Het transport van water in de grond wordt berekend volgens de Wet van Darcy, dat wil zeggen uit de gradiënt van de drukhoogte, bij verticaal transport aangevuld met de zwaartekrachtsgradiënt. Over de horizontale randen van de rechthoek vindt geen transport plaats. Transport over de bovengrens wordt gegeven door regen en evaporatie. Aan de onderrand heerst een constante drukhoogte in evenwicht met de grondwaterspiegel.

De potentiële evapotranspiratie wordt berekend met de Penman-vergelijking, en verdeeld over potentiële transpiratie en evaporatie. De verdeling over beide componenten hangt af van de Leaf Area Index (LAI), die de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid grondoppervlak aangeeft (Belmans et al., 1982). Of aan de potentiële evaporatie kan worden voldaan, hangt af van de drukhoogte in de hokjes in de oppervlaktelaag. De hier gebruikte relatie is ontleend aan Van Keulen (1975). De opname van stikstof door de plantewortels wordt berekend met een module, die aanvoer en water berekent uit twee componenten: transport van water vanuit bulk grond naar de rhizosfeer -de onmiddellijke omgeving van de wortel- en transport over de wortelwand vanuit de rhizosfeer in de wortel (De Willigen, 1990).

Stikstofhuishouding

De enige componenten van de stikstofhuishouding die worden beschouwd zijn mineralisatie, uitspoeling, en opname door het

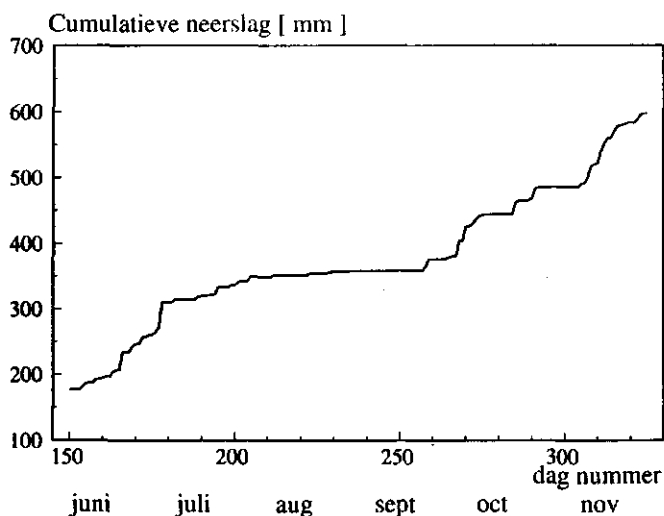
gewas.

Er zijn nogal wat modellen die stikstofmineralisatie/immobilisatie beschrijven, zie bijvoorbeeld dat van Whitmore, beschreven in hoofdstuk 'modellering N-verliezen na oogst'. In dit stuk wordt de mineralisatie niet uitgerekend, omdat de voor het genoemde model benodigde parameters niet gemeten zijn, maar wordt uitgegaan van een gemiddeld niveau zoals dat is gemeten (zie 'parameters en -functies'). Bij de berekening van de mineralisatie wordt het gemiddelde gecorrigeerd voor temperatuureffecten.

Uitspoeling wordt berekend uit de stroom van water die het bodemprofiel aan de onderkant verlaat, vermenigvuldigd met de daar heersende nitraatconcentratie.

Stikstofopname wordt in principe bepaald door de behoefte van het gewas. Eerst wordt de stikstofbehoefte (in kg per ha per dag) verdeeld over het wortelstelsel, waarbij aangenomen is dat alle wortels even actief zijn. Dit resulteert in een opname-eis per cm wortel in ieder hokje. Dan wordt nagegaan in welke hokjes niet aan de eis kan worden voldaan (bijvoorbeeld vanwege te lage nitraatconcentratie, of ongunstige omstandigheden voor transport). In tweede instantie wordt nagegaan in hoeverre wortels in hokjes met relatief gunstige omstandigheden extra kunnen opnemen om de opname uit hokjes met minder gunstige omstandigheden te compenseren en -zo mogelijk- te voldoen aan de eisen van het gewas. In De Willigen en Van Noordwijk (1987) wordt de procedure in detail uit de doeken gedaan.

Zoals eerder gemeld wordt de gewasgroei niet onafhankelijk uitgerekend, maar via een vereffening op de gemeten waarden berekend. De stikstofbehoefte wordt berekend als de toename van de droge stof vermenigvuldigd met de stikstofconcentratie in de plant zoals die bij de hoogste N-gift is gemeten.



Figuur 6.3. De neerslag op Droevendaal gedurende het groeiseizoen (mei - november) in 1991.

Parameters en functies

Waterhuishouding

De regenval tijdens het groeiseizoen in 1991 wordt getoond in figuur 6.3. Er is duidelijk een droge periode vanaf 19 juli tot 7 september. In tabel 6.2 staan tijdstip en hoeveelheid van de irrigatie vermeld.

Het bodemprofiel is opgebouwd uit twee lagen, een laag 0-30 en 30-60 cm. De waterretentiecurve (de pF-curve) van beide lagen werd bepaald voor het proefveld Droevendaal, waar de proeven, waarvoor de berekeningen zijn gemaakt, werden gedaan.

De relatie tussen doorlatendheid en drukhoogte is zoals gegeven in Wösten et al., (1994) voor sandb1, een leemarm zandtype dat overeenkomt met de bodem in Droevendaal (J.H.M. Wösten, mondelinge mededeling).

Stikstofhuishouding

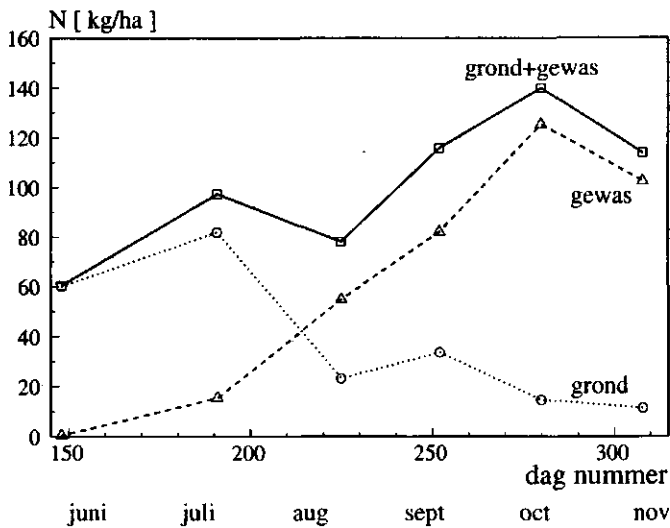
Figuur 6.4 toont het verloop van de stikstofvoorraad in gewas en grond voor de

proef met spuitkool zonder kunstmesttoevoeging in 1991. Gedurende het groeiseizoen werd zo'n 60 kg per ha gemineraliseerd. Met de in het begin aanwezige nitraat heeft de onbemeste plant dus zo'n 120 kg per ha tot zijn beschikking. De gemiddelde mineralisatiesnelheid bedroeg 0.4 kg per ha per dag, bij een gemiddelde temperatuur van 14°C. De dagelijkse snelheid werd berekend uit de temperatuur, waarbij werd aangenomen dat bij elke tien graden stijging de mineralisatiesnelheid verdubbelt. Ook in het geval van prei bedraagt de beschikbare hoeveelheid 120 kg per ha. Er zijn geen grote verschillen in stikstofgehalte op verschillende diepten. In het model wordt daarom verondersteld dat initieel de stikstof homogeen over het profiel verdeeld is en dat ook mineralisatie over het gehele bewortelde profiel met dezelfde snelheid plaatsvindt.

Uitgegaan is van de gemeten waarden van de bewortelingsdichtheid, zoals die met de naaldenplank in het veld is bepaald. De metingen in 1991 betroffen alleen de be-

Tabel 6.2. Tijdstip en grootte van irrigatiegift in 1991.

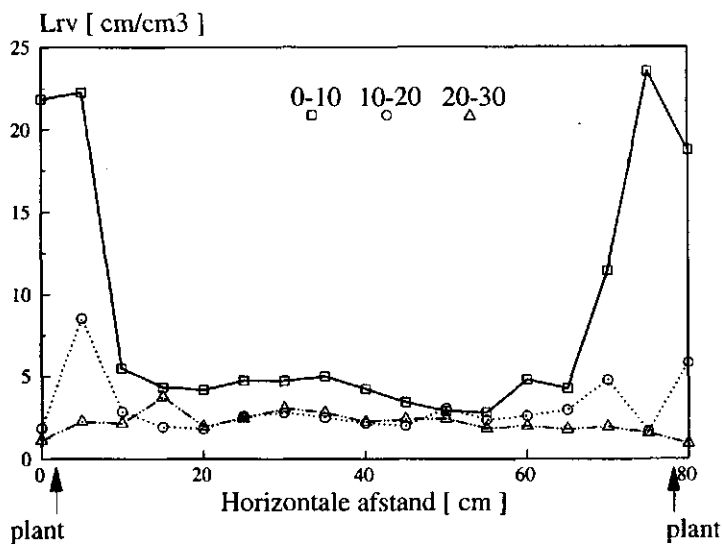
spruitkool		prei	
datum	irrigatie (mm)	datum	irrigatie (mm)
25/5	17	27/5	17
29/5	12	2/8	30
2/8	30	2/9	25
23/8	25	13/9	25
2/9	25		
14/9	25		



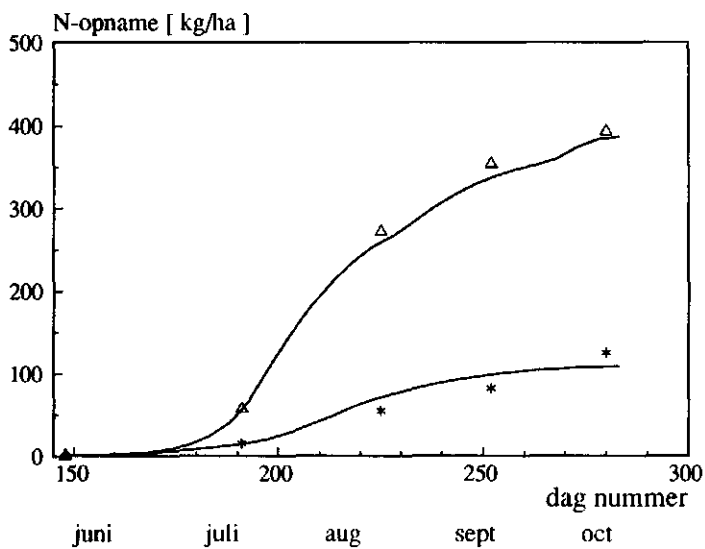
Figuur 6.4. Verloop van de stikstofvoorraad in bodem en gewas (spruitkool) voor het onbemeste veldje.

handeling met de hoogste N-gift. De metingen uit 1992 hebben laten zien dat de N-bemesting weinig invloed heeft gehad op de omvang van het wortelstelsel (A.L. Smit, mondelinge mededeling). Daarom is verondersteld is dat het onbemeste gewas hetzelfde wortelstelsel heeft als het gewas met de hoogste bemesting. Figuur 6.5 geeft de horizontale verdeling van de bewortelingsdichtheid van spruitkool in de bovenste 30 cm op de laatste bemonste-

ringsdag. Duidelijk is dat boven in het profiel aanmerkelijke verschillen in horizontale verdeling van wortels optreden, die echter op grotere dieptes uitvlakken. De stikstofbehoefte is voor alle behandelingen gesteld op de onttrekking zoals die bij de hoogste gift is vastgesteld.



Figuur 6.5 Horizontale wortellengteverdeling onder spuitkool voor drie lagen.



Figuur 6.6. Berekende (de lijnen) en gemeten opname (de punten) van spuitkool, bij een bemesting van 300 kg per ha en zonder bemesting.

Resultaten en discussie

Figuur 6.6 toont de opname van stikstof door spruitkool zoals die is gemeten en berekend voor de hoogste N-gift (300 kg per ha) en de onbemeste behandeling. De overeenkomst tussen metingen en berekeningen in het eerste geval zegt niet veel over de geldigheid van het model, omdat de stikstofbehoefte is opgelegd. In elk geval kan uit de modelberekeningen geconcludeerd worden dat met de gemeten worteling de stikstofvoorraad aan de behoefte van het gewas kan voldoen. De goede overeenkomst tussen berekeningen en metingen voor het onbemeste veldje lijkt er op te wijzen dat het model de beperkingen die hier optreden voor stikstofopname redelijk beschrijft.

Ook voor prei is de overeenkomst tussen berekeningen en metingen op het onbemeste veldje redelijk (figuur 6.7), al overschatten de berekeningen de opname, wat vooral te wijten is aan grotere opname in de beginperiode van de groei. Het verloop van de uitspoeling (hier gedefinieerd als de hoeveelheid N die de wortelzone van 60 cm verlaat) bij de hoogste N-gift tijdens het seizoen wordt gegeven door figuur 6.8. In totaal spoelt 65 kg per ha uit; het overgrote gedeelte verlaat het profiel in de laatste 2 weken.

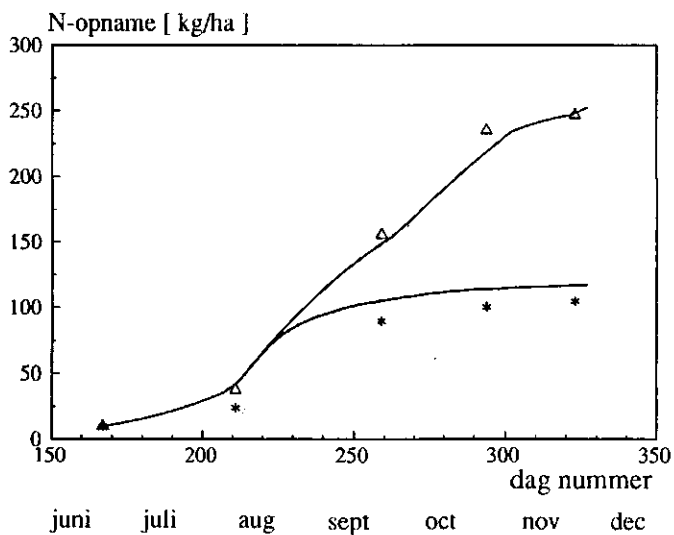
Met het model werden voor prei nog enige berekeningen gemaakt waarbij de wijze van bemesten werd gevarieerd. In de eerste plaats werd bemest volgens het N-min systeem (De Kraker, 1993). In dit systeem wordt de hoeveelheid minerale stikstof in de laag 0-30 cm kort voor uitplanten aangevuld tot 120 kg per ha. Dat betekent hier een beginbemesting van 90 kg per ha. Na zes weken wordt 75 kg per ha gegeven en vervolgens omstreeks half september nog een keer 75 kg per ha. Dit leidt tot dezelfde opname als bij een gift van 250 kg per ha, wat de hoogste gift was in het experi-

ment. De uitspoeling tijdens het seizoen vermindert echter enigszins tot 57 kg per ha.

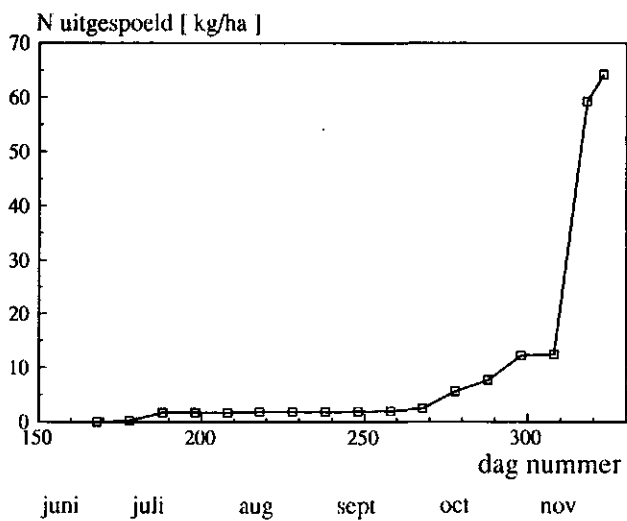
Bij toepassing van het N-min systeem wordt de hoeveelheid minerale stikstof aangetroffen in de bovenste 30 cm aangevuld tot in totaal 270 kg per ha. Op grond van bovenstaande resultaten lijkt dit ruim voldoende om aan de behoefte van een preigewas te voldoen, omdat geen rekening wordt gehouden met mineralisatie tijdens het groeiseizoen. Onderzoek in Nederland (Greenwood et al., 1985) en Duitsland (Böhmer et al., 1977, Dietz en Sommer, 1979) wees uit dat de mineralisatie (bij 14°C) gemiddeld 0,8 kg per ha per dag bedraagt met uitersten van 0,35-1,05 kg per ha per dag. In een groeiseizoen kunnen dus per ha enkele tientallen kg minerale stikstof uit organische stof worden vrijgemaakt.

Uit figuur 6.7 blijkt dat de stikstofopname op het onbemeste veldje na 60 dagen (omstreeks dag 220) begint achter te lopen bij de stikstofopname van het goed bemeste gewas. Als nu op dit tijdstip wordt bemest met 200 kg per ha, dan zou volgens het model opnieuw de maximale opname worden bewerkstelligd. De uitspoeling echter daalt tot 45 kg per ha. Ook als op dag 220 met 150 kg per ha wordt bemest, blijkt de opname vrijwel maximaal. De uitspoeling neemt nu af tot 27 kg per ha.

De laatste jaren wordt gepropageerd bij de teelt van prei uit te gaan van het stikstofbijmeststelsel (NBS, De Kraker, 1993, hoofdstuk 'stikstofbijmeststelsel'). Hier wordt drie keer in de groeiperiode de minerale stikstof in de bovenste 30 cm bepaald, de eerste keer vlak voor planten. Geadviseerd wordt de aangetroffen hoeveelheid aan te vullen tot 85 kg per ha. Zes weken na planten wordt een tweede keer gemeten; nu wordt de hoeveelheid aangevuld tot 105 kg per ha. Tenslotte wordt begin september de laatste meting gedaan; nu wordt de



Figuur 6.7. Als figuur 6.6 voor prei, bemesting 250 kg per ha.



Figuur 6.8. Berekend verloop van de uitspoeling in de groeiperiode van prei, bij aanvang teelt bemest met 250 kg per ha.

Tabel 6.3. Opgenomen, uitgespoeld en in het profiel achtergebleven hoeveelheid nitraat in kg per ha als functie van verschillende toediening van stikstof.

behandeling	opname	uitgespoel	dachtergebleven
250 voor uitplanten	247	65	71
240 in drie keer (N-min methode)	247	57	68
200 na 60 dagen	247	45	41
150 na 60 dagen	245	27	11
126 in drie keer (NBS)	236	18	5

gemeten hoeveelheid aangevuld tot 100 kg per ha. Volgens de modelberekeningen zou in totaal 126 kg per ha zijn gegeven. De plantopname is nu enigszins gedaald tot 236 kg per ha. De uitspoeling bedraagt nu nog maar 18 kg per ha. Tabel 6.3 vat de resultaten nog eens samen.

Het wortelstelsel van zowel prei als spruitkool, zoals in het veld gemeten, lijkt ruim toereikend om de benodigde hoeveelheid stikstof met de gewenste snelheid op te nemen. De stikstofvoorraad hoeft maar weinig groter te zijn dan de totale behoefte om maximale opname te verzekeren. Het lijkt dan ook waarschijnlijk dat onder 'normale' omstandigheden de omvang van het wortelstelsel eerder bepaald wordt door een relatief immobiel nutriënt als fosfaat dan een mobiel nutriënt als nitraat. Als het wortelstelsel dicht genoeg is om aan de eisen van P-opname te voldoen, dan zal het zeker dicht genoeg zijn om aan de eisen van N-opname te voldoen (De Willigen en Van Noordwijk, 1987).

Het hier gebruikte model richt zich op transport en opname van stikstof en water in de bodem. Het beschrijft stikstofopname als een transportprobleem meer dan als een plantefysiologisch probleem. Het model in de huidige vorm is nogal uit balans. Het beschrijft ondergrondse processen in detail, terwijl de bovengrondse processen nogal summier worden behandeld. Idealiter zouden bovengrondse processen als fotosynthese en groei moeten worden berekend uit de weersgegevens, terwijl ook de verde-

ling van geproduceerde droge stof over de onderscheiden organen (waaronder de wortels) zou moeten worden berekend. Dat geldt ook voor stikstofbehoefte, stikstofverdeling en groeiremming ten gevolge van stikstofgebrek. Dit vergt veel tijd en zeer gedetailleerde metingen.

Modellen kunnen nuttige hulpmiddelen zijn om na te gaan wat de kwantitatieve effecten kunnen zijn van ingrepen. De uitkomsten moeten echter niet al te letterlijk worden genomen en met behoedzaamheid worden gehanteerd. Resultaten van modelberekeningen kunnen richtingen en suggesties voor verbetering voor de praktijk aangeven, die vervolgens in proeven getoetst moeten worden. Ondanks de bovengenoemde vergaande simplificaties lijkt het hier beschreven model bijvoorbeeld effecten van deling te kunnen aangeven.

Conclusies en consequenties

Het wortelstelsel van prei en spruitkool is van zodanige omvang dat deze gewassen bij zorgvuldige bemesting een geringe hoeveelheid minerale stikstof in de bodem achterlaten. Zorgvuldige bemesting houdt in dat rekening gehouden wordt met het stikstofleverende vermogen van de grond. Bemesting volgens het NBS-systeem biedt hiervoor beter mogelijkheden dan bemesting volgens het Nmin-systeem. Een gewas als spinazie, met een gering wortelstelsel en dat wordt geoogst op een mo-

ment dat het gewas in volle groei is, laat ook bij goede bemesting een aanzienlijke hoeveelheid minerale stikstof achter. Verlie-

zen naar het milieu kunnen beperkt worden door hiermee rekening te houden bij de teelt van een volgend gewas.

MODELLERING VAN STIKSTOFVERLIEZEN NA DE OOGST

dr. A.P. Whitmore, AB-DLO Haren

Inleiding

De hedendaagse landbouw kan het zich niet meer veroorloven om onzorgvuldig met het gebruik van stikstof om te springen. Wanneer een gewas een grote hoeveelheid stikstof nodig heeft, moet dit kunnen worden toegediend om bedrijfseconomische redenen, maar er dient terdege rekening te worden gehouden met alle stikstof die in de bodem achterblijft na de oogst. Op deze gedachte is de mineralenboekhouding in Nederland gebaseerd.

Een gedeelte van de stikstof die in de bodem achterblijft is aanwezig in minerale vorm als nitraat of ammonium; een ander deel blijft achter als organische stikstof in gewasresten. Door het instabiele karakter van veel stikstofverbindingen kan de wijze waarop er rekening mee moet worden gehouden, nogal complex zijn. Het hoofdstuk 'stikstofbenutting' beschrijft de belangrijkste processen in de stikstofcyclus die van belang zijn voor het gedrag van stikstof in de bodem. Belangrijke vragen die zich daarbij voordoen zijn de volgende. Wat gebeurt er met minerale stikstof die in de bodem achterblijft na de oogst? Spoelt het uit, wordt het gedenitrificeerd, blijft het beschikbaar voor het volgende gewas, of wordt het ingebouwd in de organische stof van de bodem? Wat gebeurt er met organische stikstof uit gewasresten wanneer de oogstbare delen zijn verwijderd? Worden de gewasresten onmiddellijk afgebroken en wordt de stikstof gemineraliseerd of geïmmobiliseerd en is in het geval van mineralisatie het gedrag dan gelijk aan dat van minerale stikstof? Dit soort vragen worden het gemakkelijkst opgelost met behulp van

computer simulatie modellen, waarmee een groot aantal denkbare situaties kan worden nagebootst.

In dit hoofdstuk wordt een dergelijk computermodel gebruikt om na te gaan wat het gedrag van minerale en organische stikstof in de bodem is na de oogst van een aantal uiteenlopende gewassen onder uiteenlopende omstandigheden. Allereerst worden de uitkomsten van de modelberekeningen vergeleken met een aantal experimenteel verkregen laboratoriumgegevens. Nadat is aangetoond dat die goed met elkaar overeenkomen, wordt het model gebruikt om het gedrag van stikstof, en met name de uitspoeling, onder veldomstandigheden te voorspellen onder verschillende condities.

Een model voor de afbraak van gewasresten

De basis voor het nabootsen van de afbraak van gewasresten wordt gevormd door een computermodel dat de koolstof- en stikstofstromen in grond nabootst en dat uitvoerig is getest met experimentele gegevens uit de graanteelt. In dit model is de netto afgifte van minerale stikstof uit gewasresten afhankelijk van de relatieve hoeveelheden koolstof (C) en stikstof (N) in die gewasresten. Koolstof fungeert als energiebron voor micro-organismen en het model volgt de koolstof- en stikstofstroom uit vers toegevoegde gewasresten door de populatie micro-organismen en door de meer stabiele, slecht afbreekbare vormen van organische stof. Ten behoeve van de berekeningen wordt verse organische stof

opgesplitst in een oplosbare fractie die goed afbreekbaar is door micro-organismen en een vezelige, slecht afbreekbare fractie. Als micro-organismen nieuw celmateriaal maken, hebben ze naast koolstof ook stikstof nodig. De koolstof is afkomstig uit organisch materiaal, maar voor stikstof hebben ze de keuze uit zowel minerale als organische stikstof. In het geval dat de behoefte aan stikstof niet volledig gedekt kan worden vanuit de gewasresten, moet er stikstof van elders uit de grond worden gebruikt, zoals minerale stikstof. In dat geval is er sprake van vastlegging van minerale stikstof. Indien de gewasresten meer stikstof bevatten dan de micro-organismen nodig hebben, wordt het overschot aan stikstof uitgescheiden in minerale vorm en is er sprake van mineralisatie. De netto mineralisatie of immobilisatie van stikstof hangt daardoor af van de verhouding tussen stikstof en koolstof in de gewasresten, normaliter weergegeven als de C:N-verhouding. Vergelijking (1) laat op een schematische wijze zien hoe het model werkt:

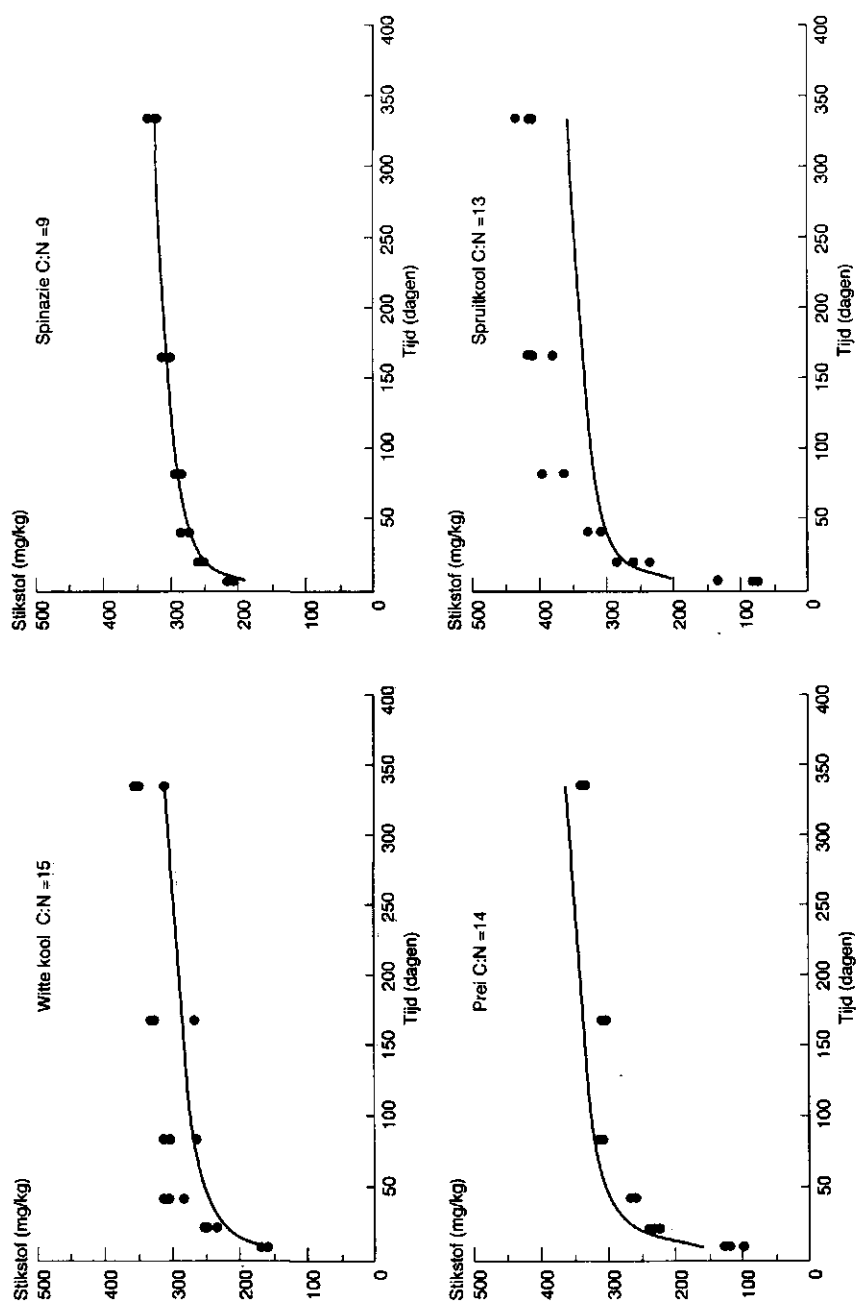
$$N = C_R \left(\frac{1}{C:N_R} - \frac{\alpha}{C:N_g} \right) \quad (1)$$

Hierin is N de hoeveelheid stikstof die mineraliseert of immobiliseert (N wordt dan negatief); C_R is de hoeveelheid koolstof die met de gewasresten wordt toegediend; $C:N_R$ is de C:N-ratio van de gewasresten en $C:N_g$ die van de grond; en α is een factor die aangeeft hoeveel van de koolstof uit de gewasresten wordt omgezet in organische stof. De waarde van α varieert normaal gesproken tussen 0,35 en 0,45 en is gedeeltelijk afhankelijk van de grondsoort. De eenheid waarin C_R en N worden uitgedrukt zijn gelijk, bijvoorbeeld kg per ha of gram per m². Met andere woorden: wanneer spinazieresten ongeveer 300 kg koolstof per ha bevatten met een $C:N_R$ van 8

en α bedraagt 0,4, dan bedraagt de mineralisatie bij volledige omzetting 25 kg stikstof per ha. Vergelijking (1) gaat kwantitatief gezien op gedurende ongeveer 3-6 maanden nadat de gewasresten door de grond zijn gemengd, onder de klimatologische omstandigheden van noordwest-Europa. Kwalitatief gezien betekent vergelijking (1) dat er een kritische C:N-ratio van gewasresten van ongeveer 25 bestaat. Beneden deze waarde is er sprake van mineralisatie en daarboven treedt immobilisatie op. Natuurlijk is de ligging van deze kritische waarde sterk afhankelijk van α .

Stikstof die eenmaal is geïmmobiliseerd in bodem-organische stof wordt slechts moeilijk geremineralseerd, in tegenstelling tot stikstof die direct uit gewasresten afkomstig is. Het stikstofdigram (figuur 2.1) laat zien dat het overschot aan minerale stikstof uitspoeling kan ondergaan, vervluchtiging (wanneer het als ammonium aanwezig is) of denitrificatie. In het hier gebruikte model wordt verondersteld dat vervluchtiging verwaarloosbaar is.

In figuur 7.1 staan de resultaten van een aantal experimenten met gewasresten waarin de N-mineralisatie is gemeten. De metingen werden verricht met behulp van potproeven onder een constante temperatuur van 20°C en bij optimale vochtcondities gedurende een periode van bijna een jaar. Er werden verschillende gewasresten gebruikt en de C:N-ratio's hiervan staan eveneens in figuur 7.1. In de meeste gevallen werd er bijna direct minerale stikstof gevormd, wat voornamelijk werd veroorzaakt doordat de C:N-ratio's van de gewasresten beneden de kritische waarde van 20-25 lagen. De getrokken lijn in ieder diagram geeft aan hoe het model voorspelde hoe snel de mineralisatie optrad. Het is duidelijk dat het model de gemeten resultaten goed weergeeft. Voor werkelijke metin-



Figuur 7.1. De mineralisatie van stikstof uit resten van (a) witte kool, (b) spinazie, (c) prei en (d) spruitkool. Punten zijn gemeten data; de getrokken lijn is het resultaat uit modelberekeningen.

Tabel 7.1. Eigenschappen van de gewasresten.

gewas	oogst- datum	minerale N op de oogstdatum ¹⁾ (kg/ha)	C in gewas- resten kg/ha ¹⁾	vezel ²⁾ % (vezel %N ³⁾)	C:N ²⁾
witte kool	eind okt	50	1720	23.2 (.25)	15
spinazie	eind juli	150	280	24.0 (.25)	8
prei	half okt	125	680	29.0 (.37)	12.5
spruitkool	eind nov	50	3440	29.8 (.34)	25

1) van hoofdstuk 'stikstofbenutting'

2) vezel is het totaal van lignine, cellulose en hemi-cellulose in de gewasresten in de bij AB-DLO uitgevoerde potproeven

3) in de complete plant

gen moet een aanzienlijke hoeveelheid werk worden verricht, terwijl men voor de modelberekeningen alleen maar moet beschikken over de hoeveelheden koolstof en stikstof die er met de gewasresten worden aangevoerd. Het zal duidelijk zijn dat er daarom met een goed werkend model veel meer mogelijke situaties op een realistische wijze kunnen worden nagebootst dan er werkelijke metingen kunnen worden uitgevoerd.

De potproeven werden uitgevoerd bij een constante temperatuur en onder optimale vochtcondities. Voor de verwerking van veldgegevens moet rekening worden gehouden met fluctuaties in temperatuur en vochtgehalte. Onder drogere of koudere omstandigheden verloopt de mineralisatie trager. Voor berekeningen in de veldsituatie, is aangenomen dat de afbraaksnelheid van organisch materiaal daalt wanneer de temperatuur beneden de 20°C daalt. Voor het berekenen van de uitspoeling van stikstof zijn echter niet alleen gegevens nodig over de hoeveelheid minerale stikstof die in de bodem wordt gevormd, maar ook over het watertransport. Voor het berekenen van de waterbalans werd de grond opgedeeld in een aantal horizontale lagen. Elke laag kan een bepaalde hoeveelheid water bevatten (afhankelijk van onder andere de grondsoort). Wanneer deze capaciteit

wordt overschreden (bijvoorbeeld na een regenbui), wordt het voorschot naar de daaronder liggende laag getransporteerd. Met het water worden gelijktijdig opgeloste stoffen als nitraat verplaatst. Naast neerwaarts transport is er in de modelberekeningen ook een gering opwaarts transport mogelijk ten gevolge van verdamping. Wanneer de verdamping hoger is dan de neerslag, droogt de grond uit en daalt de snelheid van afbraak van organisch materiaal. Voor de modelberekeningen is gebruik gemaakt van dagelijkse gegevens omtrent neerslag, verdamping en temperatuur.

De veldberekeningen werden evenals de laboratoriumberekeningen uitgevoerd voor verschillende gewassen. Daarbij werd onderscheid gemaakt tussen gewassen die rijk of arm aan stikstof zijn, vroeg of laat worden geoogst, en veel of weinig gewasresten op het veld achterlaten. Ruwweg komen ze overeen met de gewassen die in tabel 7.1 worden aangemerkt als kool, spinazie, prei en spruitkool. Voor de veldberekeningen werd aangenomen dat de stikstofgehalten van de gewassen gelijk zijn aan die van tabel 2.1. Deze waarden zijn meer representatief voor veldgewassen dan de stikstofgehalten van de vrij jonge planten uit de eerder behandelde potproeven. Er werd gebruik gemaakt van weersgegevens die zijn verzameld in Wageningen.

gen voor de winter 1993-1994. Aangenomen is dat de teelt plaatsvond op zandgrond. Deze periode werd gekenmerkt door een zeer hoge regenval. Dan mag verwacht worden dat op zandgrond de hoogste uitspoeling zal optreden, zodat de berekeningen de slechtst denkbare situatie weergeven.

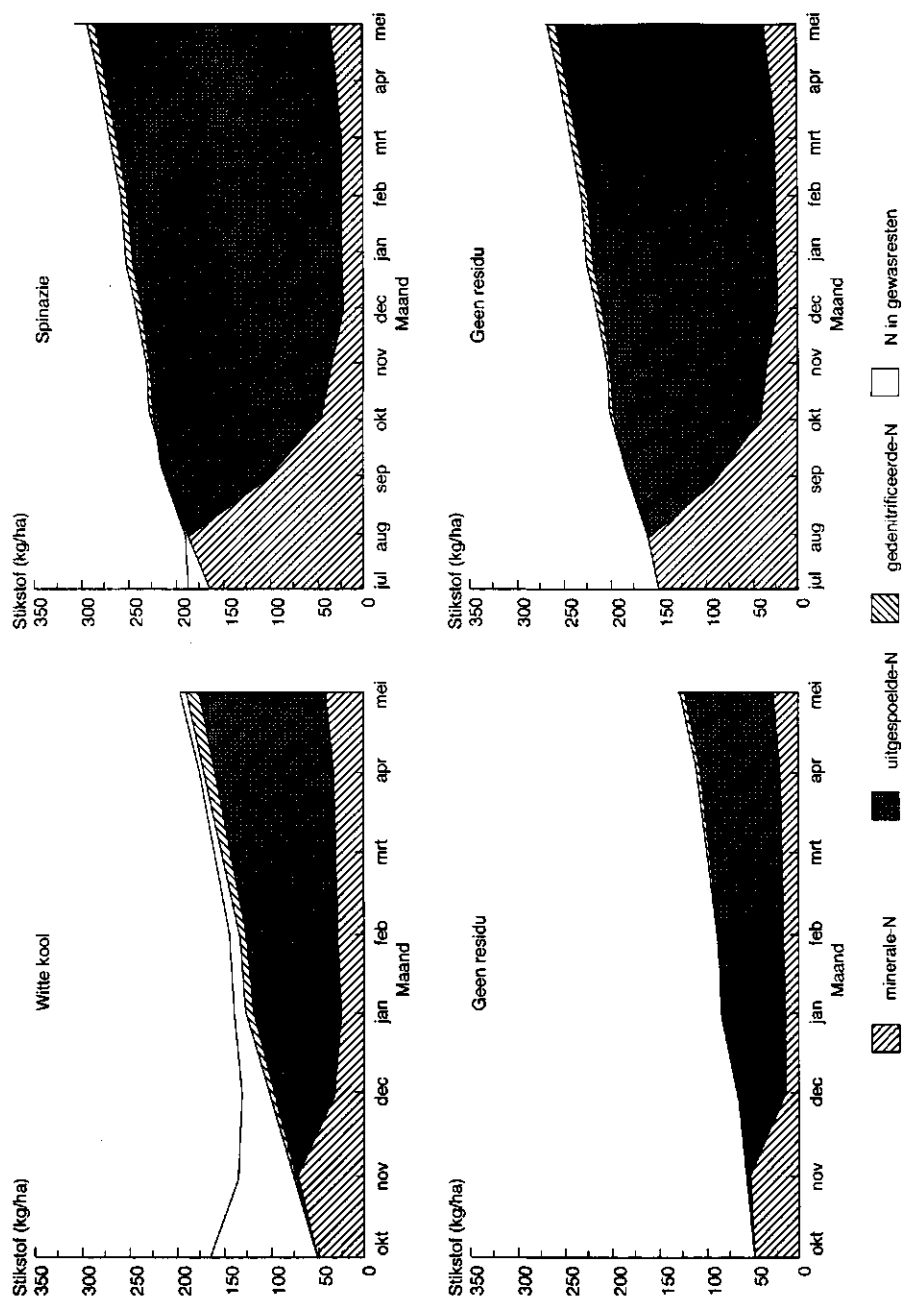
Resultaten en discussie

In figuur 7.2 (a en b) staan de resultaten van de simulaties met (bovenste figuren) en zonder gewasresten (onderste figuren). Op die manier kan het gedrag van organische stikstof en minerale stikstof na de oogst apart worden bekeken en vergeleken. Het meest opvallend in figuur 7.2 zijn de grote hoeveelheden stikstof die uitspoelen voor alle weergegeven gewassen. Voor alle gevallen werd aangenomen dat de grond onbedekt bleef gedurende de winter; een wintergewas zou eventueel een deel van de stikstof hebben kunnen opnemen. Duidelijk blijkt uit figuur 7.2 dat minerale stikstof die na de oogst in de bodem achterblijft het grootste effect op de uitspoeling heeft. Na de teelt van spinazie of prei kan de uitspoeling oplopen tot 200 kg stikstof per ha. Beide gewassen maken op een inefficiënte wijze gebruik van de toegediende stikstof en laten betrekkelijk weinig gewasresten achter. Wanneer kool- of spruitkoolresten van het land worden verwijderd, is de uitspoeling lager (circa 90-100 kg stikstof per ha) doordat beide gewassen vrij effectief stikstof uit de bodem opnemen. Beide gewassen laten ook een vrij grote hoeveelheid gewasresten achter. Wanneer die niet worden verwijderd, zullen ze een verschillend effect op de uitspoeling hebben als gevolg van de verschillende C:N-ratio's. Koolrestanten met een C:N van 15 zorgen voor een toename van de uitspoeling tot ongeveer 130 kg stikstof per ha. Spruitkool daarentegen heeft een C:N-

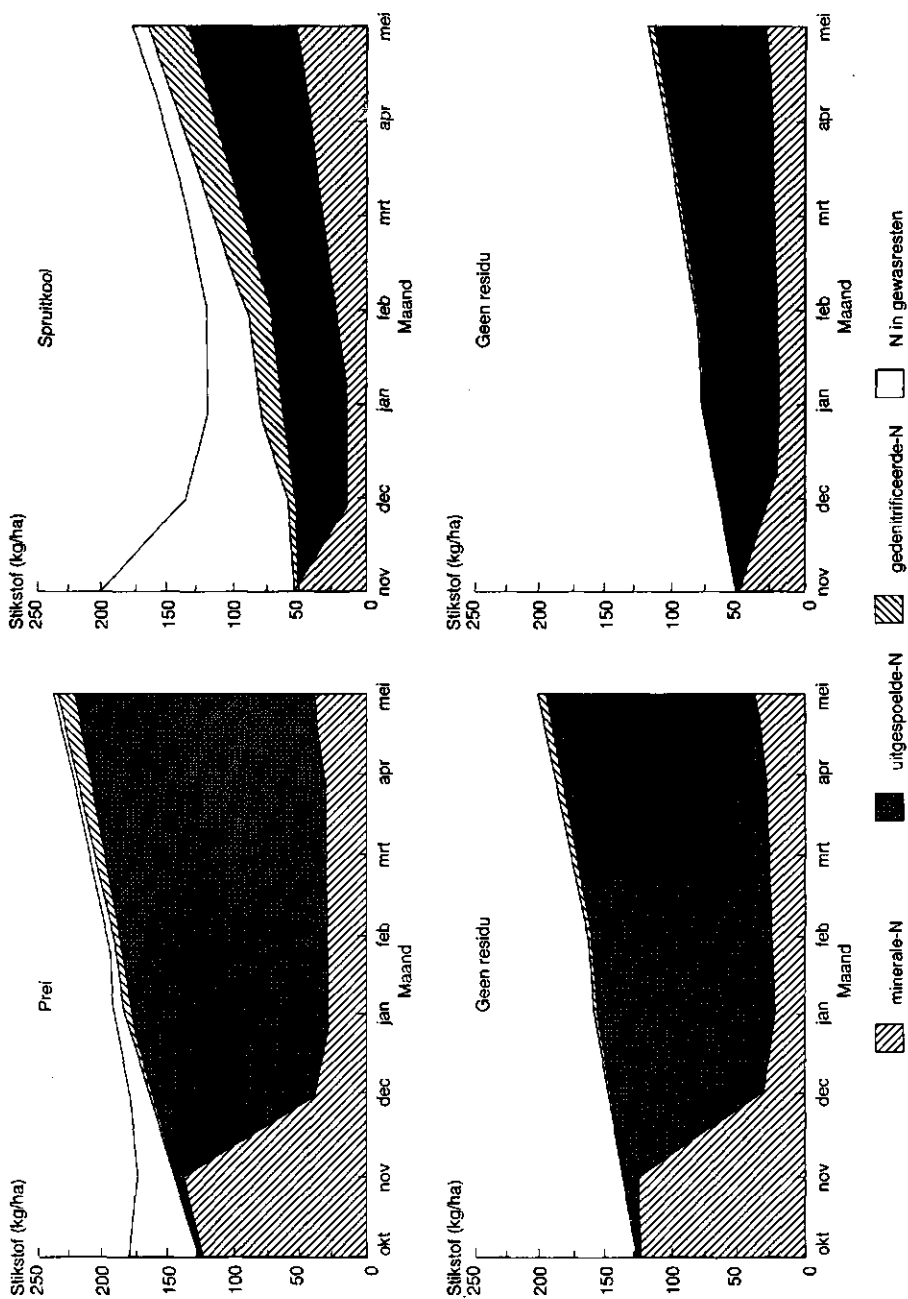
ratio van 25, wat in het kritische gebied ligt. Daardoor zal volgens de modelberekeningen de uitspoeling iets lager zijn wanneer de spruitkoolresten niet worden afgevoerd. In het beginstadium immobiliseren zowel kool als spruitkool enige minerale stikstof, wat blijkt uit het feit dat de totale hoeveelheid stikstof daalt gedurende de eerste maand na de oogst. In alle andere gevallen stijgt de totale hoeveelheid stikstof doordat het netto wordt vrijgemaakt uit bodem-organische stof. Voor de berekeningen werd aangenomen dat de gewasresten gehakseld waren en goed gemengd, voordat ze door de bodem werden gemengd. Wanneer verkleining en menging achterwege blijft, kan de afbraaksnelheid veel lager worden.

Het simulatiemodel kan ook worden gebruikt om het effect van variatie in de weersomstandigheden te berekenen. Dat is gebeurd voor hetzelfde koolgewas als dat van figuur 7.2a, maar dan voor een periode van 40 achtereenvolgende jaren. Daarbij werd eveneens gebruik gemaakt van weersgegevens voor Wageningen. Opvallend is dat de variatie in uitspoeling betrekkelijk gering blijft wanneer het weer varieert. De gemiddelde uitspoeling bedroeg over de periode van 40 jaar bijna 120 kg stikstof per ha. Slechts eens in de 10 jaar is de afwijking hiervan groter dan 20% (1993-1994 was zo'n jaar). Over het algemeen bedraagt de variatie niet meer dan 10% van het veeljarig gemiddelde.

Met het model kan ook worden nagebootst wat het effect is van variaties in de hoeveelheid koolstof die er met de gewasresten achterblijft, of van de C:N-verhouding. Het effect van een variatie van plus of min 20% in de hoeveelheid C die achterblijft en eveneens 20% in de C:N-ratio staat weergegeven in tabel 7.2. Daaruit blijkt dat het effect van de variatie van de gewasresten



Figuur 7.2a. Het lot van stikstof die na de oogst achterblijft; stikstof gedurende de winter in grond met of zonder gewasresten van (a) witte kool of spinazie, (b) prei of spruitkool. De schalen in (a) and (b) verschillen.



Figuur 7.2b. Het lot van stikstof die na de oogst achterblijft; stikstof gedurende de winter in grond met of zonder gewasresten van (a) witte kool of spinazie, (b) prei of spruitkool. De schalen in (a) and (b) verschillen.

Tabel 7.2. Variatiecoëfficiënten in de simulatieberekeningen van uitgespoelde stikstof als gevolg van variatie van +/- 20% in het initiële koolstof- en stikstofgehalte van vier gewasresten die met grond worden gemengd.

gewasrest	variatie in de uitspoeling
witte kool	34
spinazie	30
prei	32
spruitkool	56

wat groter is dan dat van het weer. Maar voor de meeste gewassen geldt dat de variatie in uitspoeling niet groter is dan de variatie van de input. Alleen voor spruitkool gold dat de variatie in N-mineralisatie en N-uitspoeling groter werd. Dat wordt echter veroorzaakt doordat de C:N-verhouding van spruitkool in het kritische gebied ligt. Door de C:N-verhouding te veranderen werd er nu eens gemineraliseerd uit spruitkool en dan weer geïmmobiliseerd. Omdat de overgang tussen mineralisatie en immobilisatie gedeeltelijk afhangt van de invloed van het bodemtype op de factor α in vergelijking (1), kan elk gewas met een C:N-verhouding tussen de 20 en 30 tegenstrijdige resultaten geven op verschillende grondsoorten: in het ene geval mineralisatie en in het andere immobilisatie. Als het koolstof- en stikstofgehalte van dat gewas bekend is, kunnen computermodellen behulpzaam zijn in het oplossen van de aldus ontstane verwarring. Daarbij moet men zich echter goed realiseren dat de berekening geldt voor een situatie waarin de gewasresten gehakseld en goed door elkaar gemengd zijn om tot een gemiddelde C:N-verhouding te komen. In werkelijkheid bevatten de meest resistente delen van de plant (stammen etc.) de minste stikstof. Niet verkleinen en niet mengen kan er daarom toe leiden dat de uitspoeling toeneemt, omdat het grootste deel van de stikstof in de gemakkelijk verteerbare delen zit. Dit komt dan snel vrij. Bij een neerslagoverschot kan het al verloren zijn gegaan

voordat de afbraak op gang komt van de slecht verteerbare delen, die voor een zekere immobilisatie kunnen zorgen. Ook wanneer de planteresten zeer goed verkleind worden, zullen de N-rijkere delen het eerst worden afgebroken. Dit kan ook worden afgeleid uit figuur 7.1, waar de modelberekeningen de werkelijk opgetreden N-mineralisatie enigszins onderschatten. Waarschijnlijk worden in dit geval de N-rijkere delen volledig afgebroken, terwijl (zelfs in deze betrekkelijk langdurige proeven) de vezelige delen slechts gedeeltelijk worden aangetast.

De uitspoeling in de winter wordt bepaald door het neerslagoverschot en de nitraatconcentratie in het water. Het neerslagoverschot is de hoeveelheid regen minus de verdamping. Het neerslagoverschot verdwijnt naar het diepere grondwater, en bij een hoge nitraatconcentratie zal ook de nitraatconcentratie van het drinkwater stijgen tot onaanvaardbare waarden. De EEG-norm voor nitraat in drinkwater is 50 mg per liter, wat overeenkomt met 11,3 mg stikstof per liter. Aangezien 1 mm regen gelijk staat aan 10^4 liter water per ha, kan berekend worden hoeveel stikstof (A) er bij een bepaald neerslagoverschot (R) uit een hectare land kan uitspoelen voordat de drinkwaternorm wordt overschreden.

$$A = \frac{11.3 \cdot 10^4}{10^9} \quad (2)$$

Gedurende de afgelopen 40 jaar gold voor de zandgrond in de buurt van Wageningen een gemiddeld neerslagoverschot van 380 mm met een standaardafwijking van 88 mm. Hierbij werd aangenomen dat de grond ten tijde van de oogst min of meer verzadigd was, wat niet onwaarschijnlijk is gezien de hoge irrigatie die op veel vollegrondsgroenten wordt toegepast. Bij een neerslagoverschot van 380 mm mag niet meer dan 40 kg stikstof per ha uitspoelen om binnen de drinkwaternorm te blijven. Op basis van deze berekening, rekening houdend met een correctie voor denitrificatie en stikstof die in de bodem achterblijft, kwam de zogenaamde Commissie Stikstof tot de aanbeveling dat er niet meer dan 70 kg stikstof in de bodem mag achterblijven na de oogst in de herfst. Aangezien ook denitrificatie tot milieuschade kan leiden, stelde de commissie de lange-termijn-norm op 45 kg stikstof per ha. Bij een gemiddeld neerslagoverschot van 380 mm zal zelfs 45 kg stikstof nog aanleiding geven tot overschrijding van de norm voor drinkwater, want alles spoelt uit. Ter vergelijking: in de winter 1993-1994 bedroeg het neerslagoverschot 568 mm. Bij een berekende uitspoeling van 130 of 200 kg stikstof (respectievelijk voor kool en spinazie of prei) zou dat leiden tot concentraties tussen 23 en 35 mg stikstof per liter in het grondwater, waarmee de EEG-norm reeds ver zou worden overschreden.

Eerder werd verondersteld dat de situatie voor de winter van 1993-1994 zo ongeveer de slechtst denkbare was. Daarbij moet echter nog een kanttekening worden geplaatst, omdat het nog mogelijk is dat de uitspoeling nog hoger is dan aangegeven.

Dat wordt veroorzaakt doordat gewassen als spinazie met hun wortels niet diep doordringen in de bodem. Dat betekent dat zij gebruik maken van stikstof die in de bovenlaag aanwezig is, maar niet van stikstof in diepere bodemlagen. De modelberekeningen daarentegen gingen ervan uit dat de minerale stikstof bij de oogst homogeen door het bodemprofiel verdeeld was. In het geval van kool en spruitkool was dit waarschijnlijk ook aannemelijk, maar in het geval van spinazie niet. Bij ondiep wortelende gewassen kan een aanzienlijk deel van de minerale stikstof zelfs uitspoelen gedurende het groeiseizoen.

Conclusies en consequenties

Het is duidelijk dat groentegewassen een hoop stikstof achterlaten, wat een bedreiging vormt voor het grondwater. Gedurende de afgelopen 40 jaar bedroeg de gemiddelde nitraatconcentratie van het water dat uit de akker met het koolgewas wegsijpelde meer dan 30 mg per liter bij een standaardafwijking van 5 mg per liter. In het ergste jaar bedroeg de voorspelde waarde bijna 45 mg per liter en in het beste jaar iets meer dan 20 mg per liter. In vergelijking met een normwaarde van 11,3 mg per liter zijn dit verre van te veronachtzamen concentraties. Maatregelen die deze concentraties slechts voor een deel verlagen, kunnen reeds zeer voordelig zijn. De volgende aanbevelingen kunnen daarbij behulpzaam zijn:

1. Verlaging van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem bij het begin van de winter. Dit kan worden bewerkstelligd door (in het geval van ondiep wortelende gewassen) kleine bemestingsdoseringen toe te passen en (in andere gevallen) een volggewas te zaaien na voorjaars- of zomerteelten.

2. Variabiliteit speelt een rol in de bepaling van de hoeveelheid uitgespoelde stikstof van jaar tot jaar. Computermodellen kunnen behulpzaam zijn om nitraatuitspoeling na de oogst op te sporen en te berekenen hoeveel mineralisatie of immobilisatie er van gewasresten verwacht kan worden.

Met behulp van deze informatie kan een betere schatting van de stikstoflevering vanuit de bodem voor het volgende gewas worden gemaakt, waardoor de bemestingsadviezen beter worden en de risico's van stikstofverontreiniging geringer.

Dankwoord

Vertaling: Kor Zwart

PERSPECTIEVEN VOOR SELECTIE VAN RASSEN MET EEN HOGERE STIKSTOFPRODUKTIVITEIT

dr. A. van der Werf, AB-DLO Wageningen

Inleiding

Een van de mogelijkheden om het milieu zo weinig mogelijk te belasten met stikstof is er voor te zorgen dat de gift van stikstof goed wordt afgestemd op de 'behoefte' van het gewas. De huidige bemestingadviezen lijken niet geschikt voor dit doel. Immers, deze zijn opgesteld in een periode waarin financiële opbrengst uitsluitend als criterium gold. Een goede afstemming van aanbod en vraag van het gewas naar stikstof betekent dat er kennis moet zijn van gewaskarakteristieken die de behoefte bepalen en van fysisch/biochemische eigenschappen van de bodem. Onderzoek naar de factoren die de stikstofbenuttingindex (hoofdstuk 'stikstofbenutting') verhogen zonder een al te grote opbrengst- en kwaliteitsderving, is momenteel volop gaande.

Dit hoofdstuk analyseert een andere mogelijkheid: de potentie van gewassen en rassen om produktiever met hun opgenomen stikstof om te gaan. Er blijken aanzienlijke verschillen te bestaan in biomassa-productie per eenheid stikstof die in de plant aanwezig is en per tijdseenheid (= NP; stikstofproduktiviteit) tussen soorten (bijvoorbeeld prei en spruitkool; tabel 8.1) en rassen (Pérez Leroux en Long, 1994). De reden om de stikstofproduktiviteit onder de loep te nemen is evident. Een ras met een hoge stikstofproduktiviteit heeft minder stikstof nodig om tot dezelfde biomassa-opbrengst te komen dan een ras met een lage stikstofproduktiviteit. Zo is de stikstofproduktiviteit van spruitkool hoger dan die van prei, zowel in de klimaatkamer als in het veld, terwijl de drogestofproductie per eenheid opgenomen stikstof in het veld over een

heel groeiseizoen voor spruitkool aanzienlijk groter is (hoofdstuk 'stikstofhuishouding bij prei en spruitkool'). Gebruik van rassen met een hoge stikstofproduktiviteit maakt het mogelijk een gelijke opbrengst te behalen bij een geringer stikstofaanbod. Selectie op stikstofproduktiviteit op zich aan de hand van veldproeven kan problemen opleveren. Immers het gedrag van een gewas hangt sterk af van het klimaat, bodemeigenschappen en van de bemestingsstrategie. Selectie op stikstofproduktiviteit op zich kan dus een langdurige weg zijn, die tevens zeer kostbaar is. Een andere ingang is kennis te verzamelen omtrent de onderliggende processen van stikstofproduktiviteit, deze te integreren in gewasgroeimodellen en theoretisch door te rekenen hoe de stikstofproduktiviteit en stikstofbehoefte zich gedraagt onder diverse beheers- en klimaatomstandigheden. In klimaatkamerexperimenten kunnen dan in een relatief kort tijdsbestek veel rassen geselecteerd worden op factoren die sterk de stikstofproduktiviteit bepalen.

De volgende paragrafen geven een analyse van:

- onderliggende processen die de groeisnelheid bepalen;
- onderliggende processen die de stikstofproduktiviteit bepalen.

Aan de hand van deze analyses kan dan vervolgens nagegaan worden welke processen het best kunnen dienen als een indicator voor rassen met een hoge stikstofproduktiviteit. Daarnaast worden mogelijke negatieve neveneffecten van selectie op onderliggende processen van stikstof-

Tabel 8.1. Enkele planteigenschappen van prei en spruitkool voor planten opgekweekt bij een hoge lichtintensiteit ($500 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$; HL) en een lage lichtintensiteit ($100 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$; LL). Verdere klimaatconditie van de kamer waren: relatieve luchtvochtigheid 70%, temperatuur 20°C , lichtperiode 14 uur. nb niet bepaald. Meer informatie omtrent de parameters is gegeven in de tekst.

parameter	eenheid	HL prei	HL spruitkool	LL prei	HL spruitkool
RGR	mg/g/dag	125	231	80	154
NAR	g/m ² /dag	17,4	15,0	6,2	7,1
LAR	m ² /kg	7,2	15,3	13,0	21,8
RWR	g/g	0,24	0,15	0,17	0,14
LWR	g/g	0,57	0,73	0,64	0,67
SLA	m ² /kg	12,6	21,1	20,5	32,4
NP	g/mol/dag	41,7	63	nb	nb
PNC	mmol/g	3,0	3,7	nb	nb
LNCA	mmol/m ²	245	187	nb	nb
LNR	mol/mol	0,58	0,79	nb	nb
RNR	mol/mol	0,26	0,12	nb	nb

produktiviteit gegeven op opbrengst en kwaliteit.

Factoren die de groeisnelheid bepalen

Stikstofproductiviteit wordt gedefinieerd als de groeisnelheid per eenheid stikstof die in de plant aanwezig is. Alvorens nu over te gaan tot een analyse van stikstofproductiviteit, is het belangrijk te weten welke factoren de groeisnelheid bepalen.

Verschillen in relatieve groeisnelheid (RGR; biomassa toename per eenheid aanwezige hoeveelheid biomassa per tijdseenheid) tussen soorten of rassen kunnen in eerste instantie verklaard worden met behulp van groei-analyses. In dergelijke analyses worden planten onder geconditioneerde omstandigheden in de tijd gevolgd. Door nu aan deze planten regelmatig het bladoppervlak en de biomassa van de verschillende plante-onderdelen (blad, stengel en wortel) te bepalen, blijkt welke factoren nu verantwoordelijk zijn voor verschillen in RGR.

De RGR wordt bepaald door een zoge-

naamde fysiologische component: de netto assimilatiesnelheid (NAR) en een morfologische component: de bladoppervlakte ratio (LAR):

$$\text{RGR} = \text{NAR} * \text{LAR} \quad (1),$$

waarin de NAR (biomassa-toename per eenheid bladoppervlak per tijdseenheid) de resultante is van enerzijds de koolstofvastlegging in de fotosynthese en anderzijds de verliezen van koolstof in de respiratie. De LAR (hoeveelheid bladoppervlak per eenheid plantgewicht) is het produkt van de bladgewicht-ratio (LWR; bladgewicht per eenheid plantgewicht) en het specifiek bladoppervlak (SLA; hoeveelheid bladoppervlak per eenheid bladgewicht):

$$\text{LAR} = \text{LWR} * \text{SLA} \quad (2).$$

Ter illustratie worden de resultaten gepresenteerd van de groei-analyses voor prei en spruitkoolplanten, die opgekweekt zijn in een klimaatkamer bij twee verschillende lichtintensiteiten.

De relatieve groeisnelheid van spruitkool is ongeveer twee maal zo hoog als van prei,

ongeacht de lichtintensiteit waarbij de planten zijn opgekweekt (tabel 8.1). Min of meer dezelfde relatieve verschillen in groeisnelheid tussen prei en spruitkool manifesteren zich in het veld (R. Booij, mondelinge mededeling). Zowel in de klimaatkamer als in het veld blijkt dat de hogere biomassa-productie van spruitkool niet veroorzaakt wordt door een hogere biomassatoename per eenheid bladoppervlak per tijdseenheid (NAR). Dit duidt erop dat er geen verschillen in de resultante van fotosynthese en respiratie tussen prei en spruitkool zijn. In een uitgebreide studie naar 24 wilde plantesoorten, welke aanzienlijke verschillen in relatieve groeisnelheid hebben, toonden Poorter et al., (1990) en Poorter en Remkes (1990) inderdaad aan dat er geen verschillen tussen soorten zijn in NAR en in fotosynthesesnelheid per eenheid bladoppervlak.

De hogere relatieve groeisnelheid van spruitkool wordt dus veroorzaakt door een hogere hoeveelheid bladoppervlak per eenheid plantgewicht (LAR), welke voornamelijk het gevolg is van een hogere hoeveelheid bladoppervlak per eenheid bladgewicht (SLA). Met andere woorden: om een eenheid bladoppervlak (belangrijk voor de lichtonderschepping) te maken heeft spruitkool minder biomassa nodig dan prei. Ook hier geldt weer dat relatieve verschillen in specifiek bladoppervlak tussen prei en spruitkool dezelfde zijn, ongeacht de lichtintensiteit waarbij de planten zijn opgekweekt en ongeacht de groeiplaats (klimaatkamer of veld). Naarmate het groeiseizoen vordert, worden de verschillen in SLA in het veld tussen prei en spruitkool minder en uiteindelijk min of meer gelijk. In deze periode zijn echter de verschillen in drogestofproductie per ha per dag tussen prei en spruitkool ook sterk gereduceerd (hoofdstuk 'stikstofhuishouding bij prei en spruitkool'). Naast de hogere hoeveelheid bladoppervlak per eenheid bladgewicht

(SLA) heeft spruitkool ook een hogere hoeveelheid bladgewicht per eenheid plantgewicht (LWR) dan prei, wat tevens bijdraagt tot een hogere RGR.

Concluderend: de hogere biomassa-productie van spruitkool ten opzichte van prei in zowel de klimaatkamer als in het veld wordt niet verklaard door een hogere biomassa-productie per eenheid bladoppervlak (NAR), maar door een hogere hoeveelheid bladoppervlak per eenheid plantgewicht (LAR). Zowel de hogere hoeveelheid bladoppervlak per eenheid bladgewicht (SLA) als de hogere hoeveelheid bladgewicht per eenheid plantgewicht (LWR) van spruitkool dragen bij aan de hogere LAR.

Factoren die de stikstofproductiviteit bepalen

In z'n meest simpele vorm kan de stikstofproductiviteit (NP; biomassatoename per eenheid stikstof die in de plant aanwezig is en per tijdseenheid) beschreven worden als:

$$NP = RGR/PNC \text{ (3).}$$

De relatieve groeisnelheid (RGR; biomassa toename per eenheid aanwezige hoeveelheid biomassa en per tijdseenheid) is ruwweg de resultante van enerzijds de koolstofvastlegging in de fotosynthese (uitgedrukt per eenheid plant biomassa) en anderzijds de koolstofverliezen in de respiratie (ook uitgedrukt per eenheid plantgewicht). Door de RGR te delen door de stikstofconcentratie van de hele plant (PNC; hoeveelheid stikstof in de plant per eenheid plantgewicht) komen we op de NP. Willen we nu de groeisnelheid niet uitdrukken per eenheid plantgewicht, maar per eenheid stikstof die in de plant aanwezig is, kunnen we vergelijking (3) herschrijven tot:

$$NP = PS/PNC - R/PNC \quad (4),$$

waar PS staat voor de CO_2 -fixatie in de fotosynthese en R voor het CO_2 -verlies in de respiratie; beide uitgedrukt per eenheid plantgewicht. Deze vergelijking biedt echter nog te weinig inzicht in de processen. Immers de fotosynthese vindt plaats in de bladeren, terwijl in ieder plantorgaan koolstof verloren gaat in de respiratie. We kunnen nu de fotosynthesesnelheid uitdrukken per eenheid organisch bladstikstof: de 'photosynthetic nitrogen use efficiency' (PNUE; CO_2 -fixatie per eenheid bladstikstof en per tijdseenheid). Bij de fotosynthesereacties zijn eiwitten betrokken. Deze eiwitten bevatten een aanzienlijke hoeveelheid stikstof: het CO_2 -bindend enzym Rubisco bevat ongeveer 25% van alle bladstikstof. Als we alle componenten die betrokken zijn bij de fotosynthese optellen en hun stikstofgehaltes bekijken, dan blijkt dat zo'n 60-80% van alle stikstof in een blad betrokken is bij de fotosynthese. Aangezien met name in een jong vegetatief stadium veel van de totale plantbiomassa zich in de bladeren bevindt (50-80%), is het duidelijk dat een groot gedeelte van de opgenomen stikstof gebruikt wordt voor de fotosynthese (40-60%). Om de koolstofvastlegging in de fotosynthese uit te drukken per eenheid plantstikstof (vergelijking 4), dient de fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE) vermenigvuldigd te worden met de verhouding stikstof in het blad/stikstof in de gehele plant (LNR). Nu kunnen we de eerste term van vergelijking (4) dus herschrijven tot:

$$PS/PNC = PNUE * LNR \quad (5)$$

Uitgaande van een plant bestaande uit een bovengronds gedeelte (spruit) en een ondergronds gedeelte (wortel), kan R/PNC uit vergelijking (4) herschreven worden tot:

$$R/PNC = SR * SWR/PNC + RR * RWR/PNC \quad (6),$$

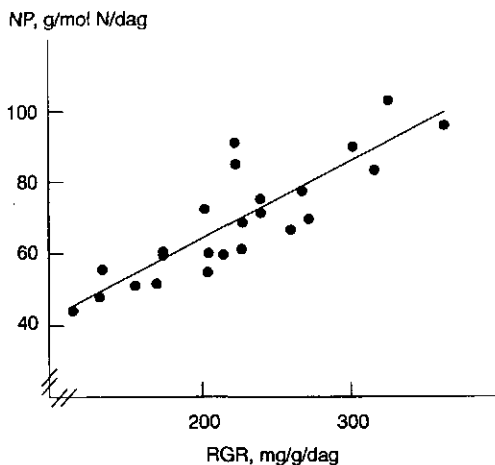
waar SR en RR staan voor respectievelijk de respiratieverliezen van blad en stengel per eenheid spruitgewicht en de respiratieverliezen in de wortel per eenheid wortelgewicht, terwijl SWR en RWR staan voor respectievelijk spruitbiomassa per eenheid plantgewicht en wortelbiomassa per eenheid plantgewicht. Combinatie van vergelijkingen (4), (5) en (6) levert dan de volgende vergelijking op:

$$NP = PNUE * LNR - SR * SWR/PNC - RR * RWR/PNC \quad (7).$$

De term achter het = teken heeft als eenheid: netto koolstofwinst per eenheid stikstof in de plant aanwezig en per tijdseenheid. Conversie van koolstof naar plantbiomassa is nu eenvoudig door de term achter het = teken te vermenigvuldigen met het koolstofgehalte van de biomassa.

Het is van belang welke factoren uit vergelijking (7) de verschillen in stikstofproductiviteit tussen soorten of rassen verklaren. Omdat het meeste onderzoek zich gericht heeft op verschillen in stikstofproductiviteit tussen 'wilde' plantesoorten, zullen deze worden geanalyseerd. Iets soortgelijks kan uitgevoerd worden voor rassen. Op dit moment zijn er geen gegevens bekend om een volledige analyse voor verschillen in NP tussen rassen of tussen cultuurgewassen te maken.

In het algemeen hebben soorten met een hoge relatieve groeisnelheid een hoge stikstofproductiviteit (figuur 8.1). Ook voor prei en spruitkool gaat deze algemene tendens op. Spruitkool heeft een ongeveer twee maal zo hoge relatieve groeisnelheid als prei en tevens is de stikstofproductiviteit van spruitkool 50% hoger dan die van prei (tabel 8.1). Met andere woorden snelgroeiende soorten (onder andere spruitkool)



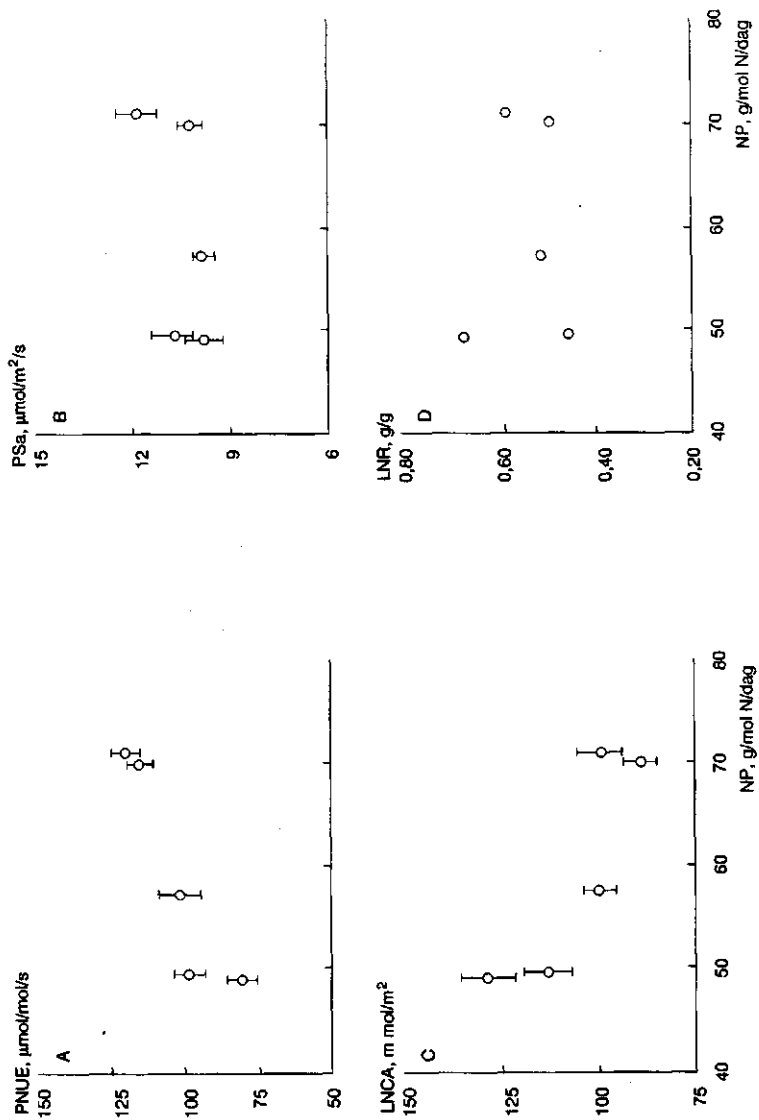
Figuur 8.1. Relatie tussen de relatieve groeisnelheid (RGR) en stikstofproductiviteit (NP) van 24 "wilde" plantesoorten (bron: Poorter et al. 1990).

hebben minder stikstof nodig om een eenheid biomassa te produceren dan langzaamgroeiende soorten (onder andere prei). De stikstofproductiviteit in de klimaatkamer is bepaald aan relatief jonge planten. Ook in het veld heeft spruitkool een hogere stikstofproductiviteit in de periode wanneer het gewas nog niet gesloten is. Naarmate het seizoen vordert verminderen de verschillen in stikstofproductiviteit (ongepubliceerde data R. Booij). Echter over het hele seizoen bekeken is de drogestofproductie per eenheid opgenomen stikstof van spruitkool hoger dan die van prei (hoofdstuk 'stikstofhuishouding bij prei en spruitkool').

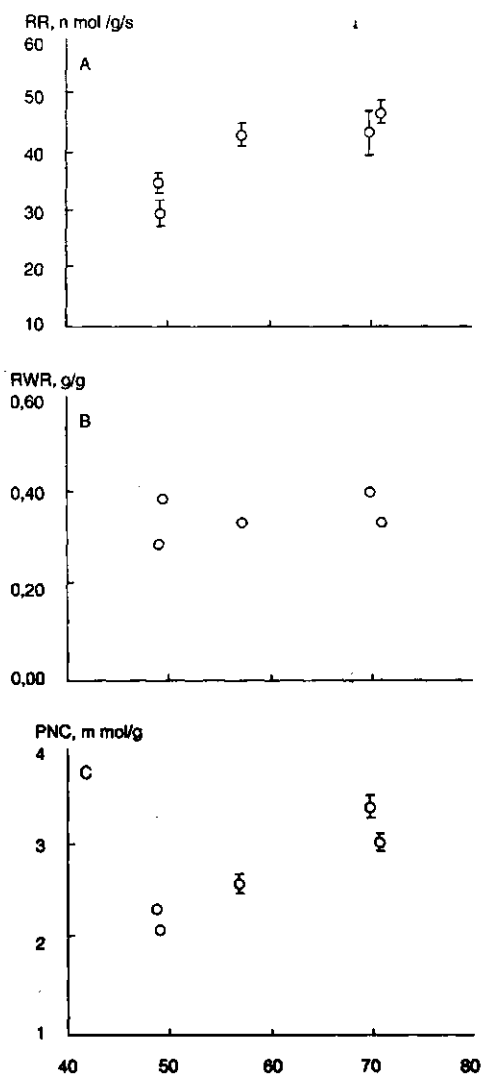
Uit figuur 8.2a blijkt dat soorten met een hoge stikstofproductiviteit ook een hoge fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE) hebben. Deze verschillen in PNUE worden niet verklaard door een verschil in de fotosynthesesnelheid per eenheid bladoppervlak (PS_a ; figuur 8.2b).

Met andere woorden: verschillen in fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof moeten voornamelijk verklaard worden door verschillen in stikstofgehalte per eenheid bladoppervlak (LNCA; figuur 8.2c). Langzaamgroeiende soorten blijken een hoger stikstofgehalte per eenheid bladoppervlak te hebben dan snelgroeiende soorten. Tabel 8.1 laat zien dat ook de langzame groeier prei een hoger stikstofgehalte per eenheid bladoppervlak (LNCA) heeft dan spruitkool. Gegevens omtrent de fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof van beide soorten zijn niet voorhanden, maar aangezien hun netto-assimilatiesnelheid (NAR; resultante van fotosynthese en respiratie) min of meer gelijk is, mag voorzichtig geconcludeerd worden dat de fotosynthesesnelheid per eenheid bladoppervlak min of meer gelijk is, en dus dat de fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof van spruitkool hoger is.

Figuur 8.2d laat zien dat er geen relatie is



Figuur 8.2. Relatie tussen de stikstofproductiviteit (NP) en de fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE; A), de fotosynthesesnelheid per m^2 bladoppervlak (PS_a ; B), het stikstofgehalte per m^2 bladoppervlak (LNCA; C) en de ratio bladstikstof/plantstikstof (LNR; D) van 5 grassoorten. Soorten met een hoge NP hebben tevens een hoge RGR (bron: Van der Werf et al. 1993a,b).



Figuur 8.3. Relatie tussen de stikstofproduktiviteit (NP) en de respiratiesnelheid van wortels (RR; A), de ratio wortelgewicht/plantgewicht (RWR; B) en de stikstofconcentratie per eenheid plantgewicht (PNC; C) van 5 grassoorten. Soorten met een hoge NP hebben tevens een hoge RGR (bron: Van der Werf et al. (1993a,b)).

tussen de stikstofproductiviteit en ratio tussen bladstikstof en plantstikstof (LNR) van de 'wilde' plantesoorten. Snelle groeiers met een hoge stikstofproductiviteit bezitten geen hogere LNR. Dus de koolstofwinst per eenheid plantstikstof (PNUE * LNR) is hoger voor een snelle groeier dan voor een langzame groeier. Naast de waarschijnlijk hogere fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE) is de hogere LNR van spruitkool mede verantwoordelijk voor de hogere stikstofproductiviteit ten opzichte van die van prei (tabel 8.1).

Snel groeiende soorten hebben een iets hogere wortelrespiratie per wortelgewicht dan langzaam groeiende soorten (figuur 8.3a). Echter, aangezien er slechts geringe verschillen in biomassaverdeling over spruit en wortel zijn (RWR; figuur 8.3b), en snel groeiende soorten een hogere plantstikstofconcentratie (PNC; figuur 8.3c) hebben, verliezen de snel groeiende soorten in absolute zin min of meer evenveel koolstof per eenheid plantstikstof in de wortelrespiratie als de langzaam groeiende soorten (vergelijking 6). Eenzelfde redenering kan gemaakt worden voor de koolstofverliezen in de respiratie van blad en stengel per eenheid plantstikstof. Aangezien zowel prei als spruitkool relatief weinig biomassa in hun wortels investeren, zijn de koolstofverliezen per eenheid plantstikstof in de wortel laag. Mogelijke verschillen in deze lage verliezen in wortelrespiratie per eenheid plantstikstof tussen prei en spruitkool kunnen dus niet het grote verschil in stikstofproductiviteit verklaren.

Conclusies en consequenties

De hogere stikstofproductiviteit van snelgroeiende 'wilde' soorten wordt verklaard door een hogere fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE), terwijl de andere factoren van minder belang zijn.

Tot nu toe zijn er alleen soortverschillen aangeduid. Onderzoek naar rasverschillen in stikstofproductiviteit op de hierboven beschreven wijze is nog niet uitgevoerd. Het mag duidelijk zijn dat er grote verschillen bestaan tussen soorten in stikstofproductiviteit en fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE). De vraag is nu of het ook mogelijk is om te selecteren op rassen met een hoge PNUE, met als resultaat een hoge stikstofproductiviteit. Indien mogelijk zou dat kunnen leiden tot gewassen met een relatief lage stikstofbehoefte.

Toch dient gerealiseerd te worden dat selectie op een hoge fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof mogelijkwerijs gepaard gaat met selectie op planteigenschappen die juist weer negatief doorwerken op productie en/of kwaliteit.

Voor de 'wilde' soorten blijkt dat de fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE) positief gecorreleerd is met de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid bladgewicht (SLA). Snelgroeiende soorten met een hoge SLA, hebben meestal een hogere bladafstervingsnelheid dan soorten met een lage SLA (hoofdstuk 'bemestingsstrategie bij bloemkool'). Indien de hogere SLA gepaard gaat met een hogere bladafstervingsnelheid, bestaat de mogelijkheid dat genotypen met een hogere PNUE eerder hun bladmateriaal verliezen. Afhankelijk van de stikstofconcentratie in het afgestoten blad, zou het wel eens zo kunnen zijn dat de totale verliezen van stikstof naar het milieu niet afnemen, maar minstens gelijk blijven danwel toenemen. Dus enerzijds wordt er iets gewonnen in de stikstofbenutting (via de selectie op een hogere stikstofproductiviteit), anderzijds gaat er extra N verloren in afgestorven materiaal. Dit probleem zal zeer sterk spelen bij spruitkool, dat al een aanzienlijke hoeveelheid blad voor de oogst verliest. Tevens kan een hogere bladafstervingsnelheid, dus een

kortere levensduur, negatief doorwerken op de biomassa-productie van een gewas op de lange termijn.

Selectie op planten met een hogere fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof (PNUE) zou mogelijkserwijs kunnen leiden tot lagere N-concentraties in het plantemateriaal. Dit kan consequenties hebben voor de kwaliteit van het marktbaar produkt (lagere eiwitconcentratie). Aangezien het marktbaar produkt van bijvoorbeeld spinazie het blad is, kan voor dit gewas verwacht worden dat dit probleem mogelijkserwijs optreedt. Voor prei heeft selectie op een hogere PNUE (lagere N-concentraties!) mogelijkserwijs gevolgen voor de kleur van het blad.

Wat zijn de effecten van de lagere stikstofconcentratie op harvestindex? De spruitjes van spruitkool betrekken een groot gedeelte van hun koolstof en stikstof uit de blade-

ren. Indien selectie op een hoge fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof inderdaad leidt tot een lagere stikstofconcentratie in het blad, is er minder stikstof beschikbaar om naar de spruitjes getransporteerd te worden met als gevolg een lagere kwaliteit.

Concluderend kan gesteld worden dat een hogere stikstofproductiviteit voornamelijk bepaald wordt door een hogere fotosynthesesnelheid per eenheid bladstikstof. Selectie op deze fysiologische parameter kan snel uitgevoerd worden in een klimaatkamer, is niet tijdrovend en relatief goedkoop. Een volledige waardering kan echter pas gegeven worden als mogelijke negatieve neveneffecten, zoals hierboven beschreven, meegenomen worden in onderzoek. De geselecteerde rassen dienen dan wel in veldexperimenten getoetst te worden op hun stikstofbehoefte.

STIKSTOFBIJMESTSYSTEEM

ir. H.H.H. Titulaer, PAGV Lelystad

Inleiding

Om overmatige toediening van stikstof tegen te gaan, zijn richtlijnen opgesteld voor de N-bemesting, die gebaseerd zijn op de minerale N-voorraad (N-min) in het bewortelbare deel van het bodemprofiel bij het begin van de teelt. Dit is eerst in de akkerbouw gebeurd voor granen, daarna voor aardappelen en suikerbieten. Het principe van de N-min adviesbasis komt neer op het meten van de N-min voorraad in de bodem direct na de winterperiode voordat de N-mineralisatie begint. Voor de meeste akkerbouwgewassen betekent dit vlak voor het zaaien of poten of in het jonge gewas zoals bij wintertarwe. Op basis van de gevonden hoeveelheid N-min in de laag 0-60 cm of 0-100 cm bij wintergranen wordt dan een N-bemestingsadvies vastgesteld. Bij granen wordt geadviseerd de stikstofgift te delen en in Feekes-stadium 6 à 7 nog een tweede N-min analyse uit te voeren voor het vaststellen van de hoogte van de tweede gift. De overige akkerbouwgewassen worden meestal bemest via een eenmalige voorraadbemesting, soms gedifferentieerd naar grondsoort en teeltwijze (Sieling, 1992).

De bemonstering voor het N-min onderzoek in de vollegrondsgroenteteelt is gedifferentieerd naar bemonsteringstijdstip, bemonsteringsdiepte, soort gewas en het gebruik van organische mest. De op de N-min voorraad gebaseerde richtlijnen zijn vaak aangepast aan de teeltperiode en soort gewas, waarbij voor gewassen die langer dan twee maanden op het veld staan, een kleinere voorraadbemesting wordt gegeven en vervolgens één of meerdere bijbemestingen. Dit om uitspoeling te

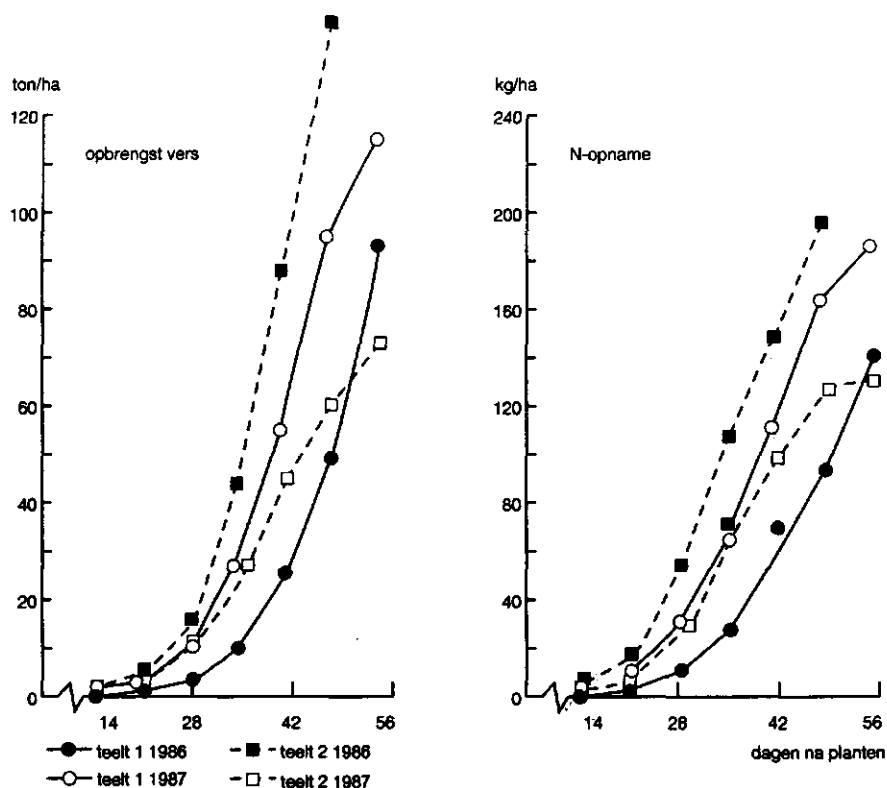
voorkomen.

Het stikstofbijmeststelsel (NBS) is gebaseerd op de stikstofopname door het gewas gedurende de teeltperiode en het meten van de verandering in de minerale stikstofvoorraad in de bodem. In principe wordt de basisbemesting zo laag mogelijk gehouden. Door periodiek tijdens de teelt de actuele beschikbare voorraad minerale bodemstikstof te meten, kan worden bijbemest tot een hoeveelheid N, de streefwaarde, die overeenkomt met de N-behoefte tot aan de volgende meting of tot de oogst. Hierdoor wordt getracht vraag en aanbod zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen.

Uit een enquête uitgevoerd op 11 praktijk-bedrijven in de vollegrondsgroenteteelt door het CAD Bodemaangelegenheden Akker- en Tuinbouw (1983-1985) bleken na afsluiting van het teeltseizoen (± oktober) N-mineraal resten in de laag 0-60 cm voor te komen tot 700 kg N per ha. Meting van de N-min rest in december op dezelfde percelen en in dezelfde lagen liet zien dat tot 500 kg N verdwenen was (Versteeg, 1987). Dit was een reden om haast te zetten achter de ontwikkeling van richtlijnen voor de N-bemesting in de vollegrondsgroenteteelt gebaseerd op een N-min bepaling voor de teelt.

Er was reeds ervaring opgedaan bij gewassen als spinazie, sla, andijvie en kool waarbij onderzoek werd uitgevoerd om de relatieve N-bemesting en nitraatgehalte te bestuderen.

De richtlijnen bleken goed te voldoen bij de voorjaarsteelten van kortgroeïende gewassen met zes tot acht weken groeiduur.



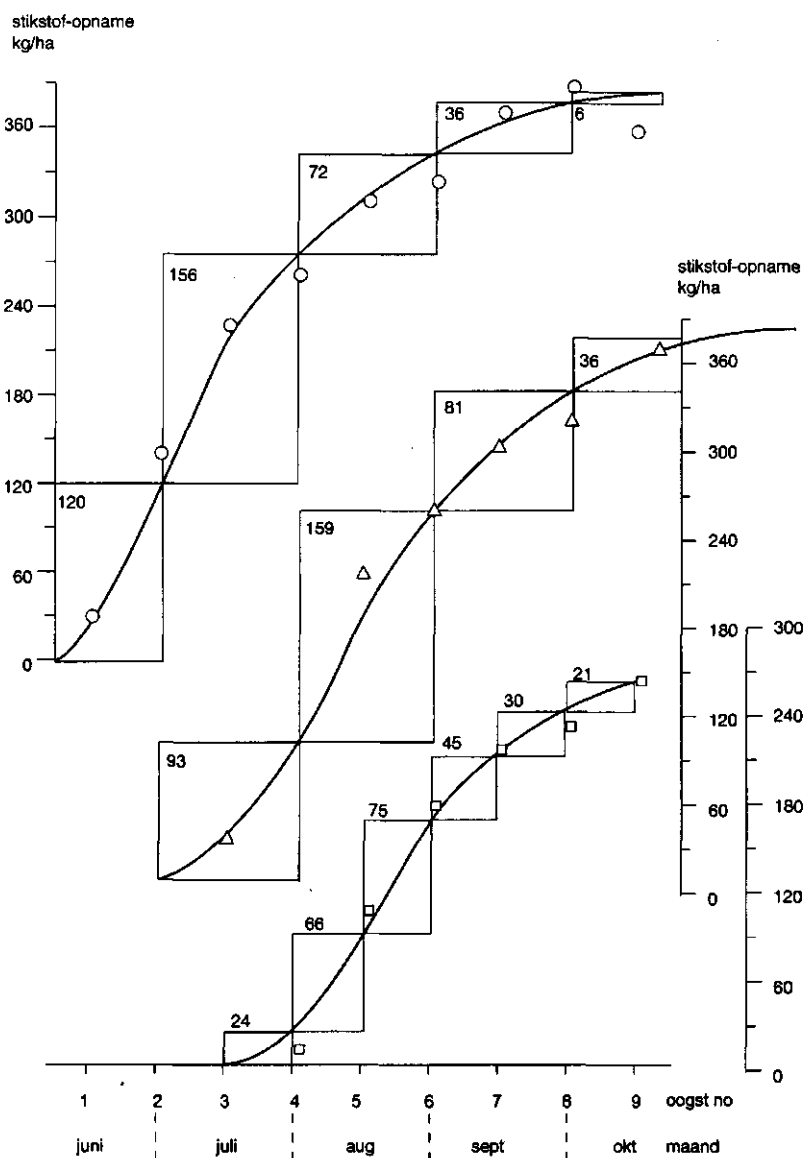
Figuur 9.1. Opbrengst (ton/ha) en stikstofopname (kg N/ha) door een voorjaars- en zomerteelt van ijssla in 1986 en 1987 te Westmaas (Slangen, Rijkers en Titulaer, 1988a).

Volgteelten of gewassen die langer dan twee maanden op het veld stonden bleken weliswaar een goede opbrengst te geven, maar de N-min rest na de oogst was vaak hoog. De conclusie was dat zo spoedig mogelijk andere bemestingsstrategieën ontwikkeld moesten worden om de N-min restwaarde in toom te houden. Een aanzet in de goede richting werd gegeven door de Landwirtschaftliche Lehr- und Versuchsanstalt (LLVA) te Neustadt (D) met de ontwikkeling van een Kulturbegleitendes N-min Sollwert-Systeem (KNS) (Lorenz e.a., 1984). Dit systeem is voor Nederland om-

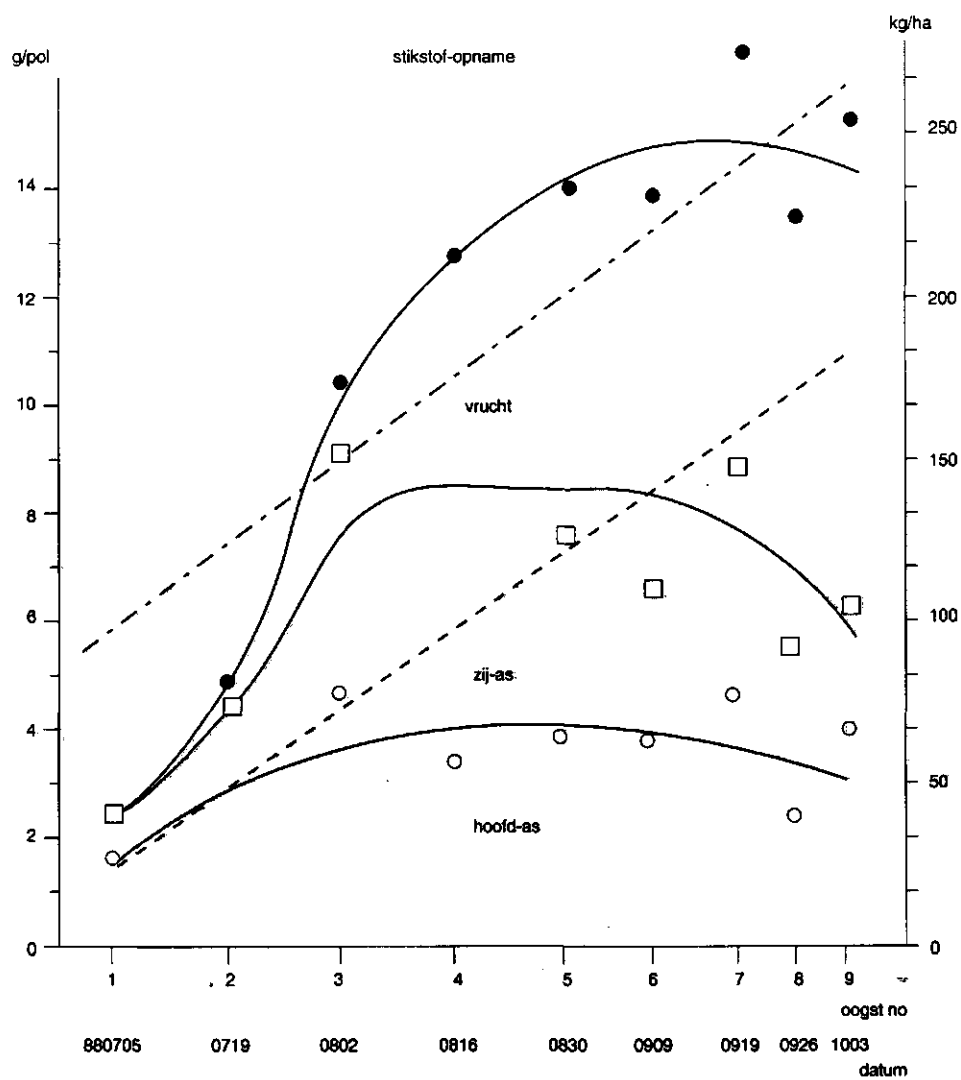
gewerkt tot een stikstofbijmestingsysteem (NBS) (Gröninger en Soorsma, 1990).

Stikstofopname

Voor een juiste toepassing van het NBS is een zo exact mogelijke kennis van de te verwachten N-opname door het gewas in de tijd noodzakelijk. In 1985 is begonnen met het bepalen van de N-opnamecurven bij diverse groentegewassen. Er zijn N-opnamecurven vastgesteld voor onder andere ijssla (Slangen e.a., 1988a), augurken (Slangen e.a., 1988b), witte kool (Slan-



Figuur 9.2. Maandelijks stikstofopname (kg/ha) door een gewas witte kool (cv Bartolo) bij drie planttijdstippen (11/5, 16/6 en 10/7) en een eindopbrengst van respectievelijk 93, 88 en 36 ton/ha. Veldproef 1987. PAGV Lelystad (Slangen e.a., 1990).



Figuur 9.3. Stikstofopname (kg N/ha) door augurken onderscheiden in hoofdstengel, zijstengels en vruchten tijdens een veldproef te Horst Meterik 1988 (Slangen e.a., 1988b).

gen e.a., 1990) knolvenkel (Titulaer, 1991), spruitkool (Booij, e.a., 1993), prei (Booij, 1993). Daarnaast zijn door LLVA Neustadt voor een twintigtal gewassen de N-opnamecurven gemeten of via data uit de literatuur geconstrueerd (Lorenz e.a., 1986). Op grond van het verloop van de N-opnamecurven kunnen de gewassen globaal in drie groepen worden ingedeeld.

Groep I.

N-opnameverloop zoals bij ijssla (figuur 9.1). Na een periode met een lage N-opname begint na drie à vier weken een hoge lineaire en constante N-opname van ± 6 à $7 \text{ kg N per ha per dag}$. Gewassen die zich op een soortgelijke wijze gedragen, zijn onder andere kropsla, andijvie, spinazie, bloemkool en broccoli.

Een algemeen kenmerk van deze gewassen is dat ze in de volle groei geoogst worden.

Groep II.

N-opnameverloop zoals bij witte kool (figuur 9.2). Evenals bij de gewassen uit groep I begint de N-opname de eerste weken op een laag niveau om daarna over te gaan in een hoger lineair verloop met een dagelijks constante N-opname. Na één of meer maanden gaat het lineaire verloop over in een afname van de N-opname per ha per dag. Er treedt in het gewas een zekere mate van afrijping op. Uit de figuur blijkt dat bij later planten van de witte kool de lineaire fase verkort wordt. Dit betekent dat de totale N-opname afneemt en dat daardoor ook een kleiner N-aanbod nodig is. Naast witte kool gedragen ook spruitkool, rode kool, uien, peen, prei, schorse-neer en rode biet zich op dezelfde wijze.

Groep III.

N-opnameverloop zoals bij augurk (figuur 9.3). De gewassen uit deze groep onderscheiden zich van die uit groep I en II door

het feit dat het oogstproduct meermalen geoogst wordt. Eerst wordt het vegetatieve deel van het gewas geproduceerd, waarbij het N-opnameverloop lineair is. Vanaf het eerste oogsttijdstip begint de N-opname van de vegetatieve delen af te nemen om na enige weken constant te blijven. De N-opname van het totale gewas blijft echter lineair toenemen, waarbij de meer-opname gemeten ten opzichte van de vegetatieve delen door de vruchten opgenomen wordt. Naast augurk behoren ook courgette en peulvruchten tot deze groep. Als van asperge de wortelstok als voorraadvat beschouwd wordt, kan ook dit gewas tot deze groep gerekend worden. Alleen de afvoer moet dan gecompenseerd worden.

Voor toepassing in het NBS wordt de opnamecurve in stukjes opgedeeld. Het eerste stuk is de opname tijdens de beginontwikkeling. De duur hiervan is meestal vier tot zes weken en de stikstofopname is gering ($20\text{--}50 \text{ kg N}$). Het tweede stuk betreft de lineaire opnamefase. In deze fase is de N-opname het hoogst en zal het N-aanbod hiermee overeen moeten komen. In het derde stuk, bij de gewassen in groep II, is sprake van een fase van afrijping en neemt de stikstofbehoefte af. Bij groep III is er alleen verzadiging bij dooroogsten tot rijp zaad, niet in het groentestadium.

Stikstofaanbod

Het N-aanbod voor een goed bemest gewas bestaat uit:

1. de hoeveelheid N-mineraal in het bewortelde profiel voor de aanvang van de teelt;
2. plus de toegediende meststof;
3. plus het netto verschil tussen de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof uit organische stof tijdens de groeiperiode van het gewas en de hoeveelheid

stikstof geïmmobiliseerd door microbiologische activiteit (= nettomineralisatie);

4. min verliezen door uitspoeling, denitrificatie en NH_3 -vervluchtiging of NH_3 -fixatie aan kleigronden.

In de meeste gronden wordt het N-aanbod naar het gewas bepaald door hetgeen er gebeurt in de bouwvoor. Hierin bevindt zich de hoogste concentratie aan organische stof en, afhankelijk van gewassoort en bodem, 70 tot 100% van de wortels.

De organische stof is een belangrijke leverancier van minerale stikstof tijdens het groeiseizoen. De snelheid waarmee de totale hoeveelheid minerale stikstof vrijkomt, wordt bepaald door vocht, temperatuur, textuur, structuur en biologische activiteit van de grond. De veelheid van factoren die invloed hebben op de mineralisatie maakt voorspelling ervan erg onzeker.

In hoeverre de stikstof beschikbaar is voor opname door de plant wordt bepaald door beworteling en de vochttoestand van de grond. Deze drie aspecten zullen in het volgende aan de orde komen.

Mineralisatie

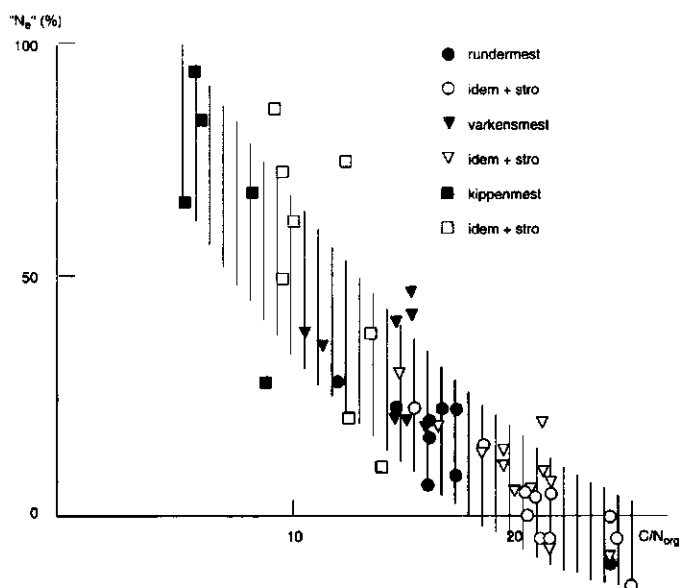
Het mineralisatieniveau van een grond wordt bepaald door de hoeveelheid en hoedanigheid van de in de grond aanwezige organische stof en de toegevoerde organische stof (gewasresten en dierlijke mest). In de vollegroondsgroenteteelt is het niveau van de N-mineralisatie vaak hoog. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt door de gewas- en wortelresten van de directe voorvrucht, maar voor een ander deel ook door de totale gewasrotatie.

Door aanvoer van vaak veel organische mest in het verleden is het organischestofgehalte vaak sterk verhoogd. Dit bestaat voor een groot deel uit 'jonge humus', waaruit veel N kan mineraliseren (Janssen, 1977; Titulaer, 1990; Versteeg, 1987).

Het vrijkomen van stikstof uit organische stof wordt onder andere gestuurd door het C/N-quotiënt. Van Dijk (1981) heeft onderzoek gedaan naar de invloed van toevoeging van diverse organischestof-soorten met variërende C/N-quotiënten op de netto N-mineralisatie van verschillende grondsoorten. Het C/N-quotiënt varieerde tussen de 5 en 27 (figuur 9.4). Het bleek dat bij een C/N-quotiënt vanaf ± 20 geen netto mineralisatie plaats had, maar dat er sprake was van een negatieve netto mineralisatie, of anders gezegd immobilisatie. Na zeven maanden bleek de geïmmobiliseerde stikstof weer vrijgekomen te zijn. De grondsoort speelt ook een rol, op zandgrond komt de stikstof eerder vrij dan op kleigrond.

Toegediende kunstmeststikstof kan ook tijdelijk worden vastgelegd. Zo vonden Ris e.a. (1981) dat afhankelijk van het N-min gehalte in maart (0-60 cm) een deel van de toegediende kunstmeststikstof in juni nog tijdelijk verdwenen was. Deze zogenaamde "apparent losses" van kunstmeststikstof traden op als de N-min voorraad in de laag 0-60 cm lager was dan ± 70 kg per ha. Bij een hoger N-min gehalte in maart bleek in juni een aanrijking van de bodemvoorraad op te treden.

Regelmatig toedienen van organisch materiaal aan de grond kan leiden tot een toename van de N-mineralisatie, door een toename van het humusgehalte. Janssen (1977) berekende de toename van het humusgehalte over 25 jaar voor de Drie Organische Stof Bedrijven in Nagele. Gedurende 25 jaar werd op deze bedrijven een teeltsysteem waarin alleen kunstmest werd toegediend, vergeleken met een systeem met groenbemesting en een systeem met wisselweide plus stalmest, beide in combinatie met kunstmest. Bij de berekening maakte Janssen onderscheid tussen jonge humus en oude humus. Voor de jonge humus berekende Janssen een jaar-



Figuur 9.4. Netto N-mineralisatie "Ne" als percentage van toegevoegde organische N van faeces en faeces gemengd met stro op een lemige zandgrond na het eerste jaar in relatie tot de C/N van het toegediende materiaal (Van Dijk, 1981).

Tabel 9.1. Berekening van de jaarlijkse stikstofmineralisatie op de "Drie Organische Stofbedrijven" na 25 jaar toepassing van drie teeltsystemen met verschillende niveaus van organische stofaanvoer (naar Janssen, 1977).

	teeltsystemen		
	alleen kunstmest	kunstmest + groenbemesting	kunstmest + kunstweide + stalmest
% jonge humus opgebouwd in 25 jaar	0,2	0,4	0,6
gemiddelde afbraak- snelheid (%/j)	14,5	15,0	13,5
C/N-verhouding	12	12	12
volume gewicht (g/cm ³)	1,50	1,45	1,35
N gemineraliseerd (kg/ha/j)			
A. jonge humus (< 25 jaar)	42	84	105
B. oude humus (2%; afbraak- snelheid 0,7%/j)	20	20	20
totaal A + B	62	104	125

lijkse afbraaksnelheid van 13,5-15%. Voor de oude humus, ouder dan 25 jaar, berekende hij een jaarlijkse afbraaksnelheid van 1,83% afnemend tot 0,7% in de laatste zes jaren. Met deze data werd de jaarlijkse stikstofmineralisatie na 25 jaren uitvoering van de verschillende teeltsystemen berekend.

Uit de resultaten (tabel 9.1) blijkt dat na 25 jaren de jaarlijkse N-mineralisatie verdubbeld of meer dan verdubbeld is op de objecten waaraan naast kunstmest ook organische stof is toegevoegd.

Een stijging van de jaarlijkse N-mineralisatie kan ook geconstateerd worden op percelen van intensieve groenteteeltbedrijven waar in het verleden tot 100 ton aan stalmest per ha per jaar is toegediend of op percelen waar regelmatig drijfmest is gebruikt.

Voor dit laatste kan een modelmatige berekening worden gemaakt (tabel 9.2). Uitgangspunt bij deze berekening is een jaarlijkse bemesting met 50 ton runderdrijfmest per ha (Titulaer, 1990). De runderdrijfmest bevat totaal 280 kg N (5,6 kg N-totaal per ton), verdeeld over de fracties N-mineraal (het minerale deel), N-eerste jaar (de N-fractie die het eerste jaar mineraliseert) en N-rest (de fractie waarvan in latere jaren elk jaar 50% van de resterende N mineraliseert).

De grootte-orde van de fracties is 50, 25 en 25% voor respectievelijk N-mineraal, N-eerste jaar en N-rest.

De nalevering van stikstof door mineralisatie uit de runderdrijfmest wordt bepaald door de fracties N-eerste jaar en N-rest, tezamen 140 kg N. In tabel 9.2 is schematisch weergegeven hoe deze 140 kg N vrijkomt. In het jaar van toediening komt volgens de definitie 70 kg N vrij uit de N-eerste jaar. De N-rest wordt elk jaar voor de helft gemineraliseerd, dus een jaar na toediening 35 kg N, vervolgens voor de op-eenvolgende jaren 17 - 8½ - 4,25 etc. Na

vier jaren blijkt jaarlijks reeds ± 70 kg N uit voorafgaande runderdrijfmesttoedieningen extra vrij te komen. Samen met de N uit N-eerste jaar is dat ± 140 kg N. Als de afbraaksnelheid van de N-rest lager is, zal het moment waarop de 70 kg N extra wordt nageleverd een aantal jaren later bereikt worden. Wordt meer runderdrijfmest gebruikt, dan zal de stikstofnalevering naar rato toenemen.

Het probleem met de stikstofnalevering uit de N-eerste jaar en N-rest fracties voor de praktijk is dat het tijdstip waarop de nalevering plaats heeft niet exact bekend is. In het NBS-onderzoek is tot nu toe geen aandacht geschonken aan de te verwachten stikstofmineralisatie in de periode na de bemonstering.

Beworteling

Voor een goede toepassing van het NBS is het belangrijk om de bewortelingsdiepte van de gewassen te kennen. Deze gegevens zijn nodig om te weten welk deel van de in de bodem aanwezige minerale stikstof daadwerkelijk beschikbaar is voor opname. Informatie over de relatie opnamesnelheid/aanvoersnelheid zou voor alle gewassen waar het NBS wordt toegepast, bekend moeten zijn. Door De Willigen (hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N') wordt dit voor spruitkool, prei en spinazie gegeven.

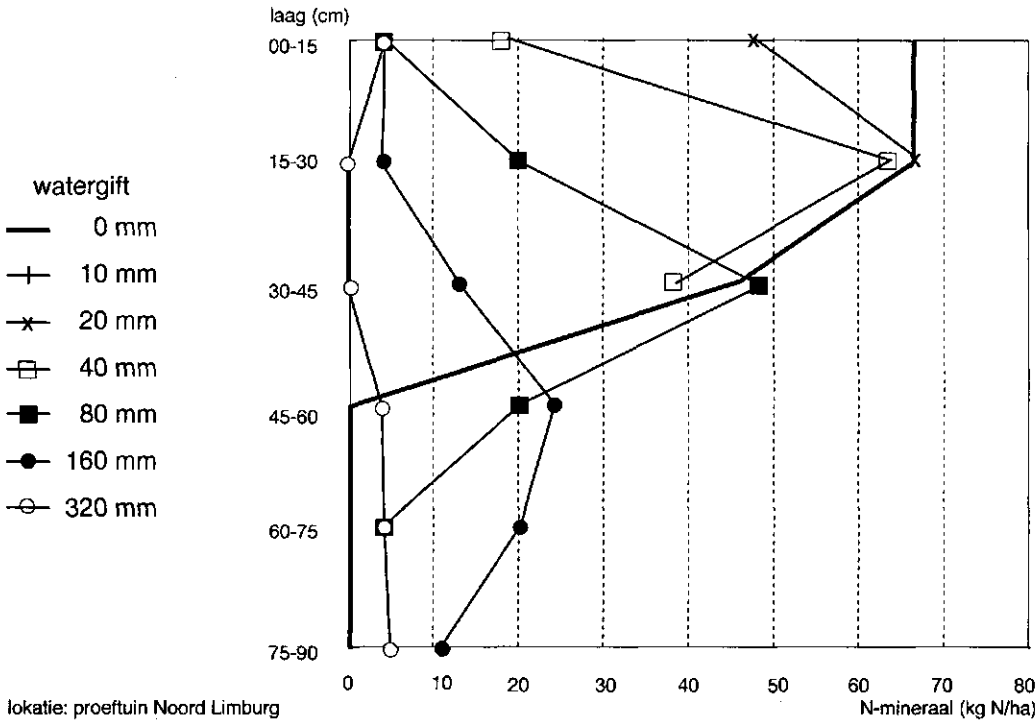
In een rhizotron onderzocht Smit (hoofdstuk 'stikstofbenutting') onder andere de ontwikkeling van de beworteling bij prei en spruitkool. De resultaten van dit onderzoek geven inzicht in de relatie tussen de ontwikkeling van de bovengrondse delen en de wortelontwikkeling. Hieruit blijkt dat spruitkool vrijwel het hele profiel (100 cm) doorwortelt, terwijl de beworteling van prei beperkt blijft tot de bovenste 30 à 40 cm.

Vochthuishouding

Doordat bij het NBS op het scherp van de

Tabel 9.2. Schematische voorstelling van de cumulatieve stikstof mineralisatie (kg N/ha) uit de organische stof bij jaarlijkse toediening van 50 m³ runderdrijfmest (Ntotaal: 240 kg N per 50 m³). (Titulaer, 1990).

aantal	jaren na eerste mestgift									
mestgiften	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	70	35	17	8	4	2	1	1	1	1
2		70	35	17	8	4	2	1	1	1
3			70	35	17	8	4	2	1	1
4				70	35	17	8	4	2	1
5					70	35	17	8	4	2
6						70	35	17	8	4
7							70	35	17	8
8								70	35	17
9									70	35
10										70
	70	105	122	130	134	136	137	138	139	140



Figuur 9.5. Het effect van een beregening met 320 mm water op de stikstofverplaatsing in een dekzandprofiel (0-90 cm) op ROC Noord-Limburg te Horst.

snede bemest wordt, is de aanwezigheid van een beregeningsinstallatie een eerste vereiste. Na meting van de N-voorraad moet de toegediende stikstof vrijwel direct voor de plant beschikbaar zijn. Dit geldt des te sterker naarmate de groeitijd van het gewas korter is en de meetpunten dichter bij elkaar liggen. Bij sommige gewassen zoals spinazie, is het nodig om het vochtgehalte op een hoog peil te handhaven om de N-aanvoer naar de wortels veilig te stellen (De Willigen, hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N'). Het handhaven van een hoog vochtgehalte vergroot echter, vooral op zandgrond, de kans op N-uitspoeling na een regenbui en kan bovendien problemen bij de machinale oogst veroorzaken.

Op een dekzandgrond met een uitgangsvochtgehalte van $\pm 13\%$ in de bouwvoor vond Jeurissen (ROC Noord-Limburg, 1992) dat vrijwel alle stikstof uit de bouwvoor verdwenen was na toediening van 80 mm water (zie figuur 9.5). Tevens blijkt dat voor diepwortelende gewassen met een N-voorraadbemesting tot 100 mm neerslag kan vallen zonder dat de N-voorziening in gevaar komt.

Om de teler in staat te stellen een goede inschatting te maken van de verplaatsing van de stikstof is meer informatie nodig. Gedacht kan worden aan een eenvoudig rekenmodel, waarin de parameters pF-curve, neerslag + berekening en verdamping kunnen worden verwerkt.

Een algemeen geldende voorwaarde bij de berekening is wel dat de waterverdeling goed moet zijn. In dit verband heeft een beregeningsboom met sproeiers de voorkeur boven een regenkanon of sector-sproeiers. De volgens het NBS benodigde stikstof kan in plaats van strooien ook in de regenleiding worden geïnjecteerd.

Praktische uitvoerbaarheid

Buffer

In het NBS is een buffer ingebouwd van 40 of 50 kg N per ha. Er wordt meer N gegeven dan op basis van de opnamecurve feitelijk nodig is. Deze buffer is nodig omdat reeds N-gebrek kan optreden als nog niet alle N in het profiel gebruikt is, de werkelijke N-opname groter kan zijn dan gepland en rekening gehouden moet worden met mineralisatie of meer N-verlies dan in een gemiddelde situatie. Deze buffer wordt gedurende het gehele groeiseizoen gehandhaafd, ook bij gewassen die na medio september geoogst worden. Daarmee wordt volgens advies 40 of 50 kg N toegevoegd aan de N-min rest. De vraag is of deze buffer gehandhaafd moet blijven.

Bij het begin van de teelt is het antwoord zeker ja, want als een gewas de eerste vier weken ± 20 kg N opneemt, moet er per volume bodem meer N in de bodem aanwezig zijn dan 20 kg N, omdat het gewas bij planting of zaai in rijen slechts een deel van het bodemvolume bewortelt en daaruit toch 20 kg N per ha moet opnemen. Of de buffer tijdens en op het eind van de teelt verlaagd of weggelaten kan worden is afhankelijk van het gewas. Gewassen uit groep I zullen tot het eind van de teelt over voldoende N moeten beschikken om aan de kwaliteitseisen te kunnen voldoen. Voor dit soort gewassen is het vooral bij herfstteelten riskant de buffer sterk te verlagen of weg te laten (Embrechts, 1994). Bij deze teelten zou gewerkt kunnen worden met een stikstofvenster, dat wil zeggen de buffer weglaten en op enkele plaatsen op het perceel een bepaalde hoeveelheid N per ha minder geven. Als deze plaatsen gebreksverschijnselen laten zien, kan alsnog bijbemest worden. In plaats van een stikstofvenster kan ook vaker een Nmin.-monster genomen worden om op basis daarvan bij te bemes-

ten.

Bij de andere twee gewasgroepen kan de buffer tegen het einde van de teelt meestal vervallen, omdat de gewassen in deze groepen op het eind van de teelt bezig zijn af te rijpen (groep III) en de N-behoefte dan gering is.

Tijdstip meting N-voorraad

In de NBS-schema's worden meettijdstippen aangegeven in weken of maanden na planten, poten of zaaien. Het eerste meettijdstip, vóór de eerste teelt, kan meestal achterwege blijven tenzij er veel neerslag gevallen is. Afhankelijk van grondsoort en gewas kan er voor het begin van de teelt 30 tot 50 kg N per ha gegeven worden. De opbrengst en N-opnamecurven van ijssla bij verschillende teelten en jaren laten zien dat het tweede meettijdstip variabel zou moeten zijn om synchroon te lopen met de gewasontwikkeling (figuur 9.1). Wanneer het gewas in de fase van de lineaire N-opname komt, moet een meting worden uitgevoerd. Met andere woorden, de meettijdstippen moet men laten afhangen van de gewasontwikkeling in plaats van een systeem waarbij op een vast aantal dagen na zaai of planten gemeten wordt. De gewasontwikkeling zou dan beschreven moeten worden op de manier zoals dat bij granen gebeurt via de Feekesschaal. Everaarts (1994) heeft bij sluitkool een ontwikkelingsmodel gemaakt. In Duitsland is ook reeds een begin gemaakt met de beschrijving van dit soort ontwikkelingsschalen.

Plaats meting N-voorraad

Wanneer rijenbemesting wordt toegepast, moet het bemonsteringspatroon daarop aangepast worden. De stikstof is dan immers heterogeen verdeeld in het profiel. Ook bij een ruimere rijenafstand en een nog jong gewas is sprake van een heterogene verdeling.

Toepassing

Het NBS is in 1989 geïntroduceerd op een aantal demonstratiebedrijven. De voorlichting naar de telers was blijkbaar zo goed aangeslagen, dat naast de 30 demonstratiebedrijven in 1990 de telers reeds 3000 NBS-monsters naar het BLGG te Oosterbeek stuurden voor analyse. De hoogte van de stikstofvoorraad op hun percelen was voor de meeste telers een openbaring. Doordat ze inzicht kregen in de vaak hoge waarden van de voorraden bodemstikstof werden de stikstofgiften drastisch beperkt of achterwege gelaten. Bemonstering leverde voor de telers toen direct financieel voordeel op. Nu de telers meer inzicht hebben gekregen en de bemesting naar beneden is bijgesteld, wordt het uiteraard moeilijker om een voordeel te kunnen blijven behalen.

Gewascriteria voor NBS

Het is pas zinvol om een NBS voor een gewas te ontwikkelen als het verschil tussen het N-min.-advies en de N-opname door het gewas groot is. Als het verschil meer dan 20% bedraagt, zal zeker voor teelten die vanaf september geoogst worden een NBS ontwikkeld moeten worden.

Een goed voorbeeld is het gewas prei. Het N-min.-advies is 270 - N-min. en de N-opname is ± 160 kg N per ha. De hoogte van het N-min.-advies is verklaarbaar door de lange teeltduur in een periode met veel neerslag, en een ondiepe wortelontwikkeling, waardoor de N-verliezen hoog zijn.

Andere redenen om een NBS voor een gewas te ontwikkelen zijn de kwaliteitsaspecten. Bij spinazie is het in verband met het nitraatgehalte belangrijk om het aanbod zo laag mogelijk te houden, terwijl ter voorkoming van geelblad juist een hoger N-aanbod nodig is.

Bij ijssla worden bij een te hoog N-aanbod losse kroppen gevormd en neemt de kans

op smet, rand en bolrot toe. Spruitkool reageert op een te laag N-aanbod met een geelverkleuring van de vleugelblaadjes van de spruiten.

Toepassing bij prei; (als voorbeeld)

NBS vroege herfstteelt prei

In figuur 9.6 is een NBS-schema gegeven voor een vroege herfstteelt prei. Het plant-getal is 150.000 planten per ha (75 x 9 cm) die in de periode eind mei tot half juni worden geplant.

De gemiddelde opbrengst voor deze teeltwijze is 45 ton per ha marktbaar produkt en 24 ton bovengrondse oogstrest, waarbij in totaal 160 kg N wordt opgenomen. In het schema van het opnameverloop wordt deze hoeveelheid vrijwel gelijkelijk verdeeld over de vijf teeltmaanden (figuur 9.6a). Vlak voor het planten wordt een N-min.-monster genomen in de laag 0-30 cm. Deze diepte komt overeen met de gemiddelde bewortelingsdiepte van prei in de praktijk. Uit het opnameverloop blijkt dat prei in de periode tot de tweede Nmin.-bemonstering (zes weken na planten = half juli) per hectare 35 kg N opneemt. Vanwege de rijenafstand van 75 cm moet aangenomen worden dat deze 35 kg N nog niet vanuit het totale bodemvolume tussen de rijen opgenomen wordt. Het stikstofaanbod in het bewortelde deel moet dus hoger zijn dan 35 kg N per ha. Het advies is daarom verhoogd met een buffer van 50 kg N, zodat de streefwaarde op het moment van planten 85-Nmin is (figuur 9.6b). Bij de tweede Nmin.-meting moet een streefwaarde genomen worden om het gewas anderhalve maand van voldoende stikstof te voorzien. De N-opname in deze periode is 55 kg N en de buffer 50 kg, zodat de streefwaarde 105-Nmin. wordt. De laatste twee maanden neemt het gewas 70 kg N op en om te voorkomen dat door een te hoge buffer de N-min.-rest na de oogst te hoog oploopt, is de buffer verlaagd tot 30

kg N. De streefwaarde na de derde meting is daarom vastgesteld op 100-Nmin. Als de bewortelingsdiepte meer is dan 30 cm wordt bij de derde meting de bemonsteringsdiepte 60 cm, waarbij de streefwaarde en buffer gelijk blijven.

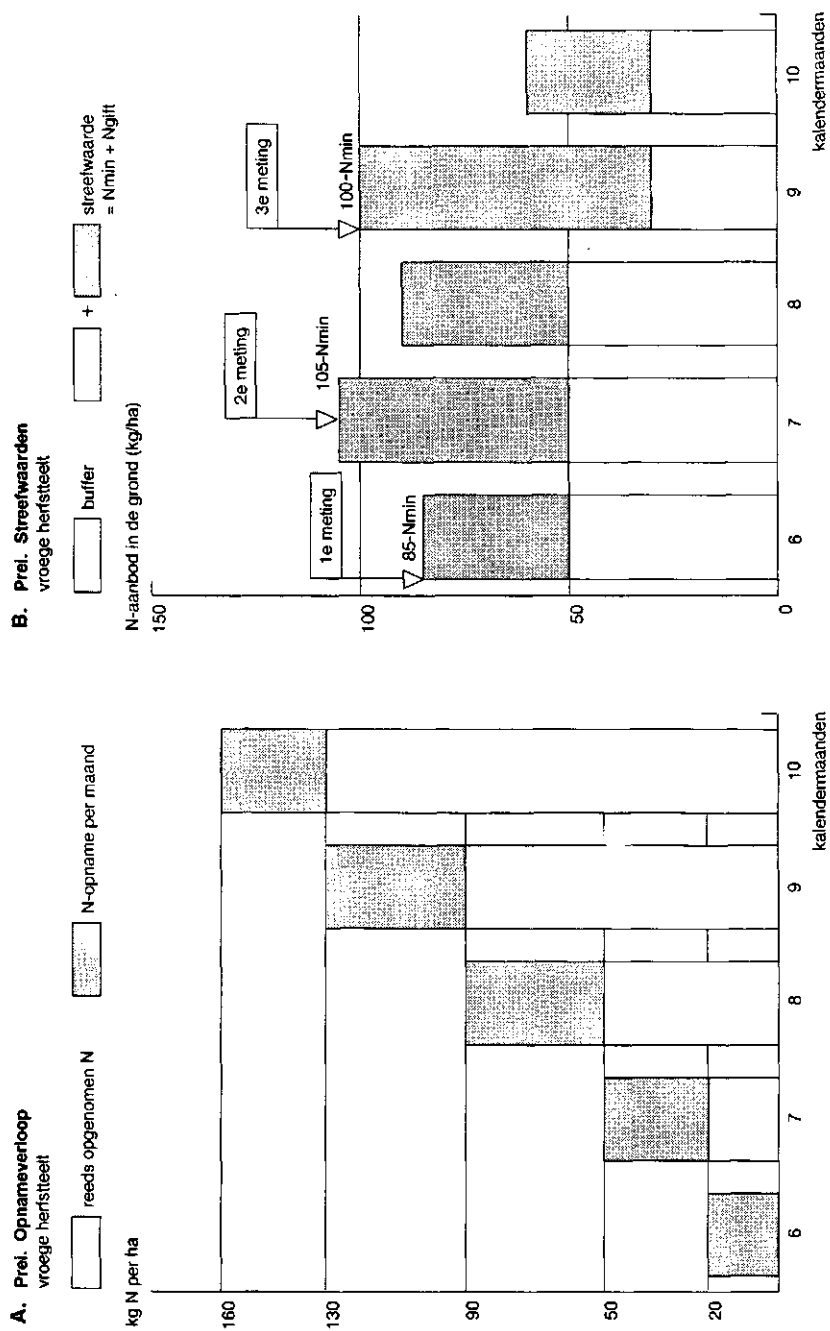
Dit schema is de afgelopen jaren in meerdere variaties op enkele ROC's getest ten opzichte van het Nmin-advies (120 + 75 + 75). De resultaten waren wisselend, maar over het algemeen positief. Vooral op de Veenkoloniale grond (Valthermond) was de invloed van de sterke en niet voorspelbare N-mineralisatie groot. In 1993 werden de resultaten vooral beïnvloed door de grote neerslaghoeveelheden in de herfst (Osinga, 1993, 1994).

Op de proeftuin Noord-Brabant werd in 1993 in drie opeenvolgende teelten kropsla het NBS vergeleken met de Nmin-voor-raadbemesting. Achterwege laten of verlaag van de buffer had geen invloed op de opbrengst of kwaliteit, maar verlaagde wel de Nmin-rest (Embrechts 1994).

Discussiepunten

Het onderzoek aan nutriëntenstromen, waarvan in dit boek verslag wordt gedaan, heeft resultaten opgeleverd welke kunnen worden aangewend voor aanpassing van NBS.

- achterwege laten van N-bemonstering en bemesting bij prei gedurende de eerste zes weken na planting (Booij);
- vaststelling plaats van N-monstername bij prei en spruitkool in de tijd (Smit);
- handhaven van een hoge bodemvochtigheid ($1,5 < pF < 2$) bij spinazie (en eventueel andere gewassen) in de laatste weken van de teelt (De Willigen);
- aanpassen N-opnamecurven prei en spinazie (Booij, Biemond);
- de door Smit berekende N-benuttingscoëfficiënt (NBI) geeft de mogelijkheid



Figuur 9.6. Schematische weergave van het NBS voor een vroeg herfstteelt prei. A prei, opnameverloop, B prei, streefwaarden (Soorsma en Gröninger, 1990).

gewassen te selecteren waarvoor een NBS zinvol ontwikkeld kan worden ($NBI \leq \pm 0,60$);

- één van de punten die in het NBS niet verwerkt is, is de N-nalevering uit oogstresten, organische mest en in de bodem aanwezige organische stof.

Whitmore onderscheidt N-werking van oogstresten op het volggewas in hetzelfde jaar of op het volggewas na overwintering. De orde van grootte van de N in oogstresten is aangegeven door Smit. Het blijkt dat een hoge NBI vaak gepaard gaat met een hoge N-waarde in oogstresten.

Conclusies

Door voorafgaand aan het zaaien of planten het Nmin-gehalte van de grond te meten, kan in de praktijk bij de stikstofgift hiermee rekening gehouden worden. Een verdere verfijning is mogelijk door toepassing van het stikstofbijmeststelsel (NBS). Dit geldt met name voor de blad- en stengelgewassen.

Uit onderzoek dat op een aantal ROC's met onder andere sla en prei is uitgevoerd, blijkt dat toepassing van het NBS geen nadelige invloed heeft op opbrengst en kwaliteit en dat de teelt met een lagere Nmin-rest beëindigd kan worden. De voordelen van het NBS ten opzichte van toepassing van het Nmin-systeem zijn groter naarmate het betreffende perceel stikstofrijker is, de teeltduur van het gewas langer is en er meer tussentijdse metingen worden uitgevoerd.

Het NBS kan nog verder geoptimaliseerd worden als er meer kennis komt over het patroon van de stikstofopname van het gewas gedurende het groeiseizoen, de te verwachten netto mineralisatie en stikstofuitspoeling door regenval. De buffervoorraad die nu gehanteerd wordt, kan dan verlaagd worden. Ook met behulp van stikstofvensters kan een perceelsspecifiek bijmeststelsel ontwikkeld worden. Dit is nu nog in onderzoek. Toepassing van NBS is alleen mogelijk als de periode tussen bemonstering en bijbemesting kort is en als de kunstmestgift door regen of beregening direct beschikbaar gemaakt kan worden.

HOE VERDER MET DE STIKSTOFBEMESTING VAN VOLLE-GRONDSGROENTEN?

dr. ir. J. Vos, Vakgroep Agronomie - Landbouwniversiteit Wageningen

De aanleiding: stikstof en het milieu

Gedurende de afgelopen decennia is de produktiviteit in de land- en tuinbouw zeer sterk gestegen. In de jaren tachtig werd het een steeds groter publiek duidelijk (gemaakt) dat er van de moderne land- en tuinbouw negatieve effecten uitgaan op het milieu. In de jaren negentig kreeg tevens de zorg om instandhouding van natuur- en landschapswaarden toenemende aandacht. De opgave waarvoor we staan is het vinden van een maatschappelijk optimale afstemming van belangen van land- en tuinbouw, natuur en milieu. In dat kader zullen zeker aanpassingen in land- en tuinbouw nodig zijn. Emissies van nutriënten, met name stikstof in de vorm van nitraat, vragen in dit verband aandacht. Verliezen naar het milieu treden op in periodes waarbij water de bewortelbare zone verlaat richting grondwater, danwel via een draineerbuis richting oppervlaktewater. Nitraatrijk grond- en oppervlaktewater draagt bij aan de verstoring van natuurlijke leefgemeenschappen. Daarnaast wordt het meeste drinkwater uit grondwater bereid; hoge nitraatconcentraties zijn ongewenst en zullen in de toekomst (bij ongewijzigde praktijk) hoge zuiveringskosten voor drinkwater opleveren.

De nitraatproblematiek heeft aanleiding gegeven tot regelgeving en milieudoelstellingen. De overheid heeft tot doel gesteld dat in het jaar 2000 op twee meter diepte in het grondwater de drinkwaternorm van 50 mg nitraat per liter niet mag worden overschreden. In een poging om die milieudoelstelling praktisch hanteerbaarder te maken oordeelde een commissie van des-

kundigen (de 'Commissie Stikstof') dat de milieudoelstellingen in het traject 1995-2000 gehaald kunnen worden indien vanaf 1995 in de herfst niet meer dan 70 kg per ha stikstof in de bodem is achtergebleven (laag 0-100 cm). Voor het beleid op lange termijn (vanaf 2000) zou die grenswaarde mogelijk nog verder omlaag moeten tot 45 kg per ha. De commissie denkt daarbij niet aan afzonderlijke percelen, maar aan het gemiddelde over een bedrijf; teelten met veel nitraatverlies kunnen dan gecompenseerd worden door teelten met weinig nitraatverlies. De adviezen van de commissie zijn (nog) niet vertaald in regelgeving die nu van kracht is. Een andere manier om de overheidsdoelstelling te vertalen in hanteerbare normen is de mineralenboekhouding. De verplichting tot het voeren van zo'n boekhouding bestaat (nog) niet. Dit neemt echter niet weg dat een mineralenboekhouding een middel kan zijn waarmee gemotiveerde telers het inzicht in de mineralenhuishouding van hun bedrijf kunnen vergroten. Een wezenlijke vraag is hoe men de stikstofbemesting moet aanpassen opdat aan de milieudoelstellingen voldaan kan worden.

Hoofdwegen voor betere benutting van stikstof en beperking van verliezen

Er zijn drie 'hoofdwegen' te onderscheiden waarlangs nitraatemissies kunnen worden beperkt. De eerste weg is: maximale afstemming van het stikstofaanbod op de

behoefte van het gewas. Benutting en verliezen van stikstof zijn in hoge mate elkaars complement. Wordt toegediende stikstof niet benut dan is de kans op verlies groot en omgekeerd zal betere benutting leiden tot geringere verliezen. Een eerste doel is dan ook te zorgen voor maximale benutting van stikstof door het gewas. Maximale benutting kan slechts plaatsvinden indien het gewas stikstof aangeboden krijgt op het moment c.q. gedurende de periode waarin het gewas stikstof op kan nemen en wel in hoeveelheden die afgestemd zijn op de behoefte van het gewas.

De tweede weg is: effectief gebruik maken van gewasresten. Niet alle stikstof die het gewas heeft opgenomen verlaat met de oogst het veld. Een variabel deel (zie hoofdstukken 'stikstofbenutting' en 'stikstofhuishouding prei en spruitkool') van de stikstof is gebonden in gewasresten. Het is zaak om te zorgen dat de stikstof in die gewasresten niet verloren gaat, maar weer ten goede komt aan volgende gewassen. De teler moet leren gewasresten te zien als een vorm van organische bemesting en zal moeten leren hoe in de praktijk daar het beste mee om te gaan.

De derde weg is: emissiebeperkende maatregelen buiten het teeltseizoen. Bij de oogst van het laatste gewas kan er nog veel stikstof in de bodem achtergebleven zijn. Ook kan in sommige gevallen nog veel stikstof vrijkomen door mineralisatie uit oogstresten of uit organische stof in de grond. In zulke gevallen dienen maatregelen te worden overwogen om uitspoelingsverliezen te beperken. Voorbeelden daarvan zijn afzien van het telen als laatste gewas in een seizoen van gewassen die een hoge voorraad reststikstof in het profiel achter laten, verwijderen en composteren van gewasresten, telen van stikstofvanggewassen en het verhogen van het 'stikstofbindend vermogen' van de grond door inwerken van stro.

Dit hoofdstuk staat stil bij enige aspecten in de drie categorieën van maatregelen.

Optimale stikstofbemesting van een gewas

De huidige stikstofbemestingsrichtlijnen zijn in beginsel gebaseerd op proeven in meerdere jaren, waarbij de opbrengst werd gemeten bij verschillende niveaus van stikstofbemesting. Na de oogst (dus achteraf) werd vastgesteld welke gift optimaal geweest was. Daarbij werd rekening gehouden met de hoeveelheid minerale stikstof in het profiel bij aanvang van de teelt (N_{min.}) en met de kosten van stikstofkunstmest. Voor gewassen waarvoor zulke proeven ontbreken zijn de richtlijnen ontleend aan gewassen waarvoor wel proefondervindelijke gegevens zijn verzameld. Uit meerdere proeven ontstaat dan een gemiddeld beeld van de stikstofbehoefte en van de manier waarop men het beste de minerale stikstof in het profiel in de berekening kan betrekken. Zonder het gebruik van de huidige bemestingsrichtlijnen, gebaseerd op N_{min.}, te willen ontraden, dient gezegd te worden dat er wel een paar bezwaren aan kleven. Een eerste bezwaar is dat de optimumgift alleen in economische termen is gedefinieerd. Mogelijke gevolgen in termen van milieurisico's zijn nooit in beschouwing genomen bij de vaststelling van de richtlijnen. Een tweede punt is dat de richtlijnen algemeen van aard zijn, terwijl de feitelijke stikstofbehoefte wordt bepaald door factoren als opbrengstniveau en stikstofrijkdom (jaarlijkse mineralisatie) van het perceel. Wordt een lagere dan gemiddelde opbrengst gerealiseerd, of teelt men op percelen waar zich een hogere dan gemiddelde mineralisatie voordoet, dan zal men bij toepassing van de richtlijn teveel stikstof toedienen, terwijl men omgekeerd de potentiële (dat is de haalbare) opbrengst niet haalt door stikstoftekort op een goed opbrengende, maar weinig mineraliserende grond.

Indien men op serieuze wijze het stikstof-aanbod aan een gewas wil afstemmen op de behoefte van het gewas, dan zal er gemeten en gewogen moeten worden, niet of niet alleen vóór de aanvang van de teelt, maar juist ook tijdens de teelt. Vooral bij teelten met een lang groeiseizoen kan men geen goede beslissing over de stikstofgift nemen voor aanvang van de teelt. Men moet zichzelf kansen geven om tijdens het groeiseizoen in te spelen op het groeiverloop (opbrengstverwachting) en op de ontwikkeling van de stikstofvoorraad in de grond en het gewas.

Het stikstofbijmeststelsel (NBS), biedt in beginsel die kansen om gedurende het groeiseizoen in te spelen op de ontwikkelingen. In zijn bijdrage aan dit themaboekje licht Titulaer het NBS toe en doet hij suggesties voor de verdere ontwikkeling ervan. Daaraan kan worden toegevoegd dat het werken met universele, overal en altijd geldig veronderstelde stikstofopnamecurven per gewas en per teeltperiode (bijvoorbeeld voorjaars-, zomer-, of herfstteelt) niet optimaal is. Men moet het verwachte N-opnameverloop aanpassen aan het opbrengstniveau dat men gewoonlijk haalt en dit bijstellen naar gelang de wijze waarop het gewas zich ontwikkelt.

Met ieder stikstofbemestingsadvies doet men een poging om in de toekomst te kijken. Men kan daar meer vertrouwen in hebben naarmate de termijn waarover men vooruit poogt te blikken korter is. Daarom geeft een NBS-systeem in beginsel meer kans om de teeltkundige doelstellingen van de stikstofbemesting te realiseren (onder eerbiediging van de milieukundige randvoorwaarden) dan een systeem met een eenmalige gift die voorafgaand aan de teelt wordt gegeven. Het is uiteraard niet doenlijk om de termijn waarover men beslist zeer klein te nemen, bijvoorbeeld in de orde van grootte van dagen. Er is een minimale periode nodig die moet verlopen

alvorens het zin heeft om met metingen opnieuw de stikstoftoestand te bepalen. De minimumtermijn heeft te maken met de responstijd die een gewas vertoont na een bemesting. De periode tussen twee meetpunten in het seizoen moet ook weer niet te lang zijn, omdat een sterkere stikstofopname dan verwacht tot een tijdelijk stikstofgebrek zou kunnen leiden. Het is in dit verband goed op te merken dat het onderzoek in dit programma van Biemond laat zien dat de juiste schatting van de totale stikstofgift belangrijker is dan het juist schatten van de verdeling van het aanbod binnen het seizoen, met dien verstande dat beperkingen in het begin van het seizoen voorkomen moeten worden. Gedurende het groeiseizoen leidt enige variatie in stikstofaanbod niet onmiddellijk tot repercussies in termen van opbrengst en kwaliteit. Er lijkt echter wel een zekere laatste tijdstip van ingrijpen te bestaan gedurende het groeiseizoen. Dit heeft ook te maken met de genoemde responstijd en met het feit dat (te) laat opgenomen stikstof niet meer even effectief omgezet wordt in plantmateriaal als vroeg opgenomen stikstof. Naarmate die laatste termijn van zinvol ingrijpen verder afligt van de oogst, zal de maximale nauwkeurigheid van een bemestingsadvies-systeem afnemen. Voortgaand onderzoek zou hier tot verfijning van het inzicht kunnen leiden.

Uitdrogen van de bovenste grondlagen heeft grote negatieve gevolgen voor het transport van stikstof naar de wortel (zie hoofdstuk 'model voor opname en uitspoeling N'). Er wordt dan ook gezegd dat regen of beregning van belang is voor het slagen van een bijmeststelsel. Voor gevallen waarin men is aangewezen op natuurlijke regenval is het nodig om kansen op droogte na toediening van de bijbemesting te verdisconteren; dit is vooral belangrijk voor de vroege fasen van de groei. Een opmerkelijk gegeven is dat uit het

onderzoeksprogramma naar voren komt dat de stikstofvoorziening weliswaar enorme effecten heeft op opbrengst en kwaliteit, maar dat slechts een paar processen worden beïnvloed zoals de bladgroeisnelheid (hoofdstuk 'effecten bemestingsstrategie op gewasstructuur en nitraatgehalte') terwijl de meeste andere kenmerken, zoals de benutting van opgenomen straling, niet door stikstof worden beïnvloed (zie hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei en spruitkool').

De acceptatiegraad in de praktijk van methoden als NBS zal mede bepaald worden door de arbeidsbehoefte en de kosten van methoden om de stikstoftoestand van bodem en/of gewas vast te stellen en de snelheid waarmee resultaten van analyses beschikbaar komen. Wellicht kan het onderzoek hier nog wat creativiteit in investeren. Vooral bij elkaar opvolgende gewassen in een seizoen loopt bij de NBS-methode, zoals die per gewas wordt voorgesteld, het aantal bemonsteringen op een veld per jaar tamelijk op. Het is zinnig om voor zulke teeltsystemen na te gaan wat de minimumbemonsteringsdichtheid is en in welke mate met behulp van aanvullende gegevens per perceel en per teelt goede beslissingen te nemen zijn. Zulke aanvullende gegevens kunnen ondermeer bestaan uit een beeld van de jaarlijkse mineralisatie op het betreffende perceel, berekeningen (met eenvoudige modellen) over het verloop van de produktie van het gewas, de stikstofopname, de stikstofmineralisatie in en de waterbalans van de bodem. Daarnaast valt te denken aan aanvullende snelle metingen van de stikstoftoestand van het gewas, bijvoorbeeld met de nitraatsneltest of de chlorofylmeter en wellicht stikstofvensters. Wat hier geschetst wordt is een kennisintensieve teelt, die nog geen werkelijkheid is, maar door het onderzoek de komende jaren dichterbij gebracht kan worden.

Bemestende waarde van gewasresten

In dit themaboekje worden in verschillende bijdragen cijfers genoemd over massa en stikstofgehalte van de gewasresten die bij de oogst op het veld achterblijven (zie bijdragen van hoofdstukken 'stikstofbenutting', 'stikstofhuishouding prei/spruitkool' en 'modellering stikstofverliezen'). Whitmore (hoofdstuk 'modellering N-verliezen na oogst') gaat in op mogelijke verliezen van stikstof door mineralisatie van stikstof uit oogstresten gedurende de herfst en winter. Voor de gevallen die Whitmore doorrekende bleek dat tussen de jaren deze verliezen minder door verschillen in het weer worden beïnvloed dan men misschien geneigd zou zijn te denken. Dit komt omdat over een langere periode, zoals een winterhalfjaar, de extremen in het weer die zich op kortere termijn voordoen (dagen en weken) behoorlijk 'weggemiddeld' worden: de kans is groot dat een te natte of te koude periode later in het seizoen wordt gecompenseerd door een te warme of te droge periode. De aard van de gewasresten, met name hun stikstofgehalte, of preciezer gezegd de C/N-verhouding, bepaalt de omvang van de verliezen in sterkere mate dan het weer. Teeltkundige mogelijkheden om het stikstofgehalte van de gewasresten te verlagen om langs die weg verlies in de winter te verminderen, lijken gering omdat lagere gehalten alleen maar bereikt kunnen worden bij een sub-optimale stikstofvoorziening (zie hoofdstuk 'stikstofhuishouding prei/spruitkool'). De exercities zoals die van Whitmore verdienen nog uitbreiding en verdere bevestiging om vertaald te kunnen worden in praktische richtlijnen.

De berekeningen van Whitmore zijn beperkt tot de verliezen in de winterperiode. Soortgelijke berekeningen zijn mogelijk voor de zomerperiode. Daarbij is de vraag hoe snel en in welke mate de stikstof uit resten van een voorgaand gewas ten goe-

de kunnen komen aan een volggewas binnen hetzelfde seizoen. Deze vraag kan met hetzelfde model worden beantwoord. Ook hier zal gelden dat er eerder netto mineralisatie optreedt naarmate de C/N-verhouding lager is. Gegevens uit Duitsland wijzen erop dat men voor een schatting van de hoeveelheid stikstof in gewasresten als vuistregel kan hanteren dat iedere ton verse oogstresten 33 kilo stikstof bevat. Dat vuistgetal heeft betrekking op prei, sla, spinazie en verschillende koolsoorten. In het zomerhalfjaar wordt volgens Duits onderzoek binnen acht weken 70% van die stikstof weer gemineraliseerd. Zulke gegevens moeten worden geverifieerd voor Nederlandse omstandigheden en worden omgewerkt tot praktische richtlijnen. Overigens wordt opgemerkt dat één van de charmes van systemen als het NBS is dat de stikstof die een voorgaand gewas levert tot uitdrukking moet komen in de bodemstikstofvoorraad of in de stikstofstatus van het volggewas.

Emissie-beperkende maatregelen buiten het teeltseizoen (winterhalfjaar)

Voorbeelden daarvan zijn: afzien van het telen als laatste gewas in een seizoen van gewassoorten die een hoge voorraad reststikstof in het profiel achter laten, het verwijderen en composteren van gewasresten, het telen van stikstofvanggewassen en het verhogen van het 'stikstofbindend vermogen' van de grond door inwerken van stro. Een lage hoeveelheid reststikstof in het profiel bij de oogst van het laatste gewas is het primaire doel. Dit doel wordt als regel niet bereikt bij teelten die volop in de groei geoogst worden zoals spinazie en sla. Of en hoe zulke teelten milieukundig verantwoord als laatsten in de rij in een seizoen kunnen worden geteeld, vraagt nadere aandacht. Het verzamelen van de gewasresten en composteren daarvan is een werkwijze die wellicht door de biologische

en ecologische telers vlotter toegepast zal worden dan door de conventionele, technologische telers. Ook hier geldt dat nader uitgewerkt moet worden onder welke omstandigheden en in welke perioden composteren nut zou kunnen hebben. Komen de gewasresten bijvoorbeeld pas na november vrij, dan is de kans op verlies gedurende de winter klein in vergelijking met het oogsten in september.

Bij de afbraak van organische stoffen met een hoge C/N-verhouding komt niet meteen stikstof vrij in minerale vorm, maar wordt juist eerst stikstof uit de omgeving onttrokken (immobilisatie; zie hoofdstuk 'stikstofbenutting'). Later komt die geïmmobiliseerde stikstof weer vrij. De snelheid waarmee die immobilisatie en vervolgens mineralisatie plaatsvinden hangt af van de groeisnelheid van het bodemleven; die groeisnelheid wordt sterk bepaald door de bodemtemperatuur (zie hoofdstuk 'stikstofbenutting'). Bij lage bodemtemperaturen verlopen de omzettingsprocessen traag. Op grond van bovenstaande is het begrijpelijk dat de gedachte ontstond om stikstof in de herfst en winter te binden door toevoeging aan de grond van organische materialen met een hoge C/N-verhouding, bijvoorbeeld stro. Volgens de 'Commissie Stikstof' zou stro indien het wordt ondergeploegd in september 4 kg stikstof binden per ton, een bescheiden werking dus. Duitse gegevens wezen op 10 kg binding per ton stro over een periode van acht weken, maar deze waarnemingen werden verricht in de periode mei en juni. GFT-compost zou net als stro stikstof kunnen immobiliseren, maar of dit zoden aan de dijk zet zou nader uitgerekend moeten worden.

Vooral op sterk mineraliserende gronden en ook bij veel gewasresten met een lage C/N-verhouding kunnen in herfst en winter aanzienlijke stikstofverliezen optreden indien de grond vanaf de nazomer braak ligt. Indien er geen volggewas geteeld wordt

kan men een stikstofvanggewas telen. Analyse van meerdere proeven in Nederland en Duitsland gaf aan dat bij zaai voor of rond half augustus de stikstofvastlegging (gemeten in november/december) meer dan 100 kg per ha bedraagt; per dag later zaaien daalt de vastlegging met ruim 2 kg per ha. Daarom is tot ongeveer eind september het zaaien van een vanggewas zinvol, daarna niet meer. In verband met mineralisatie van de stikstof uit de vanggewassen moet het onderploegen ervan laat in de herfst of liever nog in het vroege voorjaar plaatsvinden. Indien een ton stro slechts leidt tot een immobilisatie van 4 kg N per ha, dan bieden vanggewassen meer perspectief (immers, na september neemt de N-immobilisatie door stro ook af vanwege de lager wordende bodemtemperaturen).

Tot besluit

Wanneer de vollegrondsgroentetelers het streven naar vermindering van stikstofverliezen serieus nemen, is het onontkoombaar om bemestingsbeslissingen te baseren op getalsmatige gegevens over de stikstofhuishouding van bodem en gewas.

Als eerste en belangrijkste maatregel dient het stikstofaanbod van elk gewas afgestemd te zijn op de behoefte van het gewas. Metingen van stikstofstatus van bodem en gewas zijn hierbij onontbeerlijk. Het huidige onderzoeksprogramma heeft het inzicht in de stikstofreacties van vollegrondsgroentegewassen bijzonder vergroot. Het onderzoek dient het echter als een opdracht te zien om adviessystemen verder te ontwikkelen en te verfijnen, zodat er per perceel met een minimum aan arbeid en kosten gegevens verzameld worden waarop bemestingsbeslissingen verantwoord te baseren zijn. Gewasresten dienen beschouwd te worden als organische meststoffen; gedurende het seizoen dient rekening te worden gehouden met mineralisatie van stikstof uit de resten van een voorgaand gewas, terwijl verliezen van stikstof uit gewasresten gedurende de winterperiode zoveel mogelijk voorkomen moeten worden. Specifieke emissie-beperkende maatregelen zoals het verzamelen van gewasresten en het composteren ervan of het zaaien van stikstofvanggewassen kunnen soms aangewezen middelen zijn om emissies te beperken en stikstofbenutting in het teeltsysteem te verhogen.

Literatuur

- Anonymus (1988). Bloemkool en broccoli. p. 27-34 in: Verslag groenteproeven 1988. Proeftuin Zwaagdijk, Zwaagdijk.
- Anonymus (1989). Bloemkool en broccoli. p. 19-28 in: Verslag groenteproeven 1989. Proeftuin Zwaagdijk, Zwaagdijk.
- Belmans C., L.W. Dekker and J. Bouma (1982). Obtaining soil physical data for simulating soil moisture regimes and associated potato growth. *Agric. Water Management* 5: 319-333.
- Böhmer M., H.C. Scharpf und J. Wehrmann (1977). Mineralstickstoffvorrat und -nachlieferung im Boden, Komponenten der Stickstoffversorgung der Pflanzen. *Landwirtsch. Forsch. Sonderh.* 34/II:45-54.
- Booy, R., C.T. Enserink, A.L. Smit, and A. van der Werf (1993). Effects of nitrogen availability on crop growth and nitrogen uptake of Brussels sprouts and leek. *Acta Horticulturae*, 339, 53-65.
- Dietz, Th. und G. Sommer (1979). Veränderungen des Gehaltes an löslichem Bodenstickstoff im Jahresablauf. *Bayer. Landwirtschaft. Jahrb.* 56:351-363.
- Dijk, H. van (1981). Some notes on the importance of mineralisation and immobilisation of nitrogen in making fertilizer recommendations. In: *Colloque Humus et Azote*, 7-10 Juillet, 1981, Reims, 99-105.
- Embrechts, A. (1994). Sla, toevoer stikstof sturen met bemestingsstelsel. *Groenten en Fruit, Vakdeel Vollegrondsgroenten*, 29, p. 6-7.
- Everaarts, A.P. (1993a). General and quantitative aspects of nitrogen fertilizer use in the cultivation of Brassica vegetables. *Acta Horticulturae* 339:149-160.
- Everaarts, A.P. (1993b). Strategies to improve the efficiency of nitrogen fertilizer use in the cultivation of Brassica vegetables. *Acta Horticulturae* 339:161-173.
- Everaarts, A.P. (1994). A decimal code describing the developmental stages of head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Ann. appl Biology*, 125, p. 207-214.
- Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen (1990). Advies van de Commissie Stikstof. Commissie van deskundigen in opdracht van de ministers van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV), Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Verkeer en Waterstaat (V&W). Ede.
- Greenwood D.J., J.J. Neeteson and A. Draycott (1985). Response of potatoes to N fertilizer: Quantitative relations for components of growth. *Plant and Soil* 85:163-183.
- Gröninger, H. en H.E. Soorsma (1991). Stikstofbemestingsstelsel (NBS) voor enige vollegrondsgroentegewassen. *IKC-Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond*, Lelystad.
- Heinen M. and P. de Willigen (1992). FUS-SIM2. A simulation model for two-dimensional flow of water in unsaturated soil. *Nota* 260, Institute for Soil Fertility, Haren. 146 pp.
- Heins B. and M. K. Schenk (1986). In Fun-

damental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants. Ed. H. Lambers, J.J. Neeteson, I. Stulen, pp41-45, Martinus Nijhoff Publ, Dordrecht.

Janssen, B.H. (1977), niet gepubliceerde gegevens.

Jeurissen, J. (1992), niet gepubliceerde gegevens.

Keulen, H. van (1975). Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen.

Kraker J. de (1993). Teelt van prei. PAGV & IKC, Lelystad. 112 pp.

Lorenz, H.P., J. Schlaghecken und G. Engl (1984). Stickstoffversorgung im Freiland-gemüsebau nach dem KNS-System. LLFA, Neustadt, p. 27.

Lorenz, H.P., J. Schlaghecken, G. Engl, M. Blötz, E. Boy, und C. Lang (1986). Gerichtete Stickstoffversorgung im Gemüsebau nach dem "Kulturbegleitendem Nmin Sollwerte (KNS-System)". Neustadter Hefte Nr. 26, LLFA, Neustadt.

Niers H. (1994). N-opname en gewaseigenschappen bij spinazie (*Spinacia oleracea* L.) in de volle grond. Rapport 3, AB-DLO Haren.

Osinga, K.J. (1992). Stikstofbijmeststelsysteem in prei. SIO in Middenoost- en Noordoost-Nederland. Onderzoek 1992. p. 151-154.

Osinga, K.J. (1993). Stikstofbemesting bij herfstprei. SIO in Middenoost- en Noord-oost-Nederland. Onderzoek 1993. p. 181-184.

Peréz Leroux, H.A.J., S.P. Long (1994). Growth analysis of contrasting cultivars of *Zea mays* L. at different rates of nitrogen supply. *Ann. Bot.* 73: 507-513.

Poorter, H., C. Remkes, H. Lambers (1990). Carbon and nitrogen economy of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant Physiol.* 94: 621-627.

Poorter, H., C. Remkes (1990). Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83, 553-559.

Ris, J.K., W. Smilde, and G. Wijnen, (1981). Nitrogen fertilizer recommendation for arable crops as based on soil analysis. *Fertilizer Research* 2: 21-32.

Scharpf, H.C. und R. Schrage (1988). Größenordnung und Einflussfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. VDLUFA-Schriftenreihe 28:81-95.

Scharpf, H.C. und J. Wehrmann (1991). Fachgerechte Stickstoffdüngung. Schätzen, kalkulieren, messen. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e.V., Bonn.

Sieling, E.R.M. (red.) (1992). Stikstofbestedingsrichtlijnen voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond. IKC-AGV, Lelystad. 30 pp.

Slangen, J.H.G., C.A.E. Rijkers, and H.H.H. Titulaer (1988a). Nitrogen fertilizer recommendations with the KNS-system for iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L., var. *capitata*) in field cropping. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil II, 251-254.

Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, G.J.M.

- Schroën, P. Quik, A.P. Everaarts, en C.P. de Moel (1990). (Stikstof)bemesting van witte kool, veldproeven 1982-1987. PAGV-verslag nr. 109, Lelystad, p. 59.
- Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, U. Meijer, H. Pijnenburg, C. Dongen, van, J. Kanters, J. Jeurissen, W. Glas, en W. Ligthart (1988b). Fertigatie, augurk 1988. Veldproeven te Breda en Horst, PAGV, Lelystad, p. 40.
- Smit, A.L. en A. van der Werf (1992). Fysiologie van stikstofopname en -benutting: gewas- en bewortelingskarakteristieken. In: H. van der Meer & J.H.J. Spiertz (red.), *Agrobiologische Thema's 6, Stikstofstromen in agro-systemen*. AB-DLO, Wageningen.
- Titulaer, H.H.H. (1990). Stikstofmineralisatie: Via voorgeschiedenis goed te berekenen. *Groenten en Fruit*, 27, p. 62-65.
- Titulaer, H.H.H. (1991). Knolvenkel: voor goede opbrengst stikstof en kali nodig. *Groenten en Fruit, Vakdeel Vollegrondsgroenten*, 33, p. 12-13.
- Versteeg, E.M. (1987). Stikstofbemesting in de intensieve vollegrondsgroenteteelt. *Ad Fundum* 6:22-35.
- Weier, U. und H.C. Scharpf (1988). Zur Stickstoffdüngung von Blumenkohl. *Gemüse* 2:54-56.
- Welch, N.C., K.B. Tyler and D. Ririe (1987). Split nitrogen applications best for cauliflower. *California Agriculture* 41(11/-12):21-22.
- Werf, A. van der, M. Van Nuenen, A.J. Visser, H. Lambers (1993a). Contribution of physiological and morphological plant traits to a species' competitive ability at high and low nitrogen supply: A hypothesis for inherently fast- and slow-growing monocotyledonous species. *Oecologia* 94: 434-440.
- Werf, A. van der, M. Van Nuenen, A.J. Visser, H. Lambers (1993b). Effects of N-supply on the rates of photosynthesis and shoot and root respiration of inherently fast- and slow-growing monocotyledonous species. *Physiol. Plant.* 89, 563-569.
- Willigen, P. de (1986). Supply of nitrogen to the plant during the growing season. In: Lambers, H., J.J. Neeteson and I. Stulen (eds), *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- Willigen P. de and M. van Noordwijk (1987). Roots, plant production and nutrient use efficiency. Proefschrift L.U.W., Wageningen.
- Willigen P. de (1990). Calculation of uptake of nutrients and water by a root system. *Nota* 210, IB-DLO, Haren.
- Willigen P. de and M. van Noordwijk (1994). Mass flow and diffusion of nutrients to a root with constant or zero-sink uptake. II. Zero-sink uptake. *Soil Sci.* 157: 171-175.
- Wösten J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte (1994). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergrond in Nederland: de Staringreeks. Technisch Document 18, DLO-Staringcentrum, Wageningen.

Nog verkrijgbare PAGV-uitgaven ¹⁾

Verslagen

95. Stikstofbemesting van peen. Dr. ir. J.H.G. Slangen, ir. H.H.H. Titulear, ir. H. Niers en dr. ir. J. van der Boon, januari 1990	f	10,-
96. De teelt van Bintje fritesaardappelen op lössgrond. Ing. P.M.T.M. Geelen, januari 1990	f	10,-
97. Epipré-adviesmodel. Ing. H. Drenth en ing. W. Stol, maart 1990	f	10,-
98. Zuiveringslib in de akkerbouw. Ing. A. de Jong, april 1990	f	10,-
99. Aardpeer een potentieel nieuw gewas - teeltonderzoek 1986-1989. Ing. H. Morrenhof en ir. C. Bus, mei 1990	f	10,-
100. Teeltvervroeging bij suikerbieten. Dr. ir. A.L. Smit, mei 1990	f	10,-
101. Teeltsystemen parthenocarpe augurken. J.T.K. Poll, ing. F.M.L. Kanters, ir. C.F.G. Kramer en ing. J. Jeurissen, mei 1990	f	10,-
102. Stikstofbemesting bij spruitkool. Ing. J.J. Neuvel, mei 1990	f	10,-
103. Minerale olie, insecticiden en bladluisdruk bij de teelt van pootaardappelen in relatie tot de verspreiding van het aardappelvirus Y ^N . Ir. C.B. Bus, mei 1990	f	10,-
104. Het effect van een grondbehandeling met pencycuron (Moncereen) tegen Rhizoctonia op de opbrengst van zetmeelaardappelen. Ing. J.K. Ridder, juni 1990	f	10,-
105. Jaarverslag 1988 proefproject Borgerswold. Ing. J. Boerma, juni 1990	f	10,-
106. Stikstofdeling bij snijmaïs. Ir. J. Schröder, juli 1990	f	10,-
107. Langdurige bewaring van kroten in een geventileerde kuil en in een mechanisch gekoelde cel in seizoenen 1986/1987, 1987/1988 en 1988/1989. Ing. M.H. Zwart-Roodzant, juli 1990	f	10,-
108. Optimale plantgetal van snijmaïs en van korrelmaïs. Ir. J.J. Schröder, juli 1990	f	10,-
109. (Stikstof) bemesting van witte kool. Ir. H.H.H. Titulaer, december 1990	f	10,-
110. Voorvruchteffecten bij inpassing van vollegrondsgroente in een akkerbouwrotatie. Ing. Th. Huiskamp, december 1990	f	10,-
111. Teelt van bakwaardig tarwe in Nederland. Dr. ir. A. Darwinkel, december 1990	f	10,-
112. Schietgevoeligheid van knolselderij. Ing. M.H. Zwart-Roodzant, december 1990	f	10,-
113. Populatie-ontwikkeling van het bietecysteaaltje in de optredende schade bij continu teelt van suikerbieten in combinatie met grondontsmetting. Ir. J.G. Lamers, december 1990	f	10,-
114. Onderzoek naar het effect van systematische nematiciden bij koolgewassen. C. de Moel, december 1990	f	10,-
115. Rhizomanie-onderzoek 1987-1989. Ir. Y. Hofmeester, december 1990	f	10,-
116. Bladrandkeverbestrijding door middel van zaadcoating bij veldbonen. A. Ester, december 1990	f	10,-
118. Graszaadstengelgalmuggen in veldbeemdgras. Ir. G.H. Horeman, december 1990 ..	f	10,-
119. Inventarisatie van ziekten en plagen in veldbeemdgras. Ir. G.H. Horeman, december 1990	f	10,-
120. Biotoets voetziekten in erwten. Ir. P.J. Oyarzun, maart 1991	f	10,-
122. De bepaling van de opbrengst van een perceel snijmaïs bij de oogst. Ing. H.M.G. van der Werf MSc, ir. W. van den Berg en ing. A.J. Muller, april 1991	f	10,-
125. Onderzoek naar groeistofschade bij witlof (Cichorium intybus L. var. foliosum) in de seizoenen 1986/1987 t/m 1988/1989. Ir. G. van Kruistum en ing. C. van der Wel, mei 1991	f	10,-
127. Rendabiliteit van verminderde bodembelasting. Ing. S.R.M. Janssens, juli 1991.	f	10,-

¹⁾ Een volledig overzicht van de PAGV-uitgaven wordt op uw aanvraag graag toegezonden.

128.	Effect van de hoogte en een deling van de stikstofbemesting op de opbrengst en kwaliteit van zomergerst. Ing. R.D. Timmer, J.G.N. Wander en ir. I.D.C. Duijnhouwer, december 1991.	f	10,-
129.	Bepaling van de informatiebehoeften van agrarische ondernemers. Ir. P.W.J. Raven, ing. H. Drenth, ing. S.R.M. Janssens en drs. A.T. Krikke	f	10,-
130.	Landbouwtechnische -,economische, bedrijfskundige - en milieu - aspecten bij het toedienen en direct inwerken van dierlijke organische mest in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Ing. G.J. van Dongen, september 1991	f	10,-
131.	Teeltaspecten van wintergerst voor opbrengst en kwaliteit. Dr. ir. A. Darwinkel, september 1991.	f	10,-
132.	Groei, ontwikkeling en opbrengst van witte kool in relatie tot het tijdstip van planten. Dr.ir. A.P. Everaarts en C.P. de Moel, september 1991	f	10,-
133.	Information modelling for arable farming. Integrale vertaling van verslag 67 (Het globale informatiemodel Open Teelten), oktober 1991	f	10,-
134.	Het verloop van weggroten van moederknollen bij pootaardappelen. Ing. J.K. Ridder en ir. C.B. Bus, december 1991.	f	10,-
135.	Bedrijfseconomische perspectieven van akkerbouwbedrijven op Trichodorus-gevoelige grond. Ing. A. Bos en drs. A.T. Krikke, december 1991	f	10,-
136.	Kwantitatieve aspecten van de verdelingsnauwkeurigheid van meststoffen. Ing. D.T. Baumann, december 1991.	f	10,-
137.	Vergelijking van het bewaren van fijne peen op het veld, onder stro en in de natte koeling. Ing. J.A. Schoneveld, december 1991	f	10,-
138.	Jaarverslag 1989 proefproject Borgerswold. Ing. J. Boerma, januari 1992	f	10,-
139.	De invloed van de intensiteit van het bouwplan op pootaardappelen, suikerbieten en wintertarwe (vruchtwisselingsproefveld) FH82). Ing. H.W.G. Floot, ir. J.G. Lamers en ir. W. van den Berg, januari 1992	f	10,-
140.	De invloed van pootgoedbehandeling op het aantal stengels en knollen bij aardappelen. Ir. C.B. Bus, april 1992	f	10,-
141.	Analyse van het gebruik en de acceptatie van teeltbegeleidingssystemen in de praktijk. Ing. A. Grunefeld en ir. W.A. Dekkers, februari 1992	f	10,-
142.	Bestudering van het groeiverloop van zaaiuien en bouw van een groeimodel. Ir. C.L.M. de Visser, juni 1992	f	25,-
143.	Teeltfrequentie-effecten bij erwten, veldbonen, bruine bonen, snijmaïs, vlas en zaaiuien. Ing. Th. Huiskamp en ir. J.G. Lamers, oktober 1992.	f	10,-
144.	Innovatiebedrijven geïntegreerde akkerbouw/opzet en eerste resultaten. Ir. F.G. Wijnands, ing. S.R.M. Janssens, ing. P. v. Asperen en ing. K.B. v. Bon, okt. 1992	f	10,-
145.	Voorjaarstoediening van dunne dierlijke mest op kleigronden. ing. G.J.M. van Dongen en ing. J. Alblas, oktober 1992	f	10,-
146.	Bedrijfssystemenonderzoek Borgerswold. Invulling gewijzigde voortzetting vanaf 1991. Ing. J. Boerma en ir. Y. Hofmeester, november 1992	f	10,-
147.	Koolvliegbestrijding met behulp van zaadcoating met insecticiden in bloem- en spruitkool. A. Ester, november 1992	f	10,-
148.	Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Ir. J. Schröder, L. ten Holte, ir. W. van Dijk, ing. W.J. de Groot, ing. W.A. de Boer en ir. E.J. Jansen, november 1992	f	10,-
149.	Najaarstoediening van dierlijke mest op kleigronden. Ir. H. Hengsdijk, november 1992	f	10,-
150.	Planning van de optimale sortering bij peen. Ing. J.A. Schoneveld, december 1992	f	10,-
151.	Invloed van varkensdrijfmest op het nitraatgehalte van groenten. Ir. H.H.H. Titulaer, december 1992	f	10,-

152. Informatiemodel "gewasgroei en -ontwikkeling". Ir. P.W.J. Raven, ing. W. Stol, dr.ir. H. van Keulen, ing. R.F.I. van Himste, dr. M.A. van Oijen en ir. H. Marring maart 1993	f	15,-
153. Arbeidsprestatie bij de oogst van ijsbergsla en bloemkool; een verkennende studie. Ing. C.I Dekker en ing. B.J. van der Sluis, februari 1993	f	15,-
154. Gebruik van insectengaas op vollegrondsgroentegewassen. A. Ester e.a., febr. 1993	f	15,-
155. Produktie- en kwaliteitsverloop bij snijmais. Ing. D. van der Schans, ing. H.M.G. van der Werf MSc en ir. W. van den Berg, april 1993	f	15,-
156. Perspectieven van de teelt van brouwergerst buiten het Zuidwestelijk kleigebied. Ing. R.D. Timmer, april 1993	f	15,-
157. The information model for crop protection in arable farming. Ir. A.J. Scheepens, april 1993	f	15,-
158. Biospectron, een systeem van mineraalvoorziening voor wintertarwe Dr. ir. A. Darwinkel en A. Bramsvik, juli 1993	f	15,-
159. Onderzoek naar een systeem voor geleide bestrijding van bladvlekkenziekte in zaaiuien. Ir. C.L.M. de Visser, september 1993	f	25,-
160. Rhizomanie-onderzoek 1990-1993. Ir. L.W. Ebbers, november 1993	f	15,-
161. Bestrijding van het gerstevergelingsvirus in granen. Ing. R.D. Timmer, november 1993	f	15,-
162. Herfstbehandeling van Engels raaigras bestemd voor de eerste en tweede zaadoogst, en van veldbeemd en roodzwem bestemd voor de tweede en latere zaadoogst op kleigronden. Ir. G.E.L. Borm, december 1993	f	20,-
163. De waardplantgeschiktheid van groenbemestingsgewassen voor het Noordelijk wortelknobbelaaltje. Ir. J.G. Lamers en ing. Js. Roosjen, december 1993	f	15,-
164. Zekerheid van de veldopkomst bij peen. Ing. J.A. Schoneveld, december 1993	f	15,-
165. Mens- en milieuvriendelijke treksystemen voor witlof: een verkenning van mogelijkheden. Ing. E.A. van Os, ir. C.F.G. Kramer, ir. G. van Kruistum, ing. F.X.C. Looijesteijn, dr. H.H.E. Oude Vrielink, januari 1994	f	15,-
166. De invloed van het weer op de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen. Ing. E. Bouma en prof. dr. ir. L. Wartena, januari 1994	f	15,-
167. Onderzoek naar de mogelijkheden van stikstofrijtoediening bij suikerbieten. M.A. van der Beek en P. Witing, maart 1994	f	15,-
168. Onderzoek naar vermindering van de stikstofbemesting door toepassing van <i>Rhizobium phaseoli</i> bij stamslaboon <i>Phaseolus vulgaris</i> L. Ing. J.J. Neuvel, ing. H.W.G. Floot, ing. S. Postma en ir. M.A.A. Evers, maart 1994 ...	f	15,-
169. Optimalisatie van de teelt en afzet van kwaliteitsrogge voor de maalindustrie. Ing. S. Postma, april 1994	f	15,-
170. Zaadkwaliteit en veldopkomst van witlof. Ir. G. van Kruistum, ing. J.J. Neuvel en ir. W. van den Berg, mei 1994	f	15,-
171. Chemische bestrijding van valse meeldauw (<i>Bremia lactucae</i>) in sla. Ing. R. Meier, mei 1994	f	15,-
172. Breken van storende lagen in zavelgronden in de Noordoostpolder, A.H.J. Rops, ing. C.A.M. Schouten, G.A. van Soesbergen en ing. J. Alblas, juli 1994	f	15,-
173. Opbrengst, rendement en kwaliteit van wintertarwe bij extensiever telen dr.ir. A. Darwinkel	f	15,-
174. Bedrijfseconomische perspectieven van akkerbouwbedrijven in het Noordelijk kleigebied. Drs. A.T. Krikke en ing. A. Bos, augustus 1994	f	35,-
175. Inhoudelijke beschrijving van de teeltbegeleidingssystemen BETA, CERA en KOBAS. Ir. W.A. Dekkers en ing. A. Grunefeld, augustus 1994	f	20,-
176. Bedrijfs-Systemen Onderzoek Vredepeel - Invulling gewijzigde voortzetting vanaf 1993.		

Ing. B.M.A. Kroonen-Backbier, ir. Y. Hofmeester en ir. F. Wijnands, september 1994 . . .	f	15,-
177. Vezelhennep als papiergrondstof; teeltonderzoek 1990-1993. Dr.ir. H.M.G. van der Werf en ing. W.C.A. van Geel, september 1994	f	15,-
178. Onderzoek naar effectieve chemische bestrijding van bladvlekkenziekte en koprot en naar voorspelling van koprot in uien. Ir. C.L.M. de Visser, ing. L. Hoekstra en D. Hoek, augustus 1994	f	15,-
179. Herfstbehandeling van roodzwem- en veldbeemdgewassen op zandgrond. Ir. G.E.L. Borm, oktober 1994	f	15,-
180. Onkruidbestrijding in de teelt van zaaiuien met herhaalde toepassing van combinaties van herbiciden na opkomst. Ing. L. Hoekstra, oktober 1994	f	15,-
181. Modificatie rassenkeuzetoets AM, PAGV en Hilbrands-laboratorium 1993. Ing. T.G. van Beers, drs. H. Regeer en ir. L.P.G. Molendijk, oktober 1994	f	15,-
182. Inventarisatie van onderzoeksvragen over de fosfaatvoorziening. Ing. J. Alblas, ir. W. van Dijk en ing. C.A.Ph. van Wijk, november 1994	f	15,-
183. Effecten van plantdatum en plantdichtheid op groei, ontwikkeling, opbrengst en sortering van spruitkool (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i>). Dr.ir. A.P. Everaarts en C.P. de Moel, november 1994	f	15,-

Publikaties

50. Geïntegreerde akkerbouw naar de praktijk, maart 1990. Dr. P. Vereijken en ir. F.G. Wijnands	f	15,-
59. Bedrijfshygiëne in de praktijk. Ir. Y. Hofmeester	f	15,-
62. Verspreiding van onkruiden en planteziekten met dierlijke mest - een risico-analyse Ir. A.G. Elema en dr. ir. Scheepens, augustus 1992	f	15,-
67. 28 jaar De Schreef, april 1993	f	40,-
68. Planning van de vervangingsinvestering van een machine of werktuig. Ir. H.B. Schoorlemmer en drs. A.T. Krikke, augustus 1993	f	20,-
69. Kwantitatieve informatie 1993-1994, september 1993	f	30,-
70a. Jaarboek 1992/1993 akkerbouw, oktober 1993	f	30,-
70b. Jaarboek 1992/1993 vollegrondsgroenteteelt, oktober 1993	f	20,-
71. Werkplan 1994, februari 1994	f	15,-
72. Jaarverslag, mei 1994	f	20,-
73b. Jaarboek 1993/1994 vollegrondsgroenteteelt, november 1994	f	20,-
73a. Jaarboek 1993/1994 akkerbouw, november 1994	f	30,-

Themaboekjes

10. Benutting dierlijke mest in de akkerbouw, maart 1990	f	15,-
11. Bewaring van vollegrondsgroenten, december 1990	f	15,-
12. Bodemgebonden plagen en ziekten van aardappelen, november 1991.	f	15,-
13. Gewasbescherming vollegrondsgroenten, november 1992	f	15,-
14. Bedrijfssystemen voor een Akkerbouw met toekomst, december 1992	f	25,-
15. Duurzame onkruidbestrijding, november 1993	f	25,-
16. Themadag aardappelen	f	25,-
17. Themadag onderzoek agrificatie en 'nieuwe' gewassen	f	35,-
18. Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt	f	15,-

Teelthandleidingen

12. Witlof, augustus 1989	f	20,-
13. Voederbieten, april 1983	f	10,-
15. Bestrijding van onkruiden in suikerbieten (incl. de gids 'Akker-onkruiden en hun		

kiemplanten f 15,-*), maart 1985	f 12,50
17. Sluitkool, mei 1985	f 10,-
19. Sla, oktober 1985	f 10,-
21. Suikerbieten, december 1986	f 15,-
22. Andijvie, augustus 1987	f 10,-
23. Wintertarwe, september 1987	f 15,-
24. Kroten, juli 1988	f 15,-
25. Luzerne, september 1988	f 15,-
26. Graszaad, oktober 1988	f 15,-
27. Stamslabonen, november 1988	f 15,-
28. Teelt van droge erwten, maart 1989	f 15,-
29. Teelt van augurken, november 1990	f 15,-
30. Teelt van knolselderij, november 1990	f 15,-
31. Teelt van spruitkool, november 1990	f 15,-
32. Teelt van rabarber, februari 1991	f 15,-
33. Teelt van tuinbonen, maart 1991	f 15,-
34. Teelt van vlas, april 1991	f 15,-
35. Teelt van triticale, april 1991	f 10,-
36. Teelt van peen, juni 1991	f 20,-
37. Teelt van schorseneren, oktober 1991	f 15,-
38. Teelt van spinazie, november 1991	f 15,-
39. Teelt van plantuien, november 1991	f 15,-
40. Teelt van radicchio, november 1991	f 10,-
41. Teelt van winterrogge, december 1991	f 10,-
42. Teelt van witte asperge, december 1991	f 15,-
43. Teelt van boerenkool, maart 1992	f 15,-
44. Teelt van rammenas, april 1992	f 15,-
45. Teelt van zomergerst, juni 1992	f 20,-
46. Teelt van peterselie en bladselderij, oktober 1992	f 10,-
47. Teelt van groene asperges, november 1992	f 15,-
48. Teelt van doperwten, december 1992	f 15,-
49. Teelt van thijm, februari 1993	f 10,-
50. Teelt van Digitalis lanata, februari 1993	f 10,-
51. Teelt van bloemkool, april 1993	f 35,-
52. Teelt van zaaiuien, juni 1993	f 30,-
53. Teelt van suikermals, juli 1993	f 25,-
54. Teelt van broccoli, juli 1993	f 30,-
55. Teelt van knolvenkel, augustus 1993	f 25,-
56. Teelt van prei, oktober 1993	f 30,-
57. Teelt van consumptie-aardappelen, november 1993	f 30,-
58. Teelt van mais, december 1993	f 25,-
59. Teelt van dille, januari 1994	f 15,-
60. Teelt van karwij, januari 1994	f 15,-
61. Teelt van haver, februari 1994	f 20,-
62. Teelt van bleekselderij, maart 1994	f 25,-
63. Teelt van sla, augustus 1994	f 40,-
64. Teelt van suikerbieten, september 1994	f 30,-

Korte teeltbeschrijvingen

1. Teunisbloemen, maart 1986	f 5,-
8. Chinese kool, november 1989	f 10,-

Niet opgenomen in de reeks

- Bouwboek (inhoud + ringband; voor het bijhouden van uiteenlopende bedrijfs-administratie), januari 1988 f 35,-
- Phoma bij aardappelen. Ing. A. Schepers en ir. C.D. van Loon, maart 1988 f 5,-