PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING

Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling

op gewasniveau voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt

P.L.A. van Enckevort, J.R. van der Schoot en W. van den Berg

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector AGV
augustus 2002

PPO 1125234

© 2002 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Deze studie wordt gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector AGV

Adres	:	Edelhertweg 1, Lelystad
	:	Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel.	:	0320 - 29 11 11
Fax	:	0320 - 23 04 79
E-mail	:	info@ppo.dlo.nl
Internet	:	www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING 5

1. INLEIDING 7

2. N-AANVOER, N-BALANS EN NITRAATUITSPOELING 9

3. SCHATTING VAN MINERALE BODEMSTIKSTOF BIJ DE OOGST 11
3.1 Verzameling van gegevens 11
3.2 Werkwijze 13
3.3 Resultaten 14
3.3.1 Algemene beschouwing 14
3.3.2 Aardappelen 15
3.3.3 Suikerbieten 17
3.3.4 Maïs 17
3.3.5 Granen 17
3.3.6 Graszaad 17
3.3.7 Akkerbouwmatig geteelde groenten 18
3.3.8 Bladgroenten 18
3.3.9 Koolgewassen 19
3.3.10 Andere groente- en akkerbouwgewassen 19
3.3.11 Groepering van gewassen 20
3.3.12 Effect gebruik dierlijke mest en groenbemesters 20
3.3.13 Effect zomerneerslag 20
3.3.14 Relatie met N-balans 22

4. SCHATTING VAN MINERALE BODEMSTIKSTOF OP 1 DECEMBER 25
4.1 Berekeningswijze 25
4.1.1 Keuze N-balans 25
4.1.2 Organische mest 25
4.1.3 N-opname door groenbemesters 26
4.1.4 Vastlegging door stro 26
4.1.5 Mineralisatie van gewasresten/groenbemesters 27
4.1.6 Mineralisatie van oude organische stof 27
4.1.7 Depositie 27
4.1.8 Andere factoren 27
4.2 Resultaten 29
4.2.1 Bij bemesting met uitsluitend kunstmest volgens advies 29
4.2.2 Effect van dierlijke mestgiften 32
4.2.3 Effect van de voorvrucht 33
4.2.4 Effecten van afwijkende omstandigheden 33
4.2.5 Groepering van gewassen 36
4.2.6 Toetsing aan stikstofnormen 37
4.2.7 Perspectieven van aanvullende teeltmaatregelen 39

5. CONCLUSIES 43

6. LITERATUUR 47

BIJLAGE I. ANALYSERESULTATEN PER GEWAS-BODEMTYPE-TEELTCOMBINATIE 51

BIJLAGE II. TEELTPERIODES VOOR GROENTEN MET EEN KORTE GROEICYCLUS 55

BIJLAGE III. BALANSBEREKENINGEN VOOR MINERALE BODEM-N BIJ OOGST 57

BIJLAGE IV. OVERZICHT BEREKENINGEN MINERALE BODEMSTIKSTOF OP 1 DECEMBER 59

Samenvatting

In opdracht van LNV is voorliggende bureaustudie uitgevoerd naar de relatie tussen N-overschot en nitraatuitspoeling. Aanleiding is de onduidelijkheid over de relatie tussen het Minas-overschot en het nitraatgehalte van het grondwater onder akkerbouw- en vollegrondsgroenteteeltbedrijven en over de mogelijkheden van teeltmaatregelen om nitraatuitspoeling te reduceren. Deze studie is deels ook uitgevoerd in het kader van het project Sturen op Nitraat waar een indicator wordt ontwikkeld als mogelijke aanvulling op Minas.

Doel van de studie is om de relatie tussen de N-aanvoer en het risico van nitraatuitspoeling voor de belangrijkste gewassen zo goed als mogelijk te kwantificeren. Met nadruk wordt gesproken over "risico" van nitraatuitspoeling omdat een aantal factoren die de nitraatuitspoeling sterk bepalen, zoals neerslag-overschot in het winterhalfjaar, textuur bodem en ontwatering, niet goed zijn te voorspellen dan wel te beïnvloeden door een ondernemer. Als indicators voor het risico van nitraatuitspoeling zijn de hoeveelheden residuele minerale bodem-N bij de oogst en op 1 december gekozen.

Met gegevens van een groot aantal veldproeven van de afgelopen 25 jaar is voor een 30-tal gewassen de relatie onderzocht tussen de residuele minerale bodem-N bij de oogst en de werkzame N-gift. Waar mogelijk is ook gekeken naar effecten van grondsoort, teelttijdstip en hoeveelheid zomerneerslag. Voor 16 aanvullende gewassen, waarvan onvoldoende gegevens zijn aangetroffen, is met behulp van een gekalibreerde minerale N-balans de hoeveelheid residuele stikstof bij de oogst geschat. Gewassen die bij bemesting volgens advies de minste minerale stikstof bij de oogst achterlaten (<30 kg N/ha) zijn o.a. suikerbieten, de meeste granen, was- en winterpeen en witlof. Gewassen die het meest achterlaten (>90 kg N/ha) zijn bladgroenten die in volle groei worden geoogst, zoals prei, krop- en ijssla en spinazie. De relatie tussen de N-behoefte en de hoeveelheid stikstof die gewassen bij de oogst achterlaten is zwak. Dit omdat gewassen onderling sterk verschillen in hun ontwikkeling, teeltwijze, N-hoeveelheid die door het oogstproduct wordt afgevoerd en in gewasresten tijdelijk wordt vastgelegd.

Met rekenregels voor de belangrijkste aan- en afvoerposten van minerale bodem-N tussen de oogst en 1 december zijn voor bovengenoemde gewassen berekeningen gemaakt van de residuele minerale bodem-N op 1 december. Deze datum is gekozen omdat dan onder gemiddelde omstandigheden de meeste uitspoeling nog moet plaatsvinden, terwijl de bodemtemperatuur zover is gedaald dat N-mineralisatie nog maar traag verloopt. Deze berekeningen laten grote verschillen zien tussen gewassen en teelten. Er is geen relatie gevonden tussen het Minas-overschot (op perceelsniveau) en de hoeveelheid minerale stikstof op 1 december. Dit is wel het geval, maar nog steeds zwak, als rekening wordt gehouden met gewasspecifieke afvoer. Het effect van de meeste teeltmaatregelen (met uitzondering van najaarstoediening dierlijke mest en /of groenbemesters) en teeltomstandigheden (jaarlijkse temperatuurverschillen, misoogsten, ed.) op de residuele stikstof op 1 december zijn ondergeschikt aan die van het type gewas en de teeltperiode bij groenten.

De studie laat zien welke gewassen en groenteteelten de grootste bijdrage leveren aan het risico van nitraatuitspoeling. Daarnaast zijn de effecten van enkele teeltomstandigheden zoals variatie in neerslag, temperatuur, N-depositie en N-mineralisatie gekwantificeerd en de bijdrage van teeltmaatregelen zoals de inzet van groenbemesters, gebruik en toedieningstijdstip van dierlijke mest, toepassing van geleide bemestingstechnieken, variatie in bemestingsniveau en keuze van andere rassen. Deze kennis is niet alleen belangrijk voor het mineralenbeleid maar ook voor de ontwikkeling van planningsinstrumenten ten behoeve van teelt- en bemestingsstrategieën die leiden tot verminderde N-uitspoelingsverliezen.

1. Inleiding

Met behulp van Minas beoogt de Nederlandse overheid te voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn. Er is echter nog veel onduidelijkheid over de relatie tussen het Minas N-overschot en het nitraatgehalte van het grondwater onder landbouwbedrijven. Doordat er wordt gerekend met een gewasonafhankelijke forfaitaire N-afvoer en de N-balans onvolledig is (depositie wordt bijvoorbeeld niet meegerekend) is het nog de vraag of het Minas N-overschot het risico van nitraatuitspoeling voldoende goed inschat. Dit kan consequenties hebben voor de effectiviteit van het huidige mestbeleid en het draagvlak van ondernemers voor een gereduceerde N-inzet. Naar aanleiding hiervan is voorliggende bureaustudie uitgevoerd.

Doel van deze door het LNV gefinancierde studie is om de relatie tussen de N-overschot en het risico van nitraatuitspoeling beter te kwantificeren. Dit heeft betrekking op de belangrijkste akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Aangezien nitraatuitspoeling naast teeltmaatregelen zoals bemesting ook bepaald wordt door factoren die niet of nauwelijks door de ondernemer kunnen worden beïnvloed (zoals bodemeigenschappen en ontwatering) of voorspeld (neerslagoverschot in het winterhalfjaar), richt deze studie zich tot de resterende minerale bodem-N die wordt aangetroffen tijdens de oogst en op 1 december. Beide parameters zijn naar verwachting goede indicators voor het risico van nitraatuitspoeling en beïnvloedbaar door teeltmaatregelen.

Voorliggende studie is deels uitgevoerd in het kader van het project Sturen op Nitraat (ten Berge, 2002), waar een indicator voor nitraatuitspoeling wordt ontwikkeld voor uitspoelingsgevoelige zand- en lössgronden als mogelijke aanvulling op Minas.

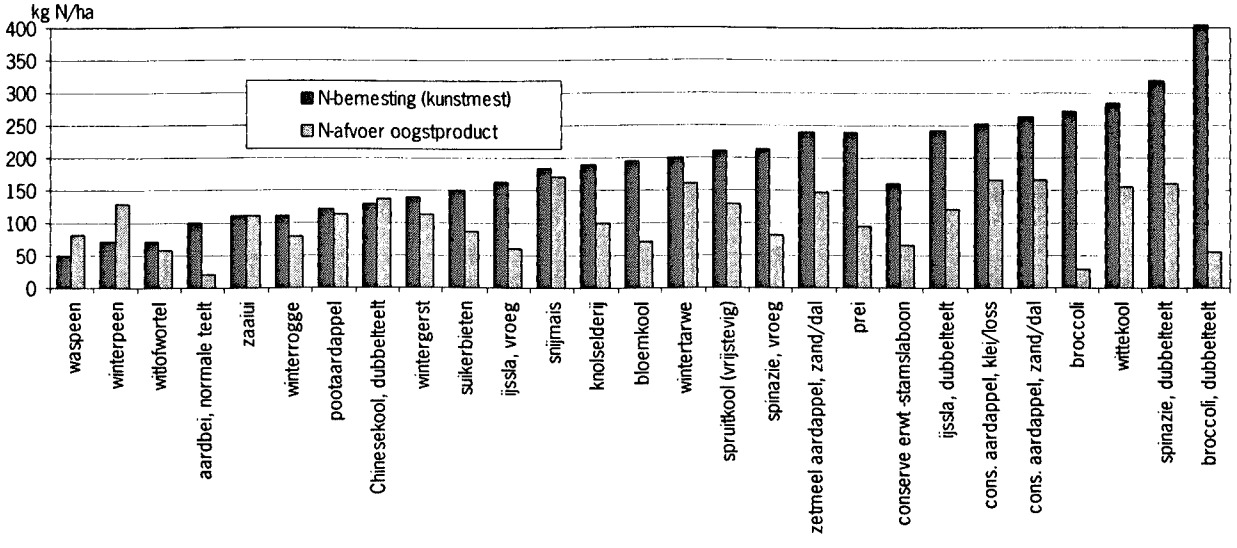
Het resultaat van deze studie, dat zich beperkt tot gewasniveau, is belangrijke input voor andere LNV-gefinancierde projecten zoals N-management op bedrijfsniveau en Ontwikkelen van maatregelenpakketten (om te voldoen aan Minas en het verlagen van nitraatuitspoeling). In deze projecten worden berekeningen gemaakt op bedrijfsniveau en komen ook economische aspecten aan de orde.

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een beknopt beeld van de N-balansen die kunnen worden opgesteld om het risico van nitraatuitspoeling in te schatten en de daaruit voortvloeiende implicaties voor de teelt. In hoofdstuk 3 is voor een 30-tal gewassen en teelten op basis van een grote hoeveelheid veldgegevens de relatie onderzocht tussen de residuele minerale bodem-N bij de oogst en de N-gift. Schattingen zijn gemaakt van de residuele minerale bodem-N bij adviesbemesting en de spreiding die hierbij kan optreden. Ook is een relatie gelegd met de N-balans. Hiermee zijn schattingen zijn gemaakt voor 16 aanvullende gewassen. Waar mogelijk is onderscheid gemaakt naar grondsoort en teeltperiode. Bij aardappelen en maïs is aanvullend gekeken naar het effect van zomerneerslag. Hoofdstuk 4 geeft schattingen van de minerale bodem-N op 1 december. Hiervoor zijn berekeningen gemaakt van de aan- en afvoerposten die tussen de oogst en 1 december optreden onder gemiddelde omstandigheden. Ook is gekeken naar de effecten van teeltmaatregelen en afwijkende omstandigheden. De gewassen zijn gegroepeerd naar het risico van nitraatuitspoeling en de geschatte minerale bodem-N zijn getoetst aan gestelde verliesnormen. Daarnaast zijn de relaties bekeken tussen de geschatte minerale bodem-N op 1 december met die bij de oogst, de Nminas-overschotten (op gewasniveau) en de werkelijke N-overschotten. De belangrijkste conclusies van deze studie staan in het laatste hoofdstuk.

2. N-aanvoer, N-balans en nitraatuitspoeling

Figuur 2.1 laat zien dat de N-adviesgiften (bij gelijke omstandigheden) tussen gewassen sterk verschillen, leidend tot een grote variatie in hun bijdrage aan het Minas-overschot. De teelt van N-behoeftige gewassen zoals wintertarwe, consumptieaardappelen, diverse sluitkolen en bladgroenten zal tot een veel hoger Minas N-overschot leiden dan van bijvoorbeeld was- en winterpeen, asperges en witlofwortel. N-behoeftige gewassen hoeven echter niet een hoger risico voor nitraatuitspoeling te vormen.

In figuur 2.1 is ook zichtbaar dat gewassen onderling sterk verschillen in N-afvoer via het geoogste product. De N-afvoer varieert van circa 20 kg N/ha bij aardbei tot rond de 165 kg N/ha bij aardappelen, dubbelteelten van spinazie en wintertarwe (van der Schoot en van Dijk, 2001). Als gevolg hiervan is het werkelijk N-overschot (dat rekening houdt met gewasspecifieke N-afvoer en N-depositie) voor de meeste gewassen veel hoger dan het Minas-overschot (waar gerekend wordt met een vaste N-afvoer van 165 kg N/ha). Figuur 2.2 laat zien dat dit verschil voor de in figuur 2.1 beschouwde gewassen gemiddeld circa 95 kg N/ha bedraagt.



Figuur 2.1. N-gift (kunstmest) en N-afvoer via het geoogste product voor de belangrijkste akkerbouw- en vollgrondsgroentegewassen onder gemiddelde omstandigheden en bij bemesting volgens advies.

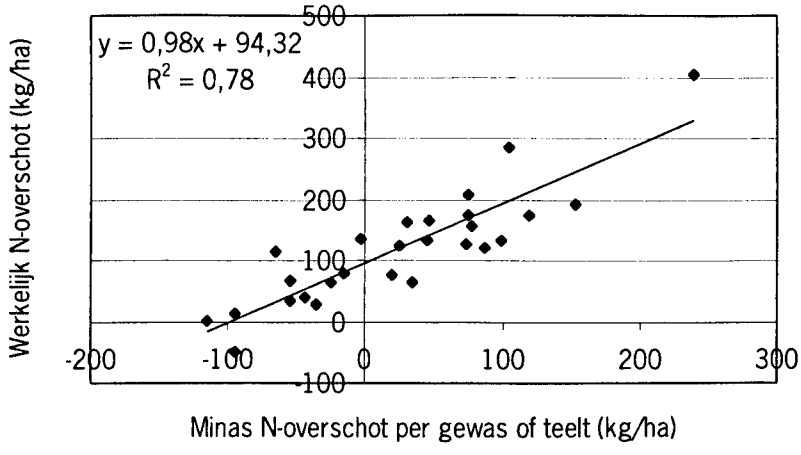
Een belangrijke beperking van N-balansen op basis van N-totaal (som van organische en minerale stikstof) is dat de organisch gebonden stikstof nauwelijks aan uitspoeling onderhevig is zolang het niet mineraliseert. Ook wordt er geen rekening gehouden met gewasspecifieke verschillen om de minerale N-voorraad van de bodem bij de oogst uit te putten en de hoeveelheid stikstof die door mineralisatie (van organische stof van de bodem, gewasresten en organische fractie van mest) na de oogst nog vrijkomt en een bijdrage kan leveren aan de nitraatuitspoeling.

In deze studie is daarom getracht om een N-balans op te stellen voor de minerale N-fractie van de bodem. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste aan- en afvoerposten van minerale bodem-N (Nmin). Hiermee kan men een balans opstellen voor het hele jaar of een deel ervan. In deze studie wordt gesproken over het "risico" van nitraatuitspoeling omdat de neerslag die dit proces sterk bepaald wisselt van jaar tot jaar en niet voorspelbaar is. Voor het inschatten van het risico van nitraatuitspoeling is het jaar in drie delen opgesplitst:

1. Periode van teelt hoofdgewas, beginnende met de Nmin-voorjaar rond het zaai/plant/poottijdstip tot de oogst en met als balanspost de Nmin-oogst (Nmin,o) (zie hoofdstuk 3). Het risico van nitraatuitspoeling

en denitrificatie is in de zomerperiode het kleinst. Op zandgronden kan in de zomer na hevige regenval nog een significante hoeveelheid nitraat uitspoelen. Hetzelfde geldt voor denitrificatie op klei.

2. Periode vanaf de oogst hoofdgewas (beginnende met Nmin,o) tot 1 december, met als balanspost Nmin-1december (Nmin,1dec) (zie hoofdstuk 4). De datum van 1 december is gekozen omdat daarna gemiddeld genomen (vanwege de lage temperatuur) de mineralisatie relatief traag verloopt en (vanwege het neerslagoverschot) de meeste nitraatuitspoeling nog moet beginnen. Voor zeer late teelten (prei, spruitkool, schorseneer, etc), met een oogst na 1 december, is dit traject niet van toepassing. Bij vroeg geoogste gewassen zoals granen, kan nog een groenbemester worden gezaaid en bemest met dierlijke mest. Door in deze periode nitraatuitspoeling als afvoerpost buiten beschouwing te laten zal de Nmin,1dec overschat kunnen worden. Als de berekende Nmin,1dec dient als indicator voor het risico van nitraatuitspoeling, is dit bezwaar niet meer van toepassing (zie par. 4.1.1).
3. Periode vanaf 1 december tot het zaai/plant/poottijdstip. In deze periode is door het neerslagoverschot de neerwaartse waterstroom in de bodem het grootst en daarmee het risico van nitraatuitspoeling.



Figuur 2.2. Relatie tussen het Minas-N-overschot en het werkelijk N-overschot voor de gewassen en omstandigheden zoals aangegeven in figuur 2.1.

Tabel 2.1. Belangrijkste aan- en afvoerposten van minerale bodem-N.

aanvoer	afvoer
• Nmin, start (voorjaar, oogst)	• N-opname gewas
• netto N-mineralisatie oude organische stof bodem	• Immobilisatie door org.materiaal met C/N>30 (bv. stro)
• N-mineralisatie organische stof gewasresten (hoofdgewas, groenbemester)	• Ammoniakvervluchtiging uit dierlijke mest
• N-gift (kunstmest en minerale fractie dierlijke/org. mest)	• Nitraatuitspoeling
• N-mineralisatie organische fractie mest	• Denitrificatie
• N-depositie	
• Biologische N-binding (leguminosen)	

3. Schatting van minerale bodemstikstof bij de oogst

3.1 Verzameling van gegevens

Voor een 30-tal gewassen en teelten zijn $N_{min,0}$-data verzameld bij bekende werkzame N-giften. Hierbij zijn ook de plant- en oogstdatum, de locatie en grondsoort (zand-, dal-, klei-, en lössgrond) geregistreerd. Deze gegevens zijn afkomstig van relevante veldproeven die vanaf 1987 zijn uitgevoerd (tabel 3.1). Voor maïs zijn zelfs proeven gebruikt vanaf 1975.

Voor de $N_{min,0}$ is de bodemlaag van 0-60 genomen omdat deze gegevens voor de meeste proeven beschikbaar waren. Uitzondering hierop vormden veel proeven op lössgronden waar alleen $N_{min,0}$-data van de laag 0-90 cm werden aangetroffen. Voor de spinazie werden alleen data van 0-30 cm aangetroffen. Van deze löss- en spinaziedata zijn de hoeveelheden in de laag 0-60 cm geschat door vermenigvuldiging met een factor van resp. 0,66 en 2,0.

De gegevens van zand- en dalgronden zijn bij elkaar gevoegd omdat het gedrag van stikstof in deze gronden vergelijkbaar is. In het volgende wordt met zand verwezen naar beide grondsoorten.

Het aantal waarnemingen dat per gewas is verzameld verschilt sterk. Voor gewassen waar veel bemestingsonderzoek is uitgevoerd zoals maïs, aardappelen en suikerbieten zijn resp. 980, 461 en 322 waarnemingen verzameld, terwijl het aantal waarnemingen bij veel groentegewassen niet boven de 50 uitkomt.

De gegevens zijn van N-trappenproeven en van proeven waar verschillende teeltsystemen met elkaar zijn vergeleken (zoals het BSO-onderzoek). Bij de N-trappenproeven zijn de metingen gemiddeld per object (bestaande uit 3 tot 4 herhalingen), bij het BSO-onderzoek is het één meting per systeem (bestaande uit een mengmonster van 16 tot 20 steken diagonaal over het perceel afhankelijk van de perceelsgrootte).

In een groot deel van de proeven is dierlijke mest gebruikt. De werkzame N-gift is berekend als de som van de kunstmestgift en de werkzame fractie van de toegediende dierlijke mest. Uitgegaan is van een werkingscoëfficiënt van resp. 0,2 en 0,7 van de totale N-vracht die via de dunne mest in het na- en voorjaar is toegediend (van Dijk, 1999). Dit is berekend op basis van gemeten N-gehalten.

Voor maïs en aardappelen is ook de som van de neerslag in de periode van zaai of poten tot bodembemonstering bij de oogst vastgelegd. Deze waarden zijn gebaseerd op gegevens van KNMI-meetstations in de nabijheid van de proeven.

Tabel 3.1. Overzicht en bronnen van de verzamelde gegevens.

gewas	bodem-type	aantal proeven	aant. waar-nemingen	proef-jaren	bron
bloemkool	klei	4	48	90,92	Everaarts, 1995
broccoli	klei	4	48	90-92	Everaarts, 1995
	zand	5	14	91-95	Anon., 1999
Chinesekool	zand	5	13	91-95	Anon., 1999
consumptie aardappelen	klei	15	166	87-98	Hengsdijk, 1992; Titulaer, 1997, Van Loon, 1998; Anon., 1999
	löss	4	64	95-98	Geelen 1999
	zand	7	45	91-97	Anon., 1999
zetmeel-aardappelen	zand	7	52	88-98	Van Loon, 1995; Wijnholds, 1995, 1996, 1997
	dalgrond	6	113	91-97	Van Loon, 1995; Postma, 1995; Anon., 1999
pootaardappelen	klei	6	21	92-97	Anon., 1999
doperwt	klei	1	2	96	Anon., 1999
	zand	7	28	91-97	Anon., 1999
Engels raaigras	zand	4	8	92-95	Anon., 1999
haver	klei	4	7	94-97	Anon., 1999
	zand	2	2	97-98	Anon., 1999
ijsbergsla	klei	1	5	99	Anon., 1999
	zand	19	83	85-87, 99	Slangen, 1989, Anon., 1999
knolselderij	klei	1	5	92-97	Anon., 1999
venkel	zand	1	1	97	Anon., 1999
kropsla	klei	10	10	97-98	Ehlert, 2001
	dalgrond	1	1	97	Ehlert, 2001
	zand	13	24	91-97	Ehlert, 2001; Anon., 1999
korrelmaïs	zand	4	60	93-96	Van Dijk, 1997
snijmaïs	klei	8	83	85-94	Schröder, 1990; Van der Schans, 1995; Van Dijk, 1996
	löss	4	64	95-98	Geelen, 1999
	zand	99	773	75-99	Schröder, 1985, 1987, 1989, 1990, 1992, 1993; Van Dijk, 1995, 1996, 1997, 1998; Van der Schans, 1995, 1998; Van der Schoot 2000; Anon., 1999
prei	dalgrond	1	1	97	Anon., 1999
	klei	12	25	89-98	De Kraker 1993, Ehlert, 2001
	zand	8	28	91-99	Anon., 1999; Geel, 2000
spinazie	klei	5	35	94-96	De Kraker, 1997
spruitkool	klei	5	9	91-95	Anon, 1999
stamslaboon	zand	7	26	91-97	Anon., 1999
suikerbiet	dalgrond	5	32	87-98	Postma, 1995; Anon., 1999
	klei	12	179	87-97	Hengsdijk, 1992; Westerdijk, 1992; Van Dijk, 1999; Anon., 1999
	löss	5	79	88-98	Postma, 1995; Geelen, 1999
	zand	8	40	91-97	Anon., 1999

triticale	zand	7	11	91-97	Anon., 1999
veldboon	zand	5	7	91-94	Anon., 1999
waspeen	zand	8	15	91-98	Anon., 1999
winterkoolzaad	zand	2	3	92-93	Anon., 1999
winterpeen	klei	13	16	92-98	Ehlert, 2001; Anon.,1999
	zand	5	5	93-97	Anon.,1999
winterrogge	zand	7	11	94-98	Anon.,1999
wintertarwe	dalgrond	1	1	98	Anon.,1999
	klei	20	77	91-98	Darwinkel, 2000; Anon.,1999; Timmer, 1999
	löss	3	24	95-98	Geelen, 1999
	zand	11	17	91-97	Anon.,1999
witlofwortel	klei	16	31	93-97	Van Kruistum, 1997; Schober, 1998; Anon., 1999
	löss	2	10	91-93	Postma, 1995
wittekool	klei	4	44	92-93	Everaarts, 1995
zaaiui	klei	13	104	91-97	De Visser, 1996; Anon.,1999
zomergerst	klei	14	42	96-98	Anon.,1999
	zand	3	6	96-98	Anon., 1999
zomertarwe	klei	4	9	94-97	Anon., 1999

3.2 Werkwijze

Alle verzamelde data zijn geanalyseerd volgens de hieronder beschreven procedure om te komen tot een goede schatting voor de $N_{min,0}$ bij bemesting volgens advies en de bijbehorende spreiding. Waar mogelijk is onderscheid gemaakt naar grondsoort en teeltperiode.

1. De relatie tussen werkzame N-gift (A) en $N_{min,0}$ is gefit met het volgende niet-lineaire model:

$$N\min,O = \alpha + \frac{\beta}{e^{\frac{\gamma}{A}} - 1} \quad (1)$$

met:

α = $N_{min,0}$ bij A naderende naar 0
β/γ = de helling van de curve bij zeer hoge N-giften

Dit model is geselecteerd als de geschatte parameters α en β/γ reëel zijn (d.w.z. >0 resp. in het traject 0,2 – 1 liggen), significant zijn, en de correlatiecoëfficiënt van dit model groter is dan voor het hieronder beschreven lineaire model.

2. Als niet aan bovengenoemde vereisten werd voldaan, is de relatie tussen werkzame N-gift en Nmin gefit met het lineaire model:

$$N\min,O = \alpha + \beta * A \quad (2)$$

met:

α = $N_{min,0}$ bij A=0
β = de helling van de curve

Dit model is gebruikt als de geschatte parameters α en β reëel zijn (d.w.z. >0 resp. in het traject 0,2 – 1 liggen) en β significant is.

3. Als er ook geen rechtlijnige relatie is gevonden, is het gemiddelde van alle waarnemingen genomen als schatting van $N_{min,0}$. Voorwaarde is dat het aantal waarnemingen groter is dan 5 en er voldoende spreiding in de werkzame N-gift is of de giften nabij het niveau van de adviesgift liggen.

Deze procedure is uitgevoerd per gewas, waarbij onderscheid is gemaakt naar grondsoort (klei, löss, zand). Voor enkele groenten met een korte groeicyclus is ook onderscheid gemaakt in teelt (vroege, zomer en herfstteelten). Grondsoorten, teelten en gewassen zijn vervolgens geclusterd wanneer:

a) in de analyse geen significante verschillen zijn aangetroffen in waarden van de paramaters van het geslecteerde model of $N_{min,0}$ bij advies;
b) de verschillen van de geschatte $N_{min,0}$ kleiner zijn dan 10 kg N/ha en;
c) er verder geen aanleiding is om een onderscheid te maken (bijvoorbeeld bij verwante gewassen als granen.

Per gewas-bodem-teeltcombinatie of –cluster is de bovengrens berekend van de Nmin,O die een ondernemer kan verwachten in 9 van de 10 jaren bij de een bemesting volgens advies. Deze bovengrens zal, evenals de gemiddelde Nmin,O bij advies, in betrouwbaarheid toenemen naarmate de schatting is gebaseerd op meer waarnemingen verdeeld over een groot aantal jaren en locaties.

Voor maïs en aardappel is ook het effect onderzocht van de zomerneerslag op de relatie tussen werkzame N-gift en $N_{min,0}$. Uit eerder onderzoek met maïs (Schröder, 1977) is gebleken dat er N-verliezen door uitspoeling kunnen optreden gedurende het groeiseizoen. Consumptieaardappel (inclusief zetmeelaardappel) en snijmaïs (inclusief korrelmaïs) zijn hiervoor gekozen vanwege het groot aantal beschikbare data. Pootaardappelen zijn buiten de analyse gehouden omdat ze veel eerder worden geoogst. De factor neerslag is als volgt in model 1 meegenomen:

$$N_{\min,O} = \alpha * \rho^{(z-350)} + \frac{\beta * \rho^{(z-350)}}{e^{\frac{\gamma}{A}} - 1} \qquad (3)$$

met:

ρ = een parameter voor het neerslageffect
z = de waargenomen neerslaghoeveelheid tussen poten/zaaien en oogst. Deze waarde is verminderd met de langjarige gemiddelde neerslag in Nederland voor deze periode. Dit is afgerond op 350. Voor verklaring van de andere parameters zie model 1.

3.3 Resultaten

3.3.1 Algemene beschouwing

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de geschatte $N_{min,0}$ –waarden bij bemesting volgens advies. In bijlage I staat een uitgebreid overzicht van de verschillende gewas-bodem-teeltcombinaties (met het aantal waarnemingen) die zijn onderzocht en met elkaar vergeleken. De mate waarin de relatie N-werkzaam met $N_{min,0}$ beschreven kan worden met de besproken functies hangt af van: het aantal waarnemingen, het vermogen van een gewas om stikstof op te nemen bij een toenemende N-gift en de variatie in werkzame N-gift.

Omdat de gebruikte dataset een bonte verzameling is van proeven, is niet uit te sluiten dat de waargenomen verschillen tussen de gewassen, grondsoorten en teelten ook het gevolg kunnen zijn van andere factoren. Dit omdat andere factoren die de $N_{min,0}$ beïnvloeden (zoals neerslag en N-leverend vermogen van de bodem) onevenwichtig over de gewassen, grondsoorten en teelten verdeeld kunnen zijn. Dit risico neemt af bij een toenemend aantal waarnemingen.

Figuren 3.1 tot en met 3.6 illustreren voor enkele gewassen de relatie tussen de werkzame N-gift en $N_{min,0}$. De aanwezigheid van veel ruis duidterop dat andere factoren ook een belangrijke rol spelen.

De verschillen tussen gewassen zijn groot. Zo blijft bij aardappelen en maïs veel meer $N_{min,0}$ achter dan bijvoorbeeld bij suikerbieten en granen. Bij de eerste twee gewassen neemt de $N_{min,0}$ ook veel sterker toe bij bemesting dan bij de laatste twee. Na snijmaïs op zand wordt bij hoge N-giften circa 50% van de extra toegediende werkzame stikstof terug gevonden als $N_{min,0}$.

Ook de grondsoort blijkt een factor van belang. Met name bij suikerbieten, maïs en wintergranen wordt op zandgronden een hogere $N_{min,0}$ verwacht dan op de kleigronden (tabel 3.2). In het volgende worden de resultaten per gewas of gewasgroep nader besproken.

Tabel 3.2. Overzicht van de geschatte $N_{min,0}$-waarden voor de onderzochte gewassen en teelten bij verschillende grondsoorten onder gemiddelde omstandigheden bij N-giften volgens advies (van Dijk, 1999). Tussen haakjes staat de verwachtte waarde die 1x in de tien jaar wordt overschreden bij adviesgiften.

gewas	$N_{min,0}$-waarden (kg N/ha, 0-60 cm) per grondsoort		
	klei	löss	zand
consumptie aardappelen*	68 (106)	68 (106)	68 (106)
zetmeelaardappelen	-	-	41 (77)
pootaardappelen	55 (80)	-	-
suikerbieten*	15 (27)	25 (57)	25 (57)
snij- en korrelmaïs*	41 (77)	41 (77)	76 (139)
wintergranen*	22 (42)	22 (42)	36 (53)
zomergranen*	17 (28)	17 (28)	17 (28)
engelsraaigras	-	-	19 (27)
zaaiui	60 (96)	-	-
bloemkool – zomer en herfstteelt	58 (104)	-	-
broccoli – alle teelten*#	39-50 (60-71)	-	39-50 (60-71)
chinesekool – alle teelten	-	-	51 (99)
doperwt	-	-	25 (36)
knolselderij	39 (72)	-	-
ijssla – alle teelten#	-	-	98-112 (186-225)
kropsla – alle teelten*	89 (133)	-	89 (133)
prei – herfstteelt*	91 (152)	-	91 (152)
spinazie – alle teelten	122 (246)	-	-
spruitkool	7 (10)	-	-
stamslaboon	-	-	45 (92)
veldboon	-	-	54 (88)
waspeen – herfstteelt	-	-	10 (17)
winterpeen*	24 (46)	-	24 (46)
witlof*	24 (46)	24 (46)	-
wittekool	27 (41)	-	-

* Wanneer dezelfde waarden zijn weergegeven voor verschillende bodemtypen, zijn de schattingen gebaseerd op samengevoegde datasets van deze bodemtypen (zie analyseprocedure in par. 3.2)

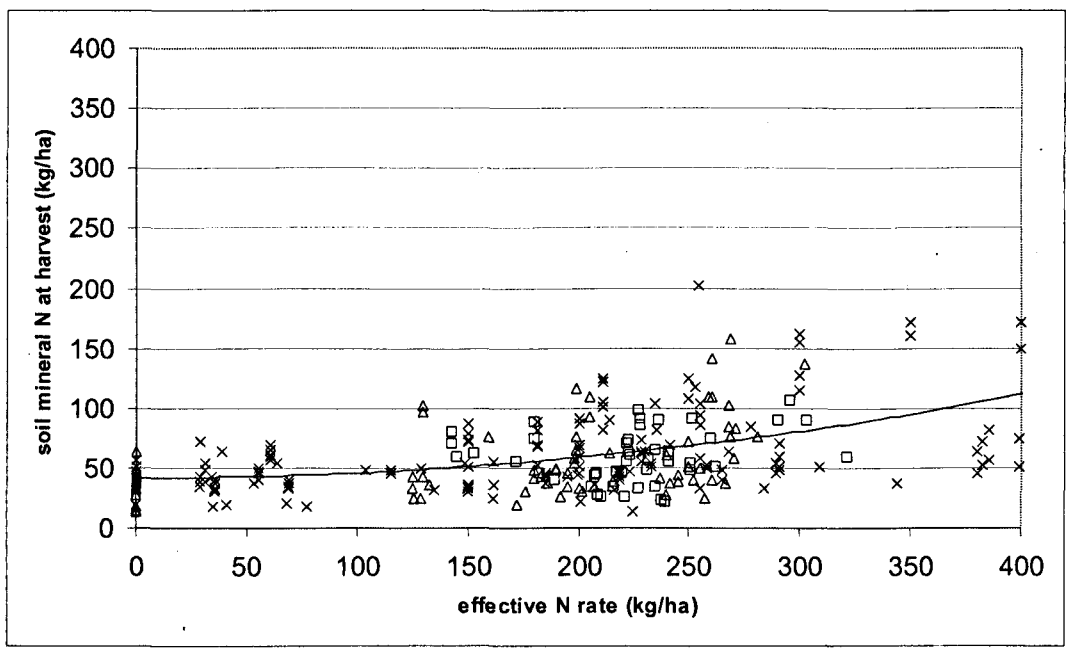
\# Wanneer verschillen in adviesgift tussen de samengevoegde teelten aanleiding geven tot een relevant verschil in verwachtte $N_{min,0}$, is het bereik hiervan aangegeven (zie bijlage I voor details).

3.3.2 Aardappelen

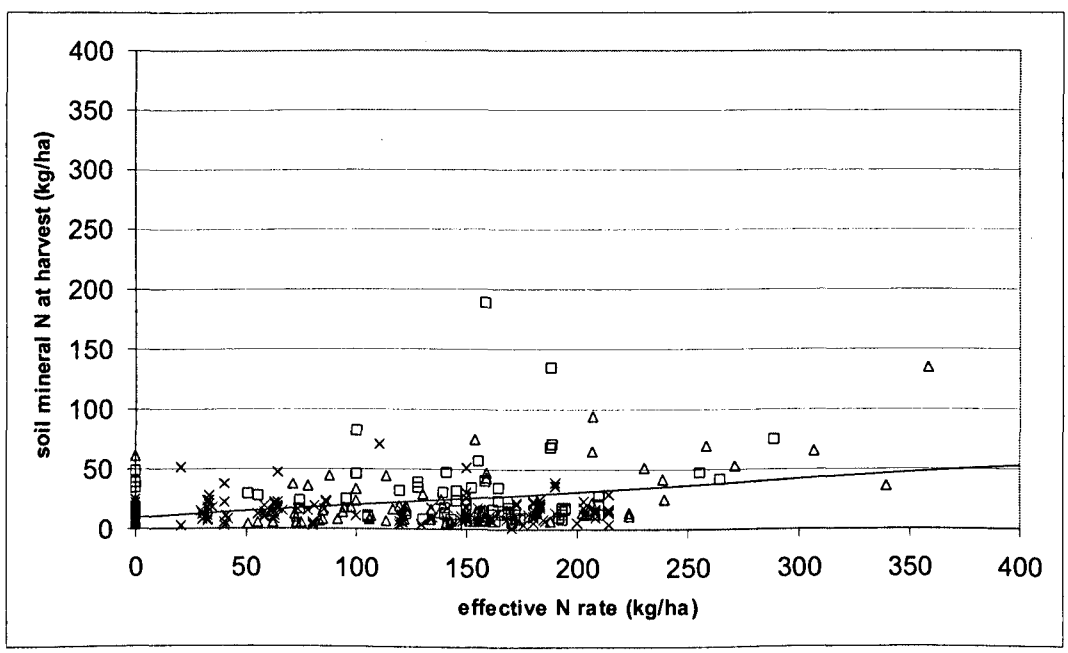
Onderscheid is gemaakt in consumptie aardappelen op klei, zand- en dalgronden en löss, zetmeelaardappelen op zand- en dalgronden en pootaardappelen op klei. Bij de consumptieaardappelen zijn de $N_{min,0}$-waarden geschat op basis van data van alle grondsoorten gecombineerd. Dit omdat de verschillen tussen de grondsoorten en de correlaties met de getoetste functies onvoldoende bleken om een dergelijk onderscheid te rechtvaardigen (fig. 3.1). De $N_{min,0}$ bij adviesgift voor consumptieaardappelen is voor alle drie de grondsoorten geschat op gemiddeld 68 kg N/ha. De hogere adviesgift voor zandgronden ten opzichte van die voor klei en löss leidt tot een verwaarloosbaar verschil in $N_{min,0}$.

Bij de zetmeel- en pootaardappelen lijkt de relatie met $N_{min,0}$ anders dan voor de consumptieaardappelen. Bij zetmeelaardappelen op de dalgronden is een $N_{min,0}$ gevonden van ruim 20 kg onder die van consumptie-aardappelen. Een verklaring hiervoor is niet goed te geven. Pootaardappelen, waarvoor een veel lagere adviesgift geldt, nemen een tussenpositie in.

De $N_{min,0}$-waarden bij adviesgift zijn berekend voor gemiddelde omstandigheden. De fluctuaties in $N_{min,0}$ bij een gegeven bemestingsniveau zijn echter groot. Zo is geschat dat een ondernemer die zijn/haar consumptieaardappelen bemest met 245 kg N/ha (volgens advies), één maal in de tien jaar een $N_{min,0}$ van boven de 106 kg N/ha kan verwachten.



Figuur 3.1. Het effect van de werkzame N-gift op de $N_{min,0}$ bij consumptieaardappelen op klei (x), zand (□) en löss (Δ). De curve is een schatting met het niet-lineaire model (vergelijking 1) op basis van alle gronden.



Figuur 3.2. Het effect van de werkzame N-gift op de $N_{min,0}$ bij suikerbieten op klei (x), zand (□) en löss (Δ). De lijn is een schatting met het lineaire model (vergelijking 2) voor zand en löss.

3.3.3 Suikerbieten

Bij dit gewas worden veel lagere $N_{min,H}$-waarden gevonden dan bij aardappelen. De relatie met de werkzame stikstof is lineair. Dit blijft ook zo bij hoeveelheden die ver boven de adviesgift uitkomen (fig. 3.2). Suikerbieten zijn in vergelijking met aardappelen beter in staat om gebruik te maken van de beschikbare stikstof. De extra gegeven stikstof wordt grotendeels in het loof opgenomen. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen de teelten op zand en löss enerzijds en klei anderzijds, met een geschatte $N_{min,O}$ van resp. 25 en 15 kg N/ha. bij een adviesbemesting van 140 kg N/ha. Het risico van hoge $N_{min,O}$-waarden is daarmee op de klei beduidend lager dan op de andere bodemtypen.

3.3.4 Maïs

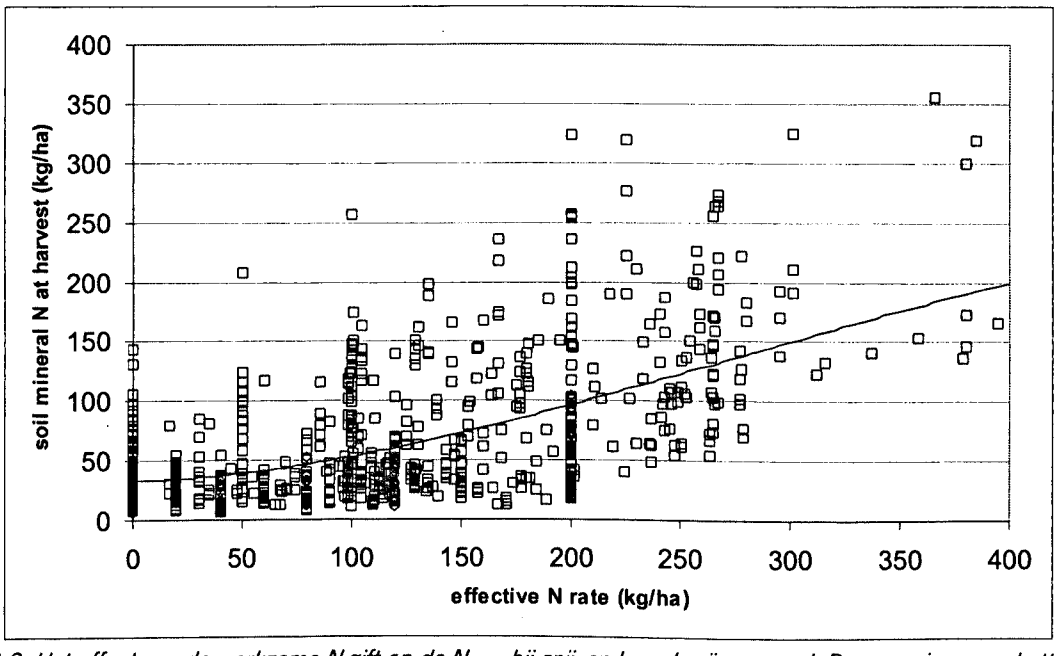
Verreweg de meeste maïsdata komen van zandgronden. Hier zijn beduidend hogere $N_{min,O}$ -waarden aangetroffen dan op klei en löss (fig. 3.3). Op de zandgronden is de $N_{min,O}$ bij adviesbemesting geschat op 76 kg N/ha, terwijl die op de klei en löss circa 35 kg lager uitkomt. Hoewel de geschatte $N_{min,O}$ bij adviesbemesting voor de snij- en korrelmaïs met resp. 48 en 78 kg N/ha beduidend van elkaar verschillen, zijn de data bij elkaar gevoegd. De grote overeenkomst in beide de teelten rechtvaardigen geen onderscheid in $N_{min,O}$. De hogere waarden op de zandgronden zijn mogelijk voor een gevolg van dierlijke mesttoediening, in en voorafgaand aan de betreffende proeven. Bij géén bemesting zijn de geschatte $N_{min,O}$-waarden voor klei en löss zeer laag (zie bijlage I). Waarschijnlijk zijn deze wat onderschat door het gebruikte lineaire model.

3.3.5 Granen

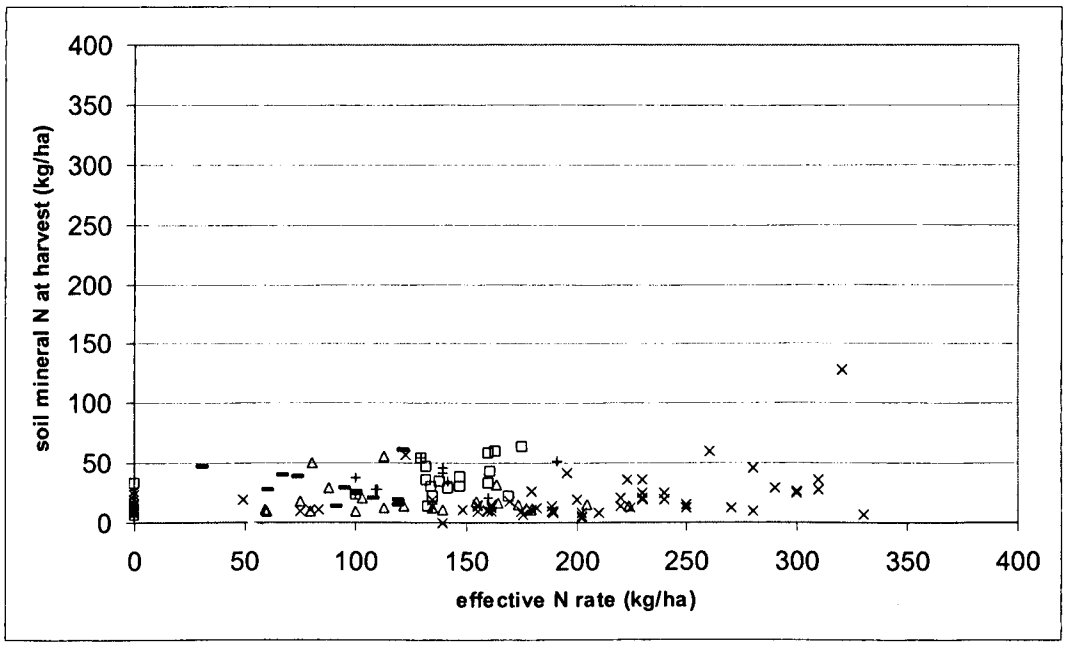
In deze groep gewassen (tarwe, triticale, rogge, gerst, haver) is alleen bij wintertarwe op klei een effect van de N-gift gevonden, met een verhoging van nog geen 5 kg $N_{min,O}$ per 100 kg werkzame N-gift/ha (fig. 3.4). Granen zijn goed in staat om stikstof uit de bodem op te nemen, ook bij hoge N-giften. Bij de wintergranen lijkt de $N_{min,O}$ op zand hoger dan op löss en klei. Bij de zomergranen is geen verschil tussen de grondsoorten geconstateerd.

3.3.6 Graszaad

Na de teelt van graszaad wordt een lage $N_{min,O}$ –waarde verwacht. Voor Engelsraaigras is $N_{min,H}$ geschat op 19 kg N/ha. Deze schatting is het gemiddelde van de waarnemingen omdat geen relatie met de N-gift is gevonden en de meeste waarnemingen zich nabij de adviesgift bevonden.



Figuur 3.3. Het effect van de werkzame N-gift op de $N_{min,O}$ bij snij- en korrelmaïs op zand. De curve is een schatting met het niet-lineaire model (vergelijking 1).



Figuur 3.4. Het effect van de werkzame N-gift op de $N_{min,0}$ bij wintergranen: wintertarwe op klei (x), op zand (□) op löss (Δ), rogge op löss (-) en triticale op zand (+).

3.3.7 Akkerbouwmatig geteelde groenten

Witlof, was- en winterpeen laten bij de oogst, met schattingen tot circa 25 N/ha, weinig stikstof in de bodem achter. Bij knolselderij is de $N_{min,0}$, gebaseerd op 5 waarnemingen in klei, geschat op 39 kg N/ha.

Bij zaaiuien op klei wordt veel $N_{min,0}$ aangetroffen. Ten opzichte van de situatie zonder bemesting neemt de $N_{min,0}$ toe met circa 30 kg N/ha tot 60 kg N/ha door een adviesgift van 110 kg N/ha. Het verschil tussen uien en de andere wortelgewassen zoals peen en witlof wordt mogelijk veroorzaakt doordat uien eerder stoppen met de N-opname.

Van de peulvruchten laat doperwt slechts 25 kg N/ha achter. Dit is veel lager dan de andere peulvruchten zoals stamslaboon en veldboon die resp. 45 en 54 kg N/ha in de bodem achterlaten.

3.3.8 Bladgroenten

Bij de meeste groentegewassen met een korte groeicyclus zijn géén duidelijke verschillen in $N_{min,0}$ waargenomen tussen de vroege, zomer en late teelten. Het beperkt aantal gegevens per teelt in combinatie met de grote variatie in $N_{min,0}$-waarden bij een vaste N-gift maakte het echter moeilijk om mogelijke verschillen aan te tonen. Hierdoor zijn voor de meeste van deze groenten de verschillende teelten bij elkaar gevoegd en de waarden ervan gemiddeld. Hoewel waarnemingen van vroege teelten voor deze studie minder interessant zijn omdat er vaak nog een teelt op volgt, zijn ook deze in de analyse meegenomen om tot meer data te komen.

Bij ijssla is wél een verschillende relatie met $N_{min,0}$ aangetroffen tussen de de teelten (fig. 3.5). De $N_{min,0}$ bij een specifieke N-gift leidt tot hogere waarden als het gewas later wordt geteeld. Deze verschillen worden deels gecompenseerd doordat de adviesgiften bij de late teelten lager is dat voor de vroege teelten. Tabel 3.2 geeft voor dit gewas een bereik voor de verwachtte $N_{min,0}$ waarbij de laagste waarde geldt voor de vroege teelt en de hoogste voor de herfstteelt (zie voor details bijlage I).

Hoge $N_{min,0}$-waarden zijn waargenomen in kropsla, prei en spinazie. De waarden van spinazie zijn mogelijk wat overschat omdat ze gebaseerd zijn op metingen van de bodemlaag 0-30 cm (vermenigvuldigd met twee). Bladgewassen gaan niet efficiënt om met stikstof. Dit komt vooral omdat deze gewassen niet afrijpen op het land maar worden geoogst als de groei maximaal en de N-behoefte het hoogst is. Hierdoor is een vrij hoge N-gift vereist, ondanks dat de N-opname door deze gewassen relatief laag zijn. Dit leidt tot veel

onbenutte stikstof in de bodem. Bij spinazie en prei is een hoog N-aanbod nog van extra belang voor de donkergroene kleur van het blad, wat is gewenst door de afnemer en consument.

Bij winterprei (bijlage I) vindt de oogst pas plaats in de periode januari – mei en geeft de $N_{min,0}$ weinig informatie over het risico van uitspoeling in de winterperiode. De $N_{min,0}$-waarden vertoonden dan ook een grote spreiding en hadden géén relatie met de N-gift.

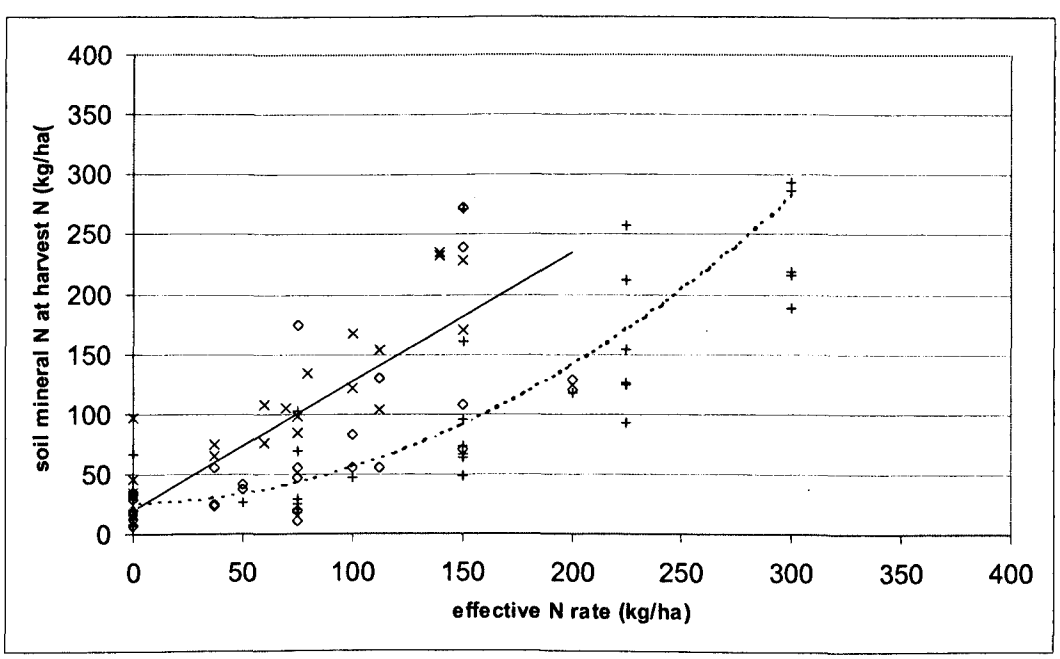
3.3.9 Koolgewassen

Wittekool is goed in staat om de toegediende stikstof op te nemen en laat weinig $N_{min,0}$ achter. Bij een adviesbemesting van 280 kg N/ha neemt de $N_{min,0}$ slechts met 10 kg toe tot zo'n 27 kg N/ha. Bij hogere mestgiften stijgt de $N_{min,0}$ echter wel snel tot rond de 27% van de extra toegediende werkzame stikstof. Naar verwachting gelden de bevindingen van wittekool voor alle sluitkoolsoorten (zoals rode, savooie en spitskool) . Voor spruitkool werd slecht een gemiddelde $N_{min,0}$ waargenomen van 7 kg N/ha op kleigronden.

Koolsoorten (zoals broccoli, Chinesekool en bloemkool) die in een veel vroeger stadium worden geoogst (tijdens volle groei) zijn veel minder in staat om de minerale N-voorraad van de bodem tot een laag niveau terug te brengen. Bij broccoli wordt meer $N_{min,0}$ verwacht na de vroege teelten dan de late teelten omdat voor de vroege teelten grotere hoeveelheden stikstof worden geadviseerd. Voor bloemkool geldt hetzelfde maar in mindere mate dan voor broccoli. Voor de zomer en herfst teelt van bloemkool is een gemiddelde van 58 kg $N_{min,0}$ geschat. Voor chinesekool is in tabel 3.2 één waarde gegeven voor alle teelten, ondanks dat de adviesgift afhangt van de teelt. Dit komt omdat door het beperkt aantal waarneming geen relatie met de N-gift en teelt is vastgesteld. Voor broccoli en in wat mindere mate bloemkool moet worden opgemerkt dat grote hoeveelheden stikstof in gewasresten achterblijven die in de herfst- en winterperiode kunnen mineraliseren en uitspoelen. Dit aspect komt in hoofdstuk 4 ter sprake.

3.3.10 Andere groente- en akkerbouwgewassen

Van andere gewassen zijn onvoldoende gegevens aangetroffen om tot een redelijke schatting te komen van $N_{min,0}$. In 3.3.13 zijn voor 16 gewassen berekeningen gemaakt met behulp van een gekalibreerde N-balans.



Figuur 3.5. Het effect van de werkzame N-gift op de $N_{min,0}$ bij ijssla: vroege (+), zomer (◊) en herfstteelt (-). De curve is een schatting voor de vroege teelt, de recht lijn voor de zomer en herfstteelt gecombineerd.

3.3.11 Groepering van gewassen

In tabel 3.3 zijn de onderzochte gewassen gegroepeerd naar de verwachte $N_{min,0}$ onder gemiddelde omstandigheden en bij bemesting volgens advies. Wanneer een categorie geldt voor een specifieke teelt of bodemtype, is dit aangegeven.

Tabel 3.3. Indeling van gewassen naar de hoeveelheid $N_{min,0}$ die in de bodemlaag van 0-60 cm achterblijft bij bemesting volgens advies. Per categorie staan de gewassen-teelt-grondcombinaties met de laagst geschatte waarden bovenaan.

categorie van $N_{min,H}$ (kg N/ha)			
< 30 (laag)	**30 - 60 (middelmatig)**	**60 - 90 (hoog)**	**> 90 (zeer hoog)**
- spruitkool, klei	- wintergranen – zand	- zaaiui – klei	- prei – herfst, klei/zand
- waspeen – herfst, zand	- broccoli - herfst, klei/zand	- consumptie aardappelen	- ijssla
- suikerbieten – klei	- knolselderij – klei	- maïs – zand	- spinazie – klei
- zomergranen	- snijmaïs - klei/löss	- kropsla – klei/zand	
- engelsraaigras – zand	- zetmeelaardappelen - zand		
- wintergranen – klei/löss	- stamslaboon – zand		
- winterpeen - klei/zand	- broccoli - klei/zand		
- witlof – klei/löss	- chinesekool – zand		
- doperwt – zand	- veldboon – zand		
- suikerbieten – löss/zand	- pootaardappelen – klei		
- wittekool – klei	- bloemkool – zomer/herfst,klei		

De categorie met de laagste $N_{min,0}$ bevat gewassen als suikerbieten en de meeste granen tezamen met de vaak akkerbouwmatig geteelde groenten als was- en winterpeen en witlof. Engelsraaigras voor de zaadteelt, wittekool (als vertegenwoordiger van de sluitkolen) en doperwt vallen ook in deze categorie.

In de categorie die als middelmatig is aangemerkt vallen onder andere diverse koolteelten met een korte groeiperiode, stam- en veldboon, zetmeel- en pootaardappelen, en snijmaïs op klei en löss.

Hoge $N_{min,0}$-waarden worden verwacht bij consumptieaardappelen op alle drie de grondsoorten, snij- en korrelmaïs op zandgronden en zaaiuien. Kropsla valt met een geschatte $N_{min,0}$ van 89 kg N/ha nog net in deze categorie. Maar de gewaskarakteristieken zijn typisch voor die van de hoogste categorie.

In de hoogste categorie met waarden boven de 90 kg N/ha vallen de bladgroenten als herfstprei, ijssla en spinazie.

3.3.12 Effect gebruik dierlijke mest en groenbemesters

Voor gewassen waarbij de N-opname een geruime tijd vóór de oogst eindigt, zal de mineralisatie van organische stof uit dierlijke mest en gewasresten van groenbemesters nog een bijdrage leveren aan de $N_{min,o}$. Dit geldt vooral voor maïs waarbij de N-opname ruim een maand vóór de oogst in de tweede helft van september sterk afneemt. Hiervoor is berekend dat toediening van 30 ton dunne mest van vleesvarkens op 1 maart vóór de teelt kan leiden tot een verhoging van de $N_{min,o}$ van circa 6 kg N/ha (berekend met de rekenregels van Lammers, 1984; zie ook 4.1.2). De gebruikte dataset van snijmaïs op zand (zie 3.3.4) bestaat deels uit proeven waar dierlijke mest is toegepast, waardoor dit effect al in de schatting voor Nmin,o is verdisconteerd.

Bij toediening van de drijfmest in het najaar (1 september) ervoor is het effect met circa 3 kg N/ha nog veel kleiner. Wanneer meteen na toediening een groenbemester wordt ingezaaid, die op 1 maart wordt ingewerkt, zal door mineralisatie (berekend met het MINIP-mineralisatiemodel, zie 4.1.5) van de groenbemester (indien goed geslaagd) de Nmin,o nog met circa 5 kg N/ha toenemen.

3.3.13 Effect zomerneerslag

De invloed van de neerslag is onderzocht met model 3 (zie par. 3.2). Dit is een uitbreiding van model 1 met een niet-lineaire factor voor de neerslag. Hiervoor is gekozen omdat daarmee rekening wordt gehouden met:

- de niet-lineaire relatie met $N_{min,0}$ die bij aardappelen en maïs is gevonden;

- het niet-lineaire effect van de neerslag op $N_{min,0}$ (dwz. afhankelijk van de werkzame N-gift en afnemend met toenemende hoeveelheden neerslag). Met model 3 wordt dan ook een groter percentage van de variantie verklaard dan met model 1 uitgebreid met een lineaire neerslagterm.

In tabel 3.4 staan de geschatte neerslageffecten voor maïs en aardappelen uitgesplitst naar grondsoort. Löss en kleigronden zijn samengevoegd omdat daartussen geen duidelijke verschillen zijn gevonden. Bij de aardappelen op zand- en dalgronden zijn de consumptie- en zetmeelaardappelen samengevoegd (fig. 3.6).

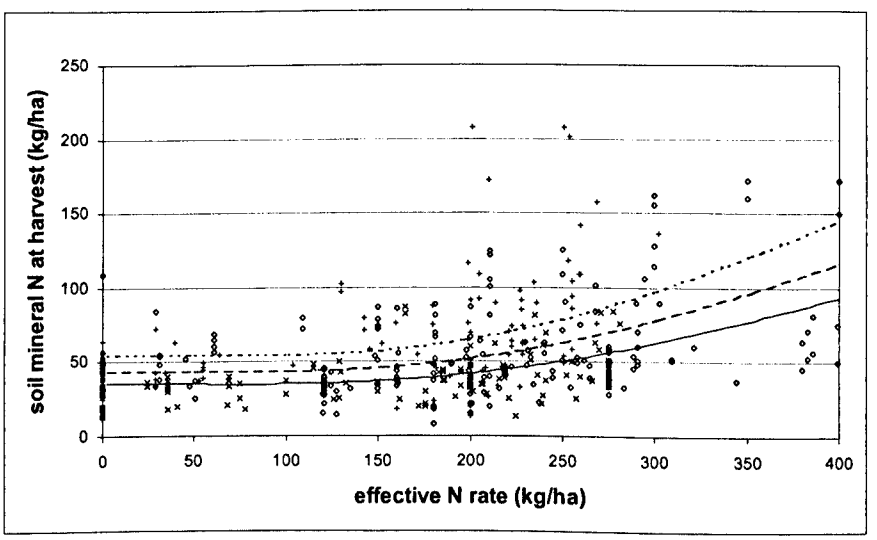
Tabel 3.4. Geschat neerslageffect per gewas en grondsoort op $N_{min,0}$

gewas en grondsoort	aantal waarn.	neerslag (ρ)	stand. deviatie	t-toets grond-soort	% afname $N_{min,0}$*	
					10 mm	100 mm
consumptieaardappelen op klei en löss	230	0,9976	0,00033		2,4	21
consumptie- en zetmeelaardappelen op zand- en dalgronden	210	0,9960	0,00057	2,4 (>95%)	3,9	33
snijmaïs op klei en löss	147	0,9985	0,00073	1,7	1,5	14
snij- en korrelmaïs op zand- en dalgronden	773	0,9972	0,00025	(>90%)	2,8	24

* Geschatte procentuele afname van de $N_{min,0}$ als gevolg van een toename van de neerslag van 10 resp. 100 mm ten opzicht van het gemiddelde van 350 mm in de periode tussen inzaai/poten en oogst.

Zowel voor aardappelen als maïs is een significant effect van de neerslag op de $N_{min,0}$ gevonden. Een toename van de neerslag met 100 mm, boven het gemiddelde van 350 mm in de periode tussen poten of inzaai en de oogst, heeft naar verwachting een afname van 14% tot 33% van de $N_{min,0}$ tot gevolg. Bijvoorbeeld bij consumptieaardappelen op klei die zijn bemest met 245 kg N/ha volgens advies, levert dat een geschatte hoeveelheid van 68 kg $N_{min,0}$/ha onder gemiddelde omstandigheden. Als gevolg van een natte zomer met 100 mm extra neerslag in de genoemde periode blijft er naar verwachting 14 kg minder $N_{min,0}$ achter, ofwel circa 54 kg N/ha. Voor een wat drogere zomer geldt het omgekeerde.

Het effect van de neerslag op de $N_{min,0}$ lijkt bij aardappelen groter dan bij maïs en op de zand- en dalgronden groter dat op de klei- en lössgronden. Een mogelijke verklaring voor de verschillen tussen de grondsoorten is dat op de lichtere gronden meer stikstof kan uitspoelen dan op de zwaardere gronden.



Figuur 3.6. Effect van de zomerneerslag op de $N_{min,0}$ bij de teelt van consumptie- en fabrieksaardappel op alle grondsoorten gecombineerd. De waarnemingen zijn gecategoriseerd naar neerslaghoeveelheid: < 300 mm (+), 300-400 mm (□) en > 400 mm. De curven zijn geschat met het niet-lineaire model (vergelijking 3) met neerslaghoeveelheden van 250 mm ( ), 350 mm (–) en 450 mm (....).

Zomerneerslag kan ook van invloed zijn op verliezen door denitrificatie en indirect op de N-opname door factoren zoals vochtvoorziening, temperatuur, instraling, ziektedruk, etc. die de gewasproductie bepalen. In bovengenoemde analyse is alleen de totale neerslag beschouwd, terwijl de verdeling ervan ook belangrijk is. De verschillen in neerslageffect tussen maïs en aardappelen kunnen niet verklaard worden.

3.3.14 Relatie met N-balans

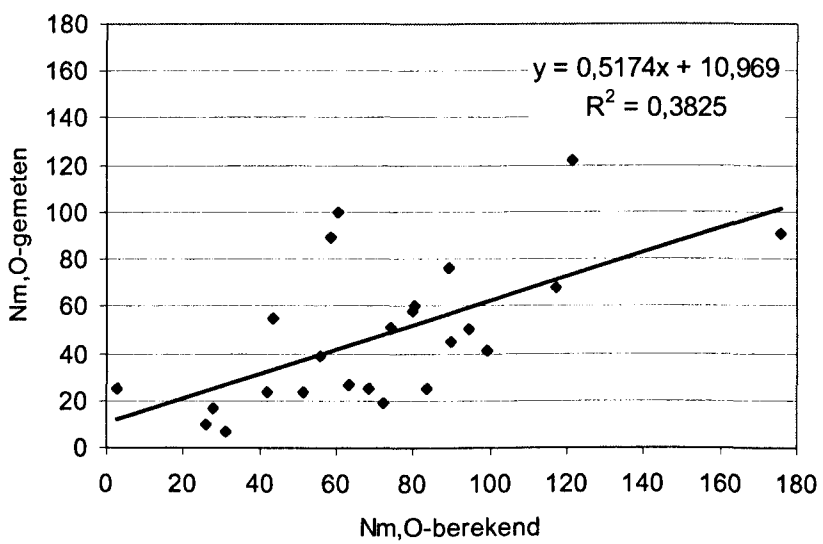
De $N_{min,0}$ kan beschouwd worden als het deel van de totaal beschikbare hoeveelheid Nmin tijdens de teeltperiode dat niet door het gewas is opgenomen. In principe kan men de $N_{min,0}$ voorspellen als de verschillende aan- en afvoerposten bekend zijn (zie ook hoofdstuk 2). Dit kan met de volgende balansvergelijking worden berekend:

$$N_{min,0} = Nmin,voorjaar + werkzame\ N\text{-}gift + N\ gemineraliseerd + N\text{-}depositie + N\text{-}binding - N\ opgenomen \quad (vgl.\ 4)$$

Uitgaande van:

- Nmin, voorjaar=20,30,40 kg N/ha voor de lagen 0-30,60,90 cm. Ná 15 mei is dit resp. 40,50,60 kg.
- werkzame N-gift volgens advies (= som kunstmest en werkzaam deel organische mest)
- N-mineralisatie gedurende de teeltperiode van: 1. organische stof bodem (uitgaande van 100 kg N/ha*j) en 2. bij dubbelteelten de gewasresten van de voorvrucht. In beide gevallen is gebruik gemaakt van het mineralisatiemodel MINIP (Janssen, 1986) rekening houdend met het gemiddeld temperatuurs-verloop gedurende het jaar.
- N-depositie gedurende de teeltperiode (uitgaande van een gemiddelde van 35 kg N/ha*j)
- N-binding door vlinderbloemigen (forfaits volgens Minas)
- N-opname door het gewas (som van oogstproduct en gewasrest), gebruik makend van Smit (1994), Anon (1999) en Feller, et. al (2001).

De berekende $N_{min,0}$ is in figuur 3.7 vergeleken met de geschatte (gemeten) $N_{min,0}$-waarden voor 24 gewassen die in par. 3.3.2 tot en met 3.3.9 zijn bekeken. Deze vergelijking is reeds gemaakt in de exploratieve studie van het project Sturen op Nitraat (van Enckevort, van der Schoot en van den Berg, 2002) maar hier geactualiseerd.



Figuur 3.7. Relatie tussen berekende en gemeten (geschatte) $N_{min,0}$ voor 24 gewassen.

De relatie is vrij zwak en de gemeten $N_{min,0}$ wordt met de balansberekening ruim overschat. Mogelijk dat deze relatie sterker wordt wanneer de betere kengetallen (m.b.t. N-opname, ed.) worden gebruikt en rekening wordt gehouden met specifieke omstandigheden, m.b.t. teeltwijzen, voorvrucht en perceelsspecifieke mineralisatie. Gewassen met de grootste afwijking zijn o.a. herfstprei (mogelijk als

gevolg van nitraatuitspoeling in het najaar), en krop- en ijssla (mogelijk door onderschatting bijdrage van mineralisatie). In een PPO-studie (Van der Schoot en van Dijk, 2001) trof men grote verschillen in N-afvoer binnen gewassen bij dezelfde opbrengstniveau's. Dit betekent dat het voorspellen van $N_{min,0}$ op basis van balansberekeningen waarschijnlijk een lastige taak zal blijven.

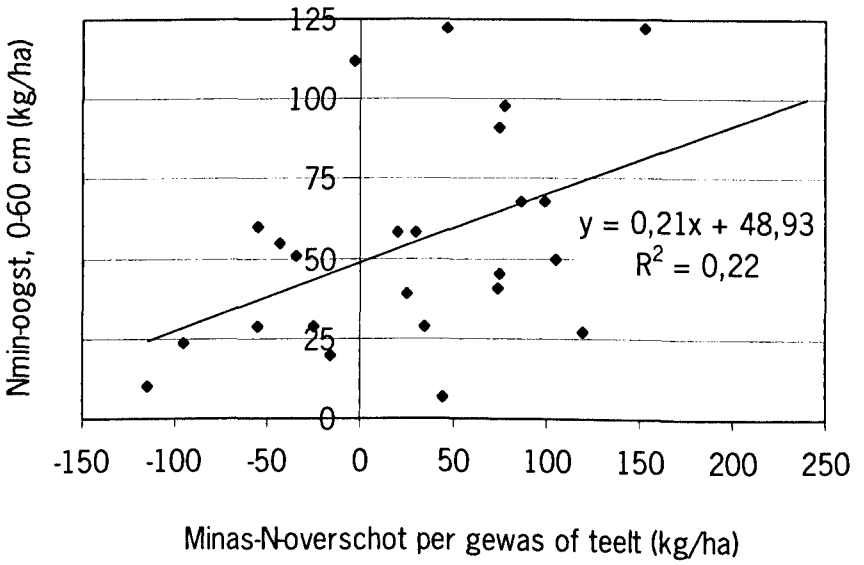
De relatie tussen de geschatte en berekende $N_{min,0}$ is gebruikt voor gewassen waar géén of onvoldoende gegevens over $N_{min,0}$ uit veldonderzoek bekend zijn. Dit is berekend voor 16 gewassen (tabel 3.5). Details over de berekeningen per gewas staan in bijlage III.

Tabel 3.5. Nm,o voor 16 gewassen, berekend m.b.v. de relatie uit figuur 3.7.

Gewas	Datum		Nmin,O
	planten	oogst[1]	kg N/ha 0-100 cm
rodebiet	1-mei	1-september	35
boerenkool	15-juni	15-november	47
bospeen	1-juli	10-oktober	47
andijvie	1-juli	15-september	53
knolvenkel	15-mei	15-juli	43
koolrabi	15-mei	1-augustus	61
radijs	15-april	15-juni	38
rodekool	15-mei	15-november	26
schorseneren	1-mei	15-november	60
koolraap	15-mei	15-november	73
asperges	1-juli	1-dec	45
koolzaad	1-maart	20-juli	62
vlas (vezel)	15-maart	15-juli	43
aardbei (verlaat gekoeld)	1-maart	15-augustus	83
tulp	1-maart	7-juli	63
iris	1-maart	10-augustus	72

[1]Voor gewassen geoogst ná 1 december en bij asperges is 1 december als einddatum aangehouden.

Als de geschatte $N_{min,0}$ wordt uitgezet tegen het Minas-overschot (berekend op gewasniveau), wordt de relatie nóg zwakker (fig. 3.8). Dit vooral het gevolg van de generalisatie door het rekenen met een vaste afvoer van 165 kg N/ha in plaats van een gewasspecifieke afvoer (van der Schoot en van Dijk, 2001, zie ook hoofdstuk 2).



Figuur 3.8. Relatie tussen waargenomen en $N_{min,0}$ en het Minas-overschot (op gewasniveau) voor de gewassen van tabel 3.2 bij bemesting volgens advies.

4. Schatting van minerale bodemstikstof op 1 december

4.1 Berekeningswijze

4.1.1 Keuze N-balans

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is de Nmin-voorraad van de bodem op 1 december (Nmin,1dec) naar verwachting een goede indicator voor het risico van nitraatuitspoeling. Deze parameter is beter beïnvloedbaar door de ondernemer dan de nitraatuitspoeling zelf omdat deze ook wordt bepaald door factoren die niet of nauwelijks beïnvloedbaar zijn (zoals het weer, textuur bodem en ontwatering).

De Nmin,o voorspelt het risico van nitraatuitspoeling waarschijnlijk minder goed dan de Nmin,1dec omdat met name bij vroeg geoogste gewassen de periode waarin de Nmin-voorraad van de bodem nog sterk kan veranderen aanzienlijk is.

Eén december is als toetsmoment genomen, omdat dan, onder gemiddelde omstandigheden, de temperatuur zover is gedaald dat de belangrijkste biologische processen die de Nmin-voorraad beïnvloeden langzaam verlopen. Nmin,1dec wordt berekend met de onderstaande vergelijking:

$$N_{min,1dec} = N_{min\text{-}oogst} + N_{org.mest} - N_{opname\ groenbem.} - N_{vastlegging\ stro} + N_{gewasresten} + N_{mineralisatie,bodem} + N_{depositie} \quad (5)$$

Verliesposten als nitraatuitspoeling en denitrificatie zijn buiten beschouwing gelaten. De berekende Nmin, 1dec overschat daardoor mogelijk de werkelijke Nmin en dient geïnterpreteerd worden als potentiëel uitspoelbare N (het verschil is immers grotendeels het gevolg van reeds uitgespoelde N).

De berekeningen zijn uitgevoerd met de gewassen waarvoor in hoofdstuk 3 de Nmin,o-waarden zijn geschat of berekend. De andere componenten van vergelijking 5 worden hieronder enigszins chronologisch besproken. De hierna besproken berekeningswijze is voor een groot deel ook gerapporteerd en gebruikt voor het project N-management op bedrijfsniveau (Van Dijk, van Enckevort en van der Schoot, 2002) en het project Sturen op Nitraat (Schröder, 2002; Van Enckevort, van der Schoot en van de Berg, 2002).

De berekeningen voor Nmin,1dec zijn uitgevoerd voor de bodemlaag van 0-100 cm, omdat beneden dit bodemsegment de nitraat-N als uitgespoeld wordt beschouwd en vergelijking mogelijk maakt met de normstelling voor het maximaal toelaatbare Nmin-gehalte om beneden de EU-norm van 11,3 mg N/l te blijven (zie 4.2.6). Voor de omrekening is gebruik gemaakt van de relatie die is gevonden aan de hand van een groot aantal aardappelproeven (Wadman et. al, 1989 en Postma & Van Erp, 1998): Nmin-oogst (0-100 cm) = Nmin-oogst (0-60 cm) * 1,4.

4.1.2 Organische mest

Zowel bij voorjaars- als najaarstoediening leidt gebruik van organische mest tot een toename van de hoeveelheid minerale bodem-N tussen de oogst en 1 december. Deze toename hangt af van de omvang van de mestgift en de mestsamenstelling. In tabel 4.1 is voor een aantal veel gebruikte mestsoorten het N-gehalte en de verdeling in verschillende fracties weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de minerale fractie (Nm) en de organische fractie (Norg). De laatste is weer onderverdeeld in 1 jaar mineraliseerbare N (Ne) en een deel dat langzamer vrijkomt (Nr).

Tabel 4.1. N-gehalte (kg/ton) en verdeling over verschillende N-fracties in dierlijke mest[1].

Mestsoort	N-totaal	N-min	Norg	
			Ne	Nr
Vleesvarkensdrijfmest	7,2	4,2	2,0	1,0
Kippendrijfmest	10,2	5,8	2,9	1,5
Runderdrijfmest	4,9	2,6	1,2	1,1
Droge leghennenmest	24,1	2,4	14,5	7,2
Slachtkuikenmest	30,5	5,5	16,7	8,3

[1] Lammers (1984)

Voorjaarstoediening

Bij voorjaarstoediening van organische mest zal een deel van de Ne-fractie een bijdrage leveren aan verandering van de Nmin-voorraad van de bodem tussen de oogst en 1 december. In tabel 4.2 is dit weergegeven voor vleesvarkensdrijfmest voor toediening op 1 maart. Als een gewas bijvoorbeeld wordt geoogst op 1 september zal tot 1 december circa 13% (7+4+2) van de Ne-fractie mineraliseren. Als in het voorjaar 20 ton mest per ha is uitgereden gaat het om 13% van 40 kg Ne (20*2), ofwel 5 kg N/ha.

Najaarstoediening

Met name op kleigronden heeft een ondernemer de voorkeur om dierlijke mest in het najaar uit te rijden. In dit geval levert zowel de Nm- als Ne-fractie een bijdrage aan verandering van de minerale bodem-N tussen oogst en 1 december. Na toediening wordt gerekend dat 10% van de minerale fractie in de mest door vervluchtiging verloren gaat. Voor de bijdrage aan de Nmin door mineralisatie van de Ne-fractie zijn de waarden van tabel 4.2 gehanteerd. Bijvoorbeeld, toediening van 25 ton dunne vleesvarkens mest levert via de minerale fractie 25*4,2= 105 kg N, waarvan 10% vervluchtigt waardoor 95 kg overblijft. Bij toediening op 1 september komt in de periode tot 1 december 42% (23+12+7) van de Ne door mineralisatie vrij, ofwel 21 kg N/ha (25*2*0,42). Totaal neemt de Nmin dus met 116 (95+21) kg N per ha toe.

Tabel 4.2. Mineralisatie van makkelijk afbreekbare organische N (Ne) in organische meststoffen zoals dunne vleesvarkensmest bij verschillende toedieningstijdstippen (naar Lammers, 1984). De waarden zijn percentages van Ne die per maand door mineralisatie vrijkomen.

Toedienings-	Maand waarin de stikstof vrijkomt[1]				
Tijdstip	augustus	september	Oktober	november	december
1 maart	12	7	4	2	1
1 augustus	29	17	9	5	3
1 september		23	12	7	4
1 oktober			15	8	6
1 november				10	6

1. Voor oogst- en toedieningstijdstippen anders dan de 1e van de maand zijn de waarden geïnterpoleerd.

4.1.3 N-opname door groenbemesters

De N-opname door een groenbemester is afhankelijk van het zaaitijdstip en de minerale N-voorraad in de bodem. Gerekend wordt met een gemiddelde N-opname van 1,0 en 2,5 kg N/ha per dag bij een zaaidatum vanaf 1 augustus tot 1 oktober voor een onbemeste resp. bemeste groenbemester. Na 1 oktober zal de N-opname verwaarloosbaar worden als gevolg van de lage temperaturen. Er wordt geen onderscheid gemaakt in soort groenbemester. De inzaai van de groenbemester vindt plaats 5 dagen na oogst van de voorvrucht en in geval van herfsttoediening van mest, ná de toediening ervan. Wanneer bijvoorbeeld bladrammenas wordt ingezaaid op 15 augustus, kan dit gewas tot 1 oktober nog circa 115 kg N/ha (2,5 * 46 dagen) opnemen in de bovengrondse en ondergrondse delen. Uitgegaan wordt dat de groenbemester pas ná 1 december wordt ondergewerkt.

4.1.4 Vastlegging door stro

Wanneer gewasresten met een laag N-gehalte (C/N-coëfficiënt>30) worden ondergewerkt kan dat leiden tot tijdelijke vastlegging van Nmin door micro-organismen. Als maat voor de N-vastlegging wordt uitgegaan van 2,5 kg N per ton stro. Deze hoeveelheid is berekend met het model MINIP (Janssen, 1986). Er is uitgegaan van een N-nawerking van 1,5 kg N per ha per ton stro in het volggewas.

4.1.5 Mineralisatie van gewasresten/groenbemesters

De Nmin-voorraad wordt ook beïnvloed door de gewasresten die op het land achterblijven en groenbemesters die in het voorafgaande najaar of voorjaar zijn ondergewerkt. Het N-gehalte van dit jonge materiaal is m.u.v. graanstro (zie hierboven) in de meeste gevallen dermate hoog (C/N-coëfficiënt<30) dat dit leidt tot N-mineralisatie. De hoeveelheid hangt onder meer af van de hoeveelheid ondergewerkt materiaal, het N-gehalte en het tijdstip van onderwerken.

Gewasresten

De hoeveelheid N die door mineralisatie vrijkomt vanaf de oogst tot 1 december is berekend met behulp van het MINIP-mineralisatiemodel (Janssen, 1996) en op basis van de gemiddelde drogestofopbrengsten van de gewasresten (bovengrondse delen en wortels), hun N-gehalten, hun initiële leeftijd (een maat voor afbreekbaarheid) en het gemiddelde oogst- cq. inwerktijdstip voor de beschouwde gewassen (tabel 4.3). Hierbij wordt uitgegaan van: 40% C in de droge stof; een C/N-verhouding van de betrokken micro organismen van 10, een C-afbraak waarbij 1/3 wordt gebruikt voor de opbouw van de micro-organismenpopulatie en gemiddelde temperaturen in de periode waarin afbraak plaatsvindt.

Groenbemesters

Anders dan bij gewasresten zijn bij groenbemesters drogestofopbrengst en inwerktijdstip veel minder een vast gegeven. Bovendien hangt de bijdrage van de mineralisatie aan de Nmin op 1 december ook af van het oogsttijdstip van het volggewas. De basis van de berekeningen wijkt echter niet af van die van gewasresten. Ter indicatie een voorbeeld van een bemeste, goed geslaagde groenbemester die op 1 maart wordt ondergewerkt en wordt gevolgd door een gewas dat op 1 september wordt geoogst. Bij een N-opname van 100 kg/ha en een N-gehalte van 2,5 % komt tussen 1 september en 1 december 10 kg N/ha vrij.

4.1.6 Mineralisatie van oude organische stof

Al het organisch materiaal dat langer dan één jaar in de bodem aanwezig is wordt hier beschouwd als oude organische stof. De stikstof in oude organische stof komt langzamer vrij omdat de afbraaksnelheid hiervan veel lager is dan van vers organisch materiaal. In de meeste gronden komt tussen de 50 en 150 kg N/ha per jaar vrij door mineralisatie van oude organische stof. In deze studie wordt uitgegaan van een mineralisatie van 100 kg N/ha per jaar welke als volgt is afgeleid. Een grond met 2% organische stof en een dichtheid van 1,4 kg/dm^3 in de bovenste 30 cm komt overeen met 84.000 kg organische stof per ha. Bij een N-gehalte van 4% (C/N=14 bij C-gehalte organische stof van 58%) is dat 3360 kg N/ha. Bij een jaarlijkse afbraak van 3% komt dat overeen met circa 100 kg N/ha dat jaarlijks mineraliseert. Als daar de temperatuursafhankelijkheid bij wordt betrokken levert dat een mineralisatie per dag van resp. 0,52, 0,40, 0,25 en 0,15 kg N/ha in de maanden augustus, september, oktober en november.

4.1.7 Depositie

De hoeveelheid N die via depositie tussen de oogst en 1 december op het land neerkomt draagt bij aan toename van de Nmin. Deze hoeveelheid is berekend door de jaardepositie (tabel 4.4) om te rekenen per dag en vervolgens te vermenigvuldigen met het aantal dagen tussen oogst en 1 december.

4.1.8 Andere factoren

Andere factoren zoals grondbewerking kunnen ook een invloed hebben op de Nmin-vooraad in het najaar. Het effect van dergelijke factoren evenals de gevolgen van fluctuaties in temperatuur en neerslag tussen de jaren zijn moeilijk te voorspellen en in deze studie buiten beschouwing gelaten. Bovengenoemde berekeningen gaan derhalve uit van een gemiddelde situatie.

Tabel 4.3. Drogestofopbrengst, N-totaal, C/N-verhouding, initiële leeftijd van de oogstresten van diverse gewassen en de hoeveelheid N die vanaf de oogst tot 1 december hieruit vrijkomt.

Gewas	Oogst-datum	Oogstresten (kg/ha)			
		organische stof[1]	initiele leeftijd	C/N-quotiënt	N-mineralisatie/. N-vastlegging[2]
aardbei-verlaat, gekoeld	15-aug	2500	1,26	30	6
andijvie-herfst	15-sep	1125	1,00	10	21
asperges	1-dec	5000	1,25	31	0
bloemkool-zomer	15-aug	4800	1,10	18	45
boerenkool	15-okt	3750	1,10	15	20
bospeen-herfst	10-okt	500	1,00	20	2
broccoli-zomer	1-aug	4000	1,20	12	71
broccoli-herfst	1-sep	4000	1,20	12	36
chinesekool-herfst	15-sep	2000	1,00	10	37
chinesekool-zomer	25-jul	2000	1,00	10	55
cons.aardappelen-klei/löss	1-okt	3400	1,05	25	8
cons.aardappelenklei-vroeg	15-aug	3400	1,05	23	22
cons.aardappelen-zand	20-sep	3400	1,05	25	10
conserve erwt-voorjaar	1-jul	4300	1,08	15	73
Engels raaigras-graszaad	1-aug	4000	1,13	45	0
ijssla-herfst	25-sep	2250	1,00	13	25
ijssla-voorjaar	15-jun	2250	1,00	13	52
ijssla-zomer	1-aug	2250	1,00	13	43
iris	10-aug	1350	1,26	25	6
knolselderij	15-nov	2000	1,00	18	2
knolvenkel	15-jul	1875	1,00	9	61
koolraap	15-nov	2200	1,10	20	2
koolrabi	1-aug	3000	1,10	40	3
koolzaad	20-jul	3000	1,32	20	23
kropsla-herfst	5-sep	1125	1,00	13	14
pootaardappelen	20-aug	3400	1,05	23	21
prei-late herfst	1-dec	2250	1,00	13	0
prei-vroege herfst	1-okt	2250	1,00	13	23
prei-vroege winter	15-feb-02	2250	1,00	13	0
radijs	15-jul	155	1,00	14	3
rodebiet	1-sep	2800	1,10	14	34
rodekool	15-nov	7188	1,10	18	8
schorseneren	15-nov	2400	1,13	25	1
snijmaïs	15-sep	1000	1,35	22	3
spinazie-herfst	1-sep	1500	1,00	8	34
spruitkool-midden	1-dec	6600	1,26	18	0
spruitkool-vroeg	1-okt	6600	1,26	18	27
spruitkool-zeer vroeg	25-aug	6600	1,26	18	47
stamslaboon-zomer	1-okt	2800	1,08	15	20
suikerbieten	25-okt	6000	1,02	23	10
tulp	7-jul	1700	1,26	25	10
veldboon	15-sep	1200	1,13	20	3
vlas (vezel)	15-jul	300	1,35	25	1
waspeen	15-sep	1500	1,26	28	2
wintergerst	25-jul	5000	1,29	75	0 (-8)
winterpeen	1-nov	2300	1,26	28	1
winterrogge	1-aug	4800	1,29	75	0 (-8)
wintertarwe	15-aug	5200	1,29	75	0 (-10)

Gewas	Oogst-datum	Oogstresten (kg/ha)			
		organische stof[1]	initiele leeftijd	C/N-quotiënt	N-mineralisatie/. N-vastlegging[2]
witlofwortel	1-nov	2400	1,13	30	0
wittekool	10-nov	5750	1,10	18	8
zaaiui	1-sep	1050	1,24	25	3
zetm.aardappelenzand-laat	15-okt	3400	1,05	25	6
zetm.aardappelenzand-vroeg	20-sep	3400	1,05	25	10
zomergerst	10-aug	4200	1,29	75	0 (-6)

1. Droge stof boven- en ondergrondse gewasresten
2. Getallen tussen haakjes betreft de N- vastlegging bij achterlaten van het stro

Tabel 4.4. Gemiddelde N-depositie per regio (kg N/ha/jaar) (Bron: RIVM).

Regio	N-depositie	Gemiddelde van
Noordelijke zeeklei (NZK)	26	Noordelijk kleigebied
Centrale zeeklei (CZK) en Noord-Holland (NH)	29	Flevoland en Noord-Holland
Zuidwestelijke zeeklei (ZWK)	26	Zuidwestelijk kleigebied
Noordoost Nederland (NON)	30	Veenkolonien + Noordelijk zandgebied
Zuidoost Nederland (ZON)	44	Zuidelijk zandgebied
Löss	30	Zuid-limburg

4.2 Resultaten

4.2.1 Bij bemesting met uitsluitend kunstmest volgens advies

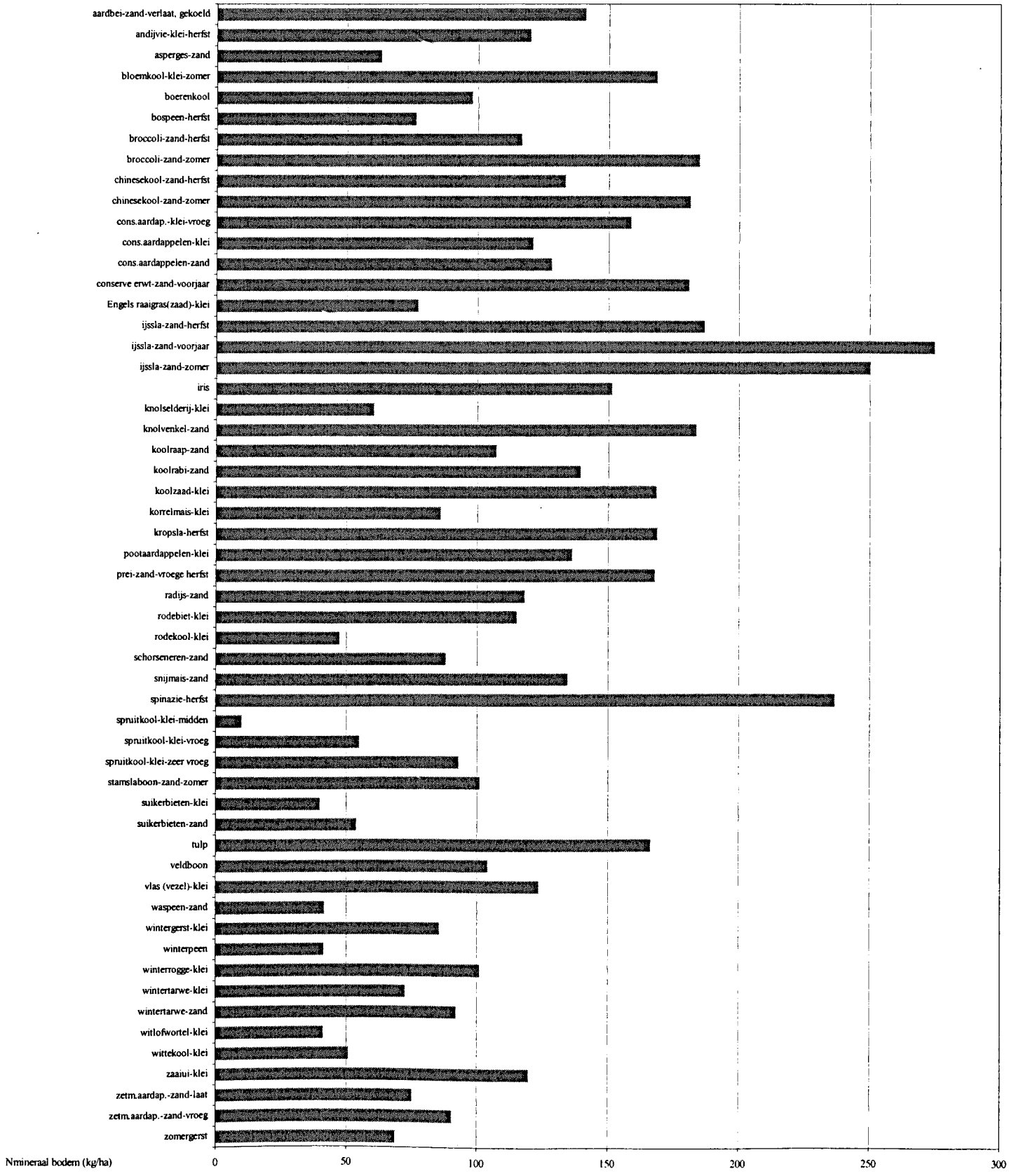
Figuur 4.1 geeft een overzicht van de berekende Nmin-1dec voor de beschouwde gewas-grond-teelt-combinaties. Details over de bijdrage van de verschillende aanvoerposten staan in bijlage IV. De onderlinge verschillen in Nmin,1dec zijn zeer groot.

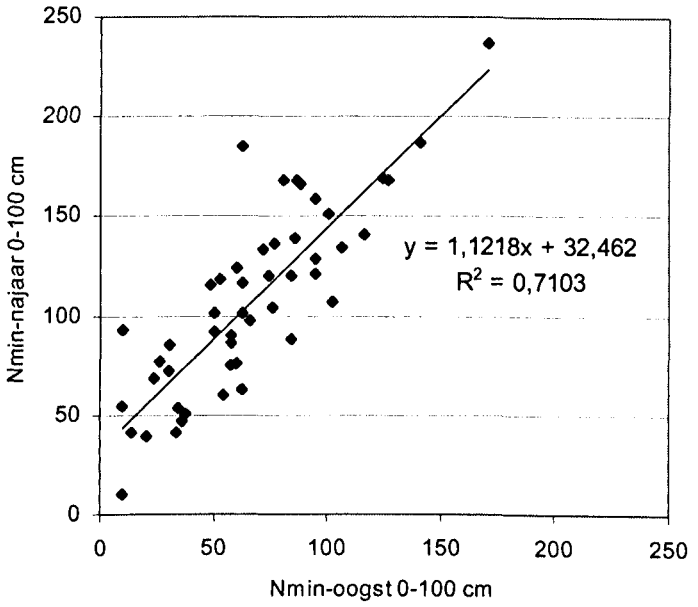
De hoogste Nmin,1dec-waarden (>250 kg N/ha) worden verwacht na vroeg geoogste bladgewassen (zoals ijssla). Dit komt niet alleen door de grote hoeveelheid Nmin die dergelijke gewassen bij de oogst achterlaten, maar door de lange periode tussen oogst en 1 december waarbij nog veel stikstof uit de gemakkelijk afbreekbare gewasresten vrijkomt. Gelukkig komen dergelijke situaties weinig voor omdat normaliter nog een tweede teelt wordt ingezet die een groot deel van de vrijkomende stikstof opneemt en voor uitspoeling zal behoeden. Echter ook bij een herfstteelt van ijssla is de Nmin,1dec nog aanzienlijk.

Tot de gewassen met de laagste Nmin-1dec (<60 kg N/ha) behoren de late teelten van spruitkool, suikerbieten, witte- en rodekool, was- en winterpeen en witlofwortel. Dit zijn gewassen die bij de oogst weinig Nmin achterlaten en waarbij door het late oogsttijdstip weinig stikstof uit de oogstresten meer mineraliseert.

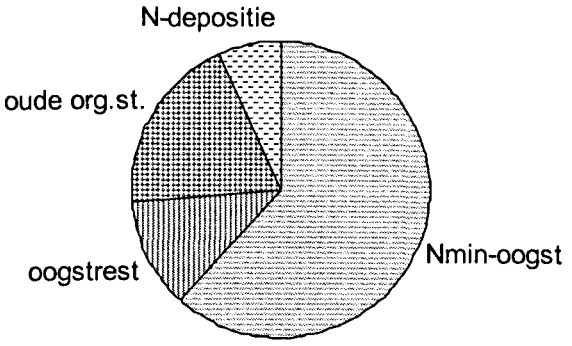
De relatie tussen Nmin,o en Nmin,dec (figuur 4.2) is duidelijk zolang men de vroege korte teelten (van o.a. bladgewassen) weglaat, waar normaliter nog een teelt op volgt. Dit verband is voornamelijk het gevolg van de grote bijdrage van Nmin,o aan Nmin,dec (figuur 4.3). De ruis in deze relatie is grotendeels toe te schrijven aan de verschillen tussen gewassen in oogsttijdstip en hoeveelheid stikstof in oogstresten.

Figuur 4.1. Overzicht van de berekende Nmin-1december per gewas-teelt-grondtype combinatie.





Figuur 4.2. Relatie tussen Nmin-1dec. en Nmin-oogst voor de teelten en omstandigheden zoals aangegeven in figuur 1, met uitzondering van vroeg geoogste korte teelten waar normaliter nog een teelt op volgt.

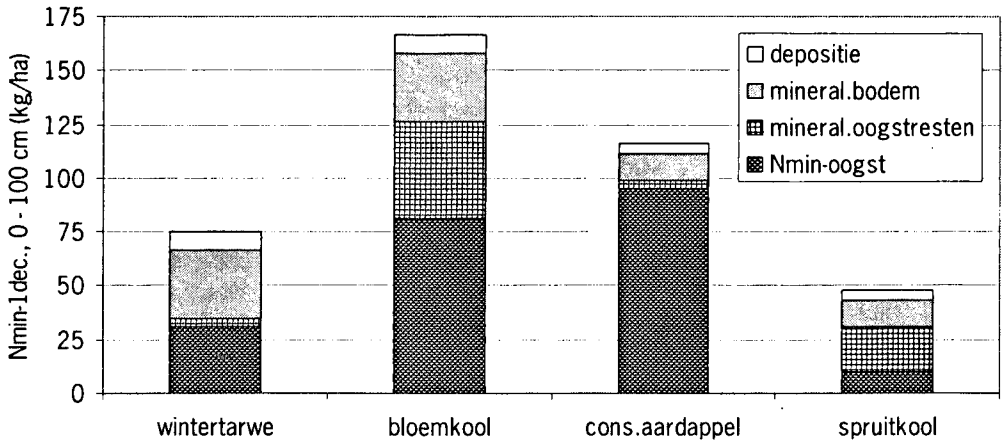


Figuur 4.3. Gemiddelde aandeel van de verschillende aanvoerposten voor Nmin,dec voor de beschouwde teelten zoals aangegeven in figuur 4.2.

Naarmate een gewas vroeger wordt geoogst en naarmate er meer stikstof in de oogstresten achterblijft, neemt de bijdrage van N-depositie en mineralisatie uit oogstresten en bodem organische stof toe. Dit wordt duidelijk bij vergelijking van vroege en late teelten van gewassen als ijssla, spruitkool, broccoli, Chinese kool en zetmeelaardappelen (figuur 4.1). De Nmin,dec van spruitkool geoogst op 1 december is geschat op circa 10 kg N/ha terwijl deze waarde na een zeer vroege teelt, met een oogst op 25 augustus, naar verwachting circa 90 kg N/ha zal bedragen. De toename van 80 kg is voor meer dan de helft afkomstig van de stikstof die door mineralisatie uit de oogstresten vrijkomt.

Figuur 4.4 illustreert nogmaals aan de hand van vier gewassen de verschillende aanvoerposten die de Nmin-1dec bepalen. De Nmin-1dec wordt behalve door de Nmin-oogst, hoofdzakelijk bepaald door de combinatie van oogsttijdstip en de N-hoeveelheid in gewasresten. Ondanks dat bloemkool en spruitkool vergelijkbare N-hoeveelheden in oogstresten achterlaten, zal in het eerste geval door de vroege oogst veel stikstof

mineraliseren. Mineralisatie van de reeds aanwezige (oude) organische stof in de bodem kan bij vroege oogsten ook een belangrijke bijdrage leveren.



Figuur 4.4. Bijdrage van de aanvoerposten die de Nmin-1 dec. (0-100 cm) bepalen voor vier gewassen op klei die zich onderscheiden naar Nmin-oogst, hoeveelheid N in oogstresten en oogsttijdstip (15 augustus voor wintertarwe en zomerbloemkool, 1 oktober voor consumptieaardappel en vroege spruitkool).

Berekend is dat de Nmin,dec na zwarte braak (dwz. zonder gewas en onkruidontwikkeling) bij dezelfde bodem en klimaatomstandigheden circa 150 kg N/ha zal bedragen. Dit betekent dat zwarte braak een hoger risico van nitraatuitspoeling veroorzaakt dan 40 van de 50 beschouwde gewas-bodem-teelt combinaties in figuur 4.1. Bij een mineralisatieniveau van 50 hoger of lager dan de gestelde 100 kg N/ha*j, neemt de Nmin,1dec met circa 45 kg N toe of af omdat het grootste deel van de bodem organische stof mineraliseert tussen 1 maart en 1 december.

4.2.2 Effect van dierlijke mestgiften

Een andere aanvoerpost is dierlijke mest. Het effect van gebruik van dierlijke mest op de Nmin,1dec is berekend voor enkele gewassen waar het vaak wordt toegepast (tabel 4.5). Deze studie beperkt zich tot het gebruik van dunne mest van vleesvarkens met een gemiddelde samenstelling (Anon, 1999, tabel 4.1).

Het effect van dierlijke mest op de Nmin,1dec is vrij klein zolang het in het voorjaar wordt toegepast en het gewas pas na 1 september wordt geoogst. Bij najaarstoediening kan het effect van niet te hoge mestgiften grotendeels door een groenbemester worden ondervangen. Voorwaarde is dat de groenbemester op tijd (vóór 1 september) is ingezaaid.

Wanneer dierlijke mest in combinatie met een groenbemester is ingezet in het najaar vóór de teelt van consumptieaardappelen is de bijdrage hiervan aan Nmin,1dec circa 6 kg N/ha. Dit is berekend uit de mineralisatie van de organische fractie van de mest en groenbemester in de periode tussen de oogst van de aardappelen en 1 december.

Tabel 4.5. Effect van gebruik van dierlijke mest en groenbemester op Nmin,1dec.

Teelt	mestdosering (ton/ha)	toedienings-tijdstip	inzet groen-bemesters	bijdrage mest (en groenbem)	Nmin,1dec # (kg N/ha)
consumptie aardappel –zand	30	1-mrt	nee	5	133
zetmeelaard. vroeg – zand	30	1-mrt	nee	5	96
snijmaïs –zand	30	1-mrt	nee	6	141
dubbelteelt ijssla – zand	20	1-mrt	nee	3	197
suikerbieten –zand	20	1-mrt	nee	1	55
suikerbieten – klei	20	1-mrt	nee	1	41
na wintertarwe – klei	25	1-sept	nee	118	191
na wintertarwe – klei	25	1-sept	ja	118 (-100)	91
effect op cons.aardappel –klei*	25	1-sept	ja	2 (+4)	127

*Effect van mest en groenbemester (bladrammenas ondergewerkt op 15 december) ingezet na wintertarwe op Nmin,1dec na oogst van consumptieaardappelen het jaar daarop.
#Inclusief bijdrage dierlijke mest en groenbemester.

4.2.3 Effect van de voorvrucht

Bij korte teelten waarbij binnen één groeiseizoen een vroege teelt wordt gevolgd door een tweede teelt (zoals bijvoorbeeld bij ijssla, chinese kool en spinazie het geval kan zijn) kunnen oogstresten van de eerste teelt door mineralisatie na de oogst van de tweede teelt een bijdrage leveren aan Nmin,1dec. De omvang van deze bijdrage is geïllustreerd in tabel 4.6. Het belang van de voorvrucht neemt toe naarmate deze meer makkelijk afbreekbare organische stikstof in gewasresten achterlaat en de oogstdatum van de tweede teelt op een vroege tijdstip plaatsvindt. In de gegeven rekenvoorbeelden varieert dit effect van 7 kg N/ha bij dubbelteelten van ijssla tot 23 kg N/ha bij conserve erwt gevolgd door spinazie.

Het effect van een voorvrucht geteeld in het voorgaande jaar is vrij klein. In het geval van suikerbiet vóór aardappelen is een waarde van 6 kg N/ha berekend. Vergelijkbare effecten kunnen verwacht worden van andere voorvruchten die veel stikstof in de oogstresten achterlaten. In 4.2.2 is berekend dat het effect van een groenbemester circa 4 kg N/ha bedraagt.

Tabel 4.6. Effect van mineralisatie gewasresten van voorvrucht op Nmin,1dec.

teelt	oogstdatum		mineralisatie oogstrest vanaf oogst 2e teelt tot 1 december		Nmin,1dec (kg N/ha)#
	1e teelt	2e teelt	1e gewas	2e gewas	
ijssla voorjaar + herfst	15 juni	25 sept	7	25	194
chinese kool zomer + herfst	25 juli	15 sept	16	37	149
Conserve erwt gevolgd door stamslaboon	1juli	1 okt	11	20	112
Conserve erwt gevolgd door spinazie	1juli	1 sept	23	34	260
suikerbiet gevolgd door cons.aardappel*	25 okt 00	20 sept 01	6	10	134

*op zand. #Inclusief bijdrage voorvrucht.

4.2.4 Effecten van afwijkende omstandigheden

Omdat voorgaande berekeningen zijn gebaseerd op aannames m.b.t. gemiddelde omstandigheden, terwijl deze vaker uitzondering zijn dan regel, zijn in deze paragraaf de consequenties doorgerekend van variaties in vier factoren die de Nmin,1dec beïnvloeden. Deze zijn:

1. Het mineralisatieniveau van de (oude) organische stof van de bodem;
2. N-depositie;
3. Bodemtemperatuur
4. Achterlaten en evt onderwerken van het gehele gewas op het land
5. Zomerneerslag
6. Achterlaten en onderwerken stroresten na teelt van granen
7. Verschillen in bemestingsniveai

Variatie in mineralisatieniveau van organische stof in de bodem
Figuur 4.3 illustreerde de gemiddelde bijdrage door mineralisatie van (oude) organische stof van de bodem als deze 100 kg N/ha*jaar zou zijn. Deze hoeveelheid kan echter variëren van 50 tot 200 kg N/ha, afhankelijk van grondsoort en bemestingsgeschiedenis. Tabel 4.7 geeft het effect van deze variatie op de gemiddelde bijdrage aan Nmin,1dec en op de relatie met Nmin,o.

Tabel 4.7. Effect van verschillen in niveau van mineralisatie oude organische stof bodem op Nmin,dec.

mineralisatie bodem (kg N/ha*j)	bijdrage mineral. bodem org.stof aan Nmin,dec (%)	Relatie met Nmin,o (uitgedrukt als Nmin,dec = A*$_{Nmin,o}$ + B)		
		A	B	R^2
50	13	1,10	26	0,77
100	20	1,12	32	0,71
150	25	1,14	39	0,64
200	30	1,15	46	0,56

Bij een toenemend mineralisatieniveau van de bodem neemt de gemiddelde bijdrage van de bodem organische stof aan de Nmin,1dec beduidend toe en wordt de relatie met Nmin,o zwakker. De gevoeligheid voor het mineralisatieniveau wordt bepaald door het oogsttijdstip van een gewas. Bij wintertarwe geoogst op 15 augustus op 2 kleigronden met een mineralisatieniveau van 75 en 150 kg N/ha*j, leidt dit tot een Nmin,1dec van resp. 67 en 84 kg N/ha. Bij een oogst op 1 december is dit effect uiteraard afwezig.

Variatie in N-depositie
N-depositie is sterk afhankelijk van de locatie als gevolg van verschillen in veedichtheid. De waarden in tabel 4.4 zijn gemiddelden per regio, terwijl de verschillen per locatie veel groter kunnen zijn. In 4.2.1 is gerekend met een gemiddelde N-depositie van 35 kg N/ha*j. Tabel 4.8 geeft de bijdrage van N-depositie aan Nmin,1dec bij afwijkende waarden en hoe dit de relatie met Nmin,o beïnvloedt.

De variatie in N-depositie heeft een veel kleiner effect op de Nmin,1dec en op de relatie met Nmin,o dat die van het mineralisatieniveau van de bodem. De bijdrage van N-depositie op de Nmin,1dec is dan ook klein. Voor de bovengenoemde wintertarwe op klei (met een mineralisatieniveau van 100 kg N/ha*j) leidt een afname van N-depositie van 35 naar 20 kg N/ha*j tot een daling in Nmin,1dec van 73 naar 68 kg N/ha.

Tabel 4.8. Effect van verschillen in N-depositie op Nmin,dec.

N-depositie (kg N/ha*j)	bijdrage N-depositie aan Nmin,dec (%)	Relatie met Nmin,o (uitgedrukt als Nmin,dec = A*$N_{min,o}$ + B)		
		A	B	R^2
20	4	1,11	30	0,73
35	7	1,12	32	0,71
50	9	1,13	35	0,69

Variatie in temperatuur
Het mineralisatieproces is temperatuurafhankelijk waardoor verschillen in temperatuur na oogst leidt tot verschillen in Nmin,1dec door mineralisatie van bodem organische stof en gewasresten. Om het effect hiervan in kaart te krijgen is de Nmin,1dec berekend voor vier gewassen en met temperaturen die in 1991-2000 in de Bilt zijn gemeten. De gemiddelde temperatuursom in 1991-2000 van 1 september tot 1 december verschilt weinig van het langjarig gemiddelde in Nederland en de gemiddelde afwijking van de temperatuursom tussen de jaren is 8%. De bodemtemperatuur in de bouwvoor is geschat als het gemiddelde van twee etmalen.

De resultaten staan in tabel 4.9. De verschillen tussen de laagste en hoogste Nmin,1dec-waarden komen niet boven de 15 kg N/ha uit. Deze verschillen zijn klein in vergelijking met de verschillen tussen gewassen en teelten. De variatie in Nmin,1dec als gevolg van temperatuurverschillen tussen de jaren zal kleiner zijn naarmate een gewas later wordt geoogst, minder gemakkelijk afbreekbare organisch gebonden stikstof in de oogstresten achterlaat en geteeld wordt op een bodem met een lager mineralisatieniveau.

Tabel 4.9. Effect van variatie in temperatuur na oogst tussen de jaren op Nmin,1dec. Berekend op basis van temperatuurmetingen de Bilt (bron: KNMI van het internet) van 1991 – 2000.

gewas	oogstdatum	Nmin,1dec (kg N/ha)				aandeel minerali-satie in Nmin,1dec
		gemid.	gemid. afw.	laagst	hoogst	
consumptie aard.- klei	1-okt	121	2,4	116	124	20
suikerbiet – zand	25-okt	54	3,2	47	61	16
ijssla – herfst	25-sep	187	3,2	179	192	39
spinazie – herfst	1-sep	237	3,5	228	243	59

Op het land achterlaten van gewassen

Het is niet ongebruikelijk dat gewassen als ijssla en spinazie door tegenvallende kwaliteit en prijzen niet worden geoogst en uiteindelijk worden ondergewerkt. In tabel 4.10 staan berekeningen van Nmin,1dec voor drie situaties: een dubbelteelt van ijssla waarbij de eerste of tweede teelt niet is geoogst, en spinazie die niet is geoogst en is geteeld ná conserve erwt.

Voor de eerste ijsslateelt is de onderwerkdatum gelijk gesteld aan de oogstdatum om ruimte te maken voor de volgteelt. Als men voor de bemesting van de tweede ijsslateelt rekening houdt met de extra vrijkomende stikstof van het eerste gewas (circa 32 kg N/ha) zal de Nmin,1dec slechts circa 5 kg N/ha toenemen.

Voor de herfstteelten is een onderwerkdatum gekozen op 1 maand na de oogst, i.v.m. ziektedruk. Door verlenging van de groeiperiode en bijbehorende N-opname, zal de Nmin,o wat lager uitvallen dan in hoofdstuk 3 is aangegeven. Belangrijker is dat hierdoor de periode tot 1 december korter wordt, zodat de tijdsduur afneemt voor mineralisatie uit oogstresten van de eerste teelt en het gewas van de tweede teelt. Daar staat tegenover dat de N-voorraad van het gewas op het tijdstip van onderwerken wat hoger zal zijn dan normaliter bij de oogst. Ook zal door het onderwerken van het gehele gewas veel meer makkelijk afbreekbare organische stof aan de bodem wordt toegevoegd. Uit de berekeningen volgt dat door het verlaat onderwerken van ijssla en spinazie, de Nmin,1dec eerder afneemt dan toeneemt. Het effect van de organische stikstof die door het onderwerken van het gehele gewas aan de grond is toegevoegd wordt ruimschoots gecompenseerd door het langer door laten groeien van het gewas.

Als de herfstteelten ijssla en spinazie op dezelfde datum als de normale oogst (gesteld op resp. 25 en 1 september) worden ondergewerkt, is berekend dat de Nmin,1dec met resp. 18 en 35 kg N/ha toeneemt.

Tabel 4.10. Effect van niet oogsten en vervolgens onderwerken van gewasresten op Nmin,1dec (kg N/ha).

teelt	oogst(onderwerkdatum)		Nmin,1dec	effect	Nmin,1dec
	1e teelt	2e teelt	geslaagd	maatregel*	mislukt
ijssla voorjaar mislukt + herfst	(15 juni)	25 sept	194	5	199
ijssla voorjaar + herfst mislukt	15 juni	(25 okt)	194	-4	190
Conserve erwt gevolgd door spinazie mislukt	1juli	(1 okt)	260	-5	255

*Voor de berekening bijdrage mineralisatie oogstproduct is uitgegaan van een initiele leeftijd en hoeveelheid N en C (kg/ha) voor de ijssla van 1,0, 55 en 715, en voor de spinazie van 1,0, 70, 560.

Zomerneerslag

In par. 3.3.13 is een negatief effect gevonden van de hoeveelheid zomerneerslag (tussen poot- en oogstdatum) op de Nmin,o bij aardappelen en snijmaïs. Dit zal zich naar verwachting vertalen naar een vergelijkbaar effect op de Nmin,1dec.

Over- en onderbemesting

Met de in par. 3.3 gevonden relaties tussen werkzame N-gift en Nmin,o zijn schattingen gemaakt bij bemesting volgens advies. In de praktijk komt het nog vaak voor dat de adviesgiften ruimschoots worden overschreden. Dit leidt tot hogere Nmin,o-waarden en vervolgens grotere hoeveelheden Nmin op 1december. In tabel 4.11 is het effect het bemestingsniveau berekend op de Nmin,1dec voor enkele gewassen bij bemesting volgens advies en bij een bemesting van 25% boven en onder het advies. Hierbij is geen rekening gehouden met het effect van het N-aanbod op de hoeveelheid stikstof in oogstresten.

De effecten van het bemestingsniveau op de Nmin,1dec zijn het grootst bij de herfstteelt van ijsbergsla, gevolgd door consumptieaardappel en broccoli. Een vergelijkbaar effect mag verwacht worden bij de meeste korte groenteteelten waarbij het gewas in volle groei wordt geoogst.

Bij wintertarwe en suikerbieten heeft het bemestingsniveau (zolang geen extreem grote hoeveelheden worden gegeven) géén belangrijk effect op de Nmin, 1dec. Gewassen als granen, suikerbieten en sluitkolen zijn ook bij hoge giften goed in staat om alle beschikbare Nmin op te nemen en zullen een Nmin,1dec hebben die vrij constant blijft bij wisselende N-giften.

Tabel 4.11. Effect van bemestingsniveau op de Nmin,1dec. voor enkele gewassen.

Gewas	N-gift volgens advies (kg N/ha)	Nmin,1dec (kg N/ha 0-100 cm) bij		
		advies	advies + 25%	advies - 25%
cons.aardappelen	245	121	145	102
suikerbieten – zand	140	54	56	52
wintertarwe – zand	200	92	92	92
ijsbergsla – herfst – zand	75	187	215	159
broccoli – herfst	230	117	128	106

Achterlaten stroresten
Vaak worden na de teelt van granen de stroresten afgevoerd en verkocht. Wanneer men deze stroresten op het land achterlaat en onderwerkt, wordt vanwege het lage N-gehalte van het stro, tijdelijk Nmin vastgelegd voor de ontwikkeling van de micro-organisme populatie die betrokken is bij de afbraak. Met behulp van het MINIP-mineralisatiemodel is berekend dat deze vastlegging circa 2 en 2,5 kg N per ton stro bedraagt. Dit is beduidend lager dan de vaak gehanteerde vuistregel van 7 kg N per ton stro. Voor de granen betekent dit dat door het achterlaten en onderwerken van stroresten, afhankelijk van het graansoort en winter- of zomergraan, tussen de 6 en 10 kg N/ha wordt vastgelegd en door deze maatregel op de Nmin,1dec in mindering kan worden gebracht (zie tabel 4.4 en par. 4.1.4).

Andere factoren
Uitspoeling en denitrificatie in de periode tussen oogst en 1 december bepalen mede de hoeveelheid Nmin,1dec. Zoals in par. 4.1.1 aangegeven, is het weglaten van beide verliesposten op de balans voor berekening van de Nmin,1dec geen bezwaar zolang de Nmin,1dec wordt geïnterpreteerd als indicator voor het risico van nitraatuitspoeling.

4.2.5 Groepering van gewassen

In tabel 4.12 zijn de beschouwde gewassen gegroepeerd naar verwachte Nmin,dec. Dit is gebaseerd op berekeningen onder gemiddelde omstandigheden en bij bemesting met kunstmest volgens advies (zie 4.1). In deze tabel zijn alleen combinaties van gewas, teeltperiode en bodemtype opgenomen omdat dit de belangrijkste factoren zijn die de Nmin,1dec bepalen. Uit voorgaande paragrafen is gebleken dat andere factoren (exclusief de inzet van dierlijke mest en groenbemesters in het najaar) doorgaans van ondergeschikt belang zijn en deze indeling weinig beïnvloeden.

- De laagste categorie bevat gewassen die vaak weinig Nmin bij de oogst achterlaten en vrij laat worden geoogst. De grote hoeveelheden organische stikstof die de koolgewassen en suikerbieten achterlaten, komen bij een late oogst niet of weinig meer als Nmin vrij.
- Tot deze middencategorie behoren de meeste gewassen. Hierin zitten granen die weinig bij de oogst achter laten maar waarbij de Nmin, 1dec toch oploopt door het vroege oogsttijdstip. Daarnaast zit in deze categorie een grote variatie aan gewassen die relatief weinig Nmin bij de oogst achterlaten of door hun late oogst weinig ruimte laten voor mineralisatie.
- In de categorie met een groot risico van nitraatuitspoeling behoren diverse aardappelteelten, snijmaïs op zand en enkele groentegewassen die veel Nmin bij de oogst achterlaten en waarna nog veel mineralisatie kan plaatsvinden.
- In deze categorie zijn drie gewassen ingedeeld die zeer veel Nmin bij de oogst achterlaten en waarbij bovendien zeer veel Nmin vrijkomt door mineralisatie van gewasresten.

De korte vroege teelten (bv. bospeen, ijs- en kropsla, andijvie, spinazie, broccoli en chinese kool) zijn buiten

de groepering gelaten omdat ze doorgaans in hetzelfde jaar worden gevolgd door een tweede teelt.

Tabel 4.12. Indeling van gewassen naar de hoeveelheid $N_{min,dec}$ die in de bodemlaag van 0-100 cm achterblijft bij bemesting volgens advies. Per categorie staan de gewassen-teelt-grondcombinaties met de laagst geschatte waarden bovenaan.

categorie van $N_{min,dec}$ (kg N/ha)			
< 60 (laag)	**60 – 120 (middelmatig)**	**120 – 180 (hoog)**	**> 180 (zeer hoog)**
- spruitkool-klei-midden	- asperges-zand	- cons.aardappelen-klei	- broccoli-zand-zomer
- suikerbieten-klei	- zomergerst	- vlas (vezel)-klei	- ijssla-zand-herfst
- witlofwortel-klei	- wintertarwe-klei	- cons.aardappelen-zand	- spinazie-herfst
- winterpeen	- zetm.aardap.-zand-laat	- chinesekool-zand-herfst	
- waspeen-zand	- bospeen-herfst	- snijmaïs-zand	
- rodekool-klei	- Engels raaigras(zaad)-klei	- pootaardappelen-klei	
- wittekool-klei	- wintergerst-klei	- koolrabi-zand	
- suikerbieten-zand	- korrelmaïs-klei	- aardbei-zand-verlaat, gekoeld	
- spruitkool-klei-vroeg	- schorseneren-zand	- iris	
- knolselderij-klei	- zetm.aardap.-zand-vroeg	- cons.aardap.-klei-vroeg	
	- wintertarwe-zand	- tulp	
	- spruitkool-klei-zeer vroeg	- prei-zand-vroege herfst	
	- boerenkool	- bloemkool-klei-zomer	
	- winterrogge-klei	- koolzaad-klei	
	- stamslaboon-zand-zomer	- kropsla-herfst	
	- veldboon		
	- koolraap-zand		
	- rodebiet-klei		
	- broccoli-zand-herfst		
	- radijs-zand		
	- zaaiui-klei		
	- andijvie-klei-herfst		

4.2.6 Toetsing aan stikstofnormen

Voor de Minas-regelgeving geldt, bij hantering van de thans voorgestelde eindnormen, dat maximaal 225 en 265 kg N/ha op bedrijfsniveau mag worden aangevoerd. Figuur 2.1 (hoofdstuk 2) laat zien welke gewassen het risico van norm-overschrijding vergroten dan wel verkleinen. Op bedrijfsniveau wordt de kans op overschrijding vooral bepaald door het bouwplan en het bemestingsniveau. In het project N-management op bedrijfsniveau is hierop uitgebreid ingegaan (van Dijk, van Enckevort en van der Schoot, 2002).

Voor de Nmin,1dec en Nmin,o bestaan thans geen formele normen (i.t.t. België). In deze studie wordt een kritische niveau voor Nmin,1dec van 44 en 88 kg N/ha (in de laag van 0-100 cm) gehanteerd voor resp. droge zandgronden en andere grondsoorten, om beneden de EU-norm voor nitraat te blijven (voor uitleg zie tabel 4.13)

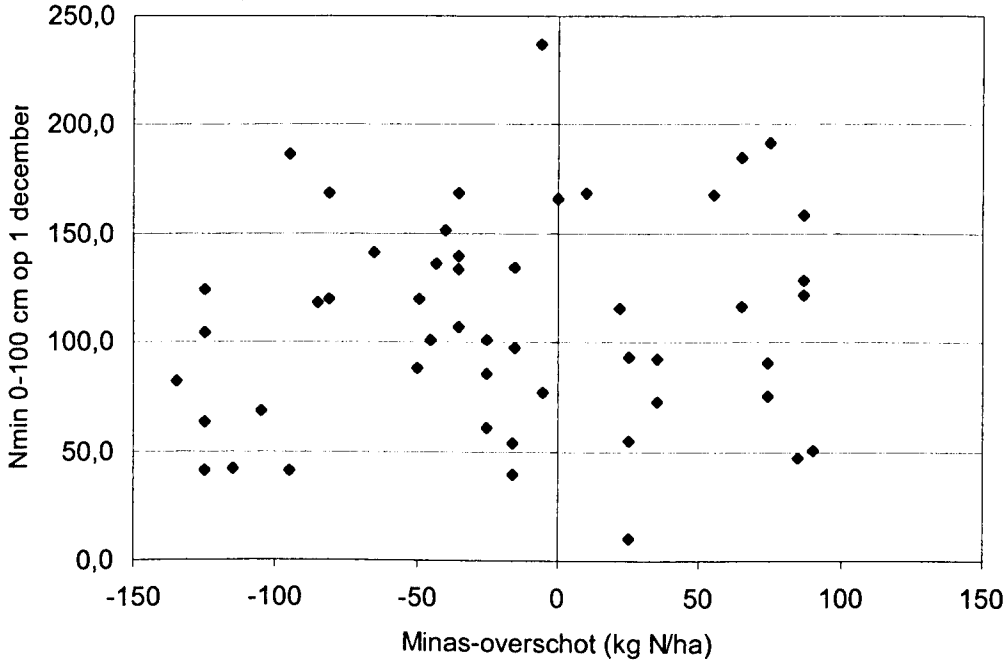
Wanneer de berekende Nmin,1dec wordt getoetst aan deze normen (figuur 4.1), blijkt het aantal gewassen en teelten die leiden tot een overschrijding, groot te zijn. Het zal waarschijnlijk makkelijker zijn om aan de Minas-eindnormen te voldoen dat aan de normen voor Nmin,1dec. Dit geldt zowel voor de droge zandgronden als de overige grondsoorten.

Tabel 4.13. Inschatting van de maximale Nmin-bodemvoorraad (0-100 cm) aan het begin van het uitspoelingsseizoen op basis van de EU-norm en het neerslagoverschot.

Uitgangspunt	Waarde	Eenheid
a) EU-norm voor nitraat-N	11,3	mg N/liter
b) Gemiddeld neerslagoverschot in Nederland	390	mm/jaar
c) Idem uitgedrukt per ha (=b*10^4)	3.900.000	liter/jaar/ha
d) Maximaal verlies door uitspoeling (=a*c)	44	Kg N/ha
e) Maximale Nmin-voorraad op droge zandgrond (=d)	44	kg N/ha
f) Maximale Nmin-voorraad op klei bij 50% denitrificatie (=d*2)	88	kg N/ha

NB. De EU-norm voor het drinkwater wordt ook gehanteerd voor het bovenste grondwater onder een landbouwbedrijf. Met behulp van het gemiddelde neerslagoverschot (neerslag minus verdamping door bodem en gewas) kan worden berekend hoeveel nitraat-N maximaal mag uitspoelen om nog beneden de EU-norm te blijven. Voor droge zandgronden wordt uitgegaan dat alle Nmin die na de oogst in de bodem achterblijft uitspoelt. Op klei mag de Nmin-voorraad twee maal zoveel zo groot zijn omdat wordt verondersteld dat hiervan slechts de helft uitspoelt terwijl de rest door denitrificatie verloren gaat.

Figuur 4.5 laat voor de beschouwde gewassen en teelten geen relatie zien tussen de Minas-overschotten (aanvoer via mest en evt. N-binding minus forfaitaire afvoer van 165 kg N/ha). en de berekende Nmin,1dec. Dit is niet verwonderlijk omdat ook de relatie met Nmin,o al zeer zwak is (zie 3.3.14). Uit berekeningen op bedrijfsniveau is wel een relatie tussen het Minas-overschot en Nmin,1dec gevonden, ook al is deze zeer zwak (van Dijk, Van Enckevort en van der Schoot, 2002). Wanneer aan deze berekeningen naast de scenario's met uitsluitend kunstmest ook scenario's met overbemesting en najaarsgiften van dierlijke mest (zonder vanggewas) worden toegevoegd, mag worden verwacht dat er wel een zwakke relatie zal optreden omdat deze maatregelen leiden tot een aanzienlijke verhoging van zowel het Minas-overschot als Nmin,1dec. Het werkelijk overschot (gebaseerd op gewasspecifieke N-afvoer) laat wel een duidelijk relatie zien met Nmin,1dec. Ook dit verband blijft vrij zwak vanwege gewas- en teeltspecifieke verschillen in N-hoeveelheden die in oogstresten achterblijven en afhankelijk van de oogstdatum is verschillende hoeveelheden mineraliseren.



Figuur 4.5. Relatie tussen het Minas-overschot en Nmin,1dec voor beschouwde gewassen en teelten onder gemiddelde omstandigheden en bemesting met uitsluitend kunstmest volgens advies.

4.2.7 Perspectieven van aanvullende teeltmaatregelen

Om de Nmin,1dec te verlagen worden de onderstaande maatregelen onder de loep genomen. Sommige maatregelen hebben grotere consequenties voor de bedrijfsvoering en het rendement dan andere.

1. Inzaai van vanggewassen
2. NBS (N-bijmestsystemen)
3. N-rijenbemesting (inclusief Cultan)
4. Rassenkeuze
5. Het inwerken van graanstro
6. Verminderen inzet dierlijke mest
7. Verwijderen van gewasresten
8. In tact laten van oogstresten
9. Vervangen van een 2e teelt door een vanggewas
10. Suboptimale N-gift

Inzet vanggewassen

De inzet van groenbemesters als vanggewassen is zinvol als ze op tijd worden ingezaaid. Wanneer een groenbemester op 1 september wordt gezaaid kan het gewas, afhankelijk van het N-aanbod en temperatuursomstandigheden zo'n 50 tot 100 kg N/ha opnemen. Zolang dit gewas niet te vroeg wordt ondergewerkt of doodvriest kan deze stikstof in zijn geheel op de Nmin,1dec in mindering worden gebracht. De inzet van vanggewassen is daarmee een goede maatregel om bij vroeg geoogste gewassen (granen, pootaardappelen, aardbei en enkele andere groenteteelten) het risico van nitraatuitspoeling te verminderen. Dit geldt niet als bij najaarstoediening van dierlijke mest de aanvoer van minerale stikstof de opnamecapaciteit van de groenbemester overschrijdt (zie 4.1.2 en 4.2.2).

Toepassing NBS

Door toepassing van NBS kan beter worden ingespeeld op de N-behoefte van een gewas in de tijd. Eenmalige giften en vaste gedeelde giften kunnen worden vervangen door gedeelde giften waarbij het moment en de dosering van de bijmestgiften afhangen van de Nmin-voorraad van de bodem en de N-behoefte van een gewas. Hierdoor kunnen onnodig hoge Nmin-hoeveelheden in de bodem worden vermeden en het risico van overschotten en N-verliezen worden geminimaliseerd. Tabel 4.14 geeft een indruk van de mogelijke effecten van een gereduceerde N-inzet door toepassing van NBS bij gewassen waarvoor dit adviessysteem is ontwikkeld. Het effect op de Nmin,1dec is berekend door middel van de relatie tussen de werkzame N-gift en Nmin,o zoals beschreven in hoofdstuk 3. Op basis van ervaringen met veldproeven is de besparing door NBS geschat op 10 tot 30% van de adviesgift.

Tabel 4.14. Effect van NBS-toepassing op Nmin,1dec bij enkele gewassen (uitgedrukt in kg N/ha).

Gewas	N-adviesgift	N-besparing door NBS	Effect op Nmin,1dec	Nmin,1dec
consumptie aardappel – klei	245	30	-10	111
zetmeel aardappel – vroeg	240	30	0	91
prei – herfst	230	40	-20	148
ijssla – herfst	75	20	-20	167
aardbei (verlaat gekoeld)	110	20	-10	131

Het effect van NBS op zetmeelaardappel is volgens deze berekeningen afwezig omdat in hoofdstuk 3 géén relatie is gevonden tussen Nmin,o en de N-gift. Dat de N-besparing bij ijssla in zijn geheel terug te vinden is in de Nmin,1dec is opmerkelijk en het gevolg van de vastgestelde 1 op 1 relatie tussen N-gift en Nmin,o.

Rijenbemesting

Door rijenbemesting kan de N-efficiëntie worden verhoogd omdat de afstand tussen de voedingsstof en de wortels wordt verkleind en het risico op verliezen daarmee wordt verminderd. Bij proeven met snijmaïs en prei zijn goede resultaten van rijenbemesting gevonden. Het effect van de N-besparing door rijenbemesting op de Nmin,1dec is in tabel 4.15 berekend. Hierbij is het effect op dezelfde wijze ingeschat als bij NBS is aangegeven.

Tabel 4.15. Effect van N-rijenbemesting op Nmin,1dec (uitgedrukt in kg N/ha).

Gewas	N-adviesgift	N-besparing door rijenbemesting	Effect op Nmin,1dec	Nmin,1dec
snijmaïs – zand	160	40	-15	120
prei – herfst (Cultan)	230	40	-25	143

Rassenkeuze

De N-behoefte en N-efficiëntie kan verschillen tussen ras als gevolg van verschillen in groeiduur vóór afrijping, ontwikkeling van het wortelstelsel, N-hoeveelheid in oogstresten, enz. Ter illustratie zijn in tabel 4.16 twee zetmeelaardappelrassen genomen die verschillen in vroegheid en N-behoefte, leidend tot verschillende adviesgiften. Het verschil in Nmin,1dec tussen de rassen van 15 kg per ha is berekend op basis van de verschillen in tijdstip dat de N-opname stopt. Dit verschil is een optelsom van 5, 8 en 2 kg per ha uit resp mineralisatie uit gewasresten, mineralisatie uit oude organische stof en depostie.

Tabel 4.16. Uitgangspunten rassenkeuze bij zetmeelaardappelbedrijven.

Ras	N-behoefte (kg/ha)	Oogsttijdstip	Nmin,oogst (kg/ha)	Nmin,1dec (kg/ha)[1]
Vroeg	240	20/9	57	90 (95)
Laat	180	15/10	57	75 (77)

1. Getallen tussen haakjes geven de waarden weer bij gebruik van 30 ton varkensdrijfmest per ha

Inwerken van graanstro

Zoals in 4.2.4 aangegeven, is berekend dat bij onderwerken van stro in de herfst, circa 2,5 kg N per ton stro kan worden vastgelegd en op de Nmin,1dec in mindering kan worden gebracht. Bij achterlaten en onderwerken van stro bij granen leidt dit afhankelijk van het gewas en daarmee geassocieerde hoeveelheid stro, tot een vermindering van Nmin,1dec 6 a 10 kg N/ha. Wanneer stro van buiten het perceel wordt opgebracht kan men met bijvoorbeeld 10 ton stro 25 kg N/ha tijdelijk vastleggen. Dit moet niet te laat in het najaar toegepast worden, om te voorkomen dat door de lage temperatuur het vastleggingsproces te traag verloopt. Van de 25 kg N/ha die is vastgelegd, komt in het jaar daarop circa 15 N/ha vrij, waarvan een deel (afhankelijk van de groeiduur van het volggewas) op de kunstmestgift in mindering kan worden gebracht.

Verminderen inzet organische mest

Als dierlijke mest wordt toegepast volgens de randvoorwaarden van goede landbouwpraktijk (in niet te grote hoeveelheden, niet in het najaar zonder vanggewas) zal een beperking van de inzet van de meest gebruikte dierlijke mestsoorten weinig effect hebben op de Nmin,1dec. Dit omdat de Nmin,1dec door een juiste toepassing van dierlijke mest maar weinig toeneemt (tabel 4.5).

Verwijderen van gewasresten

Het verwijderen van de bovengrondse delen van gewasresten is een ingrijpende maatregel die in veel gevallen moeilijk uitvoerbaar is. Een indruk van het effect op de Nmin,1dec kan verkregen worden met de tabel in bijlage IV en figuur 4.3 van par. 4.2.1. In werkelijkheid zal het effect wat kleiner zijn omdat in de berekeningen is uitgegaan van de stikstof in bovengrondse en ondergrondse gewasresten tezamen. Normaliter is het aandeel van de wortels aan de stikstof in gewasresten klein. Uit bijlage IV is af te leiden dat het effect van het verwijderen van gewasresten zal variëren van nul (bij oogst na 1 december) tot rond de 60 kg N/ha. Hierbij zijn vroege korte groenteteelten, waarna normaliter een teelt op volgt, buiten beschouwing gelaten.

Vervangen van een 2e teelt door een vanggewas

Deze maatregel is doorgerekend voor drie dubbelteelten (tabel 4.17). Bij de teelt van het vervangende vanggewas is uitgegaan van het opnamepatroon van een bemeste groenbemester omdat de eerste teelt veel stikstof achterlaat. Dit is voor alle drie de teelten geschat op 100 kg N per ha. Bij de berekeningen is o.a. rekening gehouden met de afwezigheid van de N-bemesting voor en N-opname door de 2e teelt als gevolg van deze maatregel. De effecten op Nmin,1dec zijn groot. Daar staat tegenover dat de gevolgen voor de bedrijfsvoering ook aanzienlijk zijn.

Tabel 4.17. Effect van vervangen 2e teelt door een vanggewas (uitgedrukt in kg N/ha).

Teelt	Effect op Nmin,1dec*	Nmin,1dec
Conserve erwt gevolgd door stamslaboon	- 32 (-82)	80 (30)
vroege en late teelt van Ijssla	- 51 (-101)	143 (93)
vroege en late teelt van Chinese kool	-57 (-107)	92 (42)

* Tussen haakje staat het effect als de N-opname van het vervangende vanggewas op 150 kg N/ha uitkomt.

Suboptimale N-bemesting

Het effect van suboptimaal bemesten is geïllustreerd in tabel 4.11 en besproken bij "over- en onderbemesting" in par. 4.2.4. De grootste effecten zijn te verwachten bij gewassen waarbij de Nmin,o het sterkst afhankelijk is van de werkzame N-gift (zie hoofdstuk 3).

De effecten van bovengenoemde maatregelen zijn ook op bedrijfsniveau doorgerekend en beschreven in van Dijk, van Enckevort en van der Schoot (2002).

5. Conclusies

Keuze indicators voor het risico van nitraatuitspoeling
Voor inschatting van de relatie tussen het N-overschot en de N-uitspoeling zijn in deze bureaustudie de residuele minerale bodem-N na de oogst en op 1 december (Nmin,o resp. Nmin,1dec) gekozen als indicators voor het risico van N-uitspoeling. Deze indicators hebben betrekking op de bodemlagen 0-60 cm resp. 0-100 cm. Gesproken wordt over een risico van nitraatuitspoeling omdat de neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar, die dit proces sterk bepaald, wisselt van jaar tot jaar en onvoorspelbaar is. Op het generalisatieniveau van deze studie geldt hetzelfde voor perceelsspecifieke omstandigheden, zoals ontwatering en textuur, die moeilijk door een ondernemer te beïnvloeden zijn.

Voor de berekening van Nmin,1dec is geen rekening gehouden met mogelijke nitraatuitspoeling tussen de oogst en 1 december. Dit is geen bezwaar zolang deze parameter alleen gebruikt wordt als indicator voor het risico van nitraatuitspoeling. Eventueel uitgespoelde nitraat vóór 1 december levert immers ook een bijdrage aan de nitraatbelasting van het grondwater.

Belangrijke bevindingen van deze studie zijn:

N-balansen
- Balansberekeningen op basis de totale N-aanvoer (Minas en werkelijk N-overschot) hebben over het algemeen een geringe voorspellende waarde voor de Nmin,o en Nmin,1dec, en daarmee voor het risico van nitraatuitspoeling. Dit geldt als de bemestingsinzet niet extreem hoog is (>1,5 x adviesgift). Debet hieraan zijn de grote verschillen tussen gewassen en teelten in hun N-opnamepatroon en N-hoeveelheden die ze als oogstresten op het land achterlaten. Bovendien wordt het lot van de organische stikstof (uitspoeling, opname, etc.) uit gewasresten en dierlijke mest sterk bepaald door de omstandigheden (zoals oogsttijdstip, toedieningstijdstip dierlijke mest en inzet groenbemesters). Op bouwplanniveau (en bedrijfsniveau) is de relatie waarschijnlijk wat beter omdat bij een gelijkblijvende rotatie en bemestingswijze de langetermijneffecten van de organische N-posten deels via het bouwplan verdisconteerd worden.
- Een balansberekening op basis van N-mineraal is complexer dan met N-totaal maar geeft een betere relatie met Nmin,o en Nmin,1dec en daarmee een reëler beeld m.b.t. het risico van nitraatuitspoeling. In een N-mineraalbalans wordt rekening gehouden met aan- en afvoerposten die niet allemaal makkelijk zijn te kwantificeren, zoals de N-mineralisatie van diverse organische stofbronnen.

Residuele minerale bodem-N bij de oogst
- Het gewas een overheersende factor die de Nmin,o bepaalt. Het belang van het bemestingsniveau is sterk gewasafhankelijk en voornamelijk het gevolg van de verschillen in efficiëntie van gewassen om stikstof aan de bodem te onttrekken. Deze efficiëntie is vooral laag bij bladgroenten die in volle groei worden geoogst. Bij sommige gewassen zijn ook duidelijke effecten van grondsoort, teelttijdstip (groenten) en zomerneerslag gevonden.
- De forse fluctuaties in Nmin,o bij een gegeven gewas en bemestingsniveau die uit analyse van de experimentele data naar voren zijn gekomen, duiden erop dat naast het gewas, teelt en bemestingsniveau ook andere factoren een belangrijke rol spelen. Een voorspelling van de Nmin,o voor een gewas op basis van de N-inzet alleen is daarom slechts indicatief voor de praktijk.
- De Nmin,o-waarden gebaseerd op de analyse van de experimentele data kunnen voor een groot deel verklaard worden met een Nmin-balansberekening voor de teeltperiode. Deze relatie is bruikbaar voor berekening van Nmin,o voor gewassen waar nog geen of onvoldoende experimentele data van Nmin,o voorhanden zijn.

Residuele minerale bodem-N in december
- De berekende Nmin,1dec is, in de meeste situaties, een betere voorspeller voor het risico van nitraatuitspoeling dat de Nmin,o. Afhankelijk van het oogsttijdstip, de N-hoeveelheden in oogstresten en het

bemestingsregime, kan de Nmin-voorraad van de bodem tussen de oogst en 1 december nog in belangrijke mate wijzigen.

- Omdat er een redelijke relatie bestaat tussen Nmin,o en Nmin,1dec is ook de Nmin,o een voorspeller voor het risico van nitraatuitspoeling. De relatie tussen beide indicators is voornamelijk het gevolg van het grote aandeel van Nmin,o in Nmin,1dec (voor de beschouwde gewassen en teelten, gemiddeld genomen meer dan 60%). Naarmate een peildatum wordt gekozen die dichter bij 1 december ligt, zal de voorspellende waarde van de Nmin-voorraad voor de uitspoeling toenemen. Uitzonderingen hierop zijn situaties als late teelten van groenten (zoals ijssla en prei) die nog op een laat tijdstip worden bemest en bij najaarsgiften van dierlijke mest al dan niet in combinatie met groenbemesters.
- Overheersende factoren die de Nmin,1dec bepalen zijn: het gewas; het oogsttijdstip bij groenten; najaarsinzet van dierlijke mest; en toepassing van groenbemesters na de oogst van een vroeg ruimend gewas.
- De invloed van andere omstandigheden op de Nmin,1dec is vaak veel kleiner. Met omstandigheden wordt hier bedoeld de variaties in weer en bodemcondities en toepassing van aanvullende teeltmaatregelen, uitgaande van goede landbouwpraktijk. Een groepering van deze omstandigheden naar de grootte van hun effecten op Nmin,1dec is moeilijk ,omdat deze sterk kunnen verschillen tussen gewassen en teelten. Desalniettemin is hieronder een globale indeling gegeven. Omstandigheden die de Nmin,1dec in een grootte orde van 10 – 25 kg N/ha wijzigen zijn:
  - grondsoort bij suikerbieten, wintergranen en mogelijk ook andere gewassen;
  - N-mineralisatie gewasresten van de eerste teelt bij dubbelteelten;
  - variatie in mineralisatieniveau van de bodem;
  - variatie tussen de jaren in temperatuur na de oogst;
  - bij maïs en aardappelen, variatie in zomerneerslag tussen de jaren. Als dit effect op de Nmin voornamelijk het gevolg is van nitraatuitspoeling, heeft dit weinig gevolgen voor het risico van nitraatbelasting van het bovenste grondwater.
  - verschillen in bemestingsniveau (±25% van de adviesgift) voor veel N-behoeftige gewassen met een lage N-opname-efficiëntie;
  - toepassen van NBS bij herfstteelten van prei en ijssla;
  - rijenbemesting bij snijmaïs en herfstprei;
  - gebruik van een vroeg of laat aardappelzetmeelras;
  - verwijderen van gewasresten. Het effect kan groot zijn. Met name voor koolgewassen geoogst vóór 1 oktober kan de Nmin,o met meer dan 40 kg N/ha verlaagd worden.
  - bij dubbelteelten, het vervangen van de tweede teelt door een groenbemester als vanggewas.
- Omstandigheden die de Nmin,1dec minder dan 10 (en vaak < 5) kg N/ha wijzigen zijn:
  - voorjaarstoediening van dierlijke mest;
  - inzet van dierlijke mest en groenbemesters in het najaar vóór de hoofdteelt;
  - verminderde inzet van dierlijke mest in vergelijk met de inzet volgens goede landbouwpraktijk;
  - variatie in N-depositie;
  - bij een dubbelteelt, op het land achterlaten van eerste of tweede bladgroenteteelt (vanwege lage kwaliteit of prijs). Bij de tweede teelt mag het gewas dan niet eerder dan één maand na de geplande oogst worden ondergewerkt. Als de laatste teelt op of nabij de geplande oogstdatum wordt ondergewerkt kan de Nmin,1dec wel fors toenemen.
  - verschillen in bemestingsniveau (±25% van de adviesgift) voor veel gewassen met een hoge N-opname-efficiëntie en/of lage N-behoefte;
  - achterlaten en onderwerken stroresten na oogst van graangewassen;
  - toepassing van NBS bij aardappelen en aardbei (verlaat gekoeld).
- Sommige teeltmaatregelen kunnen gecombineerd worden waardoor de Nmin,1dec verder afneemt dan door de afzonderlijke maatregelen. Gedacht kan worden aan: gebruik van groenbemesters in combinatie met onderwerken van graanstro; voorjaarstoediening van dierlijke mest in combinatie met NBS en NBS in combinatie met suboptimaal bemesten.
- Effecten van andere teeltmaatregelen zoals toepassing van nitrificatie remstoffen; bladbemesting; bewerkte dierlijke mest; in leven laten van oogstresten (bijvoorbeeld mogelijk bij broccoliplanten) zijn vanwege gebrek aan beschikbare informatie hierover buiten beschouwing gelaten.
- Uit de studie blijkt dat een ondernemer, technisch gezien, nog diverse mogelijkheden tot zijn

beschikking staan om het risico van nitraatuitspoeling aanzienlijk te verlagen. In deze studie is niet gekeken naar de logistieke en financiële consequenties van een aantal doorgerekende maatregelen. Sommige maatregelen zijn echter veel makkelijker te realiseren zijn dan andere.

- Omdat het gewas, de teelt en in enkele gevallen ook het bodemtype een overheersend effect hebben op de verwachte Nmin,1dec, zijn de beschouwde gewas-teelt-bodem-combinaties in vier categorieën gegroepeerd. Deze indeling kan mogelijk van belang zijn voor toekomstig aanvullend mineralenbeleid. Via projecten als Telen met Toekomst en Sturen op Nitraat waar in praktijksituaties de Nmin-voorraad van de bodem na de oogst wordt gemeten en wordt gerelateerd aan de nitraatuitspoeling kunnen de in deze studie voorgestelde indeling van gewassen en teelten naar risico van nitraatuitspoeling worden getoetst en verder verfijnd voor praktische toepassing.

6. Literatuur

1. Anonymus, 1999. Bemestingsdatabank PAV met basisgegevens van factoriele veldproeven en bedrijfsystemen-onderzoek. PPO-AGV, Lelystad
2. Darwinkel, A., 2000. N-behoefte en N-benutting in hoogproductieve wintertarwe. PAV-bulletin 2000/1 (pag 16-19).
3. Darwinkel, A. en H.H.H. Titulaer, 2000. Stikstof in hoogproductieve wintertarwe. PAV-bulletin 2000/2 (pag 11-15).
4. Dijk, W. van, J.J. Schröder, L. Ten Holte en W.J. De Groot, 1995. Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. PAGV-verslag 201.
5. Dijk, W. van, 1996. Invloed van N-rijenbemesting op drogestofproductie en N-benutting bij snijmaïs. PAGV-verslag no. 215.
6. Dijk, W. van, T. Baan Hofman, K. Nijssen, H. Everts, A.P. Wouter, J.G. Lamers, J. Alblas, J. van Bezooijen, 1996. Effecten van maïs-gras vruchtwissseling. PAGV-verslag no. 217.
7. Dijk, W. van, 1997. Ondiepe toediening dierlijke mest bij maïs. PAV-bulletin 1997/1 (pag 15-17)
8. Dijk, W. van, 1997. Stikstof in maïsstro niet beschikbaar voor volggewas. PAV-bulletin 1997/2 (pag 16-18)
9. Dijk, W. van, 1998. Veel stikstof van snijmaïs (door scheuren van grasland). PAV-bulletin 1998/4 (pag 13-16)
10. Dijk, W. van, 1999. Geen stikstof voor volggewas van maïsstro op kleigrond. PAV-bulletin 1999/1 (pag 6-8).
11. Dijk, W. van and JR. van der Schoot, 1999. Mineralenbeleid 2003: Waar liggen de knelpunten. In: Dekker, P.H.M. (ed.), Naar Maatwerk in bemesting. Themaboekje no. 22 PAV, Lelystad.
12. Dijk, W van, 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PAV-publicatie nr. 95 Lelystad
13. Dijk, W van, P.L.A. van Enckevort en J.R. van der Schoot, 2002. N-management op bedrijfsniveau. Intern documentatieverslag PPO-AGV. Lelystad
14. Ehlert, P.A.I., C.A.Ph. van Wijk en W. van den Berg, 2001. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen. Projectrapport 25232. PAV, Lelystad.
15. Enckevort,P.L.A. van, J.R. van der Schoot, W. van den Berg, 2001. Estimation of residual mineral soil nitrogen in arable crops and field vegetables at standard recommended rates. In: Ten Berge (ed) A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2.
16. Everaarts, A.P. en C.P. de Moel, 1995. Stikstofbemesting en nutriëntenopname van bloemkool. PAGV verslag nr. 198.
17. Everaarts, A.P. en C.P. de Moel, 1995. Stikstofbemesting en nutriëntenopname van witte kool. PAGV verslag nr. 202.
18. Everaarts, A.P., C.P. de Moel en P. de Willigen, 1995. Stikstofbemesting en nutriëntenopname van broccoli. PAGV verslag nr. 216.
19. Feller, C. et. al. 2001. Düngung im Freilandgemüsebau. IGZG Ehrfurt ISBN 1437-3394 (www.igzev.de).
20. Geelen, P.M.T.M., 1999. Gewasopvolgimg bepaalt nitraatuitspoeling op löss. PAV-Bulletin 1999/4 (pag. 12-15)
21. Geelen, P.M.T.M., 2000. Minder dierlijke mest op löss; hogere kosten, dezelfde uitspoeling. PAV-

Bulletin 2000/2 (pag. 16-19).

22. Hengsdijk, H., 1992. Najaarstoediening van dierlijke mest op kleigronden. PAGV-verslag no. 149.
23. Hofmeester, Y., A. Bos, F.G. Wijnands, A.T. Krikke, B.J.M. Meijer. 1995. Bedrijfssystemen-onderzoek Borgerswold 1986-1990. PAGV-verslag no. 204.
24. IKC-landbouw, 1996. Kiezen uit gehalten 3. Forfaitaire gehalten voor de mineralenboekhouding.Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
25. Janssen, B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil 76, 297-304.
26. Kraker, J. de, 1993. Invloed van stikstofbemesting op bladvlekkenziekte bij prei. PAGV-Jaarboek 1992/1993 (pag 6-13).
27. Kraker, J. de, 1997. Door stikstofvensters leren kijken. PAV-Bulletin 1997/2 (pag 2-4)
28. Kruistum, G. van, 1997. Trekstrategie op basis van wortelkwaliteit. PAV-bulletin 1997/4 (pag. 25-28).
29. Lammers, H.W., 1984. Een berekende N-werkingscoëfficiënt voor diverse dierlijke organische mestsoorten. De Buffer nr. 5. CAD-Wageningen
30. Loon, C.D. van., K.H. Wijnholds, A.H.M.C. Baltissen, 1995. Optimalisering van de N-voeding van zetmeelaardappelen. PAGV-verslag no.192.
31. Kroonen-Backbier, B.M.A., 1999. Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten Meterik. PAV-publicatie no. 92.
32. Loon, C.D. van, 1998. Stikstofbemesting van Bintje op slempgevoelige grond in Zuidwest-Nederland PAV-Bulletin 1998/3 (pag 9-11).
33. PAV, 2000. Kwantitatieve Informatie 2000/2001. Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt. PAV-publicatie no. 102.
34. Postma, S., P.M.T.M. Geelen, A.J.M. Embrechts, C. van Dongen, 1995. Invloed van de stikstofvoorziening tijdens de wortelteelt op de trek van witlof op lössgrond. PAGV-jaarboek 1994/1995 (pag 25-32).
35. Postma, S., 1995. Toediening van dierlijke mest op löss-, dal- en lichte zavelgrond. PAGV-verslag no. 197.
36. Postma, R. & P.J. van Erp, 1998. Nutrientenmanagement op praktijkpercelen in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Mestoffen 1997/1998, 13-19.
37. Schans, D. van der, W. van Dijk, O. Dolstra, 1995. Invloed van plantverdeling, zaaitijdstip en koudetolerantie op de stikstofbenutting door maïs tijdens de jeugdgroei. PAGV verslag no. 191.
38. Schober, B.M., G. van Kruistum, 1998. Natrot in witlof beheersbaar. PAV-bulletin 1998/4 (pag 24-26)
39. Schoot, J.R. van der, 2001. N- en P-afvoer – akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Intern documentatieverslag PPO-AGV, Lelystad.
40. Schoot, J.R. van der, 2000. Geen rassenspecifiek stikstof-advies voor maïs. PAV-bulletin 2000/4 (pag 13-16).
41. Schröder, J.J., L.C.N. de la Lande Cremer, 1989. Toedienen van drijfmest in maïs (vervolgonderzoek 1985-1987) PAGV-verslag nr. 85.
42. Schröder, J., G. Krist, J. Dapper, L.C.N. de la Lande Cremer, B.A. ten Hag, G.H. de Haan, H.M.G. van der Werf, J.H.A.M. Steenvoorden en H.P. Oosterom, 1985. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid en waterverontreiniging; Maarheeze (zandgrond) 1974 - 1982. PAGV-verslag 31.
43. Schröder, J., 1987. Toedienen van drijfmest in maïs. PAGV-verslag nr. 61.

44. Schröder, J., 1990. Stikstofdeling bij snijmaïs. PAGV-verslag 106.

45. Schröder, J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer, E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. PAGV-verslag 148.

46. Schröder, J.J., Ten Holte L., 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmaïs en verliezen naar het milieu. CABO-DLO verslag 179.

47. Schröder, J.J, 2002. Post-harvest changes in residual soil mineral nitrogen. In: Ten Berge (ed) A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2.

48. Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, H,. Niers, J. van der Boon. 1989. Stikstofbemesting van ijssla. PAGV-verslag nr. 81.

49. Smit, A.C., 1994. Stikstofbenutting. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje nr. 19. PAGV-Lelystad.

50. Titulaer, H.H.H., 1997. Verliesarme toepassing van dierlijke mest op zavelgrond. PAV-Bulletin 1997/3 (pag 6-8)

51. Visser, C.L.M. de, 1996. Toepassing van het stikstofbijmestsysteem in zaaiuien. PAGV-verslag no. 220.

52. Wadman, W.P. J.J. Neeteson, G. Wijnen, 1989. Effect of slurry with and without the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral nitrogen response of potatoes. In: J.A. Hansen & K. Henrikson (Eds.) Nitrogen in organic wastes applied to soils. p 304-314. Academic Press, London.

53. Westerdijk, C.E., 1992. Effect van gedeelde bemesting en/of 'slow-release'-bemesting op efficiency/recovery bij suikerbieten. PAGV-Jaarboek 1991/1992 (pag 68-72).

54. Wijnholds, K.H., 1995. Optimalisatie van de stikstof en kalibemesting van (nieuwe) zetmeelaardappelrassen. 23e Jaarverslag Stichting Stichting Interprovinciaal Onderzoekscentrum voor de akkerbouw en Groenten in de Vollegrond op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland.

55. Wijnholds, K.H., 1996. Optimalisatie van de stikstof en kalibemesting van (nieuwe) zetmeelaardappelrassen. 24e Jaarverslag Stichting Stichting Interprovinciaal Onderzoekscentrum voor de akkerbouw en Groenten in de Vollegrond op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland.

56. Wijnholds, K.H., 1997. Optimalisatie van de stikstof en kalibemesting van (nieuwe) zetmeelaardappelrassen. 25e Jaarverslag Stichting Stichting Interprovinciaal Onderzoekscentrum voor de akkerbouw en Groenten in de Vollegrond op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland (pag 43-56).

Bijlage I. Analyseresultaten per gewas-bodemtype-teeltcombinatie

nr.	gewas	grond-soort	teelt	aantal waarn.	N-advies	model	Nmin bij adviesgift	max-90%	Model parameters			Opmerkingen
									alfa	beta	gamma	
1	aard.- cons.	klei	-	166	245	niet-lin.	71	110	42	123	409	
2	aard.- cons.	zand/dal	-	45	255	geen	63	92	-	-	-	klein bereik Ngift
3	aard.- cons.	löss	-	64	245	lineair	67	105	26	0,168	-	0-90->60cm
4	aard.- cons.	alles	-	275	245	niet lin.	67	105	42	214	554	som 1-3
					255		70	107				
5	aard.- zetmeel	zand/dal	-	165	230	geen	44	80	-	-	-	104z,52d;
6	aard.- poot	klei	-	21	120	geen	56	81	-	-	-	
7	suikerbieten	klei	-	165	140	geen	15	27	-	-	-	geen duidelijke relatie
8	suikerbieten	zand/dal	-	78	140	lineair	26	63	21	0,036	-	32d,46z
9	suikerbieten	löss	-	79	140	lineair	24	50	5	0,143	-	0-90->60cm
10	suikerbieten	zand/dal, löss	-	157	140	lineair	25	57	10	0,106	-	
11	maïs – snij	klei	-	83	155	lineair	43	98	6	0,239		
12	maïs – snij	zand/dal	-	773	155	niet lin.	78	142	35	94	179	
13	maïs – korrel	zand	-	60	155	lineair	48	69	18	0,192	-	
14	maïs – snij	löss	-	64	155	lineair	38	65	8	0,191	-	0-90->60cm
15	maïs – snij	klei, löss	-	147	155	lineair	41	77	7	0,221	-	
16	maïs – snij/korrel	zand/dal	-	833	155	niet lin.	76	139	34	101	190	
17	wintertarwe	klei	-	78	220	lineair	22	43	11	0,049	-	deels 0-90->60cm
18	wintertarwe	zand/dal	-	18	180	geen	38	56	-	-	-	1d,17z; klein bereik Ngift
19	wintertarwe	löss	-	24	220	geen	20	37	-	-	-	0-90->60cm
20	wintertarwe	klei, löss	-	102	220	lineair	22	42	12	0,045	-	bij N-gift van 180 = 23 $N_{min,0}$
21	winterrogge	zand	-	11	120	geen	31	50	-	-	-	geen duidelijke relatie
22	triticale	zand	-	11	180	geen	37	51	-	-	-	klein bereik Ngift
23	wintergranen	zand/dal	-	40	120-180	geen	36	53	-	-	-	adviesgift teeltafhankelijk
24	zomertarwe	klei	-	9	140	geen	19	26	-	-	-	deels 0-90->60cm;geen duidelijke

nr.	gewas	grond-soort	teelt	aantal waarn.	N-advies	model	Nmin bij adviesgift	max-90%	Model parameters			Opmerkingen
									alfa	beta	gamma	
												relatie
25	zomergerst	klei	-	42	60	geen	16	23	-	-	-	geen duidelijke relatie
26	zomergerst	zand/dal	-	8	60	geen	23	48	-	-	-	2d,6z;geen duidelijke relatie
27	zomergerst	alles	-	50	60	geen	17	29	-	-	-	geen duidelijke relatie
28	haver	alles	-	9	110	geen	16	22	-	-	-	7k,2z;geen duidelijke relatie
29	zomergranen	alles	-	68	60-140	geen	17	28	-	-	-	adviesgift teeltafhankelijk
30	zaaiui	klei	-	104	110	lineair	60	96	33	0,245	-	
31	bloemkool	klei	h	24	155	lineair	68	78	21	0,302	-	
32	bloemkool	klei	z	24	190	geen	49	105	-	-	-	geen duidelijke relatie
33	bloemkool	klei	z,h	48	155	lineair	56	101	35	0,134	-	
					190		61	106				
34	broccoli	alles	h	20	190	lineair	38	67	10	0,144	-	12k,8z
35	broccoli	zand	v	5	265	geen	54	80	-	-	-	onvoldoende waarnemingen
36	broccoli	klei	z	36	230	lineair	43	66	11	0,138	-	36k,1z
37	broccoli	alles	v,z,h	61	190	lineair	39	60	13	0,137	-	
					230		45	66				
					265		50	71				
38	chinese kool	zand	h	7	80	geen	41	86	-	-	-	onvoldoende waarnemingen
39	chinese kool	zand	z	5	110	geen	61	117	-	-	-	onvoldoende waarnemingen
40	chinese kool	zand	v,z,h	13	110	geen	51	99	-	-	-	1v,5z,7h
41	doperwt	zand	-	28	20	geen	25	36	-	-	-	28z,2k; geen relatie
42	engelsraaigras	zand	-	8	160	geen	19	27	-	-	-	klein bereik Ngift
43	ijssla	alles	h	20	75	lineair	118	158	37	1,079	-	15z,5k
44	ijssla	zand	v	39	155	niet lin.	98	186	29	468	318	
45	ijssla	zand	z	29	85	lineair	106	244	11	1,117	-	
46	ijssla	zand	z,h	49	75	lineair	101	214	20	1,077	-	
					85		112	225				
47	knolselderij	klei	n	5	185	geen	39	72	-	-	-	onvoldoende waarnemingen
48	knolvenkel	zand	v	1	125	geen			-	-	-	onvoldoende waarnemingen

nr.	gewas	grond-soort	teelt	aantal waarn.	N-advies	model	Nmin bij adviesgift	max-90%	Model parameters			Opmerkingen
									alfa	beta	gamma	
49	kropsla	zand	h	2	105	geen	80	109	-	-	-	onvoldoende waarnemingen
50	kropsla	alles	v	22	155	geen	85	136	-	-	-	5k,17z
51	kropsla	alles	z	19	105	geen	96	158	-	-	-	5k,13z,1d
	kropsla	alles	v,z,h	43	105-155	geen	89	133	-	-	-	
52	prei	alles	h	27	235	lineair	91	152	7	0,357		1d,5k,21z
53	prei	zand	w	26	235	geen	24	41	-	-	-	
54	prei	zand	z	1	235	geen			-	-	-	onvoldoende waarnemingen
55	spinazie	klei	h	14	150	geen	147	263	-	-	-	0-30->60cm
56	spinazie	klei	v	15	255	geen	107	254	-	-	-	0-30->60cm
57	spinazie	klei	z	6	180	geen	98	164	-	-	-	0-30->60cm
58	spinazie	klei	v,z,h	35	180	geen	122	246	-	-	-	0-30->60cm
59	spruitkool	klei	z	9	205	geen	7	10	-	-	-	
60	stamslaboon	zand	-	26	125	geen	45	92	-	-	-	
61	veldboon	zand	-	7	0	geen	54	88	-	-	-	
62	waspeen	zand	h	14	45	geen	10	17	-	-	-	
63	waspeen	zand	z	1	45	geen			-	-	-	onvoldoende waarnemingen
64	winterkoolzaad	zand	-	3	125	geen			-	-	-	onvoldoende waarnemingen
65	winterpeen	alles	n	21	60	geen	24	46	-	-	-	11k,1d,9z
66	witlof	klei/löss	-	41	120	lineair	24	46	7	0,142	-	31k,10ls; advies sterk rasafhankelijk
67	wittekool	klei	h	44	280	niet lin.	27	41	17	248	916	

Bijlage II. Teeltperiodes voor groenten met een korte groeicyclus

gewas	teelt	zaai/planttijd	oogsttijd
bloemkool	herfst	half juni – begin aug	eind aug - begin dec
bloemkool	zomer	begin mei – eind juni	begin juli - begin sept
broccoli	herfst	half juni – begin aug	eind aug - half nov
broccoli	voorjaar	begin apr – begin mei	begin juni- begin juli
broccoli	zomer	begin mei – half juni	begin juli - eind aug
chinese kool	herfst	eind juli – half aug	eind sept - begin nov
chinese kool	zomer	half apr - eind juli	half juni - eind sept
ijssla	herfst	juli - aug	sept - okt
ijssla	voorjaar	eind mrt - april	eind mei - juni
ijssla	zomer	mei - juni	juli - aug
knolselderij	zomer	mei - juni	sep - okt
knolvenkel	voorjaar	eind mrt - half apr	half juni - half aug
kropsla	herfst	eind juli - begin sept	sept - okt
kropsla	voorjaar	half mrt - half mei	begin mei - eind juni
kropsla	zomer	half mei - eind juli	juli – aug
prei	herfst	begin juni - eind juni	begin nov – eind dec
prei	winter	begin juli - eind juli	begin jan - mei
prei	zomer	begin apr - begin mei	eind juni – aug
spinazie	herfst	begin aug - e-aug	eind sept – eind okt
spinazie	voorjaar	begin mrt - begin apr.	half mei – eind mei
spinazie	zomer	half apr - begin mei	begin juni – eind aug
waspeen	herfst	begin apr - eind mei	sept – nov
waspeen	zomer	maart	juli – aug
winterpeen		eind apr - begin mei	okt – nov
wittekool	herfst	half apr – mei	sept - half nov

Bijlage III. Balansberekeningen voor minerale bodem-N bij oogst

Gewas	Datum		N-opname (kg N/ha)			Formule	Nmin		Nadvies	Miner	Depos	Ntot	Nmin,O		
	planten	oogst	produkt	residu	totaal	N-advies	cm	kg	(kg N/ha)	teelt		beschikb.	gemeten	berekend	gecalib.
andijvie	01-jul-01	15-sep-01	60	50	110	=140-1.4*Nmin	30	40	84	36	7,2	192		82	53
asperges - 1dec	01-jul-01	01-dec-01	30	75	105	=100-Nmin	90	60	40	56	14,6	171		66	45
bloemkool	15-mei-01	15-aug-01	75	120	195	=225-Nmin	60	50	175	41	8,8	275	58	80	
boerenkool	15-jun-01	15-nov-01	90	115	205	=200-Nmin	60	50	150	60	14,6	275		70	47
bospeen	01-jul-01	10-okt-01	60	5	65	=80-Nmin	60	50	30	44	9,6	134		69	47
broccoli	01-jun-01	10-aug-01	90	155	245	=300-Nmin	60	50	250	33	6,7	339	50	94	
chinesekool	15-jun-01	01-sep-01	70	80	150	=180-Nmin	60	50	130	37	7,4	224	51	74	
cons.aardappelen *	15-apr-01	20-sep-01	180	65	245	=285-1.1*Nmin	60	30	252	65	15,1	362	68	117	
conserve erwt	01-apr-01	01-aug-01	45	110	155	=50-Nmin	60	30	20	46	11,7	158	25	3	
engelsraaigras	15-mrt-01	01-aug-01	30	120	150	=160			160	49	13,2	222	19	72	
ijssla	01-jul-01	01-sep-01	55	70	125	=110-Nmin	30	40	70	30	5,8	186	100	61	
knolselderij	15-mei-01	01-nov-01	95	125	220	=220-1.4*Nmin	60	50	140	69	16,1	276	39	56	
knolvenkel	15-mei-01	15-jul-01	40	90	130	=160-Nmin	60	50	110	26	5,8	192		62	43
koolraap	15-mei-01	15-nov-01	100	50	150	=180-Nmin	60	50	130	72	17,5	270		120	73
koolrabi	15-mei-01	01-aug-01	75	50	125	=180-Nmin	60	50	130	34	7,4	222		97	61
koolzaad	01-mrt-01	20-jul-01	100	30	130	=170-Nmin	90	40	130	45	13,5	229		99	62
kropsla	01-aug-01	05-sep-01	75	35	110	=140-1.4*Nmin	30	40	84	16	3,3	168	89	58	
pootaardappelen	15-apr-01	15-aug-01	110	60	170	=140-0,6*Nmin	60	30	122	50	11,7	214	55	44	
prei	01-jul-01	01-dec-01	95	70	165	=270-Nmin	60	50	220	56	14,6	341	91	176	
radijs	15-apr-01	15-jun-01	50	5	55	=80			80	21	5,8	107		52	38
rodebiet	01-mei-01	01-sep-01	135	90	225	=215-1.4*Nmin	30	20	187	53	11,7	272		47	35
rodekool	15-mei-01	15-nov-01	185	175	360	=300-Nmin	60	50	250	72	17,5	390		30	26
schorseneren	01-mei-01	15-nov-01	75	40	115	=115			115	77	18,9	211		96	60
snijmaïs	01-mei-01	01-okt-01	150	20	170	=180-Nmin	60	30	150	65	14,6	259	76	89	
spinazie	01-aug-01	01-sep-01	70	55	125	=215-1.4*Nmin	30	40	159	14	2,9	246	122	121	
spruitkool	01-jun-01	01-dec-01	120	175	295	=240-Nmin	60	50	190	69	17,5	326	7	31	
stamslaboon *	15-mei-01	15-aug-01	45	95	140	=150-Nmin	30	40	110	41	8,8	230	45	90	
suikerbieten	01-apr-01	25-okt-01	90	120	210	=200-1.7*Nmin	60	30	149	80	19,8	278	25	68	
veldboon *	15-apr-01	15-sep-01	190	15	205	=40			40	63	14,6	238		33	28
vlas (vezel)	15-mrt-01	15-jul-01	55	5	60	=70=Nmin	60	30	40	41	11,7	122		62	43
waspeen	15-apr-01	01-sep-01	100	25	125	=80-Nmin	60	30	50	58	13,2	151	10	26	
winterpeen	15-apr-01	01-nov-01	115	40	155	=100-Nmin	60	30	70	78	19,1	197	24	42	
wintertarwe	01-mrt-01	15-aug-01	180	50	230	=240-Nmin	90	40	200	58	15,9	314	25	84	
witlofwortel	01-mei-01	01-nov-01	65	45	110	=70-Nmin	60	30	40	74	17,5	161	24	51	
wittekool	15-mei-01	10-nov-01	190	140	330	=330-1,5*Nmin	60	50	255	71	17,0	393	27	63	
zaaiui	15-mrt-01	10-sep-01	120	20	140	=130-0,7*Nmin	30	20	116	68	17,0	221	60	81	
zetm.aardappelen	15-apr-01	01-okt-01	180	65	245	=275-1,8*Nmin	30	20	239	69	16,1	344	41	99	
zomergerst	15-mrt-01	10-aug-01	90	40	130	=90-Nmin	60	30	60	54	14,1	158	17	28	
zwarte braak	1-mrt-01	12-dec-01	0	0	30	nvt.	60	30	0	92	26,3	148		148	

* Ntotaal beschikbaar inclusief N-binding.

Bijlage IV. Overzicht berekeningen minerale bodemstikstof op 1 december

gewas	bodem type	teelt-periode	oogst-datum	Nmin-oogst	oogst-resten	oude org.stof	N-depo-sitie	verschil Nmin *	Nmin-1dec *
aardbei	zand	verlaat, gekoeld	15-aug	116	6	32	10	25	141
andijvie	klei	herfst	15-sep	74	21	18	7	46	120
asperges	zand		1-dec	63	0	0	0	0	63
bloemkool	klei	zomer	15-aug	81	45	32	10	87	168
boerenkool	zand		15-okt	66	20	8	4	32	98
bospeen	zand	herfst	10-okt	60	2	9	5	16	76
broccoli	zand	zomer	1-aug	63	71	39	12	122	185
broccoli	zand	herfst	1-okt	63	36	12	6	54	117
chinesekool	zand	zomer	25-jul	71	55	43	12	110	181
chinesekool	zand	herfst	15-sep	71	37	18	7	62	133
cons.aardappelen	zand		20-sep	95	10	16	7	33	128
cons.aardappelen	klei		1-okt	95	8	12	6	26	121
cons.aardappelen	klei	vroeg	15-aug	95	22	32	10	63	159
conserve erwt	zand	voorjaar	1-jul	35	73	59	14	146	181
Engels raaigras	klei	gras-zaad	1-aug	27	0	39	12	51	77
ijssla	zand	zomer	1-aug	157	43	39	12	93	250
ijssla	zand	voorjaar	15-jun	137	52	70	16	138	275
ijssla	zand	herfst	25-sep	141	25	14	6	45	187
iris	zand		10-aug	101	6	34	11	51	151
knolselderij	klei		15-nov	55	2	2	2	6	60
knolvenkel	zand		15-jul	60	61	49	13	123	184
koolraap	zand		15-nov	102	2	2	2	5	107
koolrabi	zand		1-aug	85	3	39	12	54	140
koolzaad	klei		20-jul	87	23	46	13	82	169
korrelmaïs	klei		15-sep	57	3	18	7	28	86
kropsla	zand	herfst	5-sep	125	14	22	8	44	169
pootaardappelen	klei		20-aug	77	21	29	10	59	136
prei	zand	vroege herfst	1-okt	127	23	12	6	41	168
radijs	zand		15-jul	53	3	49	13	65	118
rodebiet	klei		1-sep	49	34	24	9	66	115
rodekool	klei		15-nov	36	8	2	2	11	47
schorseneren	zand		15-nov	84	1	2	2	4	88
snijmaïs	zand		15-sep	106	3	18	7	28	135
spinazie	zand	herfst	1-sep	171	34	24	9	66	237
spruitkool	klei	zeer vroeg	25-aug	10	47	27	9	83	93
spruitkool	klei	vroeg	1-okt	10	27	12	6	45	55
spruitkool	klei	midden	1-dec	10	0	0	0	0	10
stamslaboon	zand	zomer	1-okt	63	20	12	6	38	101
suikerbieten	zand		25-okt	35	10	6	3	19	54

gewas	bodem type	teelt-periode	oogst-datum	Nmin-oogst	oogst-resten	oude org.stof	N-depo-sitie	verschil Nmin *	Nmin-1dec *
suikerbieten	klei		25-okt	21	10	6	3	19	40
tulp	zand		7-jul	88	10	54	14	78	166
veldboon	zand		15-sep	76	3	18	7	29	104
vlas (vezel)	klei		15-jul	60	1	49	13	64	124
waspeen	zand		15-sep	14	2	18	7	28	42
wintergerst	klei		25-jul	31	0	43	12	55	86
winterpeen	zand		1-nov	34	1	4	3	8	41
winterrogge	zand		1-aug	50	0	39	12	51	101
wintertarwe	zand		15-aug	50	0	32	10	42	92
wintertarwe	klei		15-aug	31	0	32	10	42	73
witlofwortel	klei		1-nov	34	0	4	3	8	41
wittekool	klei		10-nov	38	8	3	2	13	51
zaaiui	klei		1-sep	84	3	24	9	36	120
zetm.aardappelen	zand	vroeg	20-sep	57	10	16	7	33	91
zetm.aardappelen	zand	laat	15-okt	57	6	8	4	18	75
zomergerst	zand		10-aug	24	0	34	11	45	69

nb. Bij granen is uitgegaan van afvoer van stro. Bij aardbei is uitgegaan van vastlegging van 22,5 kg N/ha door 9 ton stro/ha ten behoeve van de teelt.
* Alle posten zijn uitgedruk in kg N/ha voor de laag 0-100 cm.