

**DE INVLOED VAN BODEMEIGENSCHAPPEN EN BEMESTING,
OP DE OPBRENGST VAN MAIS EN DE EMISSIES
VAN AMMONIAK EN NITRAAT**

H.F.M. Aarts en N. Middelkoop

**CABO-Verslag nr. 131
1990**



Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO)

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

154 518976

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
Samenvatting	3
1. Inleiding	6
2. Het vochtverbruik van maïs	10
3. Het vochtleverend vermogen van zandgrond	14
4. De maximale drogestofproduktie bij beperkte vochtvoorziening	17
5. De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof	23
6. Opneembare stikstof, stikstofopname en drogestofproduktie	28
7. Ammoniakvervluchtiging en nitraatuitspoeling	38
8. De effecten van enige bemestingsadviezen op voederproduktie, inkomen en emissies	41
Literatuur	51
Bijlagen	

Samenvatting

Maïs is sinds het begin van de jaren zeventig steeds belangrijker geworden als voedergewas voor melkvee op zandgrond. Nu bestaat het ruwvoer, inclusief het gras dat al tijdens beweiding wordt geconsumeerd, voor ongeveer eenderde deel uit maïs. De belangrijkste factoren die geleid hebben tot de explosieve groei van het areaal maïs zijn de hoge en stabiele opbrengst, de hoge kwaliteit van het voer, de geringe arbeidsbehoefte bij teelt en vervoeding en het opbrengstverhogend effect van drijfmest, die steeds ruimer beschikbaar kwam door de intensivering van de veehouderij. Tegenover deze voordelen, staan als belangrijkste nadelen de aanzienlijke emissies van ammoniak en nitraat naar respectievelijk lucht en grondwater bij de huidige teeltwijze. Bovendien is op een aantal percelen de grond zodanig verzadigd met fosfaat dat ook fosfaatuitspoeling optreedt.

Belangrijke factoren die de groei van maïs beïnvloeden zijn de beschikbaarheid van water en stikstof. Ziekten en plagen spelen bij maïs een ondergeschikte rol en de onkruidbestrijding is in het algemeen voldoende effectief. In deze studie is nagegaan hoe de drogestofopbrengst van maïs en de emissies van ammoniak en nitraat afhankelijk zijn van het vocht- en stikstofleverend vermogen van de bodem en van de bemesting. Eerst is de relatie uitgewerkt tussen de beschikbare hoeveelheid water en de maximaal haalbare drogestofproduktie, uitgaande van een rechtlijnig verband tussen waterverbruik en drogestofproduktie zoals o.a. door De Wit (1958) werd aangetoond. Het waterverbruik per eenheid geproduceerde drogestof werd afgeleid uit de resultaten van beregeningsproeven. Aangegeven is hoe uit bodemkenmerken, opgenomen in het Geografisch Informatiesysteem van het Staringcentrum te Wageningen, het vochtleverend vermogen van een bodem kan worden berekend. Vervolgens is een rekenprocedure uitgewerkt waarmee de hoeveelheid opneembare stikstof uit meststoffen, bodem en neerslag kan worden vastgesteld. Bij het zoeken naar verbanden tussen de hoeveelheid opneembare stikstof, stikstofopname en drogestofproduktie is gebruik gemaakt van resultaten van kunstmestobjecten van meerjarige proeven, aangelegd om het effect van grote giften drijfmest te bestuderen (Schröder, 1985). Het bleek mogelijk de relatie tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de stikstofopname en tussen de stikstofopname en de drogestofproduktie te beschrijven met niet-orthogonale hyperbolen met de maximale drogestofproduktie als variabele. De ammoniakemissie is afgeleid uit de hoeveelheid dierlijke mest en de methode van mestaanwending.

Aangenomen is dat nitraat dat niet door het gewas wordt opgenomen uitspoelt, waarbij rekening is gehouden met enige denitrificatie.

Met behulp van deze relaties is het mogelijk voor een willekeurige perceelssituatie te berekenen wat de effecten zijn van bemesting op produktie en emissies. Voor percelen met een verschillend vocht- en stikstofleverend vermogen zijn deze berekeningen gemaakt bij het huidige bemestingsadvies en bij het gebruik van de wettelijk maximaal toegestane hoeveelheden dierlijke mest in de verschillende fasen van de mestwetgeving. Ook is uitgerekend hoe hoog de bemesting maximaal zou mogen zijn om nog te voldoen aan de EG-drinkwaternorm met betrekking tot het nitraatgehalte en welke financiële gevolgen de verlaging van de bemesting tot dit niveau heeft. Daarbij is rekening gehouden met de effecten van een nagewas, dat een deel van de minerale stikstof in de bodem na de oogst van de maïs nog kan vastleggen.

Uit de berekeningen blijkt dat in een aantal situaties het huidige bemestingsadvies op basis van kunstmestprijzen en aankooprijzen van snijmaïs ook economische gezien te hoog is. Het uitrijden van de wettelijk toegestane hoeveelheden drijfmest leidt tot hoge uitspoelingsverliezen, ook bij de voorgenomen verscherping van de normen, als de mest direct na het uitrijden wordt ondergewerkt in verband met het beperken van de ammoniakvervluchtiging. Verrassend is de conclusie dat het beperken van de nitraatuitspoeling uit de wortelzone tot 30 kg N/ha/jr in verband met de gewenste grondwaterkwaliteit, op de meeste gronden vrijwel inkomensneutraal kan gebeuren als slechts de kosten van het inzaaien van een nagewas worden vergoed. Op rijkere gronden is het onmogelijk de nitraatuitspoeling tot het gewenste niveau terug te dringen zonder de teelt van een nagewas. Op de armere gronden is het financieel aantrekkelijker een nagewas te telen dan het bemestingsniveau verder te verlagen.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van een studie naar milieu- en inkomenseffecten van bedrijfsaanpassingen binnen de melkveehouderij in de zandgebieden van Gelderland (CABO-project 780) en ten behoeve van een optimale bedrijfsopzet voor het nieuwe proefbedrijf 'Melkveehouderij en Milieu' (CABO-project 779). Op dit melkveebedrijf mogen vooraf gestelde milieunormen, waaronder uitspoelingsnormen voor nitraat, niet overschreden worden. Geprobeerd wordt binnen die normen zo economisch mogelijk te produceren. Het afstemmen van de bemesting op de specifieke eigenschappen van percelen kan daartoe bijdragen. Hoewel niet voor dit doel ontwikkeld, lijkt de rekenprocedure geschikt om te worden gebruikt als basis voor een

bemestingsadviessysteem voor maïs. Het huidige advies is aanmerkelijk te verbeteren door perceelsspecifieke informatie te gebruiken. In principe kunnen ook voor andere gewassen die op zandgrond worden geteeld volgens deze opzet bemestingsadviessystemen worden ontwikkeld. De voorgenomen beperking van berekeningsmogelijkheden in zandgebieden vormt een extra stimulans om het vochtleverend vermogen van de grond in de advisering te betrekken.

1. Inleiding

De teelt van snijmaïs is in Nederland pas na 1970 belangrijk geworden. De belangrijkste factoren die hebben bijgedragen aan de sterke groei van het maïsareaal zijn de geringe arbeidsbehoefte bij teelt en vervoeding, de hoge en stabiele voederproduktie per ha, de goede, constante kwaliteit en houdbaarheid van het geoogste produkt en het beschikbaar komen van steeds grotere hoeveelheden dierlijke mest uit de melkveehouderij en uit de intensieve veehouderij. Bij een ruwvoeroverschot, als gevolg van de melkquotering, kan door het op het veld achterlaten van de minst waardevolle delen de kwaliteit van het geoogste produkt zodanig worden verhoogd dat het krachtvoer kan vervangen. Het areaal maïs dat geteeld wordt voor de oogst van corn-cob-mix of lieskolvenschroot neemt de laatste jaren dan ook aanzienlijk toe. Maïs verdraagt niet alleen zeer grote hoeveelheden dierlijke mest maar reageert er zelfs op met een verhoogde drogestofproduktie (Schröder and Dilz, 1987). Bovendien kan het gewas zonder veel problemen jaarlijks op hetzelfde perceel worden geteeld. De laatste tijd wordt ook als belangrijk voordeel gezien dat snijmaïs met behulp van een voermengwagen gemakkelijk kan worden gemengd met krachtvoergrondstoffen, zoals sojaschroot, zodat krachtvoer en ruwvoer gemengd kunnen worden verstrekt. Naast prijs- en arbeidstechnische voordelen geldt dat daardoor de benutting van stikstof uit het voer kan worden verhoogd. Maïs wordt zowel in de stalperiode als in de weideperiode vervoederd. Door in de weideperiode het vee 's nachts op te stallen en met maïs bij te voeren wordt het eiwitgehalte van het rantsoen beter afgestemd op de eiwitbehoefte van het vee, waardoor de hoeveelheid stikstof in de urine wordt beperkt.

In de zandgebieden werd maïs vooral de vervanger van het graan en de andere akkerbouwgewassen op het vanouds gemengde, maar zich in de zeventiger en tachtiger jaren specialiserende bedrijf. De melkveehouderij op zandgrond was dus, in tegenstelling tot die op andere grondsoorten, al lang vertrouwd met akkerbouwmatige teelten. In de periode 1983 - 1986 werd op het gespecialiseerde melkveebedrijf op zandgrond gemiddeld 22 ha gras en 3 ha maïs geteeld en werd, omgerekend naar drogestof, 53.375 kg snijmaïs aangekocht. Deze maïs werd voor een belangrijk deel betrokken van bedrijven die zich gespecialiseerd hebben in de varkens of pluimveehouderij en de grond via de teelt van maïs gebruiken voor de mestafzet (Aarts et al., 1988). Bij een veronderstelde drogestofproduktie van 12,5 ton snijmaïs per

ha (Ten Hag et al., 1984; CBS, 1989)) werd op het gemiddelde bedrijf ruim 4 ha maïs aangekocht. Als gras netto 10 ton drogestof per ha produceert (Sibma en Ennik, 1988) bestaat bijna 30 % van het ruwvoer van het gemiddeld melkveebedrijf uit maïs. Op bedrijven waar de melkproduktie hoger is dan 16.000 l/ha, 39 % van het totale aantal bedrijven, vormt snijmaïs zelfs bijna 40 % van het ruwvoer. Na de periode waarop deze cijfers betrekking hebben is het maïsareaal toe- en het grasareaal afgenomen, zodat het aandeel van maïs in de ruwvoedervervoorziening intussen nog groter is geworden (CBS, 1989).

Het mestoverschot en de eigenschap van maïs zeer hoge giften dierlijke mest te verdragen hebben tot milieuproblemen geleid, vooral m.b.t. de vervluchtiging van ammoniak en de uitspoeling van nitraat. Op een groot aantal percelen is bovendien de grond verzadigd geraakt met fosfaat zodat daar ook fosfaatuitspoeling optreedt. Tabel 1 geeft de hoeveelheden stikstof, fosfor en kalium die jaarlijks per hectare meer worden aangevoerd dan in de vorm van plantaardige of dierlijke produkten worden afgevoerd. De cijfers hebben betrekking op de provincie Gelderland. Er is verondersteld dat op melkveebedrijven geen dierlijke mest van buiten het bedrijf wordt aangevoerd, maar wel alle mest van het eigen bedrijf wordt uitgereden en dat op maïsland van bedrijven met intensieve veehouderij de wettelijk maximaal toegestane hoeveelheid drijfmest wordt toegediend. Uit de tabel blijkt duidelijk dat het overschot aan stikstof zowel op het gras- en maïsland van melkveebedrijven als op maïsland van intensieve veehouderijbedrijven aanzienlijk is, maar dat het overschot aan fosfor alleen op intensieve veehouderijbedrijven verontrustend hoog is. Dit komt door het hoge fosfaatgehalte van varkensmest en de zeer hoge doses dierlijke mest die wordt toegediend. Door het aanscherpen van de mestnormen zal het aanbod van mest uit de intensieve veehouderij toenemen en is het aannemelijk dat een gedeelte van die overtollige mest ook op melkveebedrijven zal worden afgezet, voor zover daar wettelijke nog ruimte voor is.

Tabel 1. De invloed van bedrijfstype en grondsoort op de overschotten aan nutriënten (kg/ha/jr; 't Jong et al., 1989)

	grasland + snijmaïs op melkveebedrijven			snijmaïs op intensieve veehouderijbedrijven		
	N	P	K	N	P	K
zand	478	24	89	539	129	137
klei	386	21	51	532	123	125

Het beleid wil door bemestingsnormen en -voorschriften de emissies van ammoniak, nitraat en fosfaat tot aanvaardbare niveaus terugdringen. In principe kunnen deze stoffen slechts verloren gaan als ze niet door het gewas worden opgenomen of in de bodem worden vastgelegd. Ammoniak vervluchtigt aan het bodemoppervlak, dus voor het gewas kans heeft gehad dit element op te nemen. Hoeveel nutriënten een gewas uit de bodem kan opnemen hangt niet alleen af van genetische eigenschappen maar ook van de vocht- en nutriëntenvoorziening. Factoren als ziekten en plagen spelen bij maïs een ondergeschikte rol. Effecten van bodemverdichting zijn deels terug te voeren op een verslechterde vochtvoorziening door een geringere bewortelbare diepte. De beschikbare hoeveelheden nutriënten en vocht worden hoofdzakelijk bepaald door bodemeigenschappen, bemesting en weer.

In deze studie is allereerst de relatie uitgewerkt tussen de vochtvoorziening van maïs en de maximaal haalbare drogestofproductie. Aangegeven is hoe uit bodemkenmerken het vochtleverend vermogen van een bodem kan worden berekend. Vervolgens is een rekenprocedure uitgewerkt waarmee de hoeveelheid opneembare stikstof uit meststoffen, bodem en neerslag kan worden vastgesteld. Daarna is nagegaan wat het verband is tussen de hoeveelheid opneembare stikstof, de stikstofopname en de drogestofproductie bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem. De ammoniakemissie is afgeleid uit de hoeveelheid dierlijke mest en de methode van mestaanwending. Aangenomen is dat nitraat dat niet door het gewas wordt opgenomen uitspoelt, waarbij rekening is gehouden met enige denitrificatie. Met behulp van deze relaties is het mogelijk voor elke willekeurige situatie te berekenen wat de effecten zijn van bemesting op de productie en emissies. Voor gronden met een verschillend vocht- en stikstofleverend vermogen zijn deze berekeningen gemaakt bij het huidige bemestingsadvies en bij de wettelijk maximaal toegestane hoeveelheden dierlijke mest in de verschillende fasen van de mestwetgeving. Ook is uitgerekend hoe hoog de bemesting maximaal zou mogen zijn om nog te voldoen aan de EG-norm m.b.t. het nitraatgehalte van grondwater en welke financiële gevolgen de verlaging

van de bemesting tot dit niveau heeft. Daarbij is rekening gehouden met de effecten van een nawas, dat een deel van de minerale stikstof in de bodem na de oogst van de maïs nog kan vastleggen.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van een studie naar milieu- en inkomenseffecten van bedrijfsaanpassingen binnen de melkveehouderij in de zandgebieden van Gelderland (CABO-project 780) en dient als basis voor het formuleren van de optimale bedrijfsopzet van het nieuwe proefbedrijf 'Melkveehouderij en Milieu'. Op dit melkveebedrijf mogen vooraf gestelde milieunormen, zoals nitraatuitspoelingsnormen, niet overschreden worden. Geprobeerd wordt binnen die normen zo economisch mogelijk te produceren. Het afstemmen van de bemesting op perceelsspecifieke kenmerken kan daartoe bijdragen (CABO-project 779).

2. Het vochtverbruik van maïs

Voor de groei van planten is water essentieel. Vrijwel al het opgenomen water wordt gebruikt voor verdamping, een klein deel als bouwstof en als grondstof in het fotosyntheseproces. Om koolzuuropname mogelijk te maken moet de plant open verbindingen hebben met de buitenlucht: de huidmondjes. Door diffusie kan koolzuur naar binnen. De lucht in de holte achter een huidmondje is met waterdamp verzadigd. Als het huidmondje open staat om koolzuur binnen te laten zal waterdamp door diffusie naar de buitenlucht ontsnappen. Als bij vochttekort het huidmondje deels sluit om het waterverlies te beperken zal ook de fotosynthesesnelheid afnemen door een tekort aan koolzuur (Van Keulen and Van Laar, 1986). Het is daarom niet zo vreemd dat er een rechtlijnig verband is aangetoond tussen de hoeveelheid verdampt water en de geproduceerde hoeveelheid drogestof o.a. (de Wit, 1958; Rijtema, 1968; Feddes, 1985). Wel zijn er verschillen tussen plantensoorten en ook het weer, vooral de luchtvochtigheid, heeft invloed. Onder dezelfde uitwendige omstandigheden verbruiken subtropische gewassen, zoals maïs, minder water dan gewassen uit de gematigde streken (Makkink, 1952; Alberda, 1984; Van Keulen and Van Laar, 1986). Een verklaring hiervoor vormt het specifieke systeem dat deze C₄-gewassen gebruiken voor hun fotosynthese, waardoor de concentratie van koolzuur in de holte achter de huidmondjes relatief laag mag zijn en de huidmondjes dus minder ver open hoeven. Vooral in het begin van het groeiseizoen vindt ook waterverlies plaats door directe verdamping vanaf het bodemoppervlak (evaporatie). Het totale vochtverbruik van gewassen, de evapotranspiratie, is dus afhankelijk van het weer en gewas- en bodemkenmerken.

In het verleden is vrij veel onderzoek gedaan naar het waterverbruik van de belangrijkste landbouwgewassen in relatie tot de produktie. Veelal werd daarbij alleen gekeken naar de produktie aan oogstbare delen. Uit dat onderzoek (o.a. Baars, 1954; Schultze and Schultze-Gemen, 1957; Rijtema, 1968; van Bohemen, 1980; Van der Schans en Drenth, 1989) kan worden afgeleid dat voor de produktie van gras, graan en bieten onder Nederlandse omstandigheden ongeveer 250 (gras), 300 (graan) en 200 (bieten) liter water per kg drogestof nodig is. De drogestofproduktie heeft dan betrekking op zowel oogstbare als niet oogstbare delen, zoals stoppels en wortels. Het is aannemelijk dat het relatief lage vochtverbruik van bieten veroorzaakt wordt door morfologische en fysiologische verschillen ten opzicht van gras en graan. Bieten slaan het overgrote deel van de geproduceerde droge stof

op in ondergrondse organen die goed beschermd zijn tegen vochtverlies. Bovendien sluiten bieten in perioden met sterke verdamping hun huidmondjes en gaan 'slapen' waardoor droogteschade wordt voorkomen. Aan het vochtverbruik van maïs onder Nederlandse omstandigheden is weinig aandacht besteed. In 1985 en 1986 zijn door ICW en PAGV op de Sinderhoeve te Renkum beregeningsproeven uitgevoerd op een diep ontwaterde zandgrond met een vochtleverend vermogen van ongeveer 70 mm (Drenth en Ouwerkerk 1987). Tabel 2 is gebaseerd op gegevens uit dat onderzoek.

Tabel 2. Vochtverbruik en drogestofproduktie bij maïs (naar gegevens Drenth en Ouwerkerk 1987)

jaar	vochtverbruik (mm)	kg drogestof/ha (oogstbaar)	l water/ kg drogestof
1985	301	14.314	210
	295	13.853	212
	270	13.919	193
1986	422	17.006	248
	347	15.233	227
	<u>270</u>	<u>10.665</u>	<u>253</u>
gem	327	14.165	230

Het jaar 1985 was nat en koel, zodat beregening nauwelijks opbrengstverhogend werkte. Het jaar 1986 daarentegen was droog en warm. In dat jaar was eind juni het bodemvocht vrijwel verbruikt. Uit de tabel blijkt dat in de droge, warme zomer 15 tot 20 % meer water per kg drogestof nodig was dan in de natte koele zomer. Ook De Wit en Alberda (1961) vonden in potexperimenten een aanmerkelijk verhoogd vochtverbruik per kg drogestof als de luchtvochtigheid werd verlaagd. Aangenomen mag worden dat de voor groei beschikbare assimilaten voor 85 % in de oogstbare delen terecht komen. De rest gaat naar de wortel en stoppel of gaat voor de oogst al verloren (Sibma, 1987). Dit betekent dat gemiddeld over de twee proefjaren de oogstbare drogestofproduktie $100/85 \times 14.165 = 16.665$ kg/ha bedroeg. Per kg drogestof is dan 197 l water verbruikt. Ten behoeve van verdere berekeningen wordt deze hoeveelheid afgerond op 200 l/kg ds. Het vochtverbruik is daarmee vergelijkbaar met dat van bieten, tweederde van het vochtverbruik van gras en 60 % van dat van graan. Opmerkelijk is dat onderzoek in de Verenigde Staten (Harrold and Dreibelbis, 1951) weliswaar een veel hoger vochtverbruik per kg geproduceerde drogestof uitwees, maar dat ook daar het vochtverbruik van maïs ruim 60 % van dat van tarwe was.

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de verhouding tussen de drogestofproduktie en het vochtverbruik sterk wordt beïnvloed door de voedingstoestand van planten. Als planten suboptimaal worden bemest verloopt de groei wel minder snel. De huidmondjes hoeven dan minder ver open om voldoende koolzuur naar binnen te laten (Van Keulen and Van Laar, 1986) waardoor ook minder water ontsnapt. Toch kan het vochtverbruik van gewassen per kg geproduceerde drogestof toenemen als de stikstofbemesting wordt verlaagd. De oorzaak is dan dat het langer duurt voor gewassen de grond bedekken waardoor de totale verdamping vanaf het bodemoppervlak toeneemt. Op zandgrond wordt in het voorjaar al snel een droog bovenlaagje gevormd dat een effectieve barrière vormt tegen uitdroging, zeker als er oppervlakkige bewerkingen worden uitgevoerd, zoals bij schoffelen het geval is. Daardoor wordt het water in diepere lagen gereserveerd voor verdamping door de planten. De verdamping vanaf het bodemoppervlak kan in die situatie als volgt worden berekend (Driessen, 1986):

$$E_a = E_o * e^{(-0,4 * LAI)} * (S_{Mt} - S_{Ma}) / (S_{Mo} - S_{Ma})$$

E_a = actuele evaporatie (mm/dg)

E_o = potentiële evaporatie van kale grond, in mei en juni gemiddeld
3,8 mm/dg

LAI = leaf area index

S_{Mt} = volumedeel vocht in bodem, voor zandgrond globaal tussen de 0,18
(pF 2) en 0,04 (pF 4,2)

S_{Ma} = volumedeel vocht in luchtdroge grond, voor zandgrond ongeveer 0,013

S_{Mo} = porienaandeel grond, voor zandgrond ongeveer 0,4

Met deze formule is de actuele verdamping uitgerekend bij een variërende LAI en een verschillend vochtgehalte van de bodem (tabel 3).

Tabel 3. De invloed van LAI en vochtgehalte van de bodem op de dagelijkse
evaporatie (mm)

LAI	SMt			
	0,18	0,15	0,90	0,04
0	1,71	1,42	0,85	0,38
0,5	1,39	0,88	0,68	0,31
1	1,15	0,74	0,58	0,25
1,5	0,94	0,59	0,49	0,20
2	0,76	0,49	0,38	0,16
3	0,50	0,32	0,25	0,11
4	0,34	0,22	0,18	0,07

Het blijkt dat het achterblijven van de LAI door bijvoorbeeld een slechtere voorziening met stikstof slechts een gering effect heeft op de hoeveelheid vocht die door evaporatie verloren gaat. Vergeleken met de totale hoeveelheid vocht die een gewas verbruikt als gevolg van fotosynthese is dit effect te verwaarlozen. Bij berekeningen van drogestofproducties wordt daarom verondersteld dat de bemesting de transpiratiecoëfficiënt (liters water per kg drogestof) niet beïnvloedt.

3. Het vochtleverend vermogen van zandgrond

Het vochtleverend vermogen van een grond is opgebouwd uit twee delen. Het ene deel bestaat uit water dat aanwezig is in de bewortelbare zone en dat daaruit door de plantenwortels kan worden onttrokken, het 'hangwater'. Het andere deel is grondwater dat via capillair transport tijdens het groeiseizoen naar de wortelzone wordt getransporteerd en dan door de wortels kan worden opgenomen. Bij gronden met een hangwaterprofiel is geen sprake van capillaire vochtlevering. Bij gronden met permanent grondwater is steeds sprake van capillaire vochtlevering en bij gronden met tijdelijk grondwater is gedurende een deel van de groeiperiode sprake van capillaire vochtlevering. De kritieke grondwaterstand is gedefinieerd als de maximale diepte van het grondwater waarbij nog sprake kan zijn van de toevoer van een zekere hoeveelheid vocht per dag. In tabel 4 zijn de kritieke grondwaterstanden voor enige zandgronden gegeven. Ze gelden voor een homogeen profiel. De aanwezigheid van een laagje grof zand in het profiel kan de kritieke stijgafstand aanzienlijk beperken.

Tabel 4. Maximale grondwaterstandsdiepten (cm -mv) bij een gegeven capillaire aanvoersnelheid uit de ondergrond en een effectieve wortelzone van 40 cm (Rijtema, 1971)

aard ondergrond	minimale capillaire aanvoersnelheid			
	2 mm/dg	1,5 mm/dg	1 mm/dg	0,6 mm/dg
grof zand	89	90	92	95
matig grof zand	94	97	100	105
matig fijn zand	121	126	134	146
fijn zand	162	172	187	212
zwak lemig, matig grof zand	92	99	111	129
lemig fijn zand	180	193	214	247
zandig leem	100	104	110	117
fijnzandig leem	237	255	295	333
leem	192	208	233	270

Naar grondwaterstand worden gronden ingedeeld in trappen, weergegeven in tabel 5. Door Breeuwsma en Schoumans (1986) is recent nagegaan hoe het bouwland in de mestoverschotgebieden over de grondwatertrappen is verdeeld (tabel 6).

Tabel 5. Indeling grondwatertrappen (Van der Sluijs, 1987)

Grondwatertrap	gemiddelde grondwaterstand (cm-mv)	
	hoogste	laagste
I	--	minder 50
II	--	50 - 80
III	minder 40	80 - 120
IV	meer 40	80 - 120
V	minder 40	meer 120
VI	40 - 80	meer 120
VII	meer 80	meer 120

Tabel 6. Procentuele verdeling van grondwatertrappen; bouwland in het Centraal, Oostelijk en Zuidelijk Zandgebied (Breeuwsma en Schoumans, 1986)

Grondwatertrap	Centraal Zandgebied	Oostelijk Zandgebied	Zuidelijk Zandgebied
I	0	0	0
II	1	1	1
III	14	13	8
IV	0	4	1
V	1	13	21
VI	12	23	31
VII	70	44	37
Percentage van grondwatertrap VII met een een gemiddelde laagste grondwaterstand van meer dan 3 meter:			
	73	39	22

Door verbetering van de ontwatering en door grondwateronttrekking, ook door de landbouw, is in de zandgebieden op veel plaatsen een daling van de grondwaterstand opgetreden. Bij gronden met matige tot slechte capillaire eigenschappen is de overgang van een grote naar een kleine vochtleverantie zeer abrupt. Op die gronden kan dan ook de bijdrage van capillaire opstijging aan de vochtvoorziening van gewassen sterk zijn afgenomen. Bij gronden met goede capillaire eigenschappen hoeft een beperkte grondwaterstands daling nog niet te leiden tot een sterke afname van de capillaire opstijging van grondwater.

De hoeveelheid water die een gewas uit de grond kan onttrekken is de hoeveelheid die aanwezig is na uitlekken (pF 2,0) verminderd met de hoeveelheid die nog aanwezig is bij het verwelken van het gewas (pF 4,2). Die hoeveelheid is sterk afhankelijk van het humusgehalte, het klei- en leemgehalte en de korrelgrootteverdeling van de zandfractie.

Tabel 7. Bodemkenmerken en de daarmee samenhangende hoeveelheid opneembaar vocht (naar gegevens Krabbenborg et al., 1983)

Humusgehalte						leemgehalte				korrelgrootte zandfractie				volumepercentage opneembaar vocht
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	
x						x				x				8
x						x					x			12
	x					x					x			11
		x				x					x			15
			x			x					x			18
				x		x					x			21
					x	x					x			25
x							x				x			16
x								x				x		19
x									x			x		23
x						x							x	26
humusgehalte:						leemgehalte:				korrelgrootte:				
1 = uiterst humusarm						1 = leemarm				1 = matig grof				
2 = zeer humusarm						2 = zwak lemig				2 = matig fijn				
3 = matig humusarm						3 = sterk lemig				3 = zeer fijn				
4 = matig humeus						4 = zeer sterk lemig				4 = uiterst fijn				
5 = humusrijk														
6 = zeer humeus														

Het vochtleverend vermogen van een bodem is te berekenen uit de hoeveelheid 'hangwater' in de bewortelbare zone. De bewortelbare zone is dat deel van het profiel dat zodanig wordt beworteld dat het vocht tot verwelkingspunt kan worden onttrokken. In deze laag bevindt zich minstens 80 % van de totale hoeveelheid wortels van het gewas. Bij veel zandgronden is de onderkant van de bewortelbare zone scherp begrensd. Een voorbeeld: bij een bewortelbare diepte van 50 cm en een volumepercentage opneembaar vocht van 15 is het vochtleverend vermogen van een grond 75 mm, nl 15 % van 50 cm. Afhankelijk van de grondwaterstand en de textuur van de ondergrond kan daar dan een hoeveelheid 'opwaartse neerslag' worden bijgeteld.

4. De maximale drogestofproduktie bij beperkte vochtvoorziening

Door Van Heemst et al. (1978) werd voor Nederland de maximale bruto drogestofproduktie van een standaardgewas per maand berekend op basis van de gemiddelde stralingsintensiteit en de gemiddelde temperatuur in Nederland. Als standaard werd een C3-gewas genomen, dat voor fotosynthese een minimale gemiddelde dagtemperatuur van 5 °C eist, terwijl voor optimale fotosynthese die temperatuur hoger moet zijn dan 10 °C. De bij de fotosynthese gevormde suikers worden door de plant gebruikt voor groei van nieuw structureel weefsel en onderhoud van bestaand weefsel. Een deel van de gevormde suikers wordt daarvoor verademd. In tabel 8 staan de berekende hoeveelheden drogestof die uiteindelijk elke maand bijgroeien in de vorm van wortels, stoppels, stengels, bladeren en zaden. De lengte van het groeiseizoen en de mate van grondbedekking in verschillende perioden bepalen welk deel van de produktiemogelijkheden van het standaardgewas aan een specifiek gewas toegewezen kan worden. Maïs wijkt af van het standaardgewas omdat voor groei hogere temperaturen nodig zijn. De groei in het voor- en najaar zal dus geringer zijn. De maximale groeisnelheid in de zomer is hoger dan die van het standaardgewas. Voor het doel van deze studie, de produktie op jaarbasis berekenen, lijkt het verantwoord de voor- en najaarsnadelen tegen het zomervoordeel weg te strepen (pers. med. Van Keulen, CABO). Bij de berekeningen van de drogestofproduktie is ervan uitgegaan dat de maïs op 15 mei begint te groeien en dat, vanwege een geringe lichtonderschepping, in de tweede helft van mei slechts 12,5 % van de maximale groei van het standaardgewas kan worden gerealiseerd. Voor de eerste en de tweede helft van juni wordt respectievelijk 25 en 50 % aangenomen. Daarna is de potentiële groei gelijk aan de groei van het standaardgewas. Verondersteld is dat na september geen drogestof meer geproduceerd wordt en het gewas afrijpt.

Tabel 8. De potentiële drogestofproduktie van een 'standaardgewas' onder gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden (Van Heemst et al., 1978) en die van maïs

Maand	produktie drogestof (kg/ha) standaardgewas	maïs
april	5.500	0
mei	7.100	443
juni	7.600	2.850
juli	7.300	7.300
augustus	6.400	6.400
september	4.700	4.700
oktober	3.200	0

Als er geen andere groeilimiterende factoren, zoals stikstofgebrek of ziekten, optreden zal de groei bepaald worden door de beschikbare hoeveelheid vocht. Voor elke kg drogestof is immers 200 l water nodig. Het voor groei benodigde vocht is deels afkomstig uit de bodemvoorraad aan het begin van het groeiseizoen, deels uit capillaire nalevering vanuit het grondwater en deels uit neerslag. Capillaire nalevering en neerslag zorgen ervoor dat de voorraad bodemvocht, die door verdamping afneemt, wordt aangevuld. Als de maximale opslagcapaciteit bereikt is zal de capillaire nalevering stoppen en zal het teveel aan neerslag wegzakken tot beneden de bewortelbare zone. In tabel 9 staat hoeveel neerslag er in de periode 1951-1980 gemiddeld maandelijks gevallen is in het Centrale, Oostelijke en Zuidelijke Zandgebied (KNMI, 1988).

Tabel 9. Gemiddelde neerslag per maand in het Centrale, Oostelijke en Zuidelijke Zandgebied (KNMI, 1988)

	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober
neerslag (mm)	50	56	66	84	83	62	60

Op basis van deze neerslaggegevens, de eerder berekende maximaal haalbare drogestofproduktie per maand en de veronderstelling dat geen capillaire opstijging mogelijk is door diepe ontwatering, kan voor elk willekeurig perceel de maximale drogestofproduktie berekend worden volgens onderstaande procedure. De factor 10.000 in de rekenregels is nodig om hoeveelheden water te vertalen van millimeter naar liters/ha (1 mm water komt overeen met 10.000 liter water/ha).

- Vmax = de maximale wateropslagcapaciteit van een bodem (in de berekeningen wordt verondersteld dat op 1 mei de opslagcapaciteit van de bodem maximaal is; mm)
- Vn = hoeveelheid bodemvocht die aan het einde van de n-de maand nog voor het gewas beschikbaar is (kleiner of gelijk aan Vmax; mm)
- Nn = hoeveelheid neerslag die valt in de n-de maand (tabel 9; mm)
- C = maximale capillaire opstijging per maand (in de berekeningen 0 verondersteld; mm)
- T = vochtverbruik per kg drogestof (in de berekeningen 200 verondersteld; l)
- Pn = potentiële drogestofproduktie in n-de maand bij voldoende vocht (tabel 8; kg/ha)
- Yn = maximale drogestofproduktie in n-de maand bij beperkte vochtvoorziening (kg/ha)
- Yj = maximale drogestofproduktie per jaar bij beperkte vochtvoorziening (kg/ha)

Eerste maand:

indien $V_{\max} + N_1 + C$ groter dan $P_1 * T/10.000$ $Y_1 = P_1$
anders: $Y_1 = (V_{\max} + N_1 + C) * 10.000/T$

$V_1 = V_{\max} + N_1 + C - Y_1 * T/10.000$
indien V_1 groter dan $V_{\max}$ $V_1 = V_{\max}$
anders: $V_1 = V_1$

Tweede maand:

indien $V_1 + N_2 + C$ groter dan $P_2 * T/10.000$ $Y_2 = P_2$
anders: $Y_2 = (V_1 + N_2 + C) * 10.000/T$

$V_2 = V_1 + N_2 + C - Y_2 * T/10.000$
indien V_2 groter dan $V_{\max}$ $V_2 = V_{\max}$
anders: $V_2 = V_2$

n-de maand:

indien $V_{n-1} + N_n + C$ groter dan $P_n * T/10.000$ $Y_n = P_n$

anders: $Y_n = (V_{n-1} + N_n + C) * 10.000/T$

$V_n = V_{n-1} + N_n + C - Y_n * T/10.000$

indien V_n groter dan V_{max} $V_n = V_{max}$

anders: $V_n = V_n$

$Y_j = Y_1 + Y_2 + \dots Y_n + \dots$

De uitkomsten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 10. Bij een bodem met een vochtleverend vermogen van 25 mm kan gedacht worden aan een voormalige zandverstuiving. Bij een vochtleverend vermogen van 75 mm aan een veldpodzol met een bewortelbare diepte van 30 cm en bestaande uit humusrijk, matig fijn, leemarm zand. Een vochtleverend vermogen van meer dan 125 mm hoort bij een diep bewortelbare enkeerdgrond. Uit de resultaten blijkt dat op gronden met een vochtleverend vermogen van meer dan 125 mm onder gemiddelde weersomstandigheden nauwelijks vochttekorten optreden. Ter vergelijking zijn in tabel 11 ook de jaarproducties van gras en voederbieten vermeld. Aangenomen is dat gras en bieten respectievelijk 250 en 200 l water per kg drogestof verbruiken. Verondersteld is dat het gras 4 keer per jaar wordt gemaaid of zeven keer wordt beweid en dat gedurende 18 dagen na maaien of beweiden de potentiële produktie 50 % is van dat van het standaardgewas. Bij voederbieten is verondersteld dat de groei van het gewas op 15 mei start, de eerste halve maand 12,5 % van het standaardgewas bedraagt en in de twee daarop volgende halve maanden respectievelijk 25 % en 50 %. De oogst wordt verondersteld op 31 oktober plaats te vinden. Aangenomen is dat bieten 1000 kg drogestof voor wortelvorming gebruiken. Het deel van de drogestof dat gras in de wortels investeert is afhankelijk van het produktieniveau (Ennik and Baan Hofman, 1983). Ongeveer 25 % van de resterende drogestof wordt in stoppels geïnvesteerd (Sibma en Ennik, 1988).

Tabel 10. Drogestofproduktie (kg/ha) van maïs bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem, onder gemiddelde weersomstandigheden en de afwezigheid van andere groeibelemmende factoren als stikstofgebrek en ziekten of plagen

maand	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
april	0	0	0	0	0
mei	443	443	443	443	443
juni	2850	2850	2850	2850	2850
juli	5450	7300	7300	7300	7300
augustus	4150	4800	6400	6400	6400
september	3100	3100	4000	4700	4700
oktober	0	0	0	0	0
totaal	15993	18443	20993	21693	21693
correcties voor:					
praktijk ¹⁾	13594	15677	17844	18439	18439
stoppels/wortels ²⁾	2039	2352	2677	2766	2766
oogstbaar	11555	13325	15167	15673	15673

- 1) omdat in de praktijk gemiddeld nooit 'proefveldopbrengsten' gehaald worden i.v.m. heterogeniteit van de percelen, perceelsranden etc. verminderen Van Heemst et al. (1978) de opbrengst met 10 %, anderen met 25 % (Ingram, 1990). In deze berekeningen wordt uitgegaan van 15 %
- 2) 15 % van de geproduceerde drogestof wordt gebruikt voor stoppels en wortels (Sibma, 1987)

Tabel 11. Maximaal oogstbare drogestofproduktie van enige voedergewassen, relatief ten opzichte van maïs, bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem

gewas	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
maïs	74	85	97	100	100
voederbieten	97	110	130	135	135
gras gemaaid	59	65	72	82	92
gras beweid	55	61	67	73	83

100 = 15.673 kg drogestof/ha

Uit tabel 11 blijkt dat voederbieten een aanzienlijk hogere produktie realiseren dan maïs. De oorzaak ligt in de langere groeiperiode en de relatief geringe investering in niet oogstbare delen. Door de hoge transpiratiecoëfficiënt, de tijdelijk lagere groeisnelheid na maaien en de grote hoeveelheid niet oogstbare drogestof (stoppels en wortels) is de produktie van grasland relatief gering, vooral op gronden met een gering

vochtleverend vermogen. Bovendien kan oud grasland minder goed water aan diepere bodemlagen onttrekken dan andere gewassen (Wind, 1954). Door de geringere bewortelbare diepte is het vochtleverend vermogen van grond onder oud grasland geringer dan van dezelfde grond onder maïs, bieten of jong grasland. De lange groeiperiode van gras kan deze nadelen alleen compenseren als er veel vocht beschikbaar is.

De opbrengsten zijn berekend voor een jaar met gemiddelde omstandigheden en zullen niet overeen komen met de gemiddelde produktie over een lange reeks van jaren. Eerst middelen en dan rekenen leidt immers principieel tot andere resultaten dan eerst rekenen en dan middelen (De Wit and Van Keulen, 1987). Vooral op grond met een gering vochtleverend vermogen en bij gewassen met een grote waterbehoefte zal de gerealiseerde produktie van jaar tot jaar sterke schommelingen vertonen. De in de praktijk gesignaleerde relatief stabiele produktie van maïs vergeleken met die van grasland is hierop vermoedelijk voor een belangrijk deel terug te voeren.

5. De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof

Maïs kan stikstof opnemen in de vorm van nitraat (NO_3^-) of als ammonium (NH_4^+). Stikstof in deze vormen wordt ook wel minerale stikstof genoemd. De hoeveelheid opneembare stikstof is gedefinieerd als de som van de minerale stikstof die in de loop van het groeiseizoen beschikbaar komt. De stikstof in kunstmest bestaat geheel en die in dierlijke mest gedeeltelijk uit minerale stikstof. Voor een deel bevindt de stikstof in dierlijke mest zich in organische vorm. Ook in de bodem bevindt zich een grote hoeveelheid stikstof in organische vorm. Micro-organismen zijn in staat deze organische verbindingen af te breken, waardoor stikstof gemineraliseerd wordt. Een gedeelte van de minerale stikstof wordt direct weer vastgelegd door micro-organismen en is dus niet opneembaar. Ook via neerslag komt stikstof in minerale vorm in de bodem terecht. In dit hoofdstuk wordt een procedure beschreven om de hoeveelheid stikstof die tijdens het groeiseizoen in minerale vorm beschikbaar komt, en dus in principe door het gewas kan worden opgenomen, te berekenen. In het volgende hoofdstuk wordt beschreven hoeveel daarvan ook werkelijk door het gewas wordt opgenomen.

De hoeveelheid stikstof die opneembaar is tijdens het groeiseizoen is de som van gemineraliseerde bodemstikstof, stikstofdepositie en meststofstikstof, welke laatste is op te splitsen in dierlijke mest en kunstmest.

$$N_{\text{tot}} = N_a + N_s + N_n$$

waarin,

N_{tot} = totale hoeveelheid minerale stikstof opneembaar tijdens het groeiseizoen

N_a = hoeveelheid opneembare stikstof uit meststoffen

N_s = hoeveelheid stikstof die wordt gemineraliseerd tijdens het afbreken van organische stof van de bodem en opneembaar is

N_n = hoeveelheid stikstof die door neerslag in de bodem terecht komt en opneembaar is

$$N_a = N_{ad} + N_{ak}$$

waarin,

Nad = hoeveelheid opneembare stikstof uit dierlijke mest

Nak = hoeveelheid opneembare stikstof uit kunstmest

Kunstmest kost geld; daarom mag worden verondersteld dat het op een zodanig tijdstip wordt toegediend dat alle aanwezige stikstof tijdens het groeiseizoen opneembaar is. Bij gebruik van ammoniumnitraat is enige ammoniakvervluchtiging denkbaar, maar vanwege de geringe omvang wordt dit verlies buiten beschouwing gelaten. Door deze aannames is Nak gelijk aan de hoeveelheid aan het gewas toegediende kunstmeststikstof. Bij dierlijke mest mogen deze aannames niet gemaakt worden. De stikstof in dierlijke mest bestaat voor een gedeelte uit ammonium (de Nm-fractie), voor een gedeelte uit stikstof in een organische vorm waaruit ze via mineralisatie in het eerste jaar vrijkomt (Ne-fractie) en voor een deel uit stikstof die zeer hecht aan organische stof is gebonden en die pas over perioden van jaren daaruit vrijkomt (Nr-fractie), zodat deze stikstof deel gaat uitmaken van de voorraad 'stabiele' organische stikstof in de bodem. Voor runderdrijfmest geldt dat ongeveer 50 % van de stikstof in de mest tot de Nm-fractie behoort, 25 % tot de Ne-fractie en de rest tot de Nr-fractie (Lammers, 1984). Runderdrijfmest bevat in totaal ongeveer 5 kg N per kubieke meter. Bij toediening van de mest gaat een gedeelte van de ammonium door ammoniakvervluchtiging verloren. Het verliespercentage hangt sterk af van de tijdsduur dat de mest zich aan het oppervlak van de bodem bevindt. Is de mest eenmaal in de grond dan is de kans op vervluchtiging miniem, te meer omdat ammonium snel wordt omgezet in nitraat (tabel 11).

Tabel 11. Invloed van de methode van mestaanwending op het deel van de stikstof van de Nm-fractie, dat verloren gaat (naar MvL, 1988).

Methode mestaanwending	verlies
- injectie of in één werkgang onderwerken	0,05
- uitrijden tijdens beregening of verdund verregenen	0,15
- binnen één dag beregenen of onderwerken	0,20
- geen maatregelen, oppervlakkige aanwending	0,50

Bij het uitrijden van drijfmest wordt niet alleen rekening gehouden met de bemestende waarde van de mest maar ook met de berijdbaarheid van percelen en de capaciteit van de mestopslag op het bedrijf. Daardoor kan een zodanig bemestingstijdstip worden gekozen dat een deel van de minerale stikstof uit

de mest bij de aanvang van de groei al zo diep is ingespoeld dat de stikstof buiten bereik van het wortelstelsel is gekomen. Ook dat deel van de Nm-fractie van de mest is dus door het gewas niet opneembaar (tabel 12).

Tabel 12. Invloed van het tijdstip waarop runderdrijfmest wordt uitgereden op het deel van de niet vervluchtigde stikstof van de Nm-fractie dat opneembaar is (naar Lammers, 1984).

Tijdstip mest uitrijden	opneembaar
oktober	0,15
november	0,15
december	0,23
januari	0,63
februari	1,00
maart	1,00
april	1,00

Het vrijkomen van stikstof uit de Ne-fractie is vooral afhankelijk van het tijdstip van uitrijden (Rijtema, 1983). In tabel 13 staat voor verschillende tijdstippen het gedeelte van de stikstof in de Ne-fractie dat vrijkomt in een periode dat een maïsgewas stikstof kan opnemen. In bijlage 1 is de methode beschreven waarmee deze fracties berekend zijn.

Tabel 13. De invloed van het tijdstip waarop runderdrijfmest wordt uitgereden op het gedeelte van de stikstof van de Ne-fractie dat door een maïsgewas opneembaar is.

Tijdstip mest uitrijden	opneembaar
oktober	0,76
november	0,82
december	0,86
januari	0,88
februari	0,89
maart	0,90
april	0,90

De hoeveelheid opneembare stikstof uit runderdrijfmest is de som van de opneembare stikstof van de Nm-fractie en van de Ne-fractie en is nu met de volgende vergelijking te berekenen:

$$\begin{aligned} \text{Nad} &= \text{Nd} * \text{Nm-fractie} * (1-\text{Cl}) * \text{C2} + \text{Nd} * \text{Ne-fractie} * \text{C3} \\ &= \text{Nd} (0,50 * (1-\text{Cl}) * \text{C2} + 0,25 * \text{C3}) \end{aligned}$$

waarin,

Nad = hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest die zich tijdens het
groeiseizoen in minerale vorm in de bodem bevindt en dus in principe
opneembaar is

Nd = totale hoeveelheid stikstof in dierlijke mest (ongeveer 5 kg/kubieke
meter drijfmest)

Cl = correctiefactor voor ammoniakvervluchtiging (tabel 11)

C2 = correctiefactor voor uitspoeling als gevolg van het tijdstip van
uitrijden (tabel 12)

C3 = correctiefactor voor mineralisatie buiten het groeiseizoen (tabel 13)

Nm-fractie = deel van de stikstof dat uit ammonium bestaat (ongeveer 0,50)

Ne-fractie = deel van de stikstof dat binnen een jaar gemineraliseerd wordt
(ongeveer 0,25)

Om de totale hoeveelheid opneembare stikstof te kunnen berekenen, ontbreken
nog de bijdrage van mineralisatie uit organische stof in de bodem (Ns) en
die van neerslag (Nn).

Het gemiddelde melkveebedrijf op zandgrond heeft ongeveer 22 ha gras en 3
ha maïs. In de wortels en stoppels van gras bevindt zich ongeveer 90 kg
N/ha, in die van maïs ongeveer 30 kg. In een evenwichtssituatie zullen deze
hoeveelheden jaarlijks ook weer vrij moeten komen omdat stoppels en wortels
jaarlijks vervangen worden. Gemiddeld over het hele bedrijf zal door
mineralisatie van stikstof uit stoppels en wortels daarom jaarlijks
ongeveer 83 kg N/ha vrijkomen.

Gemiddeld wordt 428 kg stikstof per jaar per ha met mest en urine door het
vee uitgescheiden (Aarts et al., 1988). Als 25 % hiervan tot de Nr-fractie
behoort, en dus pas na het eerste jaar geleidelijk vrij komt, zal de
hoeveelheid organische N in de bodem jaarlijks met 107 kg toenemen. In een
evenwichtssituatie komt dan ook 107 kg stikstof vrij uit deze voorraad.

Gemiddeld zal dus per ha $107 + 83 = 190$ kg N per jaar vrijkomen door
mineralisatie uit organische stof in de bodem. Afhankelijk van de
voorvrucht (hoeveelheid stoppels, wortels en oogstresten) en de hoeveelheid
in eerdere jaren toegediende dierlijke mest, kan dat op een bepaald perceel
meer of minder zijn. Op een perceel dat continu met maïs beteeld wordt, zal
relatief weinig stikstof vrijkomen uit wortel- en stoppelresten, maar het

verschil wordt gecompenseerd als jaarlijks een, in de praktijk niet ongebruikelijke, hoeveelheid van 128 ton runderdrijfmest wordt uitgereden. Sluijsmans en Kolenbrander (1976) hebben beschreven hoe de mineralisatie over de maanden is verdeeld. Daaruit is te berekenen dat ongeveer 13 % van de uit organische stof van de bodem gemineraliseerde stikstof niet opneembaar is. Bij een mineralisatie van 190 kg N/ha is de hoeveelheid opneembare stikstof dan $190 \times 0,87 = 165$ kg N. De stikstofneerslag in de zandgebieden waar melkveehouderijbedrijven gevestigd zijn staan vermeld in tabel 14.

Tabel 14. Depositie van stikstof (kg/ha/jaar) in de belangrijkste maïsteeltgebieden (CLM, 1989, naar gegevens van Erisman et al., 1987)

regio	depositie
ZO-Overijssel	49,0
NW-Gelderland (Veluwe)	45,0
NO-Gelderland (Achterhoek)	52,0
Midden-Noord-Brabant	46,0
NO-Noord-Brabant	52,0
ZO-Noord-Brabant	50,0
gemiddeld	49,0

Wordt verondersteld dat de stikstofdepositie evenredig over de maanden is verdeeld, dan is het gedeelte van de stikstofdepositie dat opneembaar is voor het gewas te berekenen met de methode zoals in bijlage 2 is vermeld. Dit gedeelte is 0,72, zodat $N_n 49 \times 0,72 = 35$ kg/ha/jr bedraagt.

De totale hoeveelheid stikstof die tijdens het groeiseizoen voor opname beschikbaar is volgt nu uit:

$$N_{tot} = N_{ak} + N_d (0,50 \times C_2 \times (1-C_1) + 0,25 \times C_3) + N_s + 35 \quad (\text{kg/ha})$$

Echter, slechts een gedeelte van de opneembare stikstof wordt ook werkelijk opgenomen. Hoe groot dat gedeelte is, wordt niet alleen bepaald door karakteristieke eigenschappen van maïs, maar ook door de hoeveelheid opneembare stikstof en de vochtvoorziening.

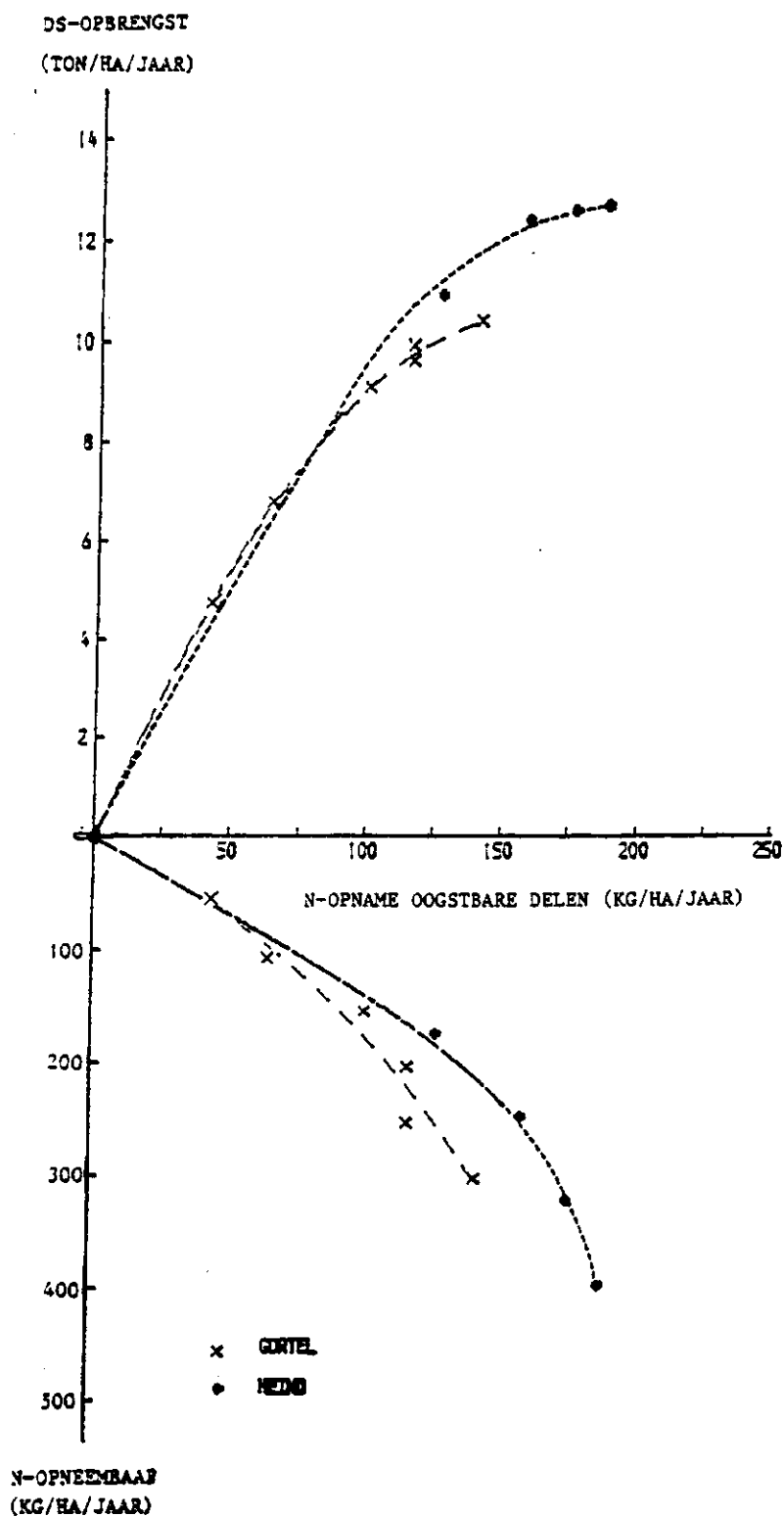
6. Opneembare stikstof, stikstofopname en drogestofproduktie

Niet alleen door vochtgebrek, maar ook door stikstofgebrek kan de drogestofproduktie van een maïsgewas worden geremd. In tegenstelling tot vocht, is het verband tussen de hoeveelheid 'verbruikte' stikstof en de drogestofproduktie niet lineair over het hele traject van stikstofopnamen. Het gewas gaat bij stikstofschaarste efficiënter met de opgenomen stikstof om zodat per eenheid opgenomen stikstof meer drogestof wordt geproduceerd. Bovendien zal bij een geringere hoeveelheid opneembare stikstof een groter deel ervan worden opgenomen.

Op grond van de resultaten van een aantal veldproeven kunnen de relaties tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de stikstofopname en tussen de hoeveelheid opgenomen stikstof en de drogestofproduktie kwantitatief worden beschreven. De meeste van deze proeven hadden tot doel effecten van, veelal grote, giften drijfmest na te gaan. Ter vergelijking werden ook objecten aangelegd waarin geen dierlijke mest werd toegepast. Omdat het opbrengstverhogend effect van drijfmest niet altijd volledig verklaard kon worden uit de voorziening van het gewas met nutriënten, ondermeer omdat toediening van drijfmest ook kan leiden tot een verbetering van het vochtleverend vermogen van de bodem, en omdat ook de laagste drijfmestgiften al aanzienlijke hoeveelheden stikstof bevatten, is bij de analyse uitsluitend gebruik gemaakt van de kunstmestobjecten en van onbemeste objecten.

Voor ons doel bruikbare proeven zijn van 1976 tot 1982 uitgevoerd in Heino en van 1972 tot 1982 in Gortel (Schröder, 1985; Schröder and Dilz, 1987). De bodem in Heino was een zwak lemige enkeerdgrond met een bewortelbare diepte van 50 - 100 cm, die in Gortel een niet nader omschreven zandgrond met een bewortelbare diepte van slechts 30 - 40 cm. Waarschijnlijk vooral door het verschil in bewortelbare diepte was er een groot verschil in vochtleverend vermogen van de bodem tussen de twee locaties. Het proefveld te Gortel gold als erg droogtegevoelig. Om misoogsten te voorkomen werd daar berekening toegepast als dat noodzakelijk was.

In het bovenste deel van figuur 1 is voor beide locaties de drogestofopbrengst uitgezet tegen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen. De resultaten hebben betrekking op de gemiddelde waarden per object over de hele onderzoeksperiode. In bijlage 3 zijn de resultaten voor de afzonderlijke proefjaren te Heino weergegeven. Het verband tussen drogestofopbrengst en stikstofopname kan met verschillende wiskundige functies



Figuur 1. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst (boven) en tussen de opneembare hoeveelheid stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen (onder) in de proeven te Heino (1976 - 1982, *) en Gortel (1972 - 1982, x).

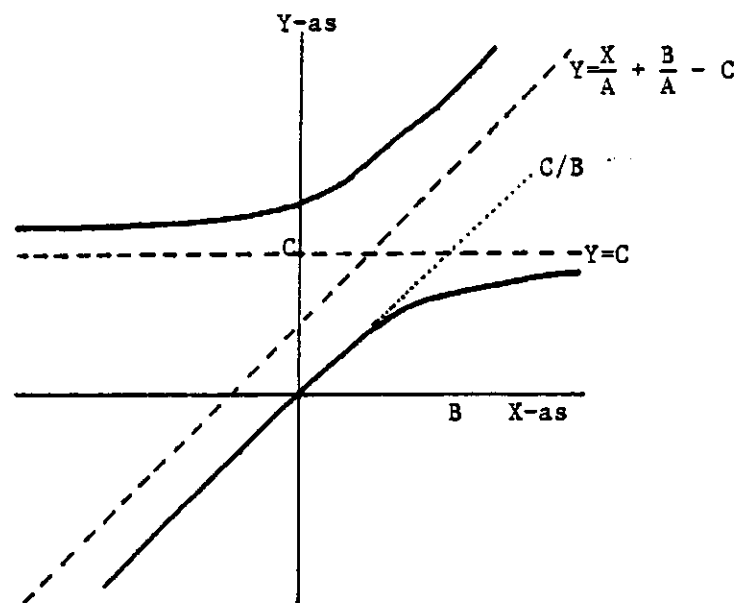
benaderd worden. Relatief eenvoudige functies zijn logarithmische functies en orthogonale hyperbolen. Beide functies blijken bij beide proefvelden het verband tussen drogestofopbrengst en stikstofopname niet over het hele traject goed te beschrijven. Daarom is gekozen voor de niet-orthogonale hyperbool, die volgens Thornley (1976) goed bruikbaar is om de reactie van gewassen op de nutriëntenopname te beschrijven. Goudriaan (1979) gebruikt de niet-orthogonale hyperbool om de fotosynthesesnelheid als functie van de CO₂-concentratie te beschrijven.

De algemene vergelijking van de niet-orthogonale hyperbool is:

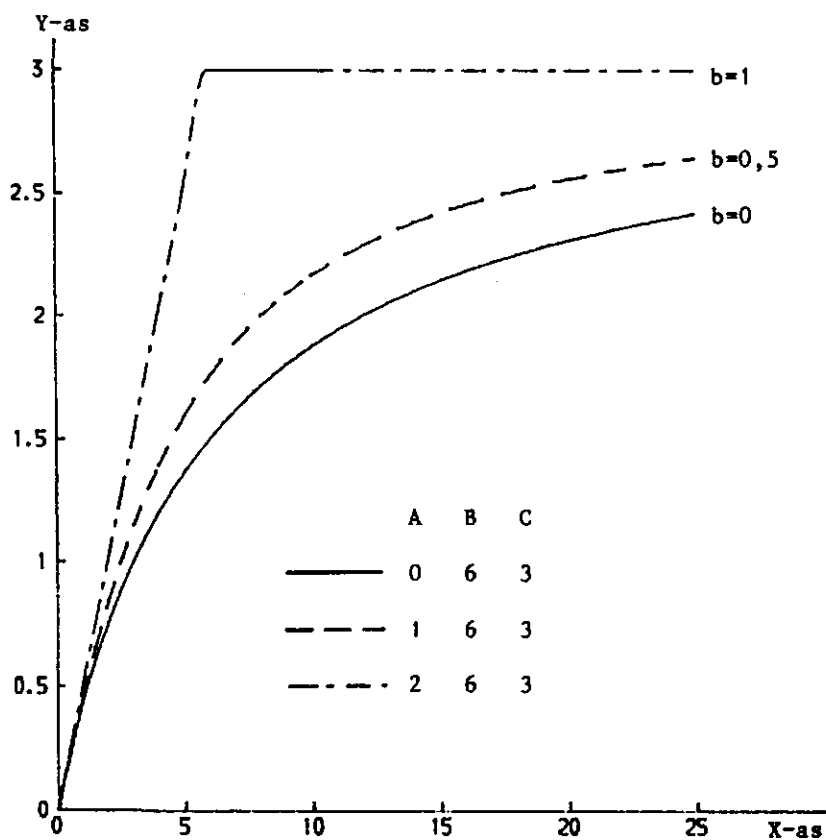
$$-A*Y**2 + X*Y + B*Y + C*X = 0$$

waarin X = verklarende variabele
Y = te verklaren variabele
A = parameter
B = parameter
C = parameter

Zoals blijkt uit figuur 2 heeft deze hyperbool twee asymptoten die niet loodrecht op elkaar staan. Voor ons doel is alleen de onderste curve van de hyperbool voor positieve X-waarden van belang. In figuur 3 zijn drie hyperbolen weergegeven met dezelfde waarden voor de parameters B en C. De parameter C vertegenwoordigt de waarde van de horizontale asymptoot. De richtingscoëfficiënt van de raaklijn aan de curve in de oorsprong is gelijk aan C/B. De kromming van de curve wordt bepaald door het quotient $b=A*C/B$. Als $b=0$ dan geldt $A=0$ en ontstaat een orthogonale hyperbool (de mogelijkheid $C=0$ is niet relevant). Als $b=1$ en dus $A=B/C$, dan bestaat de curve uit twee lijnstukken: $Y=X/A$ voor X kleiner dan B en $Y=C$ voor X groter dan B. Door verandering van de waarde van de parameter A kan de kromming van de curve veranderd worden bij gelijkblijvende horizontale asymptoot en initiële helling.



Figuur 2. Schematische voorstelling van de niet-orthogonale hyperbool.



Figuur 3. Drie niet-orthogonale hyperbolen, met allen dezelfde beginhelling en horizontale asymptoot, maar met een andere kromming.

Bij het berekenen van de waarden van de parameters van de curve voor Heino is ook gebruik gemaakt van de twee laagste stikstofopnameniveaus te Gortel omdat voldoende lage waarden voor Heino ontbraken. Dat is verdedigbaar omdat onder die omstandigheden de initiële helling vooral een gewaskarakteristiek is en bijna onafhankelijk van groeiomstandigheden (Van Keulen and Van Heemst, 1982). Ook is de oorsprong aan de set gegevens toegevoegd.

De parameters voor de twee curven in het bovenste deel van figuur 1 zijn:

	A	B	C
Gortel	7.7	103	12.1
Heino	9.4	130	13.5

De beginhelling van de curven (B/C) is het N-gehalte van de maïs bij lage stikstofopname. Deze is 8.5 en 9.6 g N/kg drogestof voor respectievelijk Gortel en Heino. De horizontale asymptoot ($C=12.1$ en 13.5 ton ds/ha) ligt voor beide locaties boven de hoogst gemeten waarde; per definitie zal de hyperbool de asymptoot nooit raken. De waarde b, die de kromming van de curve bepaald, is voor Gortel en Heino respectievelijk 0.90 en 0.98.

Met behulp van de gegevens van Gortel en Heino kunnen nu parameters voor een algemeen toepasbare curve afgeleid worden. De beginhelling van de curve wordt verondersteld een gewaskarakteristiek te zijn, die onafhankelijk is van het vochtleverend vermogen van de grond. De waarde is gesteld op 9,05 (kg N/ton drogestof), het gemiddelde van Gortel en Heino.

De kromming van de curve $b = A \cdot C / B$ is gesteld op 0.94, het gemiddelde van de waarden van Gortel en Heino. Hiermee is ook de waarde van A bepaald, nl. 8,51. Parameter C, de horizontale asymptoot, is afhankelijk van de maximale produktie. In hoofdstuk 3 is beschreven hoe deze berekend kan worden op basis van het vochtleverend vermogen in de bodem. De horizontale asymptoot is niet gelijk aan de berekende maximale produktie, omdat die dan nooit bereikt zou worden. Verondersteld wordt nu dat de maximale produktie bereikt wordt als het N-gehalte van de maïs 16 kg ton drogestof is. Uit de jaarlijkse gewasanalyses van de proef in Heino blijkt dat dit gehalte zelden overschreden wordt. Er kan nu worden afgeleid dat, wanneer de maximale produktie bereikt wordt bij dit stikstofgehalte, de parameter C een waarde moet hebben die 8 % hoger ligt dan de berekende maximale

drogestofopbrengst. Als de waarde van de parameter C bekend is kan de waarde van parameter B berekend worden: $B = 9,05 \cdot C$.

Hiermee wordt de algemene functie voor de relatie tussen opgenomen stikstof en drogestofopbrengst:

$$-8,51 \cdot Y_r^2 + Nop \cdot Y_r + 9,05 \cdot (Y_j \cdot 1,08) \cdot Y_r - (Y_j \cdot 1,08) \cdot Nop = 0$$

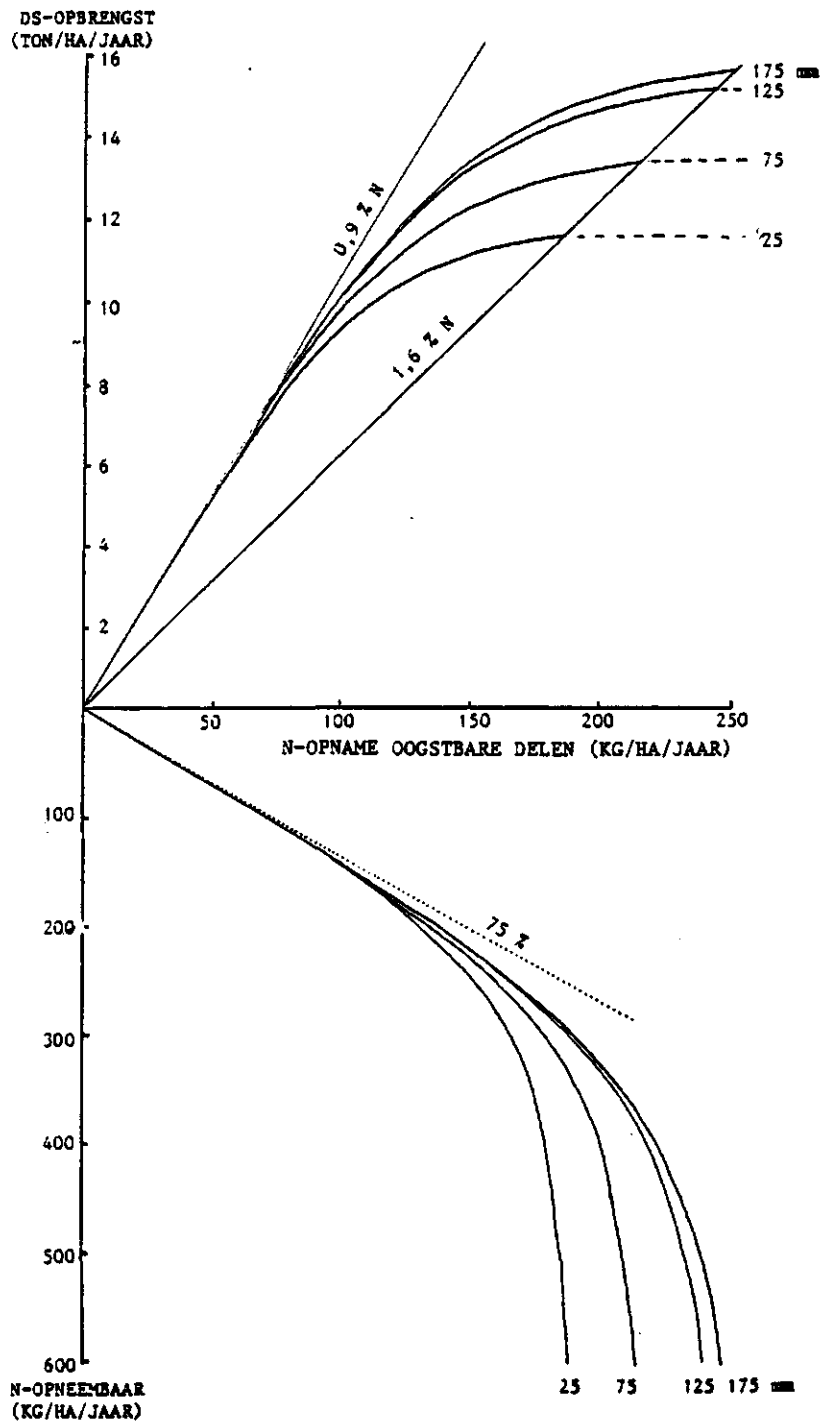
waarin, Y_r = gerealiseerde opbrengst (kg ds/ha)

Y_j = maximaal haalbare opbrengst (kg ds/ha)

Nop = stikstofopname oogstbare delen (kg N/ha)

In het bovenste deel van figuur 4 zijn voor enige percelen met een verschillend vochtleverend vermogen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, de berekende curven getekend. Op een grond met een laag vochtleverend vermogen wordt, bij eenzelfde N-opname, een lagere drogestofproduktie, en daarmee een hoger stikstofgehalte bereikt terwijl de maximale produktie bij een lagere stikstofopname wordt bereikt.

Niet alle stikstof die opneembaar is zal ook worden opgenomen. In het algemeen is het gedeelte dat opgenomen wordt geringer naarmate het aanbod groter is (Van der Meer et al., 1987). In het onderste deel van figuur 1 zijn de resultaten van de proeven te Heino en Gortel uitgezet. Voor de berekening van de hoeveelheid stikstof die door mineralisatie en neerslag ter beschikking kwam is voor Heino de N-opname van het object zonder bemesting vermeerderd met de hoeveelheid N-mineraal in de bodem bij de oogst. Verondersteld is dat op alle objecten dezelfde hoeveelheid stikstof door mineralisatie beschikbaar kwam, dus dat de stikstofbemesting geen invloed had op de mineralisatie (Nielsen and Jensen, 1986). Ook is aangenomen dat er geen minerale stikstof door uitspoeling of denitrificatie verloren is gegaan. In de proeven te Gortel is het N-mineraalgehalte na de oogst niet bepaald. Het aanbod voor het onbemeste object is in dit geval geschat door aan te nemen dat de opname 75 % van het aanbod vertegenwoordigde. Deze waarde is iets hoger dan die gevonden in het onbemeste object van de proef in Heino omdat de N-opname in Gortel lager was en, zoals gezegd, verondersteld wordt dat de opname-efficiëntie bij laag aanbod het hoogst is. Ook Spiertz en Sibma vonden vergelijkbare waarden in proeven waar de bodem weinig (1986) stikstof leverde en de



Figuur 4. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst (boven) en tussen de opneembare hoeveelheid stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen (onder) op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen.

N-bemesting laag was. In bijlage 3 zijn de resultaten van de afzonderlijke proefjaren van Heino vermeld; van Gortel waren deze niet bekend. Hieruit blijkt dat de variatie in stikstofbenutting groot was, vermoedelijk vooral door verschillen in temperatuur en neerslag in de verschillende proefjaren. Voor het beschrijven van de relatie tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de hoeveelheid opgenomen stikstof in deze proeven zijn opnieuw niet-orthogonale hyperbolen gebruikt. De parameters voor de best-fittende curven zijn:

	A	B	C
Gortel	-0.3	409	346
Heino	1.25	279	208

Uit deze waarden van de parameters en uit de figuur blijkt dat de vorm van de curven voor Heino en Gortel slecht overeenkomen. Omdat de gebruikte gegevens voor Gortel deels geschat zijn, is de algemeen toepasbare curve afgeleid uit die van Heino. De maximaal opneembare hoeveelheid stikstof wordt, net als hierboven, gebaseerd op een maximaal stikstofgehalte van maïs van 16 kg N/ton drogestof. De hoeveelheid stikstof die maximaal wordt opgenomen kan dan berekend worden uit de maximale drogestofopbrengst. Ook hier wordt voor de parameter C een waarde aangenomen die 8 % groter is dan de maximaal opneembare hoeveelheid stikstof. Als de parameter C bekend is kan de parameter B berekend worden: $B = 1.34 \cdot C$

De vergelijking voor de curve wordt dan:

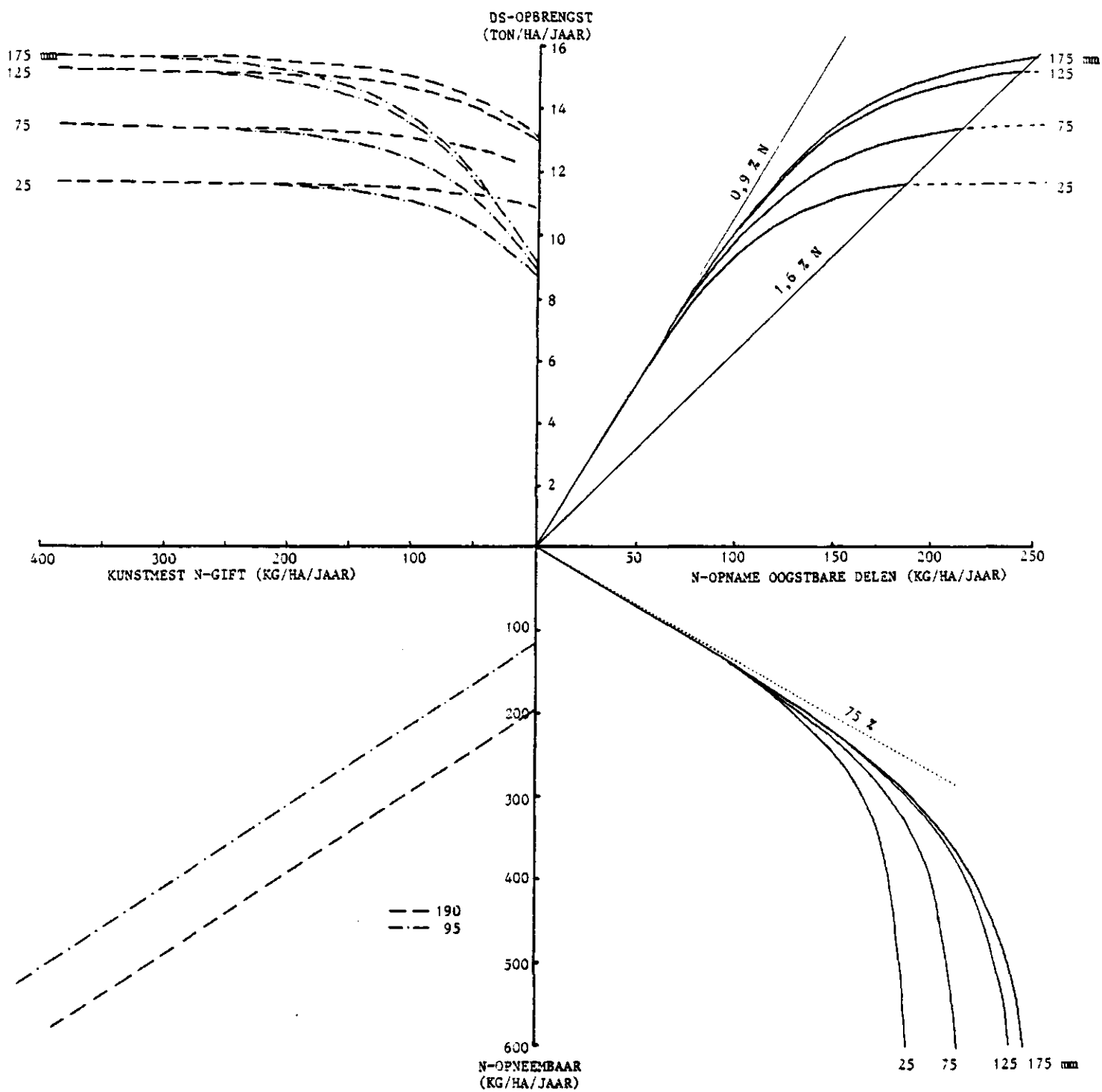
$$-1,25 \cdot Nop^2 + Ntot \cdot Nop + 1,34 \cdot (Nmax \cdot 1.08) \cdot Nop - (Nmax \cdot 1.08) \cdot Ntot = 0$$

waarin, Nop = stikstofopname oogstbare delen (kg N/ha)

$Ntot$ = hoeveelheid opneembare stikstof (kg N/ha)

$Nmax$ = maximale stikstofopname oogstbare delen (kg N/ha)

In het onderste deel van figuur 4 zijn voor percelen met een verschillend vochtleverend vermogen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, de berekende curven getekend. Het is nu mogelijk om figuur 4 te combineren met de vergelijking voor het aanbod aan opneembare stikstof zoals beschreven in hoofdstuk 5. In figuur 5 is dit gebeurd voor twee niveaus van mineralisatie



Figuur 5. Het effect van kunstmest N-bemesting op de hoeveelheid opneembare N, de N-opname en de drogestofopbrengst bij twee niveaus van netto mineralisatie (190 en 95 kg N/ha/jaar) en vier niveaus van vochtleverend vermogen (25, 75, 125 en 125 mm).

uit organisch bodemmateriaal. De curven in het gedeelte linksonder zijn gebaseerd op de vergelijking voor het stikstofaanbod. De curven in het gedeelte linksboven zijn geconstrueerd met behulp van de curven uit de drie andere gedeelten van de figuur.

Bij de arme grond, met een netto mineralisatie van 95 kg N/ha/jaar, is de drogestofopbrengst zonder toediening van kunstmest 8,5 ton drogestof/ha. Door bemesting neemt het stikstofaanbod toe en daarmee ook de stikstofopname en de drogestofopbrengst. De stikstofbenutting en het stikstofrendement nemen echter af bij toenemende stikstofbemesting. Als per kg extra toegediende kunstmeststikstof minder dan 6,5 kg extra drogestof wordt geproduceerd is het economisch niet meer aantrekkelijk extra te bemesten, bij de huidige prijzen van maïs en stikstof. Op gronden met een hoog vochtleverend vermogen, is de economisch optimale stikstofgift 190 kg/ha/jaar, op gronden met een laag vochtleverend vermogen 100 kg/ha/jaar is. In beide gevallen is de stikstofbenutting dan ongeveer 60 %.

Bij de rijkere grond, met een netto mineralisatie van 190 kg N/ha/jaar, zorgt de stikstof afkomstig uit de bodem en de neerslag al voor een hoge drogestofopbrengst. De economisch optimale stikstofgiften liggen in dit geval dan ook veel lager. Op gronden met een hoog vochtleverend vermogen bij 100 kg/ha/jaar, en op gronden met een laag vochtleverend vermogen bij 20 kg/ha/jaar. Ook in deze situaties wordt de beschikbare stikstof voor 60 % benut.

Bemesting boven de economisch optimale stikstofgift verhoogt de drogestofopbrengst slechts weinig, terwijl de stikstofbenutting wel sterk afneemt, waardoor aan het eind van het groeiseizoen een grote hoeveelheid minerale N in de bodem achterblijft, met het risico van uitspoeling. Bij de optimale stikstofgift blijkt het stikstofgehalte van de maïs ongeveer 1,3 % te zijn op drogestofbasis.

Als bij de oogst het stikstofgehalte hoger blijkt te zijn dan dit percentage zou geconcludeerd kunnen worden dat de bemesting vanuit economisch oogpunt te hoog is geweest, tenzij goedkopere meststoffen zijn gebruikt, bijvoorbeeld drijfmest, dan waarmee hier is gerekend.

7. Ammoniakvervluchtiging en nitraatuitspoeling

Het is onmogelijk gewassen te telen zonder dat nutriënten verloren gaan. De verliezen zijn echter wel te beperken. Al in de vorige eeuw werd onderzoek verricht naar de hoeveelheid stikstof in drainwater (Déhérain, 1893). Men was toen vooral bang voor stikstofuitputting van de grond, waardoor de vruchtbaarheid zou afnemen. Fosfaat- en kaliverliezen vond men veel minder belangrijk omdat fosfaat- en kalimestoffen tegen lage prijzen beschikbaar waren. In Nederland is om dezelfde reden in de twintiger en dertiger jaren omvangrijk onderzoek uitgevoerd met lysimeters (Maschhaupt, 1938; Maschhaupt, 1941). Onder een op zand gelegen zaveldek van ruim één meter, beteeld met diverse akkerbouwgewassen, werd gemiddeld een uitspoeling van 61 kg N/ha/jr gevonden. De toevoer van stikstof via neerslag en bemesting bedroeg 51 kg/ha. De auteur meldt dat de hoeveelheid nitraat-N in het drainwater in kleigebieden in de praktijk van die tijd ongeveer 15 kg/ha bedroeg. Sinds de zeventiger jaren gaat de aandacht vooral uit naar de gevolgen van nutriëntenverliezen voor de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater, al blijven ook de economische effecten van belang, omdat nutriëntenverliezen (deels) door kunstmestgiften moeten worden gecompenseerd.

Op het melkveebedrijf zijn vooral de verliezen van stikstofverbindingen van belang. Ammoniakvervluchtiging treedt alleen maar op kort na het uitrijden van drijfmest. Ongeveer de helft van de stikstof in runderdrijfmest bestaat uit ammonium. De hoeveelheid ammoniak die vervluchtigt is afhankelijk van de hoeveelheid mest en de methode van uitrijden. Voor het berekenen ervan is de volgende formule geschikt:

$$N_{am} = N_d * 0,50 * C_1$$

waarin, N_{am} = hoeveelheid stikstof die in ammoniakvorm vervluchtigt

N_d = hoeveelheid stikstof in de runderdrijfmest

C_1 = correctiefactor m.b.t. de methode van mestaanwending,
(tabel 11)

Minerale stikstof in de bodem kan door het gewas worden opgenomen, denitrificeren of uitspoelen. Denitrificatiegegevens van bouwland op zandgrond ontbreken. Op goed ontwaterd grasland op zandgrond denitrificeert ongeveer 5 % van de minerale stikstof uit kunstmest (Meeuwissen en Van der

Meer, 1989). Bij slechte ontwatering en bemesting in de winter of in het vroege voorjaar kan de denitrificatie oplopen tot 21 % (Egginton and Smith, 1986). In de berekeningen is verondersteld dat op goed ontwaterd bouwland 10 % van de totale hoeveelheid minerale stikstof in het profiel denitrificeert als de bemesting in het voorjaar plaats vindt. De hoeveelheid stikstof die door het gewas in de oogstbare delen wordt opgenomen is reeds in het vorige hoofdstuk berekend. Verondersteld wordt dat stoppels en wortels 30 kg stikstof bevatten. Het nitraatoverschot van de wortelzone is de som van de minerale stikstof uit bemesting, mineralisatie en neerslag verminderd met de stikstof die door denitrificatie verloren gaat of door het gewas wordt opgenomen:

$$\text{Nov} = [\text{Nak} + \text{Nd} * 0,50 * (1-\text{Cl}) + \text{Nd} * 0,25 + \text{Ns} * 100/87 + \text{Nn} * 100/72] * 0.90 - \text{Nop} - 30$$

waarin, Nov = nitraatoverschot

Nak = hoeveelheid kunstmeststikstof

Nd = hoeveelheid stikstof in dierlijke mest

Cl = correctiefactor voor ammoniakvervluchtiging (tabel 11)

Ns = hoeveelheid stikstof die tijdens het groeiseizoen wordt gemineraliseerd uit organische stof in de bodem

Nn = hoeveelheid stikstof die door neerslag in de bodem terecht komt en opneembaar is

Nop = hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen

Door een nagewas kan een deel van het nitraatoverschot worden vastgelegd en daardoor voor uitspoeling worden behoed. Verondersteld wordt dat een nagewas 40 kg N per ha kan vastleggen. Om de nitraatbelasting van het grondwater te berekenen moet de berekende uitspoeling vanuit de wortelzone nog gecorrigeerd worden voor denitrificatieverliezen tussen de onderkant van de wortelzone en het grondwater. Deze hangen af van de hoogte van de grondwaterstand. Voor grasland zijn correctiefactoren bekend (tabel 15). Ze geven een indicatie van denitrificatie bij bouwland.

Tabel 15. Correctiefactor voor denitrificatie tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterspiegel (naar Beugelink et al., 1989).
0 = volledige denitrificatie, 1 = geen denitrificatie.

grondwatertrap	II	III	IV	V	VI	VII
correctiefactor	0,05	0,2	0,4	0,5	0,6	0,9

8. De effecten van enige bemestingsadviezen op voederproductie, inkomen en emissies

Met behulp van de ontwikkelde rekenprocedure is het mogelijk op basis van bodemkenmerken de effecten van bemesting (hoeveelheid, tijdstip, methode en mestsoort) op opbrengst en emissies vast te stellen. Ook kan worden uitgerekend welke bemesting nog verantwoord is als de emissies tot bepaalde niveau's moeten worden beperkt. In dit hoofdstuk worden enige 'bemestingsadviezen' doorgerekend voor percelen die verschillen in vocht- en stikstofleverend vermogen. Het laagste niveau van vochtleverend vermogen (25 mm) hoort bij een leem- en humusarme zandgrond die slechts enige decimeters bewortelbaar is, het hoogste niveau (175 mm) bij een humusrijke, diep bewortelbare enkeerdgrond. Het hoogste niveau van stikstofleverend vermogen (190 kg N) komt overeen met de jaarlijkse netto stikstof-mineralisatie van een gemiddeld perceel op een gemiddeld bedrijf als het organisch stofgehalte van de grond gelijk blijft. Het laagste niveau (95 kg N) hoort bij percelen met een akkerbouwverleden en een spaarzaam gebruik van dierlijke mest. Indien dierlijke mest wordt toegediend wordt verondersteld dat dit in het voorjaar gebeurt en dat de mest direct wordt ondergewerkt om ammoniakvervluchtiging te beperken. Er worden drie categorieën adviezen doorgerekend (tabel 16).

Tot de eerste categorie behoren de adviezen van de landbouwvoorzichting. Uitgangspunt is, dat de kosten van de laatste kilo kunstmeststikstof gelijk zijn aan de financiële meeropbrengst van het gewas. Een kg stikstof uit kunstmest kostte de laatste jaren gemiddeld 1,58 gulden en de waarde van maïs was gemiddeld 0,24 gulden per kg drogestof (CBS 1989). Extra stikstof toedienen is economisch dus alleen verantwoord als per kg stikstof 6,5 kg drogestof extra wordt geproduceerd. Momenteel wordt bij de advisering nauwelijks rekening gehouden met verschillen in bodemeigenschappen. In het algemeen wordt voor maïs een stikstofbemesting van 150 kg/ha geadviseerd. Alleen bij een gemiddelde jaaropbrengst hoger dan 15 ton drogestof, of als in het recente verleden niet jaarlijks dierlijke mest is toegediend, geldt een advies van 200 kg/ha (MvL, 1989a). Deze stikstof kan worden gegeven in de vorm van kunstmest of dierlijke mest. Bij gebruik van runderdrijfmest wordt ervan uitgegaan dat de werking van de stikstof in deze mest 60 % bedraagt van die in kunstmest (MvL, 1989b).

De tweede categorie adviezen betreft de maximale hoeveelheid drijfmest die wettelijk mag worden toegepast. In mestoverschotgebieden is bemesting tot de wettelijke norm een economisch aantrekkelijke zaak omdat het afvoeren van mest geld kost. Hoeveel runderdrijfmest maximaal mag worden uitgereden worden, wordt bepaald door het fosfaatgehalte in de mest. Tot 1991 mag jaarlijks maximaal 350 kg fosfaat per ha uitgereden worden. Dat komt overeen met 194 ton runderdrijfmest. Daarna mag tot 1995 250 kg fosfaat (139 ton runderdrijfmest) per ha worden uitgebracht en daarna nog maar 175 kg (97 ton runderdrijfmest). In de praktijk is het gebruikelijk om ook bij hoge drijfmestgiften een rijenbemesting van 30 kg N/ha te geven.

Tot de laatste categorie behoren adviezen die er op gericht zijn de uitspoeling van nitraat uit de wortelzone te beperken tot een aanvaardbaar niveau uit oogpunt van grondwaterkwaliteit. Er zijn twee mogelijkheden om dat te realiseren. De eerste is het zodanig beperken van de bemesting dat er bij de oogst van de maïs nauwelijks meer minerale stikstof in de bodem aanwezig is. Een tweede mogelijkheid is een deel van het overschot op te laten nemen door een gewas dat direct na de oogst geteeld wordt. Er kan dan zwaarder worden bemest. Dit nagewas kan al tijdens de groeiperiode van de maïs gezaaid worden (Ten Holte, 1988).

Verondersteld wordt dat een nagewas 1500 kg oogstbare drogestof produceert met een N-gehalte van 25 g/kg drogestof en 1500 kg drogestof in stoppel en wortels met een N-gehalte van 15 g/kg drogestof. Het nagewas neemt dan 60 kg N/ha op, maar omdat na het onderwerken van het gewas in het vroege voorjaar verliezen optreden door snelle mineralisatie, wordt verondersteld dat het nagewas 40 kg stikstof voor uitspoeling behoedt. Het nagewas zorgt voor extra mineralisatie in het volggewas. Het 'tilt' als het ware een deel van het nitraatoverschot de winter over, zodat bij de bemesting van volggewassen rekening moet worden gehouden met deze extra mineralisatie.

Volgens het Waterleidingbesluit is de drinkwaternorm voor nitraat 11,3 mg N/liter water. Deze norm is twee keer zo hoog als de EG-streefwaarde (Langeweg, 1989).

Stikstof die in nitraatvorm de wortelzone verlaat kan in diepere bodemlagen denitrificeren als de omstandigheden daarvoor gunstig zijn. Omdat dat niet altijd gebeurt en omdat denitrificatie ook ongewenste gevolgen kan hebben wordt hier verondersteld dat de uitspoeling van nitraat uit de wortelzone niet meer dan 11,3 mg N/l percolatiewater mag bedragen. Als maïs 12,5 ton oogstbare drogestof produceert, is de totale drogestofproduktie 14,7 ton drogestof (15 % stoppel en wortels). Hiervoor is 294 mm water nodig. De

gemiddelde neerslag is ongeveer 760 mm/jr. Buiten het groeiseizoen zal ook water verdampen. Aangenomen wordt dat dit 152 mm is (de open waterverdamping in de periode oktober t/m maart + de neerslag in april). Per jaar verdampt dus 446 mm. Het stikstofoverschot mag dan $(760 - 446) * 0,113 = 35$ kg N/ha bedragen. Als een nagewas 50 mm extra verdampt mag het stikstofoverschot 30 kg bedragen. Vanwege het geringe verschil wordt ervan uitgegaan dat het nitraatoverschot in beide situaties maximaal 30 kg N/ha mag zijn.

Tabel 16. Bemestingsadviezen

Code bemesting (per ha per jaar)

Categorie 'voorlichting':

- V1 200 kg N in de vorm van kunstmest
- V2 200 kg N in de vorm van runderdrijfmest (50%) en kunstmest (50%)
- V3 150 kg N in de vorm van kunstmest
- V4 150 kg N in de vorm van runderdrijfmest (50%) en kunstmest (50%)

Categorie 'mestwet':

- M1 runderdrijfmest tot fosfaatsnorm, geldend tot 1991:
194 ton runderdrijfmest + 30 kg N als rijenbemesting
- M2 runderdrijfmest tot fosfaatsnorm, geldend van 1991 tot 1995:
139 ton runderdrijfmest + 30 kg N als rijenbemesting
- M3 runderdrijfmest tot fosfaatsnorm, geldend vanaf 1995:
97 ton runderdrijfmest + 30 kg als rijenbemesting

Categorie 'milieu':

- W1 bemesting tot nitraatoverschot van 30 kg/ha, geen nagewas,
100% kunstmest
- W2 bemesting tot nitraatoverschot van 30 kg/ha, geen nagewas,
50% kunstmest en 50 % runderdrijfmest
- W3 bemesting tot nitraatoverschot van 30 kg/ha, nagewas,
100% kunstmest
- W4 bemesting tot nitraatoverschot van 30 kg/ha, nagewas,
50% kunstmest en 50 % runderdrijfmest

Tabel 17. Drogestofopbrengst (ds), ammoniakvervluchtiging (NH₃), nitraatoverschot en nitraatgehalte (NO₃⁻) van het percolatiewater bij verschillende bemestingsadviezen, op percelen met een verschillend vocht- en stikstofleverend vermogen.

code advies	vochtl. verm. grond mm	mineralisatie 190 kg N/ha				mineralisatie 95 kg N/ha			
		ds ton/ha	NH ₃ kg N/ha	NO ₃ ⁻ kg N/ha	NO ₃ ⁻ mg N/l	ds ton/ha	NH ₃ ⁻ kg N/ha	NO ₃ ⁻ kg N/ha	NO ₃ ⁻ mg N/l
V1	25	11,5	0	184	54,5	11,4	0	109	32,1
	75	13,2	0	163	54,8	13,0	0	94	31,1
	125	15,0	0	145	56,8	14,6	0	82	31,0
	175	15,4	0	140	57,0	15,0	0	80	31,4
V2	25	11,6	4	201	60,0	11,5	4	125	37,0
	75	13,3	4	180	61,0	13,1	4	109	36,4
	125	15,0	4	160	62,7	14,7	4	95	36,2
	175	15,4	4	155	63,1	15,1	4	93	36,8
V3	25	11,5	0	144	42,7	11,3	0	76	22,2
	75	13,1	0	127	42,4	12,8	0	66	21,5
	125	14,8	0	112	43,1	14,1	0	59	21,4
	175	15,2	0	109	43,5	14,4	0	57	21,1
V4	25	11,5	3	157	46,5	11,3	3	86	25,1
	75	13,2	3	138	46,4	12,8	3	75	24,4
	125	14,8	3	123	47,3	14,1	3	67	24,7
	175	15,2	3	119	47,5	14,4	3	65	24,6
M1	25	11,7	24	650	195,4	11,7	24	566	170,1
	75	13,4	24	622	212,5	13,4	24	538	183,8
	125	15,3	24	593	239,1	15,3	24	509	205,2
	175	15,7	24	585	245,1	15,7	24	501	210,0
M2	25	11,6	17	473	141,2	11,6	17	389	116,1
	75	13,4	17	446	152,4	13,4	17	362	123,7
	125	15,2	17	418	166,9	15,2	17	336	134,2
	175	15,7	17	410	171,8	15,6	17	328	136,2
M3	25	11,6	12	339	101,2	11,6	12	256	76,4
	75	13,4	12	313	106,9	13,3	12	232	78,6
	125	15,2	12	288	115,0	15,1	12	209	82,7
	175	15,6	12	281	116,6	15,5	12	203	83,4

Het nitraatgehalte van het percolatiewater is niet alleen afhankelijk van het nitraatoverschot, maar ook van het neerslagoverschot. Omdat het waterverbruik bij lage drogestofopbrengsten geringer is, is het neerslagoverschot groter. Daardoor kan het nitraatgehalte van het percolatiewater van percelen met een laag vochtleverend vermogen lager zijn dan van percelen

met een groter vochtleverend vermogen, terwijl er toch meer nitraat uitspoelt.

Als bemest wordt volgens de adviezen van de landbouwvoorlichting is het nitraatgehalte van het percolatiewater 3 tot 6 keer hoger dan de drinkwaternorm volgens het Waterleidingsbesluit. Verlaging van de stikstofgift van 200 naar 150 kg/ha heeft tot gevolg dat de nitraatuitspoeling met 20 tot 30 % vermindert, terwijl dit nauwelijks negatieve gevolgen heeft voor de drogestofopbrengst.

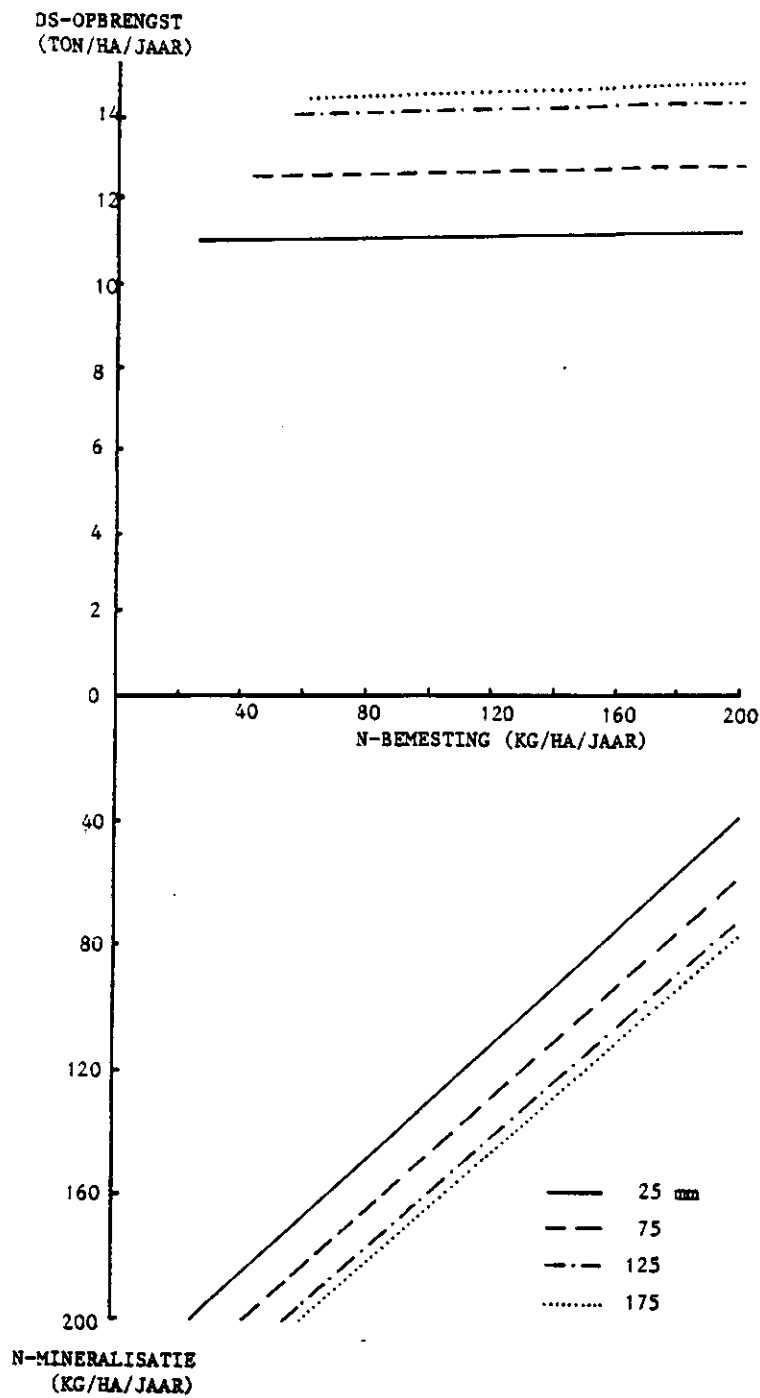
Bemesten met kunstmest resulteert in iets minder nitraatuitspoeling dan wanneer naast kunstmest ook drijfmest wordt gebruikt. Dit komt omdat een gedeelte van de stikstof uit drijfmest na het groeiseizoen mineraliseert. De nitraatuitspoeling is extreem hoog wanneer de maximaal toegestane hoeveelheid drijfmest wordt uitgereden. De aanscherping van de fosfaatsnorm in de komende jaren is beslist onvoldoende om zelfs maar in de buurt van het gewenste uitspoelingsniveau te komen. De voorziene verlaging van de fosfaatsnorm heeft geen invloed op de drogestofopbrengst.

Tabel 18. Hoeveelheden meststoffen die bij de 'milieu'adviezen maximaal mogen worden gebruikt en de drogestofopbrengsten die dan gerealiseerd kunnen worden.

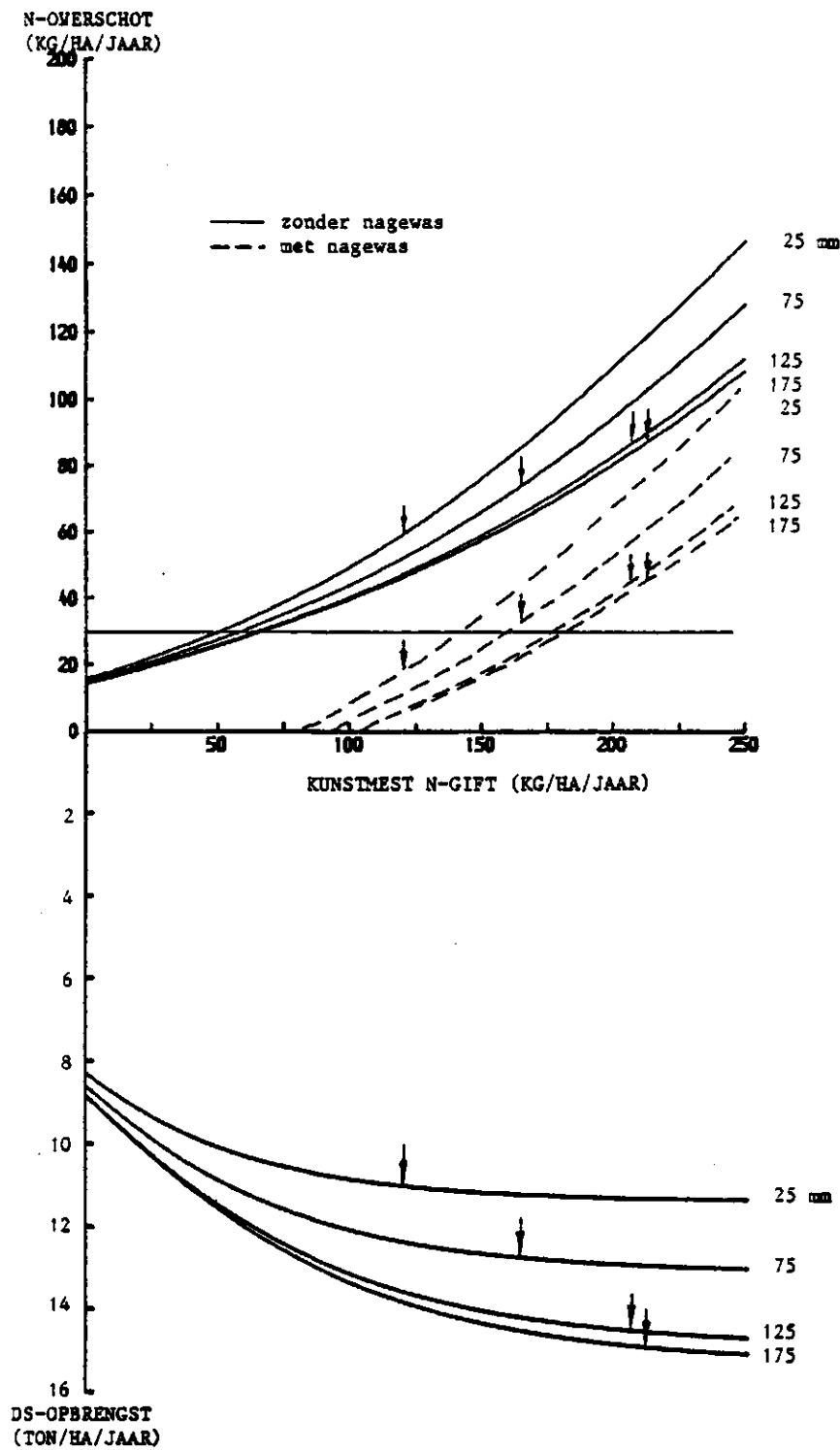
code advies	vochtl. vermogen grond (mm)	mineralisatie 190 kg N/ha			mineralisatie 95 kg N/ha		
		kunstmest-N (kg/ha)	runderdr. mest (ton/ha)	ds (ton/ha)	kunstmest-N (kg/ha)	runderdr. mest (ton/ha)	ds (ton/ha)
W1	25	--	--	--	51	0	10,1
	75	--	--	--	59	0	11,2
	125	--	--	--	66	0	12,2
	175	--	--	--	67	0	12,3
W2	25	--	--	--	23	7,7	10,1
	75	--	--	--	26	8,7	11,1
	125	--	--	--	29	9,7	12,0
	175	--	--	--	29	9,7	12,2
W3	25	37	0	11,1	140	0	11,2
	75	53	0	12,6	160	0	12,8
	125	67	0	14,1	175	0	14,4
	175	72	0	14,5	180	0	14,8
W4	25	17	5,7	11,1	63	21,0	11,2
	75	24	8,0	12,6	71	23,7	12,8
	125	30	10,0	14,1	78	26,0	14,5
	175	32	10,7	14,5	80	26,7	14,7

Ammoniakvervluchtiging kan alleen van betekenis zijn als grote hoeveelheden drijfmest worden uitgereden, zoals bij de 'mestwet'adviezen het geval is. Door het direct inwerken van de mest is het ammoniakverlies niet verontrustend. In de praktijk zal het veelal niet uitvoerbaar zijn de mest zo snel onder te werken als hier verondersteld wordt. De ammoniakemissie zal dan toenemen, maar de nitraatuitspoeling vrijwel evenredig afnemen. Als er geen nagewas wordt geteeld is het nitraatoverschot op de stikstofrijkere grond stikstof meer dan 30 kg N/ha, zelfs als er niet bemest wordt. Een nagewas is dus noodzakelijk. Als dat geteeld wordt is een geringe (rijen)bemesting verantwoord. Drijfmest kan beter niet worden gebruikt omdat de hoeveelheid te gering is om goed verdeeld te kunnen worden. Op de stikstofarmere grond heeft het beperken van de mestgift tot een zodanig niveau dat het nitraatoverschot niet groter is dan 30 kg N/ha zonder gebruik te maken van een nagewas (W1 en W2), een aanzienlijke opbrengstreductie tot gevolg, vooral op percelen met een hoog vochtleverend vermogen. Deze reductie kan voor een belangrijk deel ongedaan gemaakt worden door een nagewas te telen, waardoor de bemesting zwaarder mag zijn. De stikstofgift op de meest vochthoudende bodem kan dan overeen komen met de adviesgift van de voorlichting. In dat geval kan ook runderdrijfmest worden aangewend in een hoeveelheid die goed te verdelen is.

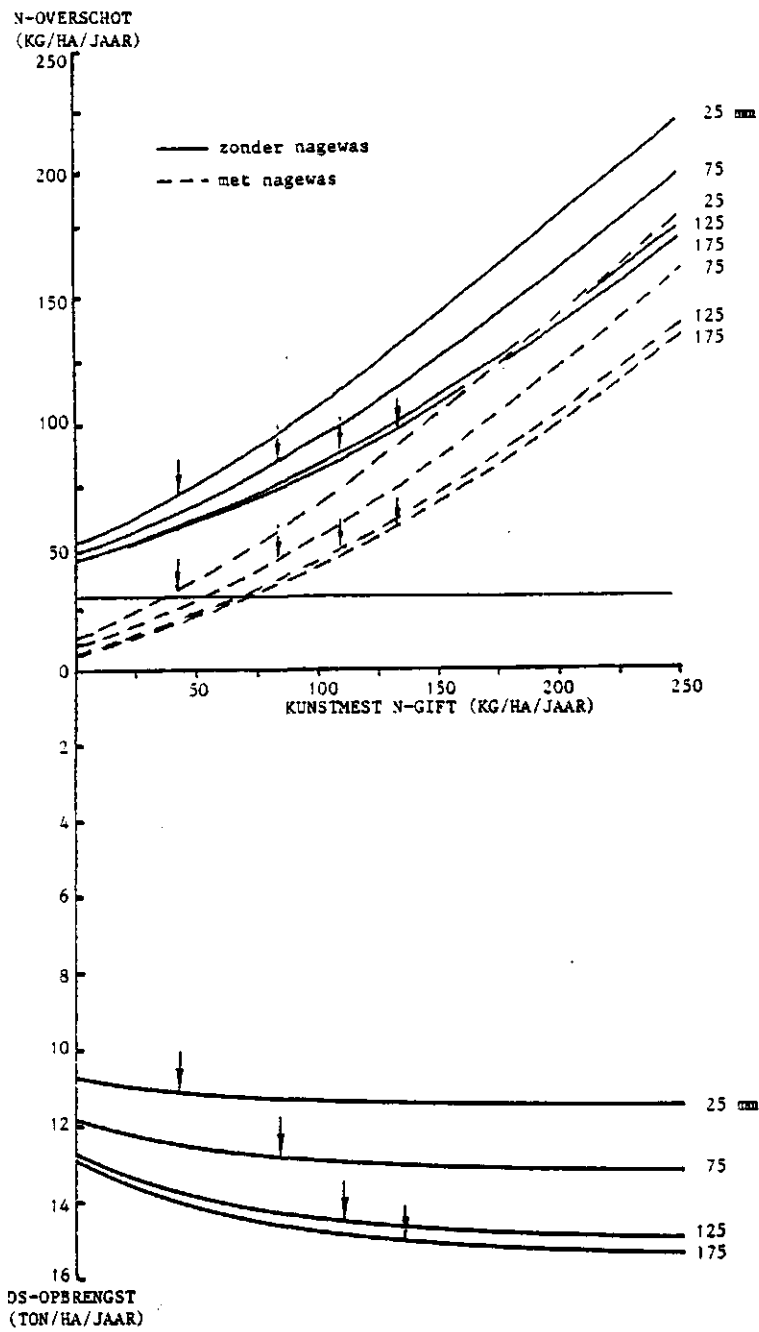
Het gevolg van bescherming van het grondwater zal zijn dat minder drijfmest wordt uitgereden dan tot nu gebruikelijk. Daarom zal in de loop van de jaren de hoeveelheid stikstof die uit mineralisatie vrijkomt afnemen. Door het lagere mineralisatieniveau mag dan weer zwaarder bemest worden, zo blijkt uit figuur 6. Omdat de stikstofgift aangepast wordt aan de hoeveelheid stikstof die uit mineralisatie vrijkomt, is de drogestofopbrengst onafhankelijk van het mineralisatieniveau van de grond. In de figuren 7 en 8 is met pijlen aangegeven wat de economisch optimale stikstofgift is. Voor percelen met een groot vochtleverend vermogen komt deze stikstofgift redelijk overeen met het bemestingsadvies van de voorlichting. Voor percelen met een laag vochtleverend vermogen is de economisch optimale stikstofgift lager dan het huidige advies. Voor deze economisch optimale stikstofgiften geldt dat het stikstofoverschot groter is dan 30 kg/ha, het stikstofoverschot waarbij aan de drinkwaternorm wordt voldaan. Alleen op percelen met een laag vocht- en stikstofleverend vermogen ligt de economisch optimale stikstofgift lager dan de stikstofgift waarbij het nitraatoverschot 30 kg N/ha is.



Figuur 6. De toegestane hoeveelheid kunstmeststikstof en de verwachte drogestofopbrengst, afhankelijk van de stikstofmineralisatie en het vochtleverend vermogen van de grond, als het nitraatoverschot moet worden beperkt tot 30 kg N/ha en een nagewas wordt geteeld.



Figuur 7. Drogestofopbrengst en nitraatoverschot in relatie tot de kunstmest-N gift voor percelen met verschillend vochtleverend vermogen en bij een stikstofmineralisatie van 95 kg/ha (——— = zonder nagewas, - - - - - = met nagewas, ↓ = economisch optimale N-bemesting).



Figuur 8. Drogestofopbrengst en nitraatoverschot in relatie tot de kunstmest-N gift voor percelen met verschillend vochtleverend vermogen en bij een stikstofmineralisatie van 190 kg/ha (— = zonder nawegas, - - - - = met nawegas, ↓ = economisch optimale N-bemesting).

Tabel 19. De financiële gevolgen van het terugbrengen van de N-bemesting van 150 kg N/ha (gangbare advies) tot een niveau dat leidt tot een uitspoeling van 30 kg N/ha, bij gebruik van kunstmest (prijs kunstmest-N: 1,58 gulden/kg, prijs maïs: 0,24 gulden/kg drogestof; guldens per ha).

Code advies	vochtl. verm. grond	mineralisatie 190 kg N			mineralisatie 95 kg N		
		opbrengst (a)	kunstmest (b)	saldo (a-b)	opbrengst (a)	kunstmest (b)	saldo (a-b)
W1	25				- 288	- 156	- 132
	75				- 384	- 144	- 240
	125				- 456	- 133	- 323
	175				- 504	- 131	- 373
W3	25	- 96	- 179	+ 83	- 11	16	+ 5
	75	- 120	- 153	+ 33	+ 22	+ 16	+ 6
	125	- 168	- 131	- 37	+ 72	+ 40	+ 33
	175	- 168	- 123	- 45	+ 96	+ 47	+ 49

Zoals eerder vermeld is het op de stikstof rijkere percelen niet mogelijk de uitspoeling tot het gewenste niveau te beperken zonder een nagewas te telen. Op de armere percelen kan het beschermen van het grondwater veel geld kosten. Op percelen met een groot vochtleverend vermogen kan het financiële nadeel dan oplopen tot meer dan 300 gulden per ha per jaar. Als een nagewas wordt geteeld, en dus een hoger bemestingsniveau verantwoord is, slaat het financiële nadeel om in een lichtvoordeel. Bij de rijkere percelen leidt beperking van de stikstofgift op de percelen met een gering vochtleverend vermogen ook tot financieel voordeel. Dit komt omdat in deze situaties de economisch optimale stikstofgift lager is dan 150 kg/ha. Bij de armere percelen mag, met uitzondering van het perceel met het laagste vochtleverend vermogen, meer dan 150 kg N/ha gegeven worden. Omdat ook de economisch optimale stikstofgiften groter zijn dan 150 kg zorgen deze extra giften voor een financieel voordeel. De kosten van het zaaien van een groenbemester zijn hier niet meegerekend. Ook hier geldt dat als de stikstof in de vorm van goedkopere drijfmest wordt aangewend de besparing op meststof geringer is en dus het saldo minder gunstig zal zijn.

LITERATUUR

- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, G. Bruin, B. Edel en H. Korevaar, 1988. Melkveehouderij en Milieu. Cabo-verslag nr 79, pp. 16-26.
- Alberda, Th., 1984. Production and water use of several food and fodder crops under irrigation in the desert area of southwestern Peru. Agricultural Research Reports 928. Pudoc, Wageningen, pp. 27-28.
- Baars, C., 1954. De kunstmatige beregening op droogtegevoelige zandgronden. Landbouwkundig Tijdschrift 66, pp. 625-633.
- Baars, C., 1955. Enige gegevens over de opbrengsten die bij toepassing van kunstmatige beregening op droogtegevoelige zandgronden zijn te bereiken en over de hoeveelheden water die daarvoor nodig zijn. Verslag C.I.L.O. over 1954, pp. 132-137.
- Beugelink, G.P., L.J.M. Boumans, W. van Duijvenbooden e.a., 1989. De kwaliteit van het grondwater in Nederland. RIVM-rapport nr 728820001.
- Boheemen, P.J.M. van, 1980. Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW-nota 1298.
- Breeuwsma, A. en O.F. Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Rapport nr 1866 Stiboka, pp. 19-20.
- CBS, 1989. Landbouwcijfers. Voorburg.
- CLM, 1989. Mineralenboekhouding Melkveebedrijf, voorlopig formulier. Centrum Landbouw en Milieu, Utrecht. pp 29
- Dehéraïn P.P., 1893. Les eaux de drainage des terres cultivées. Ann. Agron. In: Maschhaupt, 1938.
- Drenth, H. en I. Ouwerkerk, 1987. Beregeningsonderzoek bij snijmaïs op de proefboerderij Sinderhoeve. Jaarboek 1986 PAGV. Publicatie nr 38, pp. 122-129.
- Driessen, P.M., 1986. The water balance of soil. In: Keulen, H. van and J. Wolf (eds.). Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc Wageningen, pp. 76-116.
- Egginton, G.M. and K.A. Smith, 1986. Losses of nitrogen by denitrification from a grassland soil fertilized with cattle slurry and calcium nitrate. Journal of Soil Science 37, 69 - 80.
- Ennik, G.C. and T. Baan Hofman, 1983. Variation in the root mass of ryegrass types and its ecological consequences. Neth. J. Agric. Sc. 31, 325-334.

- Erisman, J.W., F.A.A.M. de Leeuw en R.M. van Aalst, 1987. Depositie van de voor verzuring in Nederland belangrijkste componenten in de jaren 1980 t/m 1986. RIVM-rapp.nr. 228473001. RIVM, Bilthoven.
- Feddes, R.A., 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art. In: Les besoins en eau des cultures. Conference Internationale, Paris 11- 14 sept., pp. 221-234.
- Goudriaan, J., 1979. A family of saturation type curves, especially in relation to photosynthesis. *Annals of Botany* 43, 783-785.
- Hag, B.A. ten, H.M.G. van der Werf en J. Boer, 1984. Optimalisering van de snijmaïsteelt. In: Themaboekje nr 4 PAGV Themadag snijmaïs, pp. 7-27.
- Harrold, L.L. and F.R. Dreibelbis, 1951. Agricultural Hydrology as evaluated by Monolith Lysimeters. Technical Bulletin no 1050, United States Department of Agriculture, Washington D.C., pp. 77-84.
- Heemst, H.D.J., H. van Keulen en H. Stolwijk, 1978. De potentiële produktie, bruto- en nettoproduktie van de Nederlandse landbouw. Agric. Res. Rep. no 879, Pudoc, Wageningen, pp. 3-18.
- Holte, L. ten, 1988. Nu ook groenbemesters onder maïs. *De Boerderij* 73, 38-39.
- Ingram, J., 1990. The potential yield and varietal choice available for the major forage crops. Paper presented on the conference 'Milk and Meat from Forage Crops' of the British Grassland Society, February 1990.
- Janssen, B.H., P. van der Sluijs en H.R. Ukkerman, 1987. Hoofdstuk 8: Organische stof. In: *Bodemkunde van Nederland*, pp. 101-120.
- Jong, P. 't, C. Hermans en H.F.M. Aarts, 1989. Het mineralenoverschot van de Gelderse landbouw en het effect van beleidsmaatregelen. *Cabo-verslag* 114.
- Keulen, H. van and H.D.J. van Heemst, 1982 Crop response to the supply of macronutrients. *Agricultural Research Reports*, Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- Keulen, H. van and H.H. van Laar, 1986. The relation between water use and crop production. In: Keulen, H. van and J. Wolf (eds.). *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs*, pp. 117-129, Pudoc Wageningen.
- KNMI, 1988. Maandoverzicht van het weer in Nederland. 85 st jaargang.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E. J. van Zuilen, 1983. Standaard vochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Rapport 1680. Stiboka.

- Lammers, H.W., 1983. Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland. Rapport Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw, 44 pp. en 1 bijlage.
- Lammers, H.W., 1984. Een berekende stikstofwerkingscoëfficiënt voor diverse dierlijke organische mestsoorten. De Buffer 30: 169-197.
- Langeweg, F., 1989. Zorgen voor Morgen, Nationale Milieuverkenning, 1985-2010. RIVM, Bilthoven 198-224, Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn, Nederland. 456 pp.
- Makkink, G.F., 1952. Betrekkingen tussen cultuurgewassen en bodemvocht. Verslagen technische bijeenkomsten 1-6, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, 185-201, Staatsdrukkerij, Den Haag.
- Maschhaupt, J.G. 1938. Lysimeter-onderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. I Regenval, drainage en verdamping. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen no 44 (1) A.
- Maschhaupt, J.G., 1941. Lysimeter-onderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. II De scheikundige samenstelling van het drainwater. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen no 47 (4) A.
- Meer, H.G. van der, R.B. Thompson, P.J.M. Snijders and J.H. Geurink 1987. Utilization of nitrogen from injected and surface-spread cattle slurry applied to grassland; in Meer H.G. van der, R.J. Unwin, T.A. van Dijk and G.C. Ennik: Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? pp 47-71. Martinus Nijhoff Publishers Dordrecht, The Netherlands.
- Meeuwissen, P.C. en H.G. van der Meer, 1989. Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. Landschap 1, 19 -32.
- Ministerie van Landbouw, 1988. Zure regen, ammoniak en veehouderij. Vlugschrift voor de Landbouw nr. 445. Ministerie van Landbouw en Visserij. pp 12.
- Ministerie van Landbouw, 1989a. Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen.
- Ministerie van Landbouw, 1989b. Vlugschrift dierlijke mest (nr 106).
- Nielsen, N.E. and H.E. Jensen, 1986. The course of nitrogen uptake by spring barley from soil and fertilizer nitrogen. Plant and Soil 91, 391-395.

- Rijtema, P.E., 1968. On the relation between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plans. ICW-technical bulletin 58.
- Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. ICW-nota 587, pp. 44.
- Rijtema, P.E., 1983. Onderdeel van programma Animo. Rekenregels als bijlage bij Lammers 1983.
- Schans, D.A. van der en H. Drenth, 1989. De invloed van droogtestress op groei en kwaliteit van suikerbieten. Jaarboek PAGV 1987/1988, publicatie nr 43, pp 42-49.
- Schröder J., 1985. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid; Heino (zandgrond) 1972-1982; PAGV-verslag nr 30.
- Schröder, J. and K. Dilz, 1987. Cattle slurry and farmyard manure as fertilizers for forage maize. In: Meer, H.G. van der, R.J. Unwin, T.A. van Dijk and G.C. Ennik: Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? pp 137-156. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Schultze, E. und P. Schultze-Gemen, 1957. Der Wasserhaushalt des Bodens im Dauerdüngungsversuch Dikopshof (1953/1954). Zeitschr. für Acker und Pflanzenbau 103, 22-59
- Sibma, L, 1987. Ontwikkeling en groei van maïs onder Nederlandse omstandigheden. Pudoc, Gewassenreeks, Wageningen, pp. 9-52.
- Sibma, L. en G.C. Ennik, 1988. De ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden. Pudoc, Gewassenreeks, Wageningen, pp. 48.
- Sluijs, P. van der, 1987. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: Bodemkunde van Nederland. Stiboka/Ministerie van landbouw en Visserij, pp. 159-172.
- Sluijsmans, C.M.J. en G.J. Kolenbrander, 1976. De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn. Stikstof 7, 349-354.
- Spiertz, J.H.J. and L. Sibma, 1986. Dry matter production and nitrogen utilization in cropping systems with grass, luzerne and maize. 2. Nitrogen yield and utilization. Neth. J. of Agr. Sc. 34, 37-47
- Thornley, J.H.M., 1976. Mathematical Models in Plant Physiology. pp 44-46. Academic Press London, Great Brittain.

- Wind, G.P., 1954. Verschillen in waterhuishouding tussen grasland en bouwland. Verslag van het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek over 1954. Ministerie van landbouw, pp. 126-132.
- Wit, C.T. de, 1958. Transpiration and crop yields. Agric. Res. Reports 64.6, Pudoc, Wageningen, 88 p.
- Wit, C.T. and Th. Alberda, 1961. Transpiration coefficient and transpiration rate of three grain species in growth chambers. Mededeling IBS 156 (Jaarboek 1961), pp. 73-81.
- Wit, C.T. de and H. van Keulen, 1987. Modelling production of field crops and its requirements. Geoderma 40, pp 253-265.

Bijlage 1 Berekening van het percentage van de stikstof
in de Ne-fractie, vrijkomend in de periode
dat een maisgewas stikstof kan opnemen.

Voorbeeld: drijfmest uitgereden in maart op zandgrond

maand	Mineralisatie	opneembaar voor de plant		
	% van Ne	%	% Nn	
mrt.	7.1	100	7.1	
apr.	10.0	100	10.0	
mei	14.0	100	14.0	
juni	16.9	100	16.9	
juli	16.7	100	16.7	
aug.	13.5	100	13.5	
sept.	8.8	100	8.8	
okt.	4.8	15	0.7	
nov.	2.9	15	0.4	
dec.	1.9	23	0.4	} volgend gewas
jan.	1.1	43	0.7	
feb.	1.7	63	1.1	
totaal	100		90.3	

Bijlage 2. Berekening van het percentage van de stikstofdepositie dat opneembaar is.

maand	N-neerslag	opneembaar voor de plant	
		%	% Nn
	% van Nn		
jan.	8.33	43	3.58
feb.	8.33	63	5.25
mrt.	8.33	100	8.33
apr.	8.33	100	8.33
mei	8.33	100	8.33
juni	8.33	100	8.33
juli	8.33	100	8.33
aug.	8.33	100	8.33
sept.	8.33	100	8.33
okt.	8.33	15	1.25
nov.	8.33	15	1.25
dec.	8.33	23	1.92
} volgend gewas			
totaal	100		71.58

Bijlage 3. Effect van N-aanbod op N-opname en drogestofopbrengst van maïs op een proefveld te Heino. X = 1976, ▲ = 1977, ◆ = 1978, X = 1980, ◇ = 1981, △ = 1982 (Schröder, 1985).

