

De invloed van
bodemeigenschappen,
bemesting en gebruik op de
opbrengst en de stikstofemissies
van grasland op zandgrond

N. Middelkoop en H.F.M. Aarts

September 1991

Verslag 144, CABO-DLO, Wageningen

Inhoud

Pag.

Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Het verband tussen het vochtverbruik en de grasopbrengst	4
3. De maximale drogestofopbrengst bij beperkte vochtvoorziening	10
4. De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof, opgenomen stikstof en drogestof-opbrengst	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Maaien	21
4.2.1 De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof	21
4.2.2 De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst	24
4.2.3 De relatie tussen opneembaar stikstof en stikstofopname	34
4.3 Beweiden	42
4.3.1 De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof.	42
4.3.2 De relatie tussen opneembaar stikstof en stikstofopname.	42
4.3.3 De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst.	43
4.3.4 Vierkwadrantenfiguur	43
5. Stikstofemissie	46
5.1 Nitraatuitspoeling	46
5.2 Ammoniakvervluchting	50
5.3 Denitrificatie	51
6. Het graslandbeheersmodel	52
6.1 Inleiding	52
6.2 Het graslandbeheersmodel GRASMOD	52
6.3 Veranderingen aan het graslandbeheersmodel GRASMOD	57
7. De effecten van enige bemestingsadviezen op voeder-productie, inkomen en emissies	58
Literatuur	66
Bijlage 1 Het vochtleverend vermogen van zandgrond.	
Bijlage 2 Berekening van het percentage van de jaarlijks door mineralisatie vrijkomende stikstof dat opneembaar is voor de plant.	
Bijlage 3 Berekening van het percentage van de stikstofdepositie dat opneembaar is voor de plant.	
Bijlage 4 Berekening van het percentage van de stikstof in de Ne-fractie dat opneembaar is voor de plant.	
Bijlage 5 Beschrijving van de bodemgesteldheid van de proefvelden van Den Ham, Ruurlo en Finsterwolde.	

Samenvatting

Op melkveebedrijven is gras het meest voorkomende gewas. Dit komt omdat gras arbeids-technisch voordelen biedt, ook op gronden kan worden geteeld waar de teelt van andere gewassen grote problemen oplevert, en gras een goede kwaliteit voer levert met relatief veel eiwit. De huidige grasproductie en -benutting gaan helaas gepaard met grote stikstofverliezen wat leidt tot milieuproblemen.

Producties en emissies van grasland worden sterk beïnvloed door de bodemkwaliteit, de bemesting en het graslandgebruik. Er zijn verschillende manieren om het gras te benutten. Bij beweiding kunnen de dieren dag en nacht in de wei blijven, of alleen overdag. In het laatste geval krijgen de dieren op stal meestal maïs bijgevoerd. Een deel van het gras wordt gemaaid en ingekuild, onder meer omdat de grasbehoefte van het vee niet gelijk loopt met de grasproductie. Een andere, minder vaak toegepaste methode, is zomerstalvoeding waarbij de koeien ook 's zomers op stal blijven en het gras gemaaid en vers op stal gevoerd wordt.

Belangrijke factoren die de groei van gras bepalen zijn de beschikbaarheid van water en stikstof. In deze studie is nagegaan hoe de stikstof- en drogestofopbrengst en de emissies van stikstof door ammoniakvervluchtiging, nitraatuitspoeling en denitrificatie afhankelijk zijn van het vocht- en stikstofleverend vermogen van de bodem, de bemesting en het grasbenuttingssysteem. Allereerst is een transpiratiecoëfficiënt van gras vastgesteld: de hoeveelheid water nodig voor de productie van een eenheid drogestof. Verondersteld is dat de transpiratiecoëfficiënt onafhankelijk is van de vocht- en stikstofvoorziening. Uit beregeningsonderzoek blijkt dat de transpiratiecoëfficiënt voor gras ongeveer 250 liter per kilogram drogestof (inclusief stoppels en wortels) is.

Van Heemst et al. (1978) hebben de potentiële drogestofproductie van een 'standaardgewas' onder gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden bepaald. De potentiële drogestofproductie van beweid en gemaaid gras is berekend door aanpassingen in verband met de periodieke oogst. Wanneer vochttekort ontstaat kan op dat moment de potentiële productie niet gehaald worden. Afhankelijk van de gemiddelde neerslag is de maximale drogestofproductie per maand berekend bij vijf niveaus van vochtleverend vermogen van de bodem. Deze opbrengsten zijn gecorrigeerd voor de productie van stoppels en wortels en voor verliezen voor de oogst als gevolg van veroudering. Vergelijking van de productie van gras met die van maïs en voederbieten laat zien dat de maximale opbrengst van gras lager is dan van maïs en voederbieten, behalve wanneer het vochtleverend vermogen van de bodem groot is, in dat geval komt de maximale opbrengst van gemaaid gras overeen met die van maïs.

Naast vocht is stikstof een belangrijke groeifactor. In tegenstelling tot vocht geldt voor stikstof geen lineair verband tussen de beschikbaarheid en de drogestofopbrengst. Een rekenprocedure is uitgewerkt waarmee de hoeveelheid opneembare stikstof uit meststoffen, bodem, neerslag en mestflaten en urine kan worden vastgesteld. Deze opneembare stikstof zal gedeel-

telijk opgenomen worden door het gras, welke hiermee droge stof produceert. De relaties tussen de hoeveelheden opneembare stikstof en opgenomen stikstof en tussen opgenomen stikstof en de drogestofopbrengst zijn vastgesteld op basis van proefveldgegevens (Van Steenberg, 1977; Prins, 1983; Snijders et al., 1987). Deze relaties worden beschreven met niet-orthogonale hyperbolen met de maximale opbrengsten (op basis van het vochtleverend vermogen van de bodem en naar de oogstfrequentie van het gras) als variabelen. Hierbij is gedifferentieerd naar de maximale opbrengst.

De nitraatuitspoeling is afhankelijk gesteld van het verschil tussen de hoeveelheid stikstof in het bodemprofiel en de stikstofopname door het gras. De denitrificatie in de bewortelbare zone is gesteld op 10 % van het verschil tussen de hoeveelheid stikstof in het bodemprofiel en stikstofopname door het gras. Bovendien is verondersteld dat in urineplekken 27 % van de stikstof denitrificeert. De ammoniakemissie uit de toegediende drijfmest is afhankelijk gesteld van de methode van aanwending, terwijl de ammoniakemissie uit urine en mestflatten gesteld is op 13 % van de aanwezige stikstof.

Omdat de kringloop van stikstof tijdens beweiding complex is, zijn bovenstaande factoren en verbanden ingebouwd in het computermodel GRASMOD (Van de Ven, 1991). Met behulp van dit model is het mogelijk voor een willekeurig bedrijf te berekenen wat de effecten van bemesting zijn op de produktie en emissies bij de verschillende gebruikssystemen en vochtleverende vermogens van de bodem.

Met het model zijn voor enkele bemestingsregimes de produktie en emissies berekend voor de systemen zomerstalvoeding, beperkt omweiden, en dag en nacht omweiden bij een variërende maaifrequentie ten behoeve van de voorraad kuilgras. De N-gift bedroeg 400 (huidige advies), 300 en 200 kg/ha.jaar, in de vorm van kunstmest en in de vorm van een combinatie van kunstmest en drijfmest. Uit de resultaten van de berekeningen blijkt dat de nitraatuitspoeling bij toepassing van het huidige bemestingsadvies, ruimschoots hoger is dan 34 kg N/ha.jaar, de hoeveelheid die nog net acceptabel is uit oogpunt van grondwaterkwaliteit (50 mg NO₃/l). Verlaging van de N-gift tot 200 kg N/ha.jaar resulteert bij zomerstalvoeding en beperkt omweiden wel, maar bij dag en nacht beweiden niet in een nitraatuitspoeling die lager is dan de drinkwaternorm. In de meeste gevallen weegt de besparing aan kunstmest financieel op tegen de reductie in opbrengst die ontstaat als de bemesting verlaagd wordt van 400 naar 200 kg N/ha.jaar.

Bij beperking van de drijfmestgift tot de fosfaatnorm, zoals die gaat gelden van 1995 tot 2000 en zonder aanvulling met kunstmest, blijft het nitraatgehalte bij zomerstalvoeding en beperkt omweiden onder de drinkwaternorm; bij dag en nacht beweiden er nog boven.

Als de bemesting zo aangepast wordt dat de uitspoeling naar verwachting 34 kg N/ha.jaar bedraagt, is de opbrengstreductie ten opzichte van een bemesting van 400 kg N/ha.jaar maximaal 11 %.

1. Inleiding

Het grootste deel van de cultuurgrond in Nederland bestaat uit grasland, voornamelijk in gebruik bij melkveebedrijven. Bedrijfstechnisch en -economisch heeft grasland vele voordelen. De laatste jaren is echter ook gebleken dat het huidige graslandgebruik leidt tot aanzienlijke emissies van stikstofverbindingen, die vooral in zandgebieden veel schade kunnen doen aan het milieu. Daarom is het van belang te weten hoe de emissies tot stand komen en hoe ze kunnen worden beperkt, door aanpassingen in bemesting en graslandgebruik.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is allereerst de relatie beschreven tussen het vochtleverend vermogen van de bodem en de drogestofproductie bij een optimale nutriëntenvoorziening. Vervolgens is een rekenprocedure uitgewerkt waarmee de hoeveelheid opneembare stikstof (N) uit meststoffen, bodem, neerslag en weidemest en -urine kan worden vastgesteld. Daarna is het verband bepaald tussen de hoeveelheid opneembare stikstof, de stikstofopname en de drogestofproductie bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem en bij verschillend graslandgebruik. De ammoniakemissie is afgeleid uit de hoeveelheid toegediende drijfmest en de methode van mestaanwending en uit de hoeveelheid mest en urine die door de weidende dieren wordt uitgescheiden. De nitraatuitspoeling en denitrificatie zijn afhankelijk gesteld van het verschil tussen de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel en de stikstof die opgenomen is door het gras.

Al deze relaties zijn verwerkt in een computermodel omdat het alleen dan mogelijk is om de circulatie van stikstof (N) van het gras naar het dier en vervolgens naar de bodem en opnieuw het gras te verwerken tot een uiteindelijke verdeling van stikstof over grasproductie, N-emissie en N-ophoping in de bodem.

Met het model zijn een aantal varianten in graslandbeheer doorgerekend, met betrekking tot de bemesting onder andere het huidige N-advies en de verschillende fasen van de mestwetgeving.

Ook is berekend wat de gevolgen zijn voor de drogestofproductie als de bemesting zodanig wordt verlaagd dat de nitraatuitspoeling niet meer dan 34 kg N/ha.jaar mag bedragen, het maximaal toelaatbare als de norm voor nitraat in drinkwater niet mag worden overschreden.

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 voor melkveehouderij en milieu 'De Marke'. Op dit melkveebedrijf mogen vooraf gestelde milieunormen, zoals nitraatuitspoelingsnormen, niet overschreden worden. Geprobeerd wordt om binnen die normen zo economisch mogelijk te produceren. Het afstemmen van de bemesting op perceelsspecifieke kenmerken kan daartoe bijdragen (CABO-project 779).

2. Het verband tussen het vochtverbruik en de grasopbrengst

De drogestofproductie van gras wordt vooral bepaald door de beschikbare hoeveelheid water en nutriënten en door de gebruikswijze van het grasland: beweiden of maaien. Al aan het begin van deze eeuw was bekend dat er een rechtlijnig verband bestaat tussen het vochtverbruik en de drogestofopbrengst van gewassen (Makkink, 1952). In de vijftiger jaren werd duidelijk dat de weersomstandigheden tijdens de groei invloed hebben op de helling van die lijn, de transpiratiecoëfficiënt: het aantal liters water dat nodig is voor de productie van een kilogram drogestof. Vooral de luchtvochtigheid bleek daarbij van belang. De verklaring is dat de plant vooral water verliest via de huidmondjes, de open verbindingen met de buitenlucht, die nodig zijn voor de uitwisseling van koolzuurgras, nodig voor de fotosynthese. De lucht in de holte achter een huidmondje is met waterdamp verzadigd, waardoor dit bij open huidmondjes door diffusie naar de buitenlucht ontwijkt. Wanneer bij vochttekort het huidmondje sluit, om vochtverlies te beperken, dan zal ook de aanvoer van koolzuur proportioneel afnemen (Van Keulen & Van Laar, 1986). Het vochtverbruik per eenheid geproduceerde drogestof lijkt niet sterk te worden beïnvloed door de voedingstoestand van het gewas (Van Keulen, 1975; Tanner & Sinclair, 1983). Als planten suboptimaal van nutriënten zijn voorzien is de groeisnelheid lager. De huidmondjes hoeven dan minder ver open om voldoende koolzuur op te nemen (Van Keulen & Van Laar, 1986), waardoor ook minder water wordt verbruikt. In droge, zonnige zomers is de transpiratiecoëfficiënt hoger dan in natte zomers met relatief geringe straling. Door de lagere luchtvochtigheid zal waterdamp in droge zomers sneller door diffusie verloren gaan. De koolzuurconcentratie in de lucht wordt echter nauwelijks door de weersomstandigheden beïnvloed, zodat per eenheid opgenomen koolzuur meer water verbruikt wordt.

In 1952 werd de aanbeveling gedaan te komen tot een inventarisatie van gemiddelde transpiratiecoëfficiënten van gewassen, met hun afwijkingen bij specifieke weersomstandigheden (Makkink, 1952), zodat eenvoudig een relatie zou kunnen worden gelegd tussen vochtverbruik en productie. Potentiële opbrengsten van gewassen zouden dan kunnen worden geschat op basis van het vochtleverend vermogen van de bodem en de neerslag. Het vochtleverend vermogen is de hoeveelheid vocht die een gewas gedurende het groeiseizoen uit de bodem kan opnemen als de vochtvoorraad niet door neerslag zou worden aangevuld.

Belangrijke factoren, die van invloed zijn op het vochtleverend vermogen van de bodem, zijn de dikte van de bewortelbare bodemlaag, de diepte waarop het grondwater zich bevindt en fysieke bodemeigenschappen, zoals de korrelgrootteverdeling en het gehalte aan leem en organische stof. Meer informatie hierover wordt gegeven in bijlage 1.

Al in 1955 werd gewerkt aan het in kaart brengen van het vochtleverend vermogen van de Nederlandse cultuurgrond (Bon, 1958). Op dit moment kan in principe voor elk stuk cultuurgrond in Nederland, met behulp van het Geografisch Informatie Systeem van het DLO-Staringcentrum te Wageningen, het vochtleverend vermogen van de bodem worden berekend.

De inventarisatie van transpiratiecoëfficiënten is echter nooit goed op gang gekomen. Een voor de hand liggende reden is dat het experimenteel bepalen van de transpiratiecoëfficiënt moeilijk uitvoerbaar en arbeidsintensief is. Een andere reden kan zijn, dat de transpiratiecoëfficiënt ogenschijnlijk sterk varieert, vooral bij gras. Bovendien werd het mogelijk door kunstmatige berekening het gewas van voldoende water te voorzien, zodat het producerend vermogen van gewassen minder afhankelijk werd van de natuurlijke vochtvoorziening. Om de vochtbehoefte van gewassen te kunnen berekenen, i.v.m. de beregeningsbehoefte, werd een relatie gelegd tussen de verdamping van een open wateroppervlak, die eenvoudig experimenteel vastgesteld of berekend kan worden, en de gewasverdamping, door aan elk gewas voor elke maand een factor toe te kennen waarmee de openwater-verdamping vermenigvuldigd dient te worden om tot de potentiële gewasverdamping te komen.

Voor grasland is deze factor het hele jaar door op 0,8 gesteld (Feddes, 1987). Hiermee kan dus het potentiële waterverbruik van gras berekend worden, maar niet het werkelijke verbruik bij suboptimale vochtvoorziening. Wanneer een geheel of gedeeltelijk beregeningsverbod zou worden ingevoerd, wordt het belangrijker de mate van opbrengstderving van gras onder natuurlijke vochtvoorziening te kunnen schatten. Bovendien zijn bij door vocht gelimiteerde productie in de regel minder meststoffen nodig omdat het gewas door de lagere productie minder nutriënten nodig heeft. Om ongewenste emissies naar het milieu te vermijden, moet de mestgift zo goed mogelijk op die lagere vraag worden afgestemd. Daarom is (opnieuw) getracht de relatie tussen het vochtverbruik van gras en de drogestofproductie te kwantificeren. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten van beregeningsonderzoek uitgevoerd onder praktijkomstandigheden, en van resultaten van onderzoek dat met lysimeters werd uitgevoerd.

Beregeningsonderzoek

Door Van Boheemen is het beregeningsonderzoek samengevat dat in veldproeven werd uitgevoerd tussen 1953 en 1964 (Van Boheemen, 1981; 1984). Het betrof 32 proefvelden, gelegen op diep ontwaterde zandgrond. Voor elk proefveld werd berekend wat de maximale drogestofopbrengst geweest zou zijn bij optimale vochtvoorziening, ondermeer door gebruik te maken van de opbrengstgegevens van beregende objecten. Er werd een verband gelegd tussen de meeropbrengst per eenheid beregeningswater, die in de proeven werd gerealiseerd, en deze maximale drogestofopbrengst. Uit tabel 1 blijkt dat de verhoging van de grasopbrengst als gevolg van beregening, groter is naarmate de maximaal haalbare opbrengst op een hoger niveau ligt. De maximaal haalbare opbrengst is vooral afhankelijk van de stikstofvoorziening. Ook de Werkgroep Zuidelijk Zand (Doornbos et.al., 1977) rapporteerde dat bij een jaarlijkse bemesting met 400 kg N/ha 7 kg oogstbare drogestof meer werd gevormd per mm beregeningswater dan bij een bemesting met 200 kg N.

Tabel 1. Samenvatting van de resultaten van beregeningsonderzoek op gras, uitgevoerd in de periode 1953 - 1964 (Van Boheemen, 1984).

maximale opbrengst (ton ds/ha)	aantal proeven	beregeningseffect (kg ds/ha.mm)	benodigde liters water per extra kg ds
8 - 10	4	9.6	1042
10 - 12	11	11.4	877
12 - 14	12	21.4	467
14 - 16	4	24.2	413
16 - 18	1	27.4	365

In de periode 1982 t/m 1984 werden beregeningsproeven uitgevoerd op de proefboerderij Heino. Gemiddeld was bij een jaarlijkse stikstofbemesting van 440 of 660 kg/ha 429 liter water nodig per extra kg oogstbare drogestof (naar gegevens Humbert et al., 1984). De opbrengsten op de beregende objecten op dit proefveld waren 14 - 18 ton drogestof per ha per jaar. Het vochtverbruik komt overeen met dat voor de opbrengstklasse 14 - 16 ton in tabel 1, en is dus hoger dan verwacht voor de klasse 16 - 18 ton, maar dat cijfer is slechts gebaseerd op een enkele waarneming.

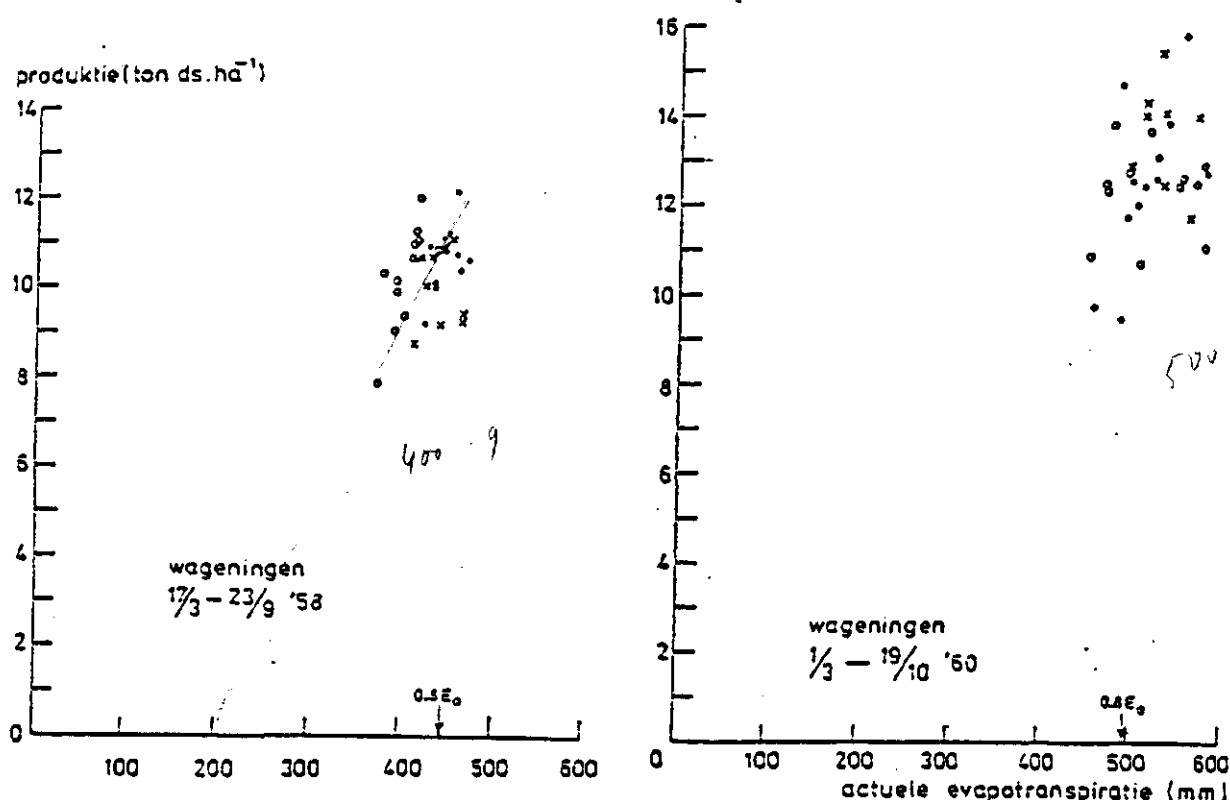
Niet al het beregeningswater draagt bij aan de extra gewasverdamping. Volgens Tamminga & Los (1980) verdampt ongeveer 3 % van het beregeningswater voordat het door gewas of bodem is opgenomen (interceptie) en 15 % blijft onbenut door een slechte verdeling, in totaal dus 18 %. Van Keulen & Goudriaan (1991) gaan ervan uit dat van het regenwater ook ruwweg 20 % niet door gewassen voor verdamping gebruikt kan worden. Op beregende objecten is de aanvulling van het grondwater in de regel dan ook groter dan op onberegende objecten (Van der Meer, persoonlijke mededeling).

Lysimeteronderzoek

Met behulp van lysimeters kan het vochtverbruik van gewassen nauwkeurig worden vastgesteld door de neerslag en de drainage te meten. Verdamping direct van het bodemoppervlak kan desgewenst grotendeels worden voorkomen door afdekking met bijvoorbeeld grind. Het verschil tussen neerslag en drainage gecorrigeerd voor de door weging of bemonstering vastgestelde verandering van de hoeveelheid bodemvocht in de lysimeter is het vochtverbruik. Op grond van de resultaten van lysimeteronderzoek schatte Makkink (1962) dat bij optimale water- en stikstofvoorziening de produktie van een kg oogstbare drogestof in het begin van het groei-seizoen gemiddeld 186 kg water vergt, later in het seizoen 286 kg. Gegevens van Rijtema

(1968), die het onderzoek van Makkink overnam, zijn in figuur 1 weergegeven als de relatie tussen de totale oogstbare drogestofproduktie en het vochtverbruik (Van Boheemen, 1981).

Hoewel de spreiding vrij groot is blijkt dat in 1958 bij een opbrengst van 10 ton drogestof ongeveer 425 mm verbruikt werd, dus 425 kg per kg. In 1960 was voor een opbrengst van 13 ton ongeveer 530 mm nodig, ofwel 408 kg per kg.



Figuur 1. De relatie tussen vochtverbruik en grasopbrengst in lysimeters in de jaren 1958 en 1960 (Van Boheemen, 1981)

Een constante transpiratiecoëfficiënt?

De resultaten van zowel het beregeningsonderzoek als het lysimeteronderzoek suggereren een aanzienlijke variatie in de transpiratiecoëfficiënt. De vraag is hoe dat te rijmen valt met het rechtlijnige verband tussen vochtverbruik en drogestofproduktie. Een mogelijke verklaring kan zijn dat in het aangehaalde onderzoek het vochtverbruik steeds werd gerelateerd aan de hoeveelheid geoogst gras en niet aan de totale hoeveelheid geproduceerde drogestof. Er werd dus geen rekening gehouden met de productie van wortels en stoppels. Als de verdeling van de geproduceerde drogestof over oogstbare en niet-oogstbare delen constant is in de tijd heeft die geen invloed op de variabiliteit van de transpiratiecoëfficiënt; als die verdeling niet constant is

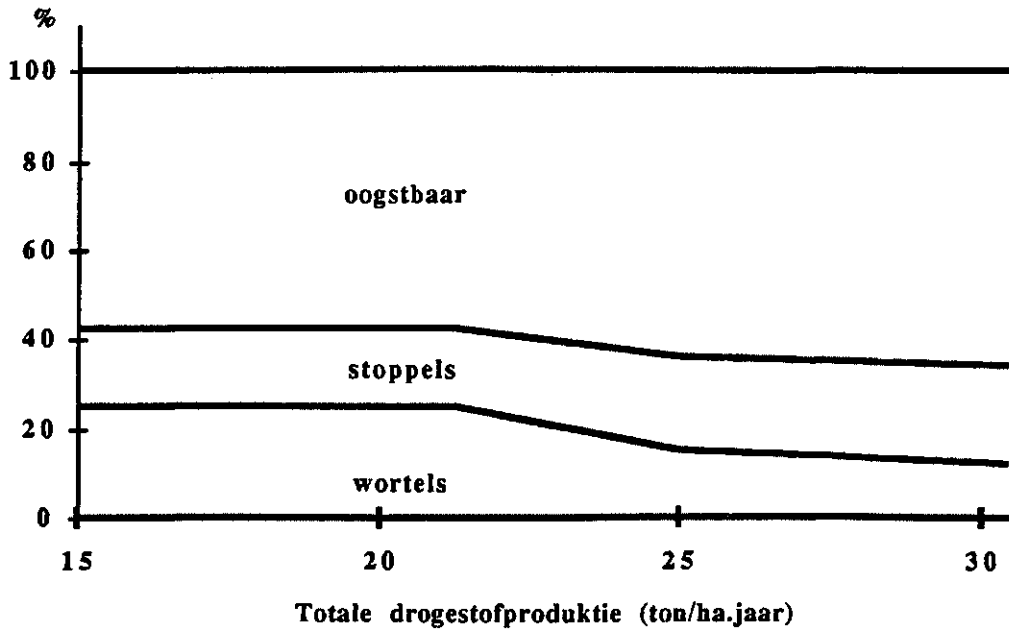
echter wel. Bij gras, dat een meerjarig gewas is, verandert de distributie van drogestof in de loop van het seizoen. Dit kan een verklaring zijn voor de door Makkink (1962) geconstateerde relatief lage waarde van de transpiratiecoëfficiënt in het voorjaar.

Onder sub-optimale groeiomstandigheden heeft ook de stikstofbeschikbaarheid invloed op de verdeling van de drogestof. Uit experimentele gegevens blijkt dat de hoeveelheid wortels toeneemt tot een N-bemesting van ongeveer 200 kg/ha.jaar en daarna weer afneemt (Ennik et al., 1980; Ennik & Baan Hofman, 1983; Baan Hofman, 1988). Het maximale gewicht van de wortels lag in proeven van Baan Hofman (1988) op gemiddeld 3,5 ton ds/ha, bij een stikstofbemestingsniveau van 660 kg/ha.jaar op 2,5 ton. Als verondersteld wordt dat de wortelmassa zich 1 à 2 keer per jaar volledig vernieuwd (Troughton, 1981; naar Sibma & Ennik, 1988) zal de netto drogestofproductie aan wortels per jaar maximaal ruim 5 ton/ha bedragen en bij zeer hoge bovengrondse produktieniveaus afnemen tot iets minder dan 4 ton/ha.

Om tot een verdeling van de drogestof over wortels stoppels en oogstbaar produkt te kunnen komen zijn nog enige aannames nodig. Aangenomen wordt dat de wortelproductie maximaal is bij een totale geoogste drogestofopbrengst van 12 ton gras/ha en dat de hoeveelheid wortels daarna afneemt zodat de hoeveelheid bij een grasopbrengst van 16 ton drogestof nog 4 ton bedraagt (Baan Hofman, 1988). Bij een nog hogere oogstbare produktie neemt de wortelmassa niet verder meer af. De verhouding tussen de hoeveelheden stoppels en oogstbare delen is verondersteld steeds 1 : 3 te zijn (Sibma & Ennik, 1988). De distributie van de totale hoeveelheid drogestof op het tijdstip van oogst over wortels, stoppels en oogstbare delen is weergegeven in figuur 2. Het aandeel oogstbaar produkt in de totale produktie ligt rond de 60 %, wat overeenstemt met berekeningen van Alberda (1968) en dat ook door Van Heemst et al. (1978) wordt aangehouden bij de berekening van de potentiële opbrengst van grasland.

Uit tabel 1 blijkt dat bij hoge produktieniveaus voor elke kg extra oogstbare drogestof, 413 kg beregeningswater nodig is. Als verondersteld wordt dat 18 % van het water niet door het gewas wordt benut, zal per kg extra oogstbare drogestof 339 kg water verdampt worden. Omdat per kg oogstbare drogestof ook 1/3 kg stoppels gevormd wordt is de werkelijke waarde van de transpiratiecoëfficiënt lager, namelijk 255 kg.

In de lysimeterproeven uit 1958 (figuur 1) werd bij een grasopbrengst van rond de 10 ton ds/ha een vochtverbruik van ongeveer 425 mm vastgesteld. Bij deze opbrengst is, gegeven een drogestofdistributie als in figuur 2, in totaal 17,5 ton drogestof gevormd. Bij een transpiratiecoëfficiënt van 255 zou dan 445 mm water zijn verbruikt, slechts 5 % meer dan gemeten. In de lysimeterproeven uit 1960 was voor een opbrengst van rond de 13 ton drogestof, overeenkomend met een totale produktie van 22 ton, ongeveer 530 mm water nodig. Bij een transpiratiecoëfficiënt van 255 kg zou daarvoor 561 mm water moeten zijn verbruikt, 6 % meer dan gemeten. Voor globale berekening van gemiddelde potentiële opbrengsten van gras bij beperkte vochtvoorziening lijkt het gebruik van een transpiratiecoëfficiënt van 250 daarom acceptabel.



Figuur 2. De verdeling van de totale hoeveelheid drogestof over wortels, stoppels en oogstbaar produkt, als functie van de totale produktie (naar gegevens Ennik et al., 1980; Ennik & Baan Hofman, 1983; Baan Hofman, 1988; Sibma & Ennik, 1988).

3. De maximale drogestofopbrengst bij beperkte vochtvoorziening

Door Van Heemst et al. (1978) werd voor Nederland per maand de maximale bruto drogestofproduktie van een standaardgewas berekend op basis van de gemiddelde stralingsintensiteit en de gemiddelde temperatuur. Als uitgangpunt werd een gewas genomen met een C3-fotosynthesecyclus, kenmerkend voor de meeste gewassen uit de gematigde streken, dat voor fotosynthese een minimale gemiddelde dagtemperatuur van 5 °C eist, terwijl de maximale fotosynthesesnelheid wordt bereikt bij gemiddelde temperaturen boven 10 °C. De bij de fotosynthese gevormde suikers worden door de plant gebruikt voor groei van nieuw structureel weefsel en voor onderhoud van bestaand weefsel. Daarbij wordt ongeveer 40 % van de gevormde suikers verademd (Van Heemst et al., 1978; Sibma & Ennik, 1988). In tabel 2 staan de berekende hoeveelheden drogestof die per maand kunnen worden geproduceerd in de vorm van wortels, stengels, bladeren en zaden. Een deel van deze drogestof gaat door afsterven van weefsel al weer verloren voor de oogst.

De lengte van de groeiperiode en de mate van grondbedekking, die bepalend is voor de hoeveelheid onderschept licht, bepalen welk deel van de produktiemogelijkheden van het standaardgewas aan een specifiek gewas toegewezen kan worden. Grasland kan in principe tussen 1 april en 1 november over een voldoende uitgebreid bladapparaat beschikken om alle beschikbare energie te onderscheppen en dus de maximaal haalbare drogestofproduktie te realiseren. Gras wordt echter periodiek geoogst, zodat na de oogst een periode volgt met onvolledige bodembedekking. Bij de berekening van de potentiële produktie gaan Van Heemst et al. (1978) ervan uit dat gras zes maal per jaar beweid wordt of drie keer gemaaid. Na maaien of beweiden wordt verondersteld dat het drie weken duurt voor het gewas weer een gesloten bladerdek heeft gevormd (Alberda, 1968). De praktijk van het graslandgebruik is intussen enigszins gewijzigd. In deze studie is aangenomen dat iets frequenter wordt geoogst en dat, vanwege een lichtere snede, minder tijd nodig is om weer een gesloten bladerdek te vormen. Verondersteld is dat het gras vier keer per jaar wordt gemaaid, respectievelijk op 31 mei, 10 juli, 31 augustus en 31 oktober, of zeven keer wordt beweid, beginnend op 30 april en vervolgens op 31 mei, 30 juni, 31 juli, 31 augustus, 30 september en 31 oktober. In de praktijk zal bij zeer hoge produkties vaker worden geoogst, vooral om kwaliteitsverlies te voorkomen en oogstverliezen te beperken. Dat leidt echter tot lagere drogestofopbrengsten, zodat voor de berekening van de potentiële produktie de oogstfrequentie enigszins is beperkt. Bij droogtestress is de oogstfrequentie van minder belang, omdat dan de beschikbare hoeveelheid vocht bepalend is voor de produktiemogelijkheden. Verondersteld is dat gedurende 18 dagen na de oogst de produktie 50 % is van die van het standaardgewas. In principe is de hergroeiperiode langer bij minder frequent oogsten, dus zou na beweiden de hergroeiperiode korter moeten zijn, maar die kan in dat geval worden vertraagd door betredingsschade.

De op basis van deze aannames berekende potentiële produkties van gras staan in tabel 2.

Tabel 2. De potentiële drogestofproduktie van een 'standaardgewas' onder gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden (Van Heemst et al., 1978) en die van gemaaid en beweid gras.

maand	produktie drogestof (kg/ha)		
	standaardgewas	beweid gras	gemaaid gras
april	5.500	5.500	5.500
mei	7.100	5.041	7.100
juni	7.600	5.320	5.320
juli	7.300	5.183	5.183
augustus	6.400	4.544	6.400
september	4.700	3.290	3.290
oktober	3.200	2.272	3.200
totaal	41.800	31.150	35.993

Als er geen andere groeibeperkende factoren een rol spelen, zoals nutriëntengebrek of ziekten, zal de produktie bepaald worden door de beschikbare hoeveelheid vocht. Het voor groei benodigde vocht is deels afkomstig uit de bodemvoorraad aan het begin van het groei-seizoen, deels uit nalevering van grondwater door capillaire opstijging en deels uit neerslag. Capillaire opstijging en neerslag zorgen voor aanvulling van de voorraad bodemvocht, die door verdamping afneemt. Als de maximale opslagcapaciteit bereikt is stopt de capillaire nalevering en zal het neerslagoverschot wegzakken tot beneden de bewortelbare zone. In tabel 3 staat de hoeveelheid neerslag die in de periode 1951-1980 gemiddeld maandelijks gevallen is in het Centrale, Oostelijke en Zuidelijke Zandgebied (KNMI, 1988).

Tabel 3. 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

Evenals bij kunstmatige berekening wordt van de natuurlijke neerslag een deel van het water niet benut, ongeveer 20 % (Van Keulen & Goudriaan, 1991). Door heterogeniteit van de bodem en beperkte bewortelingsmogelijkheden is ook een deel van de bodemvoorraad niet opneembaar. De eerder berekende transpiratiecoëfficiënt (250 kg/kg ds) is gebaseerd op de hoeveelheid drogestof op het moment van oogst. Op dat moment is echter al een deel van de geproduceerde drogestof ten gevolge van veroudering verloren gegaan, zodat de hoeveelheid benodigd vocht per eenheid werkelijk geproduceerde drogestof lager is. Deze twee effecten worden geacht elkaar ongeveer te compenseren, zodat in de rekenprocedure uitgegaan kan worden van volledige benutting van vocht en van de eerder berekende transpiratiecoëfficiënt.

Op basis van de vochtvoorziening en de eerder berekende maximaal haalbare drogestofproductie per maand kan voor een perceel, waarvan het vochtleverend vermogen bekend is, de haalbare drogestofproductie berekend worden volgens onderstaande procedure. De factor 10.000 in de rekenregels converteert hoeveelheden vocht van millimeters naar 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:

$$V_n = V_n$$

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

Waarin,

- V_{max} = maximaal waterhoudend vermogen van een bodem (in de berekeningen wordt verondersteld dat op 1 april de opslagcapaciteit van de bodem volledig benut is; mm)
- V_n = hoeveelheid bodemvocht die aan het einde van de n-de maand nog voor het gewas beschikbaar is (kleiner of gelijk aan V_{max} ; mm)
- N_n = hoeveelheid neerslag in de n-de maand (tabel 3; mm)
- C = maximale capillaire opstijging per maand (mm)
- T = transpiratiecoëfficiënt (in de berekeningen 250 verondersteld; kg water/kg ds)
- P_n = potentiële drogestofproductie in n-de maand bij voldoende vocht (tabel 2; kg/ha)
- Y_n = realiseerbare drogestofproductie in n-de maand bij beperkte vochtvoorziening (kg/ha)
- Y_j = realiseerbare drogestofproductie per jaar bij beperkte vochtvoorziening (kg/ha)

De berekeningen zijn uitgevoerd voor diep ontwaterde zandgrond, waar de capillaire opstijging dus verwaarloosbaar is, met een vochtleverend vermogen variërend van 25 tot 225 mm. Een vochtleverend vermogen van meer dan 200 mm wordt beschouwd als zeer hoog, tussen de 100 en 150 mm als matig en van minder dan 50 mm als zeer laag (Van der Sluijs, 1987). Bij een vochtleverend vermogen van 25 mm kan gedacht worden aan een voormalige zandverstuiving, bij 75 mm aan een veldpodzol met een bewortelbare diepte van 30 cm, bestaande uit humusrijk, matig fijn, leemarm zand. Een vochtleverend vermogen van meer dan 125 mm hoort bij een diep bewortelbare enkeerdgrond.

De uitkomsten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 4. De berekende bruto opbrengst moet worden verminderd met de opgetreden verliezen voor de oogst. Voor gemaaid gras is dat verlies gesteld op 10 %, bij beweiding op 20 % op grond van extra beschadiging van de grasmat door betreding, urine en faeces en het lostrekken van de zode tijdens het grazen. De bij de oogst aanwezige drogestof is verdeeld over stoppels, wortels en oogstbare delen als in figuur 2. De reductie om van totale drogestofproductie naar oogstbaar produkt te komen (45 - 52 %) komt goed overeen met de aftrek die Sibma & Ennik (1988) toepassen. Bij optimale vochtvoorziening en maaien zou de netto grasopbrengst volgens deze berekeningswijze ruim 20 ton bedragen, zoals gevonden door Alberda (1968) onder optimale groeiomstandig-

heden op proefvelden in Oostelijk Flevoland. In maaiproeven van Van Steenberg, uitgevoerd in de periode 1964 t/m 1973 op zandgrond met een vochtleverend vermogen van ongeveer 160 mm, bleek de gemiddelde grasopbrengst 13,4 ton ds/ha.jaar te bedragen (Van de Ven, persoonlijke mededeling). Op dagbasis gerekend volgens bovenstaande procedure leverde een opbrengst van 13,04 ton, derhalve een goede overeenstemming die vertrouwen geeft in de rekenprocedure.

Tabel 4. Grasopbrengsten (kg ds/ha.jaar) in relatie tot het vochtleverend vermogen van de bodem, onder gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden en de afwezigheid van andere groeibelemerende factoren als stikstofgebrek en plagen.

	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
beweid:					
bruto opbrengst	19.312	21.312	23.312	25.312	27.312
afgestorven	3.862	4.262	4.662	5.062	5.462
stoppels en wortels	6.597	7.280	7.964	8.647	9.330
netto opbrengst	8.853	9.770	10.686	11.603	12.520
gemaaid:					
bruto opbrengst	19.440	21.440	23.440	25.440	27.440
afgestorven	1.944	2.144	2.344	2.544	2.744
stoppels en wortels	7.471	8.239	9.008	9.158	9.138
netto opbrengst	10.025	11.057	12.088	13.738	15.558

Ter vergelijking zijn in tabel 5 ook de jaarproducties van maïs en voederbieten vermeld, berekend volgens een procedure vergelijkbaar met die voor gras (Aarts & Van Keulen, 1990; Aarts & Middelkoop, 1990;). Aangenomen is dat maïs en bieten 200 kg water per kg drogestof verbruiken. De hogere transpiratiecoëfficiënt van gras, vergeleken met die van maïs en bieten, vindt zijn oorzaak in fysiologische en morfologische verschillen. Subtropische gewassen als maïs, met een C4-fotosynthesecyclus, hebben een lagere inwendige koolzuurconcentratie dan gewassen uit gematigde streken (C3-cyclus), zodat de huidmondjes minder ver open hoeven om dezelfde hoeveelheid koolzuur op te nemen. Bieten slaan het grootste deel van de assimilaten op in de wortels die goed beschermd zijn tegen uitdroging, terwijl bij gras de assimilaten

vooral worden gebruikt voor de produktie van bovengrondse organen met een groot (verdampend) oppervlak. 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 10 % van de drogestof wordt gebruikt voor de vorming van niet-oogstbare organen. De groei van maïs begint eveneens op 15 mei, maar de begingroei verloopt trager. De eerste halve maand wordt slechts 5 % van het licht onderschept, in de eerste helft van juni 12,5 % en in de tweede helft 50 %. Daarna wordt alle licht onderschept tot de oogst. Na september wordt geen drogestof meer gevormd als gevolg van afrijping. Ongeveer 14 % van de drogestof wordt geïnvesteerd in stoppels en wortels. Zowel voor maïs als bieten is aangenomen dat 15 % van de bruto drogestofproduktie voor de oogst verloren gaat als gevolg van veroudering.

Tabel 5. Maximale opbrengst van enige voedergewassen bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem. (kg ds/ha.jaar)

gewas	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
gras gemaaid	10.025	11.057	12.088	13.738	15.558
gras beweid	8.853	9.770	10.686	11.603	12.520
maïs	11.150	12.941	14.805	15.317	15.317
voederbieten (inclusief blad)	14.530	16.442	18.354	19.043	19.043

Op droogtegevoelige gronden is de produktie van grasland duidelijk lager dan die van maïs of voederbieten. De voornaamste oorzaken zijn de hoge transpiratiecoëfficiënt en het relatief hoge aandeel stoppels en wortels. Op gronden met een hoog vochtleverend vermogen wordt dat echter zodanig gecompenseerd door de langere groeiperiode dat de opbrengst van gemaaid grasland die van snijmaïs zelfs iets overtreft. De opbrengst van voederbieten is aanzienlijk hoger dan die van maïs. Voederbieten realiseren een aanzienlijk hogere produktie dan maïs, door de langere groeiperiode en de geringere investering in niet-oogstbare delen.

De opbrengsten zijn berekend voor een jaar met gemiddelde weersomstandigheden en zullen niet overeenkomen met de gemiddelde produktie over een lange reeks van jaren. In situaties met niet-lineaire verbanden leidt eerst middelen en dan rekenen immers principieel tot andere resultaten dan eerst rekenen en dan middelen (De Wit & Van Keulen, 1987). Vooral op gronden met een gering vochtleverend vermogen en bij gewassen met een grote waterbehoefte,

zoals gras, zal de gerealiseerde produktie van jaar tot jaar sterke schommelingen vertonen. De in de praktijk gesignaleerde relatief stabiele opbrengst van maïs vergeleken met die van gras is hierop vermoedelijk voor een belangrijk deel terug te voeren.

4. De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof, opgenomen stikstof en drogestofopbrengst

4.1 Inleiding

Gras 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. Stikstof kan ook ingebouwd zijn in organische verbindingen, deze stikstof wordt organische stikstof genoemd. Organische stikstof moet dus eerst omgezet worden in minerale stikstof voordat gras deze stikstof kan opnemen. Deze omzetting wordt mineralisatie genoemd.

De stikstof in kunstmest bestaat geheel en die in dierlijke mest gedeeltelijk uit minerale stikstof. In de bodem bevindt zich een grote hoeveelheid stikstof in organische vorm. Micro-organismen zijn in staat deze organische verbindingen af te breken waardoor minerale stikstof beschikbaar komt. Een gedeelte van de minerale stikstof wordt direct weer vastgelegd door micro-organismen. De stikstof die via neerslag in de bodem terecht komt bevindt zich in de minerale vorm. De urine die door weidende dieren op het grasland wordt gedeponeed bevat alleen minerale stikstof, terwijl de stikstof in de faeces voor het grootste gedeelte organisch gebonden is.

De mineralisatiesnelheid van organische stof is afhankelijk van de aard van de organische stof. Daarom wordt voor drijfmest twee soorten organische stikstof onderscheiden: organische stikstof die binnen een jaar vrijkomt via mineralisatie, de Ne-fractie, en organische stikstof die pas over perioden van jaren vrijkomt, de Nr-fractie.

Omdat minerale stikstof door mineralisatie ook buiten het groeiseizoen vrijkomt en dus sterker aan uitspoeling en denitrificatie bloot staat, is niet alle minerale stikstof die in een jaar in de bodem aanwezig is beschikbaar voor opname door de plant. De hoeveelheid opneembare stikstof is gedefinieerd als de totale hoeveelheid minerale stikstof die tijdens het groeiseizoen beschikbaar is.

Op beweid grasland is de totale hoeveelheid opneembaar stikstof:

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

Waarin,

- Ntot = totale hoeveelheid minerale stikstof opneembaar tijdens het groeiseizoen
 Na = hoeveelheid opneembare stikstof uit meststoffen
 Ns = hoeveelheid stikstof die wordt gemineraliseerd tijdens het afbreken van organische stof in de bodem en opneembaar is voor het gewas
 Nn = hoeveelheid stikstof die door neerslag in de bodem terecht komt en opneembaar is voor het gewas.
 Nf = hoeveelheid stikstof die door de dieren met de faeces wordt uitgescheiden en opneembaar is voor het gewas.
 Nu = hoeveelheid stikstof die door de dieren met de urine wordt uitgescheiden en opneembaar is voor het gewas.

$$Na = Nad + Nak$$

Waarin,

- Nad = hoeveelheid opneembare stikstof uit uitgereden 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 beschikbaar is. Bij gebruik van ammoniumnitraat is enige ammoniakvervluchtiging denkbaar, maar vanwege de geringe omvang wordt dit bij de verdere berekeningen 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 (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 vrij komt (Nr-fractie), zodat deze stikstof deel gaat uitmaken van de voorraad 'stabiele' organische stikstof in de bodem. Voor runderdrijfmest wordt meestal aangenomen 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). Recent onderzoek (Beauchamp & Paul, 1989) geeft echter voor de Ne en Nr-fractie respectievelijk 10 en 40 % aan. Runderdrijfmest bevat in totaal ongeveer 4,5 kg N per kubieke meter (De Winkel, 1988). 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.

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. In de nabije toekomst is het niet meer toegestaan om drijfmest uit te rijden in perioden dat het slecht opneembaar.

De verdeling van het vrijkomen van stikstof uit de Ne-fractie binnen het jaar is vooral afhankelijk van het tijdstip van uitrijden (Rijtema, 1983). Goede informatie hierover ontbreekt echter en onderzoek met incubatieproeven is dan ook wenselijk (Van der Meer, 1991). Totdat er betere gegevens beschikbaar komen, wordt gebruik gemaakt van de gegevens van Rijtema (Lammers, 1984).

De stikstof die vrijkomt in een periode dat er geen grasgroei is, zal voor een gedeelte uitspoelen tot beneden de bewortelbare zone en is dan niet opneembaar voor het gras.

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

$$\begin{aligned} \text{Nad} &= \text{Nd} * \text{Nm-fractie} * (1-\text{C1}) * \text{C2} + \text{Nd} * \text{Ne-fractie} * \text{C3} \\ &= \text{Nd} (\text{Nm} * (1-\text{C1}) * \text{C2} + \text{Ne} * \text{C3}) \end{aligned}$$

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 (5 kg/ton drijfmest)
- C1 = correctiefactor voor ammoniakvervluchtiging als gevolg van de methode van uitrijden
- C2 = correctiefactor voor uitspoeling als gevolg van het tijdstip van uitrijden
- C3 = correctiefactor voor mineralisatie buiten het groeiseizoen
- Nm-fractie = deel van de totale hoeveelheid stikstof dat uit ammonium bestaat (ongeveer 0,50)
- Ne-fractie = deel van de totale hoeveelheid stikstof dat binnen een jaar gemineraliseerd wordt (ongeveer 0,10)

Door afsterving van bovengrondse gewasdelen en wortels wordt organisch materiaal, en daarmee stikstof, aan de bodem toegevoegd. Whitehead (1986) schat de toevoer van stikstof door bovengrondse gewasdelen op 200 kg/ha.jaar. Van der Meer (1991) schat de toevoer van stikstof door gewasresten op 180 kg/ha.jaar en door wortelresten op 80 kg/ha.jaar. Totaal wordt er door gewas- en wortelresten dus ongeveer 260 kg N/ha.jaar aan de bodem toegevoegd.

In een evenwichtssituatie, waarbij de hoeveelheid organische stof en stikstof in de grond niet toe of afneemt komt deze stikstof weer vrij door mineralisatie. Een evenwichtssituatie

ontstaat pas na tientallen jaren. Totdat deze situatie bereikt is, wordt jaarlijks stikstof vastgelegd in de bodem.

Sluijsmans & Kolenbrander (1976) hebben beschreven hoe deze mineralisatie over de maanden is verdeeld. Daaruit is te berekenen dat ongeveer 14 % van de uit organische stof van de bodem gemineraliseerde stikstof niet opneembaar is (bijlage 2).

Aangenomen wordt dat de stikstof die via neerslag op het perceel belandt in minerale vorm aanwezig is. Stikstof die tijdens het groeiseizoen valt is volledig opneembaar, maar de stikstof die buiten het groeiseizoen valt slechts gedeeltelijk. 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 3 vermeld. Dit gedeelte is 0,72.

De stikstofuitscheiding van weidende melkkoeien bedraagt 70-85% van de stikstof die door de dieren geconsumeerd wordt (Kemp et al., 1979). Als het rantsoen van de dieren alleen uit gras bestaat dan neemt de hoeveelheid stikstof die met de faeces wordt uitgescheiden slechts licht toe bij toename van de stikstofconsumptie. De N-uitscheiding in mest bedraagt dan ongeveer 100 g/koe.dag. Wordt echter snijmaïs bijgevoerd dan verhoogt dit de hoeveelheid stikstof die in de mest wordt uitgescheiden aanzienlijk. Bij een rantsoen van enkel snijmaïs wordt meer dan 150 g N/koe.dag in de faeces uitgescheiden (Valk et al., 1990).

Uit onderzoek bij het CABO (Van der Meer & Van Uum-van Lohuyzen, 1989) bleek dat 25 tot 37 % van de stikstof aanwezig in faeces het eerste jaar vrij kwam. Van de totale hoeveelheid stikstof in faeces vervluchtigde ongeveer 13 %, zodat 12 tot 24 % beschikbaar was voor de plant. Voorlopig wordt echter aangenomen dat ook deze stikstof pas na een jaar ter beschikking komt. Het grootste deel van de stikstof in de faeces is vrij stabiele organische N, die pas na één jaar ter beschikking komt en daarom niet gerekend wordt tot de stikstof die opneembaar is tijdens het groeiseizoen. Deze stikstof draagt bij aan een verhoging van de hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt ten gevolge van mineralisatie van organische stof uit de bodem.

De stikstof in urine is voor 50-90 % aanwezig in de vorm van ureum, het resterende gedeelte komt voor in andere verbindingen die ook gemakkelijk afbreekbaar zijn, zodat alle stikstof in de urine in het eerste jaar beschikbaar is (Doak, 1952). Hiervan vervluchtigt echter 13 % en 27 % verdwijnt op een andere manier, waarschijnlijk door denitrificatie, zodat slechts 60 % van de stikstof in urine opneembaar is (Vertregt & Rutgers, 1988).

Slechts een gedeelte van de opneembare stikstof wordt ook werkelijk opgenomen. Hoe groot dat gedeelte is, wordt niet alleen bepaald door karakteristieke eigenschappen van gras, maar ook door de hoeveelheid opneembare stikstof in en de vochttoestand van de bodem. Het gedeelte van het N-aanbod dat wordt opgenomen is redelijk constant, maar neemt af als het N-aanbod erg groot wordt. Omdat bij beweiding mestflaten en urine plaatselijk hoge giften van stikstof veroorzaken zal de stikstofterugwinning hiervan gering zijn. Met behulp van de resul-

taten van proeven wordt de relatie tussen opneembaar stikstof en stikstofopname beschreven met een niet-orthogonale hyperbool.

In tegenstelling tot vocht is het verband tussen de hoeveelheid opgenomen stikstof en de drogestofproductie 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. Het verband tussen stikstofopname en drogestofproductie wordt ook bepaald door het tijdstip van oogsten. Gras dat wordt ingekuuld wordt gemaaid bij een drogestofopbrengst van ongeveer 3000 kg/ha, terwijl gras bestemd voor zomerstalvoeding gemaaid wordt bij 2300 kg/ha. Bij beweiding worden de koeien ingeschaard bij 1700 kg/ha. Gras gemaaid bij 3000 kg ds/ha heeft een stikstofgehalte dat lager is dan wanneer geoogst wordt bij een drogestofopbrengst van 2300 kg/ha. Daarom zal de relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst voor maaien bij 3000 kg/ha anders zijn dan voor maaien bij 2300 of 1700 kg ds/ha.

De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst wordt met behulp van de resultaten van proeven beschreven met een niet-orthogonale hyperbool. De relaties voor opneembaar stikstof en stikstofopname, en voor stikstofopname en drogestofopbrengst hebben betrekking op concrete proefveldsituaties met een bepaald vochtleverend vermogen zoals dat in de proeven aanwezig was. Om curven te construeren voor meerdere klassen van vochtleverend vermogen worden de maximale drogestofproducties, op basis van het vochtleverend vermogen van de bodem, zoals berekend in hoofdstuk 3 gebruikt.

4.2 Maaien

4.2.1 De invloed van bodem en bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof

De ammoniakvervluchtiging van drijfmest is afhankelijk van de methode van mestaanwending (tabel 6). Is de mest eenmaal in de grond dan is de kans op vervluchtiging miniem, te meer omdat ammonium snel wordt omgezet in nitraat .

Tabel 6. Invloed van de methode van mestaanwending op het deel van de stikstof uit de Nm-fractie, dat verloren gaat. (Korevaar, 1990).

----- Methode mestaanwending	verlies
-----	-----
- injectie	0,00-0,01
- zodebemesting	0,05-0,10
- inregenen	0,05-0,30
- verdund verregenen	0,05-0,30
- geen maatregelen, oppervlakkige aanwending	0,20-1,00
-----	-----

Bij verdere berekeningen wordt voor injectie de waarde 0,01 en voor oppervlakkige aanwending de waarde 0,6 gebruikt.

Wanneer mest niet tijdens het groeiseizoen wordt uitgereden zal slechts een gedeelte van de minerale stikstof opneembaar zijn voor het gewas (tabel 7).

Tabel 7. Invloed van het tijdstip waarop runderdrijfmest op grasland wordt uitgereden op het gedeelte van de niet vervluchtigde stikstof van de Nm-fractie dat opneembaar is. (Van der Meer, persoonlijke mededeling).

----- tijdstip mest uitrijden	opneembaar
-----	-----
sept	0,75
okt	0,40
nov	0,10
dec	0,25
jan	0,40
febr	0,75
mrt t/m aug	1,00
-----	-----

In tabel 8 staat voor verschillende tijdstippen van mestuitrijden het gedeelte van de stikstof in de Ne-fractie dat vrijkomt in een periode dat gras stikstof kan opnemen. In bijlage 4 is beschreven hoe dit gedeelte berekend is.

Tabel 8. De invloed van het tijdstip waarop runderdrijfmest op grasland wordt uitgereden op het gedeelte van de stikstof in de Ne-fractie dat door een grasgewas opneembaar is.

-----	-----
tijdstip mest uitrijden	opneembaar
-----	-----
jan	0,87
febr	0,89
mrt	0,89
apr	0,89
mei	0,88
juni	0,87
juli	0,84
aug	0,81
sept	0,77
okt	0,78
nov	0,81
dec	0,85
-----	-----

De stikstofdepositie in de zandgebieden waar melkveehouderijbedrijven gevestigd zijn staan vermeld in tabel 9.

Tabel 9. Depositie van stikstof (kg /ha.jaar) in de zandgebieden waar melkveehouderijbedrijven gevestigd zijn (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
-----	-----
gemiddelde	49,0

Van de totale stikstofdepositie is 72 % opneembaar voor het gewas (bijlage 3), dit komt gemiddeld overeen met 35 kg N/ha.jaar.

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

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{ak}} + N_{\text{d}} (0,50 * (1-C_1) * C_2 + 0,25 * C_3) + N_{\text{s}} + N_{\text{n}} \text{ (kg/ha.jaar)}$$

Waarin,

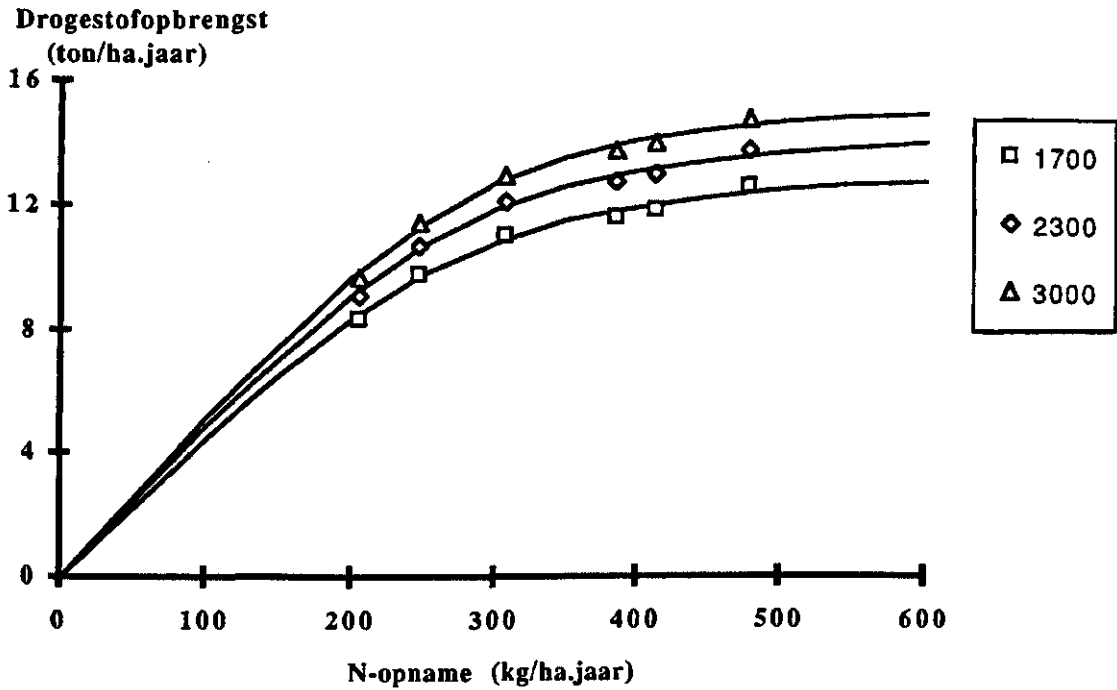
- N_{tot} = totale hoeveelheid stikstof die tijdens het groeiseizoen voor opname beschikbaar komt
- N_{ak} = hoeveelheid opneembare stikstof uit kunstmest
- N_{d} = totale hoeveelheid stikstof in dierlijke mest (ongeveer 5 kg/ton drijfmest)
- C_1 = correctiefactor voor ammoniakvervluchtiging (tabel 6)
- C_2 = correctiefactor voor uitspoeling als gevolg van het tijdstip van uitrijden (tabel 7)
- C_3 = correctiefactor voor mineralisatie buiten het groeiseizoen (tabel 8)
- N_{s} = hoeveelheid stikstof die wordt gemineraliseerd tijdens het afbreken van organische stof uit de bodem en opneembaar is voor het gewas.
- N_{n} = hoeveelheid stikstof afkomstig van depositie en opneembaar voor het gewas

4.2.2 De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst

Van Steenberg (1977) heeft over verscheidene jaren in bemestingsproeven drogestofopbrengsten en stikstofopnamen gemeten van gemaaid grasland. De proefvelden lagen op zandgronden verspreid over de Veluwe, met verschillen in vochttoestand variërend van droog tot nat. (Jagtenberg & De Boer, 1967).

Omdat niet altijd gemaaid is bij een vaste drogestofopbrengst heeft Van de Ven (1991) deze gegevens bewerkt zodat ze gelden voor maaien bij een drogestofopbrengst van 3000, 2300 en 1700 kg/ha. In figuur 3 zijn deze gegevens in een grafiek uitgezet en is een niet-orthogonale hyperbool door de punten geconstrueerd.

Het verband tussen drogestofopbrengst en stikstofopname kan met verschillende wiskundige functies benaderd worden. Relatief eenvoudige functies zijn logaritmische functies en orthogonale hyperbolen. Beide functies blijken 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.



Figuur 3. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst volgens door Van de Ven (1991) bewerkte gegevens van Van Steenberg, als gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 3000, 2300 en 1700 kg/ha.

De niet-orthogonale hyperbool

Allereerst zal uitgelegd worden wat een orthogonale hyperbool is, omdat deze eenvoudiger is dan de niet-orthogonale hyperbool.

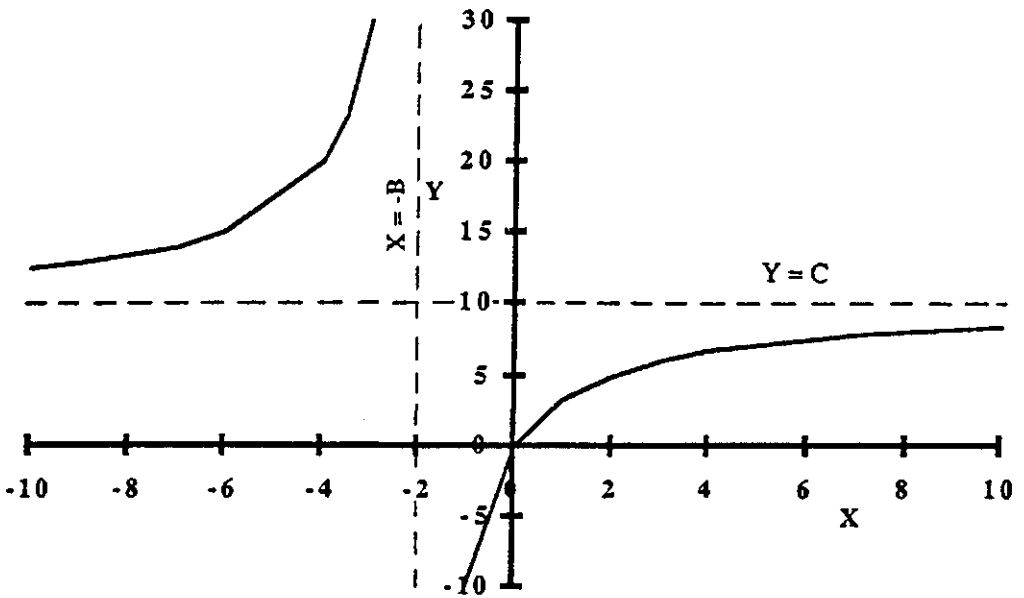
De algemene vergelijking van de orthogonale hyperbool is:

$$Y = \frac{C \times B \times X}{B + X} \quad \frac{C \times X}{B + X}$$

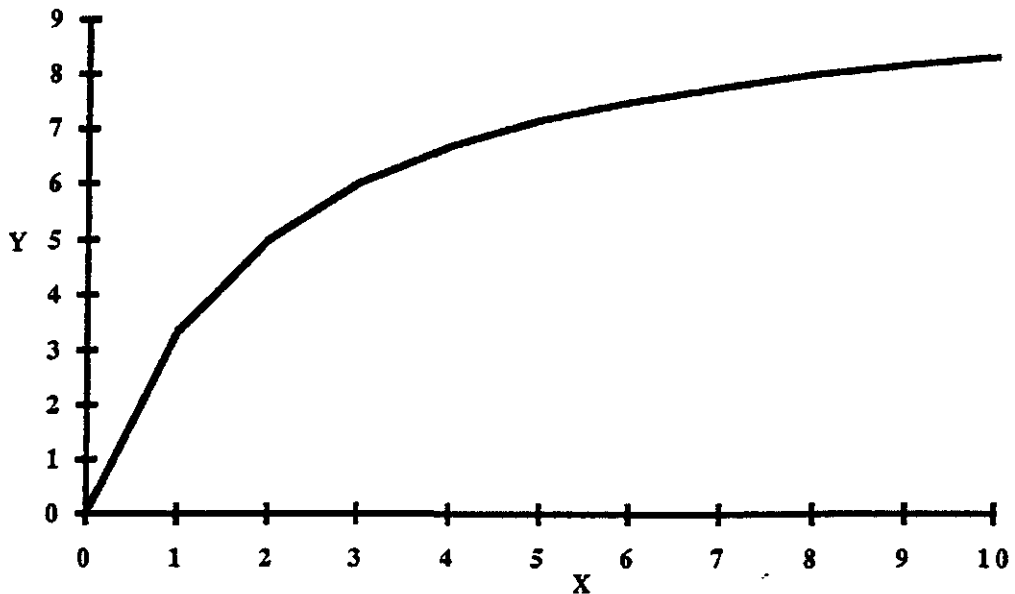
Deze hyperbool bestaat uit twee curven die gescheiden worden door twee asymptoten die loodrecht op elkaar staan (figuur 4). Dit zijn de lijnen $Y=C$ en $X=-B$. Voor ons doel is alleen de onderste curve van de hyperbool voor positieve X -waarden van belang (figuur 5).

De richting van de raaklijn aan de curve is te bepalen door de afgeleide van de functie te bepalen:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{C \times B}{(B+X)^2}$$



Figuur 4. Orthogonale hyperbool, $Y = \frac{CX}{(B+X)}$, met $B=2$ en $C=10$



Figuur 5. Orthogonale hyperbool, $Y = \frac{CX}{(B+X)}$, met $B=2$ en $C=10$, alleen voor $X > 0$.

De beginhelling van de curve, de raaklijn aan de curve in de oorsprong is gelijk aan C/B . Bij toename van de X -waarde neemt de helling steeds verder af, totdat de curve vrijwel horizontaal loopt.

De kromming van de curve wordt bepaald door de tweede afgeleide van de functie

$$\frac{d^2Y}{d^2X} = \frac{-2 \times C \times B}{(B+X)^3}$$

De kromming van de curve is het grootst in de oorsprong, als $X=0$. Het begin van de curve is dus het slechts te benaderen door een rechte lijn.

De vorm van de orthogonale hyperbool wordt bepaald door twee parameters, B en C, daarom kunnen ook maar twee eigenschappen van de curve beïnvloed worden. Deze eigenschappen zijn de asymptoot en de beginhelling van de curve. Wil men ook de kromming van de curve kunnen beïnvloeden dan is een functie met een extra parameter nodig.

Door een term aan de formule voor de orthogonale hyperbool toe te voegen ontstaat een niet-orthogonale hyperbool.

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 6 heeft deze hyperbool twee asymptoten die niet loodrecht op elkaar staan. De vergelijkingen voor deze twee asymptoten zijn:

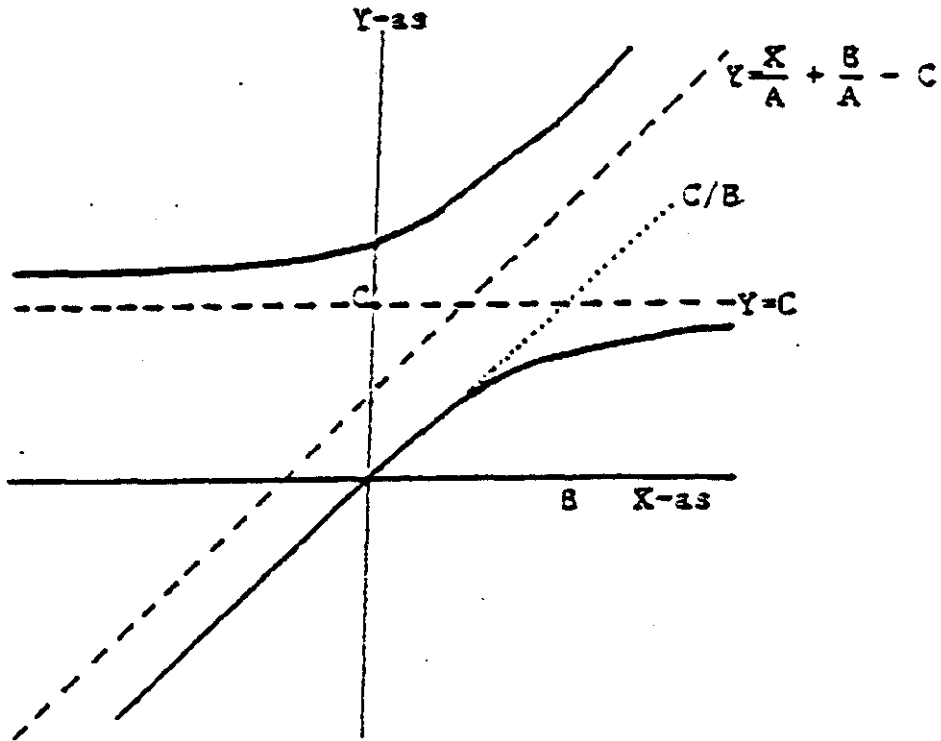
$$Y = C \quad \text{en} \quad Y = \frac{X}{A} + \frac{B}{A} - C$$

Als A gelijk is aan 0 ontstaat weer de orthogonale hyperbool met de asymptoten $Y = C$ en $X = -B$ (zie ook figuur 7).

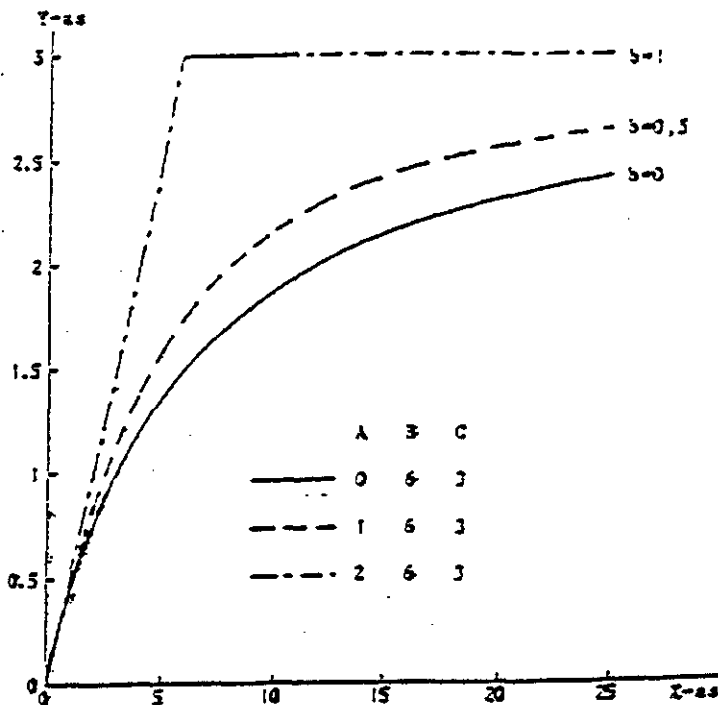
De kromming van de curve wordt bepaald door het quotient $b=A*C/B$.

In figuur 7 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 . Als geldt $b=0$ dan ontstaat een orthogonale hyperbool. Dit is het geval als $A = 0$. Als de parameter C nul wordt geldt ook $b = 0$, maar deze mogelijkheid 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 .



Figuur 6. Schematische voorstelling van de niet-orthogonale hyperbool



Figuur 7. Drie niet-orthogonale hyperbolen, met allen dezelfde beginhelling en horizontale asymptoot, maar met een andere kromming.

De parameters voor de curve in figuur 3 die maaien bij 3000 kg ds/ha weergeeft zijn vermeld in Tabel 10.

Tabel 10. De parameters voor de niet-orthogonale hyperbool in figuur 3 bij maaien bij 3000 kg ds/ha.

Maai stadium	A	B	C
kg ds/ha	(kg N/ton ds)	(kg N/ha.jaar)	(tonds/ha.jaar)
3000	17,77	300,1	15,83

De beginhelling van de curve (C/B) is de inverse van het N-gehalte van het gras bij lage stikstofopname, deze is 19,0 g N/kg droge stof. Dit is iets hoger dan de vuistregel die Sibma & Ennik (1988) hanteren, te weten 15 g N/kg droge stof. De horizontale asymptoot (C=15,83 ton ds/ha.jaar) ligt boven de hoogst gemeten waarde; per definitie zal de hyperbool de asymptoot nooit raken. De waarde b ($A \cdot C/B$), die de kromming van de curve bepaald, is 0,937.

Om curven te construeren voor meerdere klassen van vochtleverend vermogen worden de maximale drogestofproducties zoals berekend in hoofdstuk 3 gebruikt. Omdat hier geen verschil gemaakt is tussen maaien bij verschillende drogestofopbrengsten per snede, is de maximale opbrengst bij maaien bij een drogestofopbrengst van 2300 kg/ha geschat als het gemiddelde van de opbrengsten van maaien en beweiden, tabel 11.

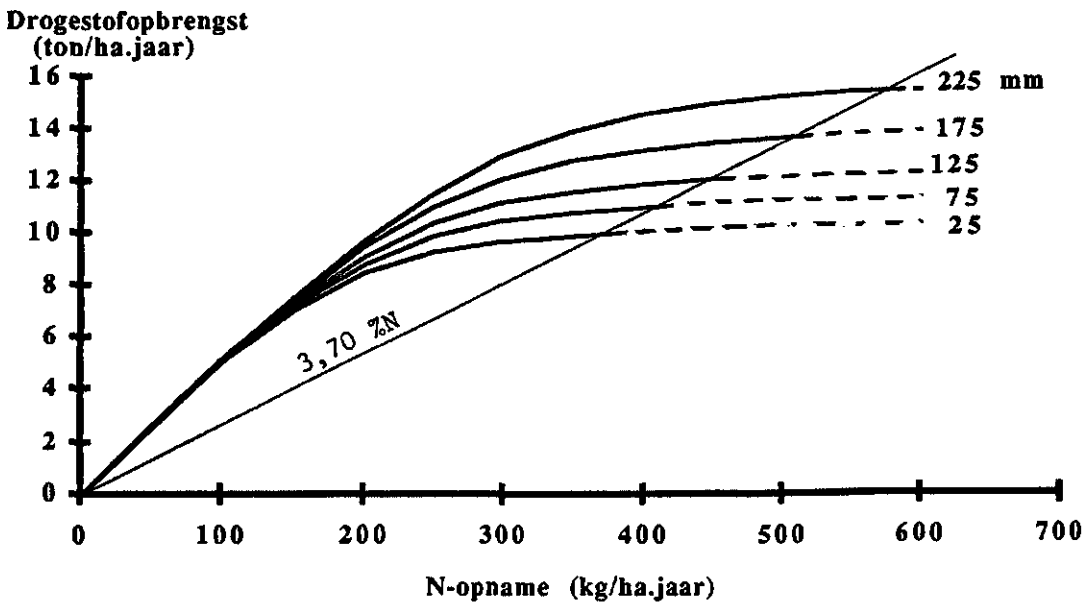
Tabel 11. Maximale opbrengst van gras bij drie maaistadia en bij verschillend vochtleverend vermogen van de bodem (kg ds/ha.jaar).

maaistadium (ds/ha.snedes)	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
3000	10.025	11.057	12.088	13.738	15.558
2300	9.439	10.414	11.387	12.671	14.039
1700	8.853	9.770	10.686	11.603	12.520

Verondersteld wordt dat onder de proefomstandigheden, zoals die golden voor de proeven van Van Steenberg, en waarop bovenstaande niet-orthogonale hyperbolen zijn gebaseerd maximaal 550 kg N/ha.jaar opgenomen kon worden. Dit ongeacht de maaifrequentie. Als gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 3000 kg/ha, dan is de maximale drogestofopbrengst 14.86 ton/ha.jaar en het bijbehorende N-gehalte is dan 37,0 g/kg drogestof. Verondersteld wordt dat dit maximale N-gehalte geldig is voor elke klasse van vochtleverend vermogen van de grond. De asymptoot (C) die voor de curve van maaien bij 3000 kg ds/ha berekend is, heeft een waarde die 6,6 % groter is dan de maximale drogestofopbrengst, gerelateerd aan deze maximale drogestofopbrengst. Daarom zullen de asymptoten van de curven bij andere vochtleverende vermogens ook 6,6 % boven de maximale produkties liggen die hiervoor berekend zijn in hoofdstuk 3. Aangenomen wordt dat de kromming van de curven bij andere vochtleverende vermogens dezelfde is als de curve in figuur 3.

Gesteld wordt dat alle curven dezelfde initiële helling hebben. Dit betekent dat het stikstofgehalte bij zeer lage hoeveelheden opgenomen stikstof onafhankelijk is van het vochtleverend vermogen van de grond.

Verondersteld is dat vocht in die situatie niet een groeibeperkende factor is. In figuur 8 zijn de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond getekend, in tabel 12 zijn de parameters van deze niet-orthogonale hyperbolen vermeld. Omdat de initiële helling (C/B) en de vorm van de curven ($A \cdot C/B$) voor alle vochtklassen gelijk zijn, hebben ze allen dezelfde waarde voor de parameter A.



Figuur 8. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 3000 kg/ha.

Tabel 12. De parameters voor de curven in figuur 8 zijn:

Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	17,77	202,6	10,69
75	17,77	223,5	11,79
125	17,77	244,3	12,89
175	17,77	277,7	14,65
225	17,77	314,4	16,59

Als zomerstalvoeding wordt toegepast, dan wordt het gras gemaaid als de drogestofopbrengst 2300 kg/ha is. Hierdoor is het verband tussen stikstofopname en drogestofopbrengst anders dan wanneer gemaaid wordt bij 3000 kg ds/ha (figuur 3). De methode om tot curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond te komen is dezelfde als de methode die is toegepast bij maaien bij 3000 kg ds/ha.

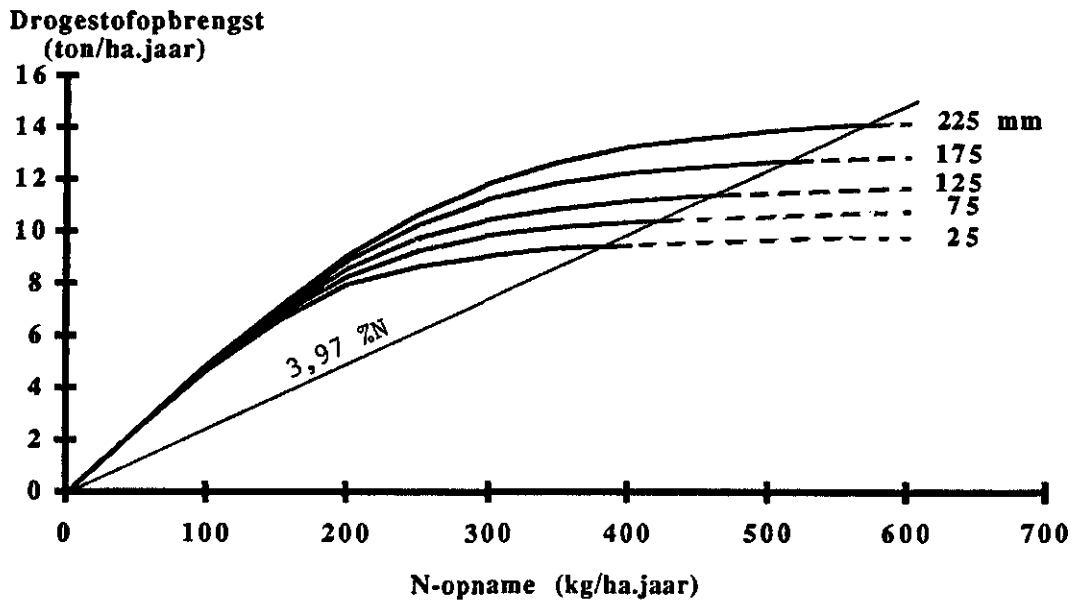
De parameters voor de curve in figuur 3 die maaien bij 3000 kg ds/ha weergeeft zijn vermeld in Tabel 13.

Tabel 13. De parameters voor de niet-orthogonale hyperbool in figuur 3 bij maaien bij 2300 kg ds/ha.

Maai stadium	A	B	C
kg ds/ha	(kg N/ton ds)	(kg N/ha.jaar)	(tonds/ha.jaar)
2300	18,52	296,8	14,88

De maximale N-opname wordt weer op 550 kg/ha.jaar gesteld. Dit wordt bereikt bij een drogestofopbrengst van 13,88 ton/ha.jaar en een N-gehalte van 39,7 g N/kg drogestof. De asymptoot ligt 7,3 % hoger dan de maximale drogestofopbrengst. Op dezelfde wijze als bij maaien ten behoeve van inkuilen worden nu de parameters voor de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond berekend.

In figuur 9 zijn de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond getekend, in tabel 14 zijn de parameters van deze niet-orthogonale hyperbolen vermeld.



Figuur 9. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 2300 kg/ha.

Tabel 14. De parameters voor de curven in figuur 9 zijn:

Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	18,52	202,0	10,12
75	18,52	222,8	11,17
125	18,52	243,7	12,21
175	18,52	271,1	13,59
225	18,52	300,4	14,06

Bij beweiding worden de dieren ingeschaard als de drogestofopbrengst 1700 kg/ha is. Voor het verband tussen stikstofopname en drogestofopbrengst wordt uitgegaan van maaien bij 1700 kg/ha. Later, in de volgende paragraaf, wordt het extra effect van weiden toegevoegd. De drogestofopbrengsten en stikstofopnamen uit de proeven van Van Steenberg (1977) zijn aangepast zodat ze nu geldig zijn voor maaien bij 1700 kg ds/ha (figuur 3), (Van de Ven, 1991)

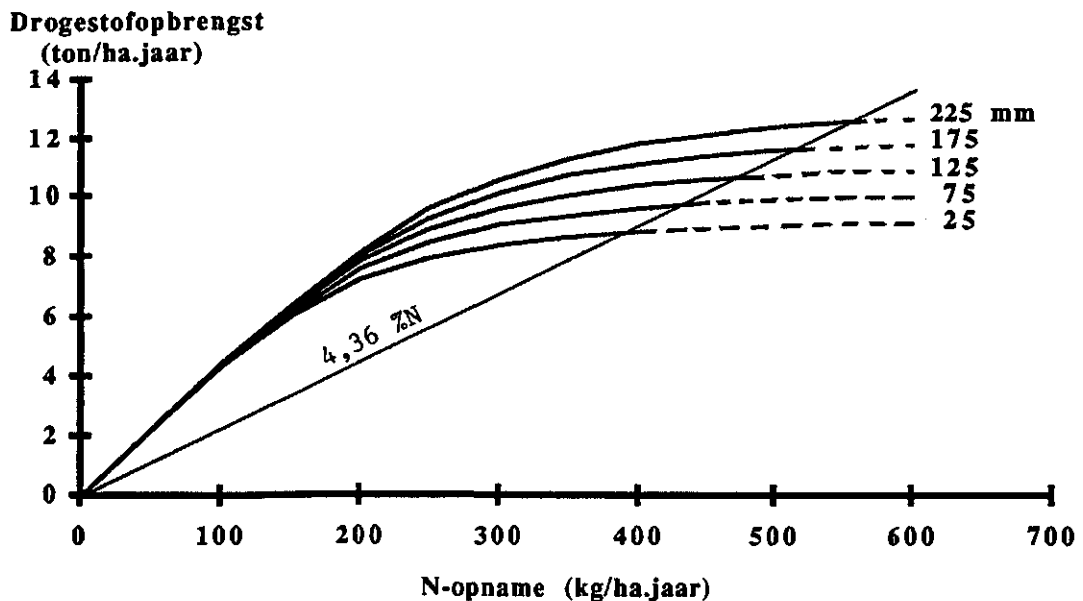
De parameters voor de curve in figuur 3 die maaien bij 1700 kg ds/ha weergeeft zijn vermeld in Tabel 15.

Tabel 15. De parameters voor de niet-orthogonale hyperbool in figuur 3 bij maaien bij 1700 kg ds/ha.

Maaistadium	A	B	C
kg ds/ha	(kg N/ton ds)	(kg N/ha.jaar)	(tonds/ha.jaar)
2300	19,88	293,8	13,60

Ook hier wordt weer aangenomen dat maximaal 550 kg N/ha.jaar wordt opgenomen. Dit wordt bereikt bij een drogestofopbrengst van 12,62 ton/ha.jaar en een N-gehalte van 43,6 g N/kg drogestof. De asymptoot ligt 7,8 % boven de maximale drogestofopbrengst. Op dezelfde wijze als bij maaien ten behoeve van inkuilen worden nu de parameters voor de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond berekend.

In figuur 10 zijn de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond getekend, in tabel 16 zijn de parameters van deze niet-orthogonale hyperbolen vermeld.



Figuur 10. De relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 1700 kg/ha.

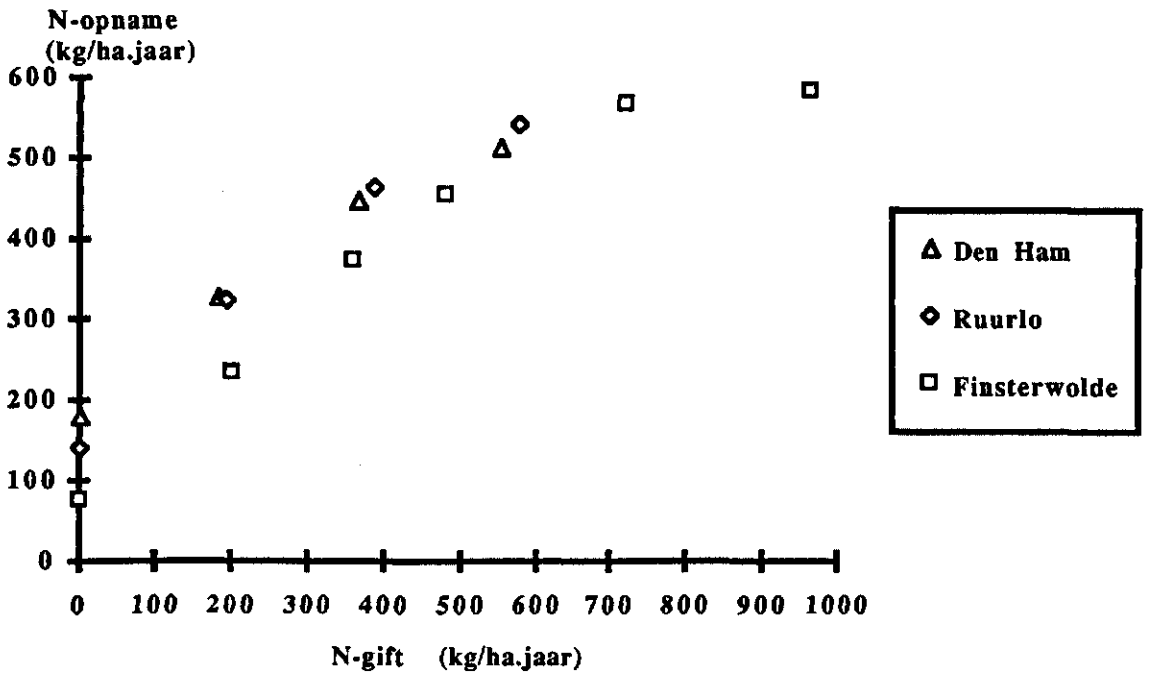
Tabel 16. De parameters voor de curven in figuur 10 zijn:

Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	19,88	206,1	9,54
75	19,88	227,5	10,53
125	19,88	248,8	11,52
175	19,88	270,2	12,51
225	19,88	291,5	13,50

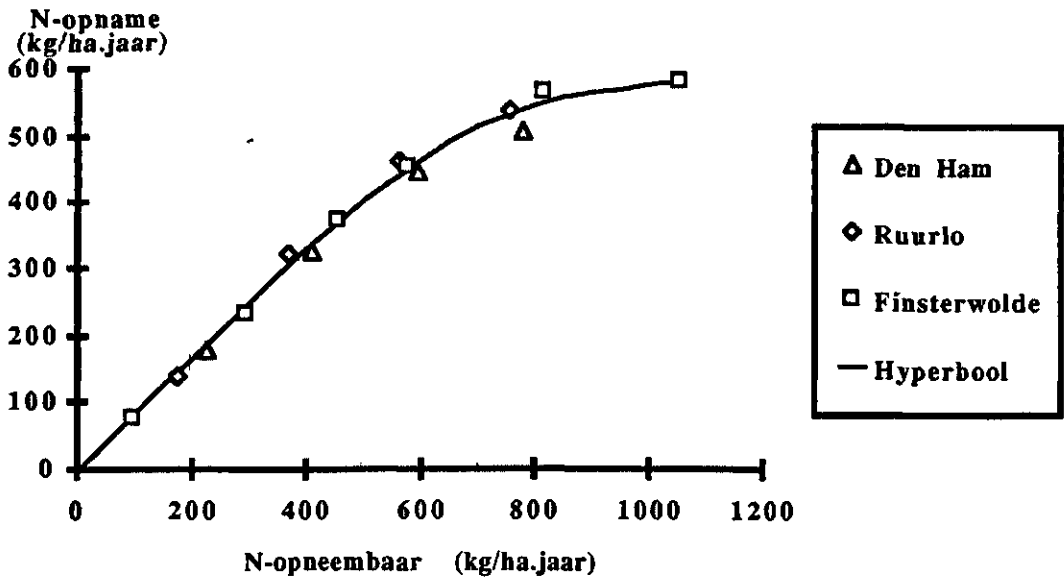
4.2.3 De relatie tussen opneembaar stikstof en stikstofopname in de oogstbare delen

Proeven waarbij de opneembare stikstof is bepaald zijn niet uitgevoerd. Wel zijn er proefresultaten bekend van stikstofopnamen in de oogstbare delen bij verschillende stikstofgiften. In figuur 11 zijn de stikstofopnamen tegen de stikstofgiften van de proeven te Ruurlo en Den Ham (Snijders et al., 1987) en Finsterwolde (Prins, 1983) uitgezet. De proefvelden van Ruurlo en Den Ham lagen op zandgronden met een bewortelbare diepte van maximaal 40 cm, het proefveld in Finsterwolde bestond uit een 30 tot 50 cm dikke zandgrond gelegen op een ondergrond van lichte zavel, zie bijlage 5.

Om het stikstofaanbod om te zetten naar opneembaar stikstof is aangenomen dat als er niet bemest wordt met stikstof, de N-benutting van de stikstof die via mineralisatie beschikbaar komt 80 % is. Dit percentage is gebaseerd op de beginhellingen van de lijnen van Finsterwolde en Den Ham in figuur 11. Bij de proef in Ruurlo werd de stikstof bij lage N-gift voor 95 % benut, dat is erg hoog en daarom is deze waarde niet gebruikt. Deze gecorrigeerde gegevens zijn weergegeven in figuur 12. Door deze gegevens is een niet-orthogonale hyperbool getrokken die ook in figuur 12 is gegeven.



Figuur 11. Stikstofopname in de oogstbare delen als functie van de stikstofgift in de proeven te Ruurlo, Den Ham en Finsterwolde.



Figuur 12. De relaties tussen de opneembare hoeveelheid stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen in de proeven te Ruurlo, Den Ham en Finsterwolde.

De parameters voor de best-fittende curve zijn zijn vermeld in tabel 17

Tabel 17. De parameters voor de niet-orthogonale hyperbool in figuur 12.

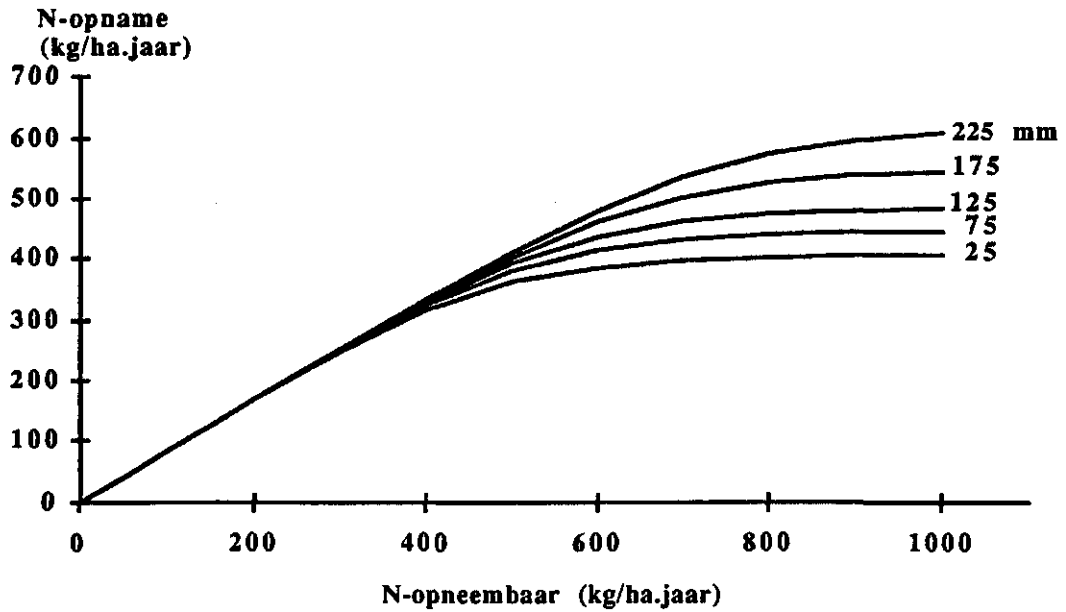
A	B	C
(kg N/ton ds)	(kg N/ha.jaar)	(tonds/ha.jaar)
1,14	722,2	615,2

De initiële helling (C/B) van deze curve is 0,85. Dit terwijl bij het aanpassen van de meetwaarden was aangenomen dat de N-benutting van de stikstof die door mineralisatie vrij komt 80 % was.

De maximale N-opname wordt voor deze proeven gelijkgesteld aan 550 kg/ha.jaar. De asymptoot (parameter C) is 11,85 % groter dan de maximale N-opname.

Om curven te construeren voor meerdere klassen van vochtleverend vermogen wordt aangenomen dat de N-opname gelijk is aan de N-opname die behoort bij de maximale producties zoals die hiervoor vastgesteld zijn. Aangenomen wordt dat de kromming van de curven bij andere vochtleverende vermogens dezelfde is als de curve in figuur 12. Ook wordt gesteld dat alle curven dezelfde initiële helling hebben. Dit betekent dat de stikstofopname bij zeer lage hoeveelheden opneembaar stikstof onafhankelijk is van het vochtleverend vermogen van de grond.

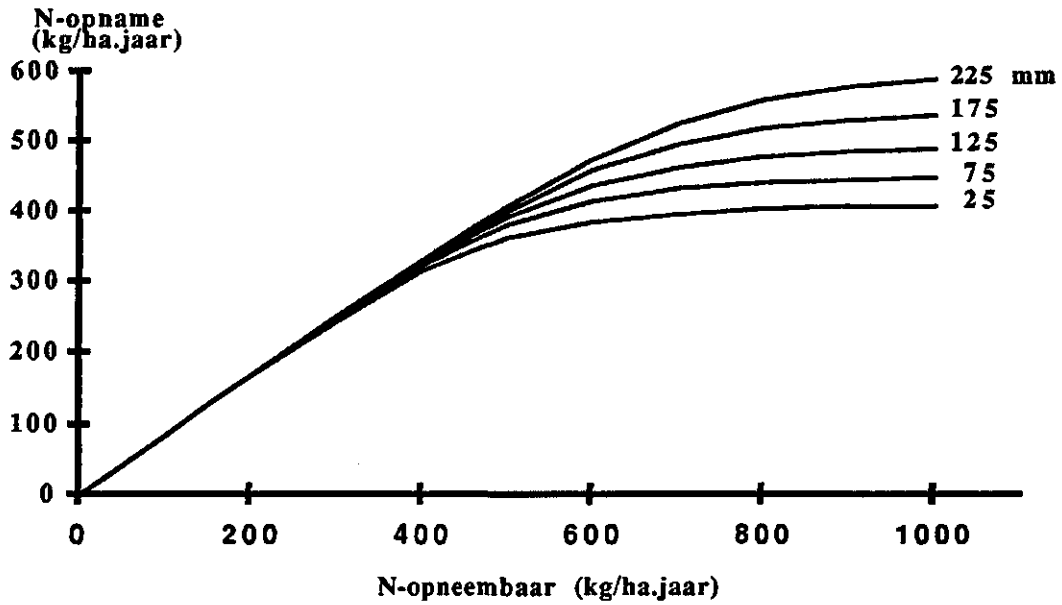
In figuur 13, 14 en 15 zijn, voor maaien bij respectievelijk 3000, 2300 en 1700 kg ds/ha, de curven voor verschillende vochtleverende vermogens van de grond getekend, in tabel 18, 19 en 20 zijn de parameters van deze niet-orthogonale hyperbolen vermeld.



Figuur 13. De relaties tussen de opneembare hoeveelheid stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij 3000 kg ds/ha.

Tabel 18. De parameters voor de curven in figuur 13 zijn:

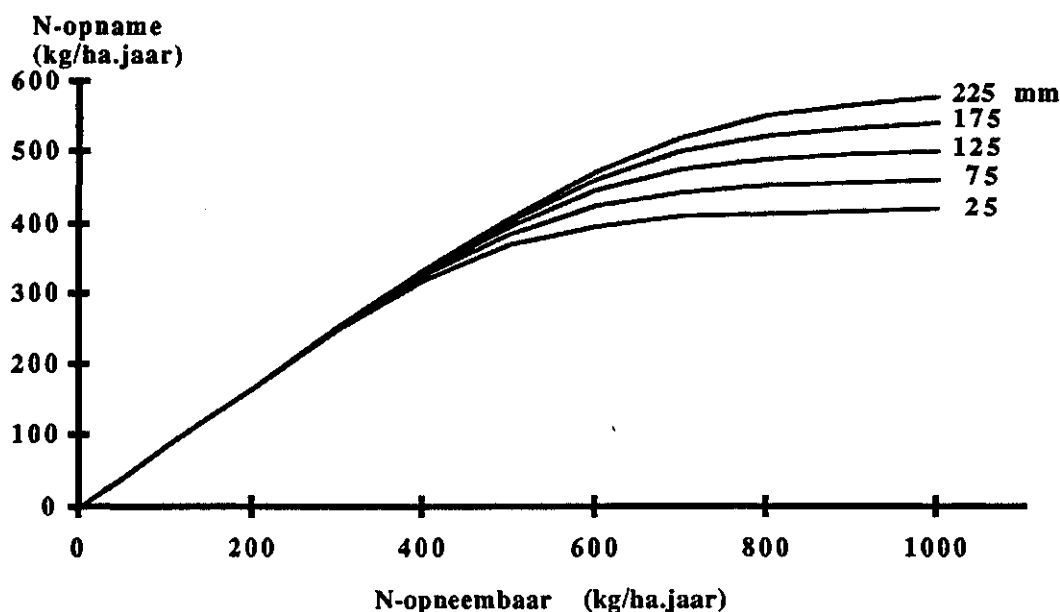
Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	1,14	485,4	414,9
75	1,14	535,4	457,6
125	1,14	585,3	500,3
175	1,14	665,2	568,5
225	1,14	753,3	643,9



Figuur 14. De relaties tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij 2300 kg ds/ha.

Tabel 19. De parameters voor de curven in figuur 14 zijn:

Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	1,14	490,4	419,1
75	1,14	541,0	462,4
125	1,14	591,6	505,6
175	1,14	658,3	562,6
225	1,14	729,4	623,4



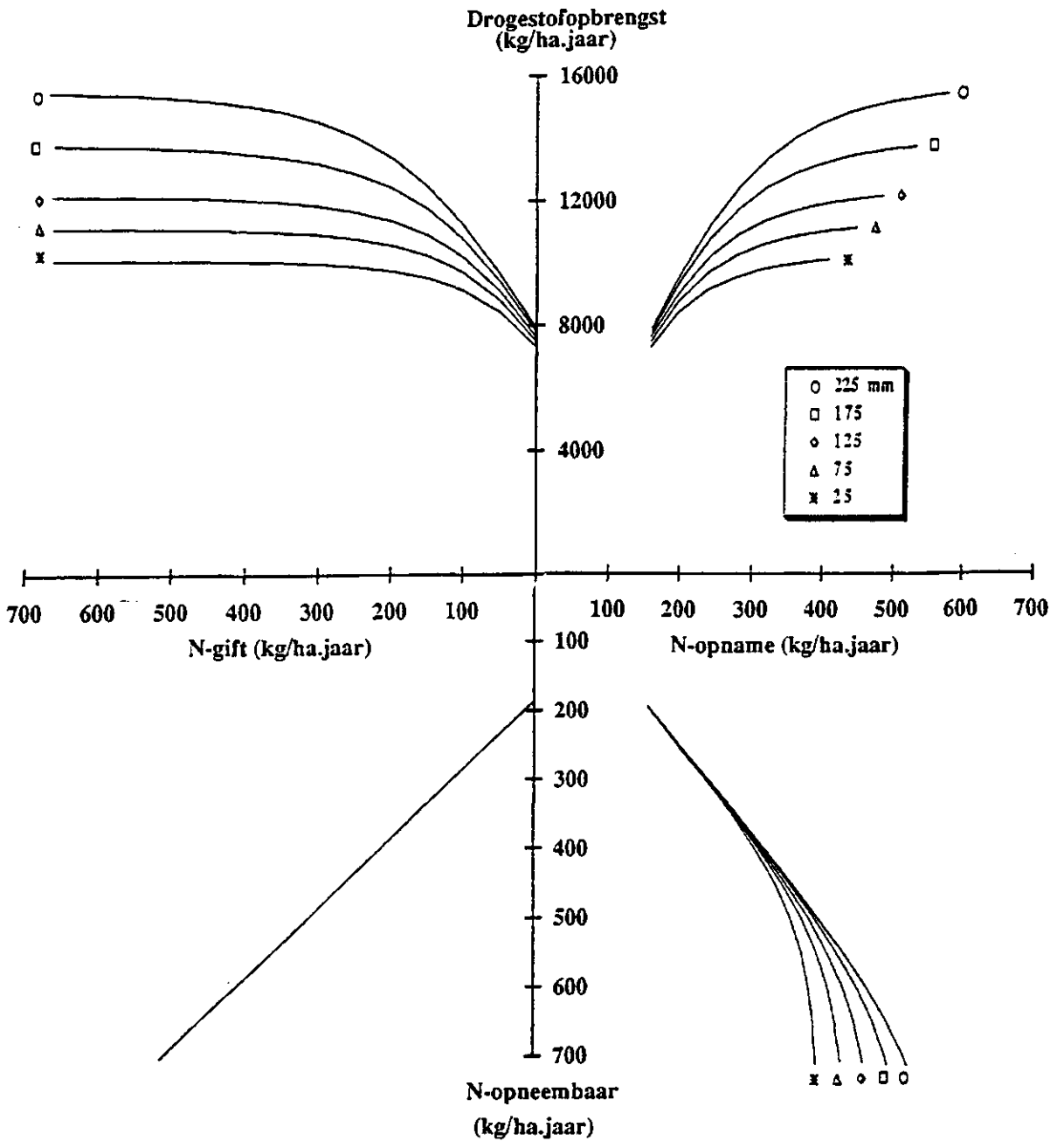
Figuur 15. De relaties tussen de hoeveelheid opneembare stikstof en de stikstofopname in de oogstbare delen op gronden met een verschillend vochtleverend vermogen, als gemaaid wordt bij 1700 kg ds/ha.

Tabel 20. De parameters voor de curven in figuur 15 zijn:

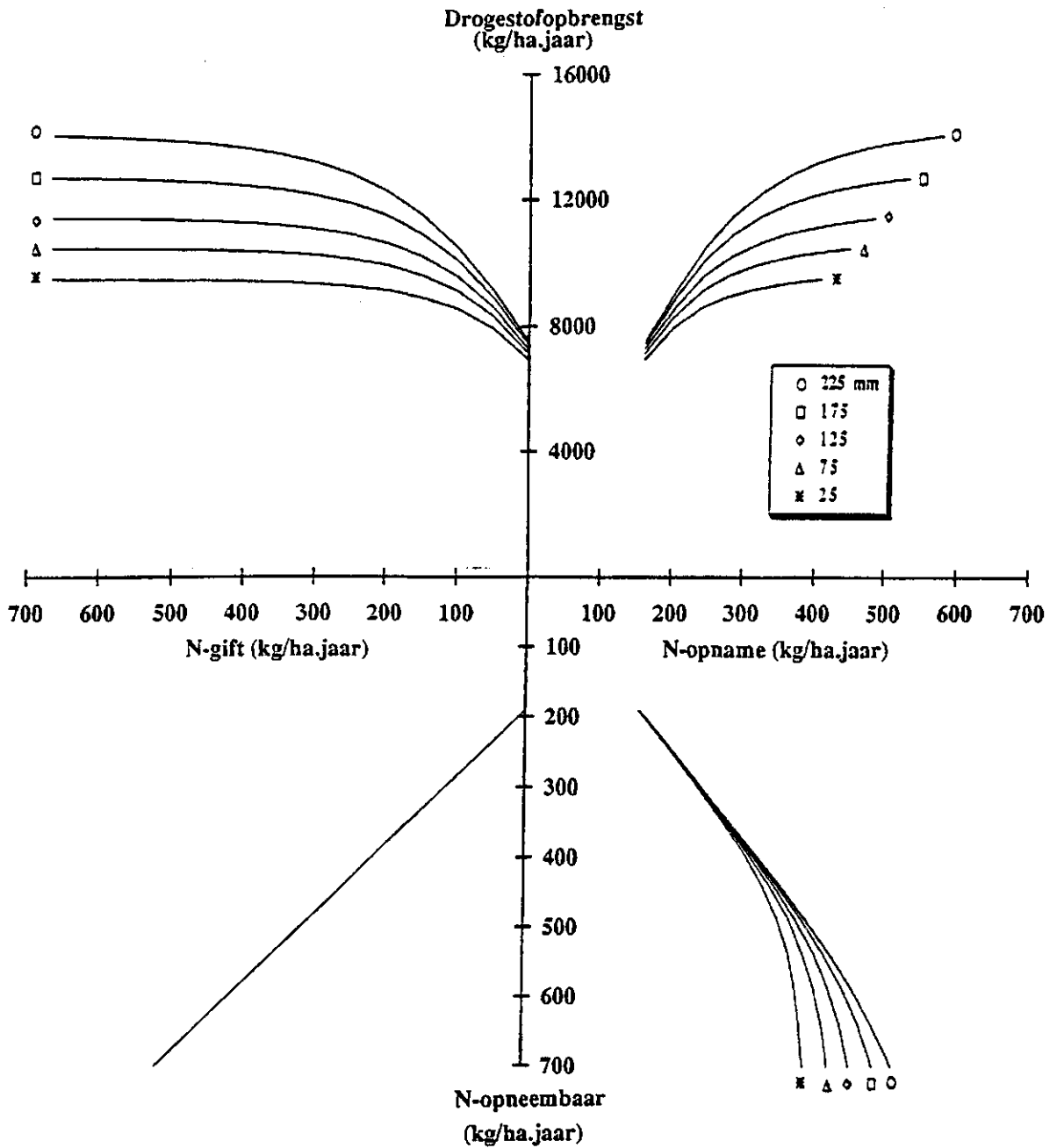
Vochtleverend vermogen (mm)	A	B	C
25	1,14	505,1	431,7
75	1,14	557,4	476,4
125	1,14	609,7	521,1
175	1,14	662,0	565,8
225	1,14	714,4	610,6

Het is nu mogelijk om de relaties tussen de opneembare hoeveelheid stikstof en de stikstofopname (figuur 13, 14 of 15) te combineren met de relaties tussen de hoeveelheid stikstof in de oogstbare delen en de drogestofopbrengst (figuur 8, 9 of 10) en dit alles weer te combineren met de relatie tussen het stikstofaanbod en de opneembare hoeveelheid stikstof zoals beschreven in paragraaf 4.1. Dit is gebeurd in de figuren 16 en 17 voor respectievelijk maaien bij 3000 en 2300 kg drogestof per ha, onder de aanname dat de bodem-N 180 en de N-depositie 45 kg/ha.jaar bedraagt.

Wanneer niet wordt bemest met stikstof is de drogestofopbrengst ongeveer 8 ton/ha.jaar en de stikstofopname 180 kg N/ha.jaar.



Figuur 16. Het effect van de gift kunstmest-N op de hoeveelheid opneembare N, de N-opname en de drogestofopbrengst bij maaien bij 3000 kg drogestof per ha en vijf niveaus van vochtleverend vermogen van de bodem (25, 75, 125, 175 en 225 mm).



Figuur 17. Het effect van de gift kunstmest-N op de hoeveelheid opneembare N, de N-opname en de drogestofopbrengst bij maaien bij 2300 kg drogestof per ha en vijf niveaus van vochtleverend vermogen van de bodem (25, 75, 125, 175 en 225 mm).

4.3 Beweiden

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

Beweiden van grasland verschilt met maaien voor conservering doordat het gras geoogst wordt bij 1700 kg drogestof per hectare in plaats van bij 3000 kg/ha, maar vooral doordat het grootste gedeelte (75 % of meer) van de stikstof die door de dieren geconsumeerd wordt weer terug belandt op het weiland (Valk et al., 1990). Door de urine en faeces komt deze stikstof pleksgewijs terug. Bij beweiden kan een onderscheid gemaakt worden tussen dag en nacht beweiden (O4) en alleen overdag beweiden (B4). Bij het O4-systeem krijgen de dieren alleen gras, aangevuld met enkele kilo's krachtvoer tijdens het melken. Bij het B4-systeem krijgen de dieren op stal maïs gevoerd. Bij dit systeem ontstaan minder urine- en mestplekken, bovendien bevat de urine minder stikstof omdat het rantsoen minder eiwit bevat, en de benutting door de dieren iets groter is.

Zoals reeds is vermeld in paragraaf 4.1, wordt aangenomen dat de N in de faeces niet opneembaar is voor het gewas, omdat 13 % vervluchtigt en de rest aanwezig is in slecht afbreekbaar materiaal. Van de stikstof in urine is 60 % opneembaar, de rest vervluchtigt en denitrificeert (zie paragraaf 4.1).

De invloed van stikstof t.g.v. mineralisatie, depositie en bemesting is hetzelfde als in de situatie waarbij gemaaid wordt bij een drogestofopbrengst van 1700 kg/ha.

4.3.2 De relatie tussen opneembaar stikstof en stikstofopname.

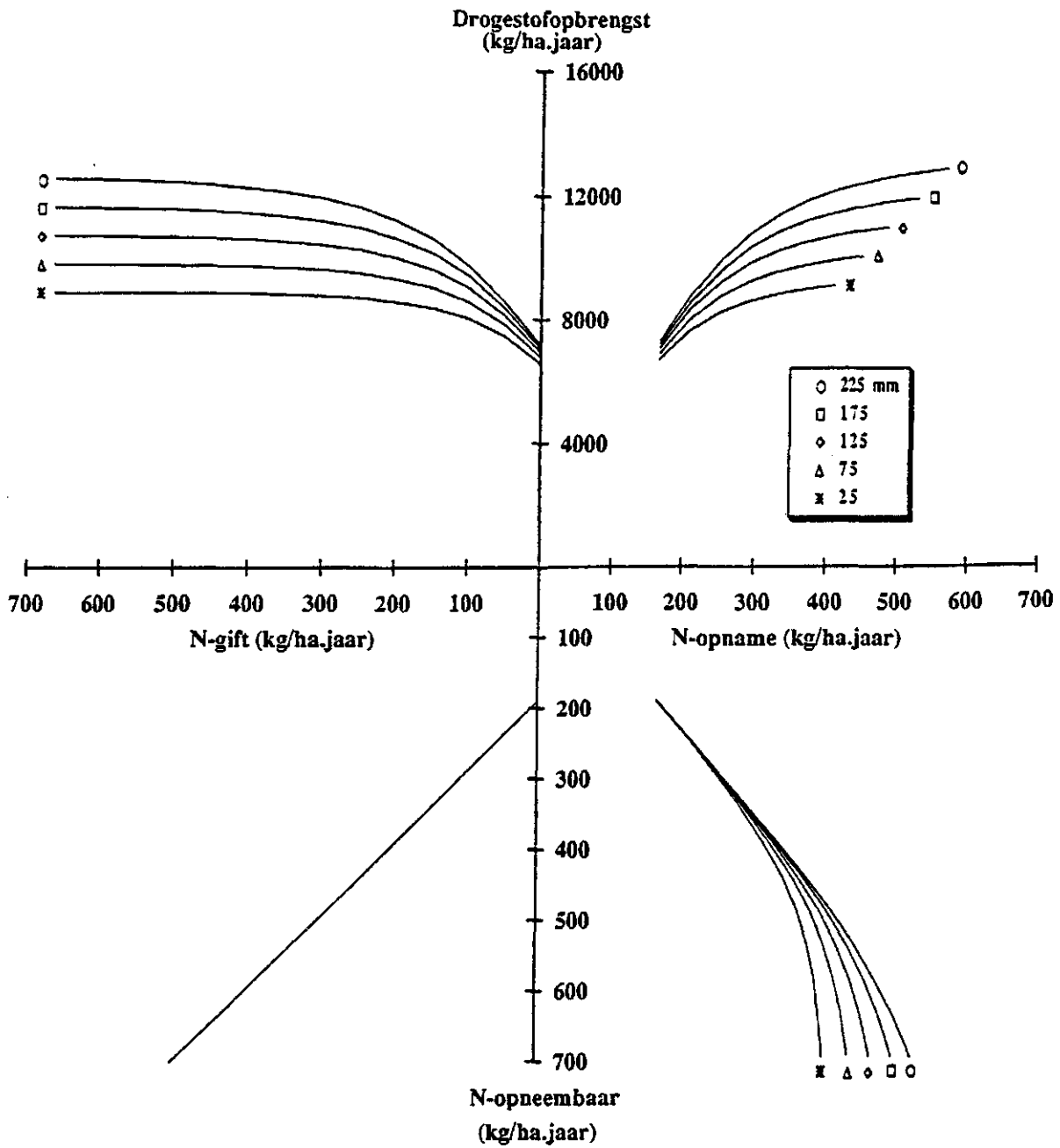
De opneembare stikstof afkomstig uit urine gedraagt zich hetzelfde als de minerale stikstof uit kunstmest. Omdat echter urine ook in het najaar wordt gedeponerd en dan niet meer alle in de urine aanwezige stikstof voor de winter kan worden opgenomen, wordt verondersteld dat slechts 50 % van de potentieel extra N-opname ten gevolge van urine ook werkelijk wordt opgenomen. Dit percentage is gebaseerd op onderzoek met kunsturine op zandgrasland (Van der Meer & Van Uum van Lohuyzen, 1989). In dit onderzoek werd een gedeelte op een hoog N-niveau bemest (ongeveer 400 kg N/ha.jaar) en de rest op een laag niveau, ongeveer 120 kg N/ha.jaar. Bij lage giften is het denkbaar dat een groter percentage van de potentieel extra N-opname ook wordt opgenomen. De extra N-opname in het gras ten gevolge van urineplekken zorgt voor extra stikstof in de urine en faeces die weer voor extra N-opname in het gras zorgt. Dit is een oneindige "loop" waarbij de cumulatieve extra N-opname blijft toenemen. Na enkele keren doorlopen van deze loop is deze toename echter al te verwaarlozen, zodat zonder bezwaar uit deze loop gesprongen kan worden.

4.3.3 De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst.

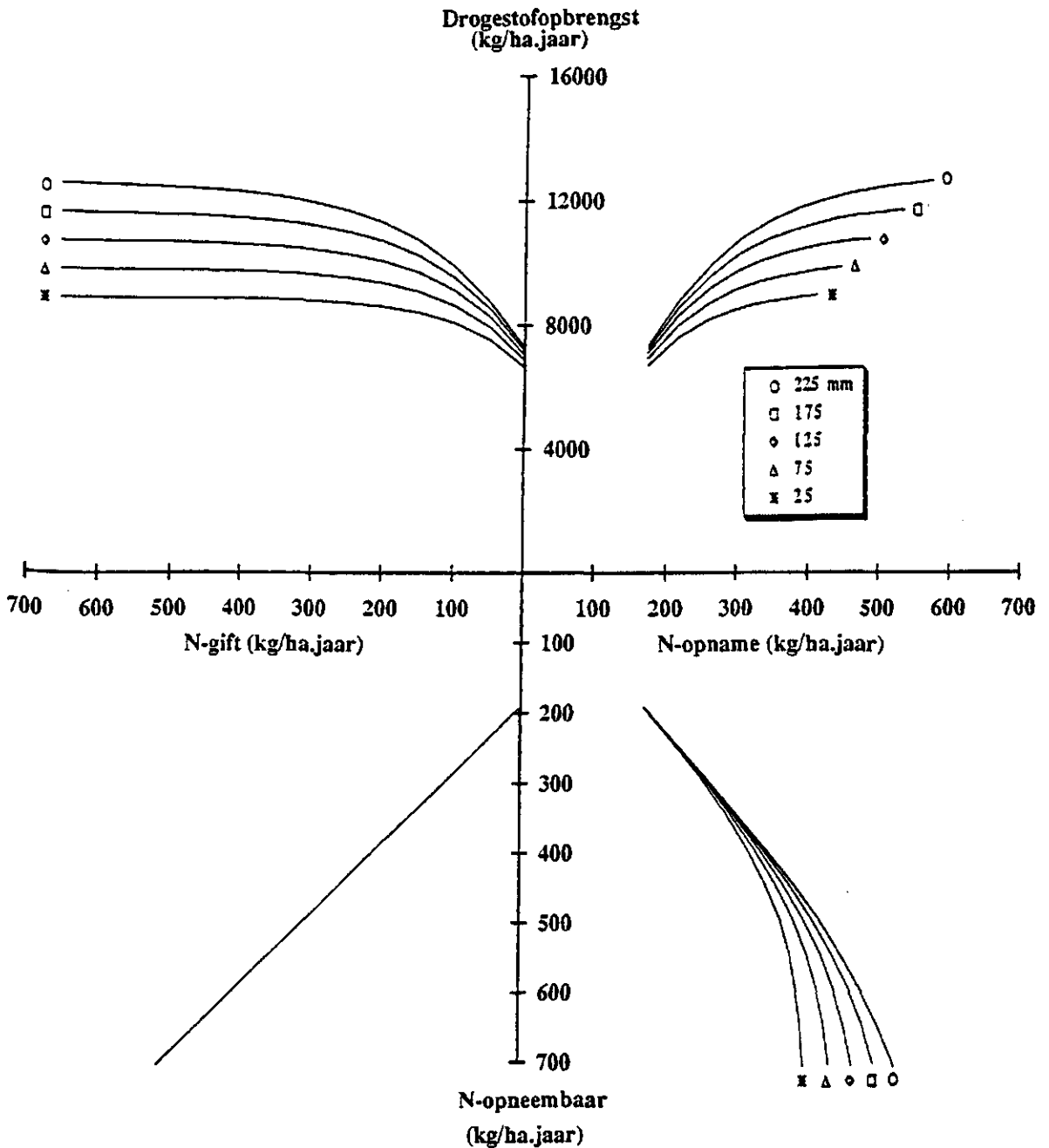
Het grasland wordt beweid als er 1700 kg oogstbare drogestof per hectare op het veld staat. De relatie tussen stikstofopname en drogestofopbrengst is dezelfde als wanneer gemaaid wordt bij 1700 kg drogestof per hectare. Ook in de urineplekken is deze relatie geldig. Hogere N-gehalten in het gras in urineplekken zijn het gevolg van hogere hoeveelheden N-opneembaar en daardoor hogere N-opname en hogere drogestofopbrengst in vergelijking met andere plaatsen in het perceel.

4.3.4 Vierkwadrantenfiguur

Analoog aan figuur 16 en 17 is het mogelijk een vierkwadrantenfiguur voor beweiden te maken. Omdat bij beweiding stikstof recirculeert is het noodzakelijk berekeningen met een computermodel uit te voeren. Van de Ven (1991) heeft een graslandbeheersmodel (GRASMOD) ontworpen waarmee deze berekeningen gemaakt kunnen worden. Dit model is gebruikt om een vierkwadrantenfiguur voor beweiding op te stellen. Bij beweiden kan onderscheid gemaakt worden tussen dag en nacht beweiden (O4) en alleen overdag beweiden (B4). Figuur 18 geeft de vierkwadrantenfiguur voor het B4-systeem, terwijl figuur 19 voor dag en nacht beweiden geldt. In deze figuren is de stikstof uit de urine die opneembaar is voor de plant niet inbegrepen bij de opneembare stikstof zoals die op de as is uitgezet. Dit omdat het niet juist is om deze hoeveelheid stikstof ongecorrigeerd op te tellen bij de andere bronnen die wel homogeen verdeeld zijn over het land. De stikstofopname bij dag en nacht beweiden is iets groter dan bij beperkt omweiden bij dezelfde bemesting omdat bij dag en nacht beweiden meer urine op het perceel belandt en minder in de stal. Bij beweiden is de stikstofopname iets hoger dan bij maaien (zie figuur 15), omdat bij maaien helemaal geen urine op het grasland komt.



Figuur 18. Het effect van kunstmest N-bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof, de N-opname en de drogestofopbrengst bij alleen overdag beweiden en vijf niveaus van vochtleverend vermogen van de bodem (25, 75, 125, 175 en 225 mm).



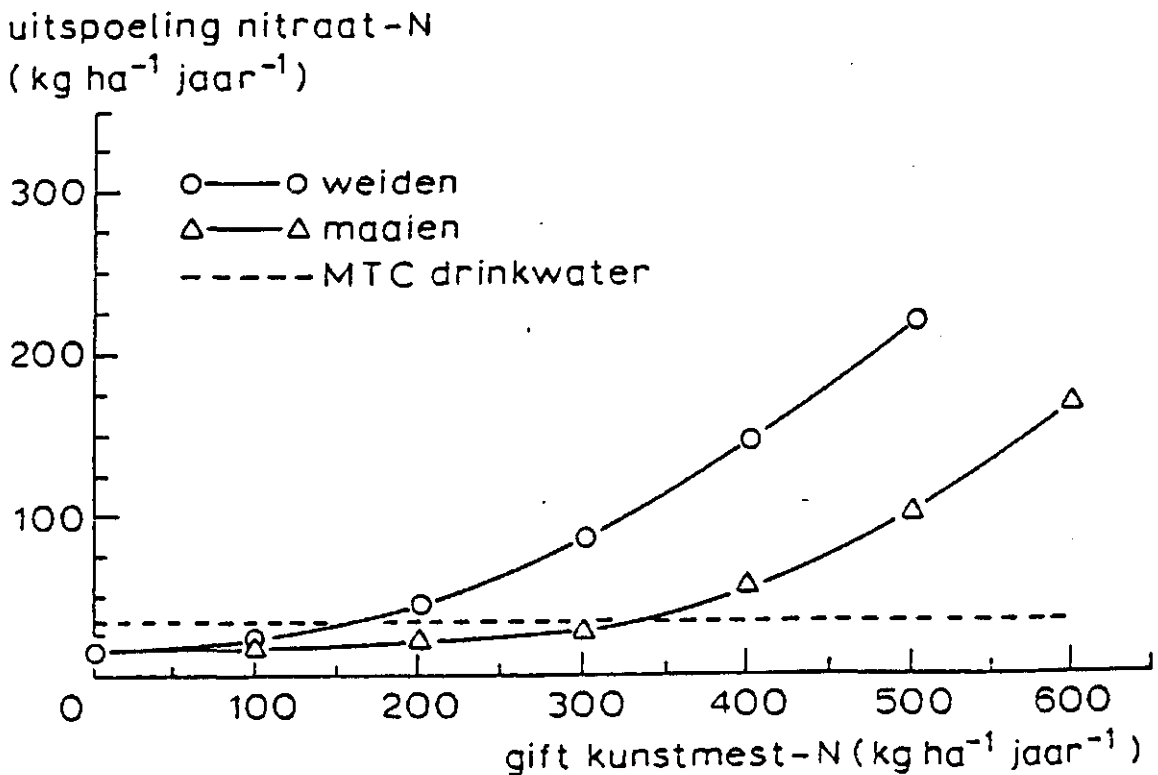
Figuur 19. Het effect van kunstmest N-bemesting op de hoeveelheid opneembare stikstof, de N-opname en de drogestofopbrengst bij dag en nacht beweiden en vijf niveaus van vochtleverend vermogen van de bodem (25, 75, 125, 175 en 225 mm).

5. Stikstofemissie

5.1 Nitraatuitspoeling

Zoals uit het vorige hoofdstuk bleek wordt niet alle minerale stikstof die in de bodem aanwezig is door het gras in de oogstbare delen opgenomen. De stikstof die niet wordt opgenomen kan vastgelegd worden in wortels en stoppels of kan verloren gaan door denitrificatie of uitspoeling. De uitspoeling van stikstof gebeurt vooral in de vorm van nitraat.

Van der Meer & Meeuwissen (1989) hebben een 'gemiddelde' relatie tussen stikstofbemesting en nitraatuitspoeling gegeven voor diep ontwaterd zandgrasland bij uitsluitend maaien, zie figuur 20.



Figuur 20. Het effect van de gift kunstmest-N op de uitspoeling van nitraat-N uit uitsluitend gemaaid grasland op diep ontwaterde, goed vochthoudende zandgrond. De onderbroken lijn geeft de uitspoeling aan waarbij de maximaal toelaatbare concentratie van nitraat in drinkwater (11,3 g nitraat-N per m³) wordt bereikt. (Van der Meer & Meeuwissen, 1989)

Om de nitraatuitspoeling bij gronden met verschillend vochtleverend vermogen en bodem-mineralisatie te kunnen berekenen is deze relatie tussen stikstofbemesting en nitraatuitspoeling omgevormd tot een relatie tussen het overschot aan minerale N in de bodem (aanvoer van minerale N minus N-opname in de oogstbare delen) en de nitraatuitspoeling:

$$\text{NO}_3 = f(\text{Nprofiel} - \text{Nopname})$$

Om de aanvoer van minerale stikstof te kunnen berekenen is een schatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die vrijkomt door mineralisatie en depositie vanuit de lucht. De hoeveelheid uit bodemmineralisatie is geschat op 180 kg/ha.jaar en de N-depositie op 45 kg/ha.jaar. De stikstofopname door het gras is berekend met vergelijkingen zoals in de voorgaande paragrafen is beschreven met de aanname dat het vochtleverend vermogen van de zandgrond 125 mm bedraagt.

In tabel 21 is het resultaat van de aannamen en berekeningen gegeven. De relatie tussen de stikstof in het bodemprofiel minus de stikstofopname en de nitraatuitspoeling is beschreven door de wiskundige formule:

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2$$

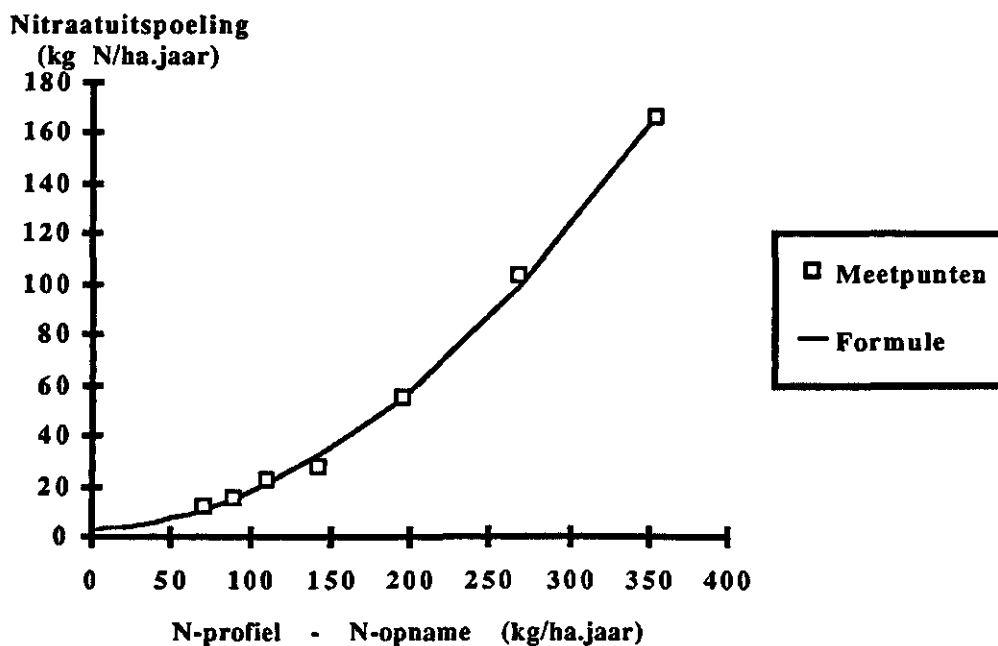
Tabel 21 Nitraatuitspoeling als functie van de stikstof in het bodemprofiel minus de stikstofopname.

Nprofiel - N-opname (kg/ha)	Nitraatuitspoeling (kg N/ha)
69	13,0
87	15,5
110	22,6
143	27,4
195	56,0
268	104,0
353	166,0

In figuur 21 is deze functie weergegeven, de waarden voor A,B en C zijn door regressie bepaald: A = 3,779; B = 0,0243; C = 0,00125.

De functie geeft een goede beschrijving van de punten. Voorzichtigheid is echter geboden bij extrapolatie. Bij zeer hoge X-waarden zal de nitraatuitspoeling met deze functie overschat worden omdat deze kwadratisch blijft stijgen. In werkelijkheid mag verwacht worden dat het

kwadratische verband in een lineair verband zal overgaan. Daarom wordt aangenomen dat als het minerale overschot aan N in de bodem groter is dan 350 kg/ha.jaar 90 % van dit extra overschot zal uitspoelen. Dit percentage is gebaseerd op de raaklijn van de curve bij het hoogste meetpunt.



Figuur 21. Nitraatuitspoeling als functie van de stikstof in het bodemprofiel minus de stikstofopname.

De relatie voor nitraatuitspoeling zoals Van der Meer en Meeuwissen hebben opgesteld is gebaseerd op gegevens van proefvelden met een grondwatertrap van VII* (VIII volgens de nieuwste indeling). Nitraatuitspoeling is sterk afhankelijk van de grondwatertrap. Bij hoge grondwaterstanden treedt meer denitrificatie op en daardoor spoelt er minder nitraat uit. Steenvoorden (1988) en Boumans et al.(1989) hebben hier onderzoek naar gedaan. Op grond hiervan hebben Goossensen & Meeuwissen (1990) correctiefactoren opgesteld, waarmee de uitspoeling gecorrigeerd kan worden voor denitrificatie in afhankelijkheid van de grondwatertrap, Tabel 22.

Tabel 22. Invloed van de grondwatertrap (Gt) op de nitraatuitspoeling op het vlak van 1 m-mv. De nitraatuitspoeling is uitgedrukt in een index, waarbij de uitspoeling bij Gt VIII gesteld is op 1 (naar Goossensen & Meeuwissen, 1990).

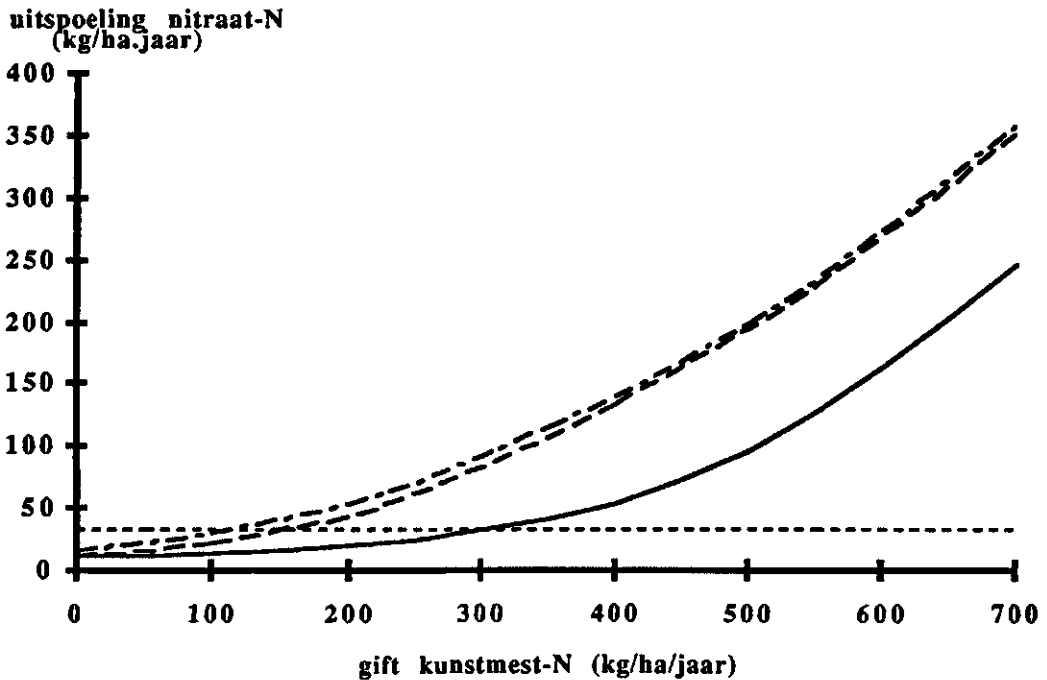
Gt	Correctiefactor voor nitraatuitspoeling
I	0,00
II	0,05
II*	0,05
III	0,10
III*	0,10
IV	0,40
V	0,50
V*	0,50
VI	0,60
VII	0,75
VIII	1,00

Bij beweiding zal de nitraatuitspoeling bij gelijke N-bemesting groter zijn dan bij maaien omdat op urineplekken het stikstofaanbod groter is dan op andere plaatsen in het weiland. Aangenomen wordt dat 60 % van de stikstof in urine opneembaar is. De rest gaat verloren door vervluchtiging (13%) en vermoedelijk chemodenitrificatie (27%), zie paragraaf 4.1. Deze extra stikstof zorgt voor extra stikstofopname, maar ook voor extra nitraatuitspoeling.

In figuur 22 is de nitraatuitspoelingscurve voor maaien en dag- en nachtbeweiden getekend, zoals die is berekend door de aangepaste versie van het model GRASMOD van Van de Ven (1991) dat op bovenstaande aannamen is gebaseerd.

Omdat niet alle urine in het voorjaar wordt gedeponerd is de stikstofbenutting van de urine-N minder goed dan van de kunstmest-N, zie paragraaf 4.3.2. Hierdoor zal de nitraatuitspoeling groter zijn dan wanneer de potentieel extra N-opname ten gevolge van urine ook werkelijk wordt opgenomen, zie figuur 22. Dit verschil is echter niet groot, terwijl het verschil bij lage N-giften waarschijnlijk zelfs nog te groot is geschat.

Als de nitraatuitspoeling niet meer dan 34 kg N/ha.jaar mag worden, mag de stikstofbemesting bij maaien niet meer dan 300 kg/ha.jaar bedragen en bij dag en nacht beweiden niet meer dan 110 kg/ha.jaar.



Figuur 22. Nitraatuitspoeling als functie van de stikstofgift bij maaien (—) en dag- en nachtbeweidens: (---) als de potentieel extra N-opname uit urine ook werkelijk wordt opgenomen en (.....) als 50 % van de potentieel extra N-opname wordt opgenomen. (-.-.-) drinkwaternorm.

5.2 Ammoniakvervluchtiging

Ammoniakvervluchtiging treedt bij grasland dat gemaaid wordt 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 drijfmest en de methode van uitrijden, zie paragraaf 4.2.1. De vervluchtiging is als volgt te berekenen:

$$N_{am} = N_d * 0,5 * C_1$$

waarin,

N_{am} = hoeveelheid stikstof die als ammoniak vervluchtigt

N_d = hoeveelheid stikstof in runderdrijfmest

C_1 = correctiefactor m.b.t. de methode van mestaanwending (tabel 6)

0,5 omdat 50 % van N_d mineraal is

Tijdens beweiding treedt bovendien vervluchtiging op uit faeces en urine en ten gevolge van beweidingsverliezen. De vervluchtiging uit faeces en urine is in beide gevallen 13 % van de totale hoeveelheid stikstof, zie paragraaf 4.3.1.

Van de stikstof in de beweidingsverliezen vervluchtigt 3 % (Vertregt & Rutgers, 1988).

5.3 Denitrificatie

De denitrificatie is net als de nitraatuitspoeling afhankelijk gesteld van het overschot aan minerale N in de bodem (aanvoer van minerale N minus N-opname in de oogstbare delen). Verondersteld is dat 10 % van dit overschot verloren gaat door middel van denitrificatie. In paragraaf 5.1 is aangegeven dat extra denitrificatie op kan treden bij andere grondwatertrappen dan VII*. Deze extra denitrificatie komt dan nog bij de 10 % van het overschot aan minerale N in de bodem.

Bij beweiding is de denitrificatie groter omdat 27 % van de stikstof in urine denitrificeert, zie paragraaf 4.3.1.

6. Het graslandbeheersmodel

6.1 Inleiding

Van de Ven (1991) heeft een graslandbeheersmodel ontwikkeld waarmee het mogelijk is om de nutriëntenhuishouding bij een bepaald graslandbeheer snel te kwantificeren. Dit model is aangepast voor de relaties zoals die in de vorige hoofdstukken zijn beschreven.

Een globale beschrijving van dit model is gegeven in Van de Ven 1990, waaruit de volgende paragraaf is overgenomen. Voor uitgebreidere informatie wordt verwezen naar de beschrijving van GRASMOD (Van de Ven, 1991).

Na de globale beschrijving van uitgangspunten, opbouw van en aannamen in GRASMOD wordt aangegeven welke veranderingen in het model zijn aangebracht.

6.2 Het graslandbeheersmodel GRASMOD

De uitgangspunten in grasmod

Voor het opstellen van GRASMOD zijn een aantal uitgangspunten gedefinieerd.

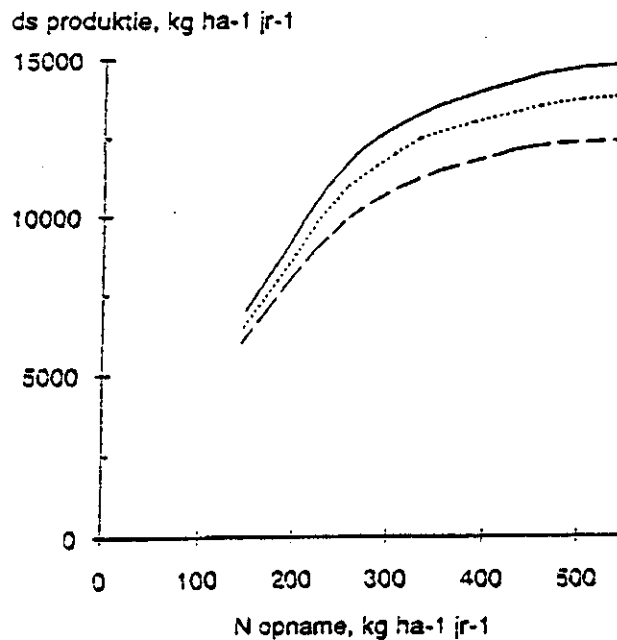
- Alle berekeningen worden uitgevoerd op jaarbasis. Hiermee kan worden volstaan omdat het de bedoeling is inzicht te krijgen in de relaties gewasproductie - toediening van nutriënten - emissie van nutriënten voor gemiddelde situaties.
- De relaties en aannamen in GRASMOD zijn ontleend aan de literatuur en aan deskundigen; tevens zijn normen van de landbouwvoorlichting gebruikt. Daar waar onvoldoende gegevens voor handen waren, zijn schattingen gedaan. GRASMOD is geen verklarend maar een beschrijvend model, waarin voornamelijk empirische relaties zijn verwerkt.
- GRASMOD is geldig voor blijvend grasland.
- Het grasland is gelegen op een diep ontwaterde zandgrond met een goede bodemstructuur. Voorlopig wordt aangenomen dat water geen beperkende factor is voor gewasgroei.
- Aangenomen wordt dat de normale teeltmaatregelen behorend bij een goede graslandverzorging op het juiste moment worden uitgevoerd. Deze maatregelen zijn niet in GRASMOD terug te vinden, omdat ze worden gekarakteriseerd door inzet van arbeid en machines, die niet in het model zijn opgenomen.
- Met GRASMOD moeten voor verschillende vormen van graslandgebruik bij een reeks van opbrengstniveaus inputs en outputs gekwantificeerd kunnen worden.

In het model worden drie vormen van graslandgebruik onderscheiden: zomerstalvoeding, onbeperkt omweiden en beperkt omweiden. Bij zomerstalvoeding staan de koeien dag en nacht binnen en wordt gras vers op stal vervoederd. Het gras wordt gemaaid als er 2300 kg

oogstbare drogestof per ha op het veld staat. Onbeperkt omweiden is gedefinieerd als het systeem, waarbij de koeien gedurende het zomerseizoen dag en nacht buiten zijn en regelmatig naar een ander perceel worden gebracht. Het grasland krijgt dan een aantal weken rust om weer een voldoende zware snede te vormen voor de volgende oogst. Inscharen gebeurt bij 1700 kg oogstbare drogestof per ha. Bij beperkt omweiden zijn de koeien overdag buiten en worden 's nachts opgesteld. Het is noodzakelijk de dieren ook 's nachts ruwvoer te verstrekken, omdat door de korte weideperiode niet voldoende gras opgenomen kan worden.

Het aantal dagen waarin een perceel wordt afgeweid, voordat op een ander perceel wordt ingeschaard, kan variëren. In GRASMOD is voorlopig uitgegaan van een standaard beweidingsduur van 4 dagen. Deze periode kan echter ook 1 of 2 dagen of meer dan 4 dagen zijn. De lengte van de beweidingsperiode beïnvloedt voornamelijk de beweidingsverliezen. Hoe korter de beweidingsperiode, hoe kleiner de verliezen.

Alle drie gebruikswijzen kunnen gecombineerd worden met maaien voor winning van wintervoer. Het maaipcentage is variabel en kan door de gebruiker van het model opgegeven worden. De zwaarte van een maaisnede voor conservering is 3000 kg ha^{-1} .



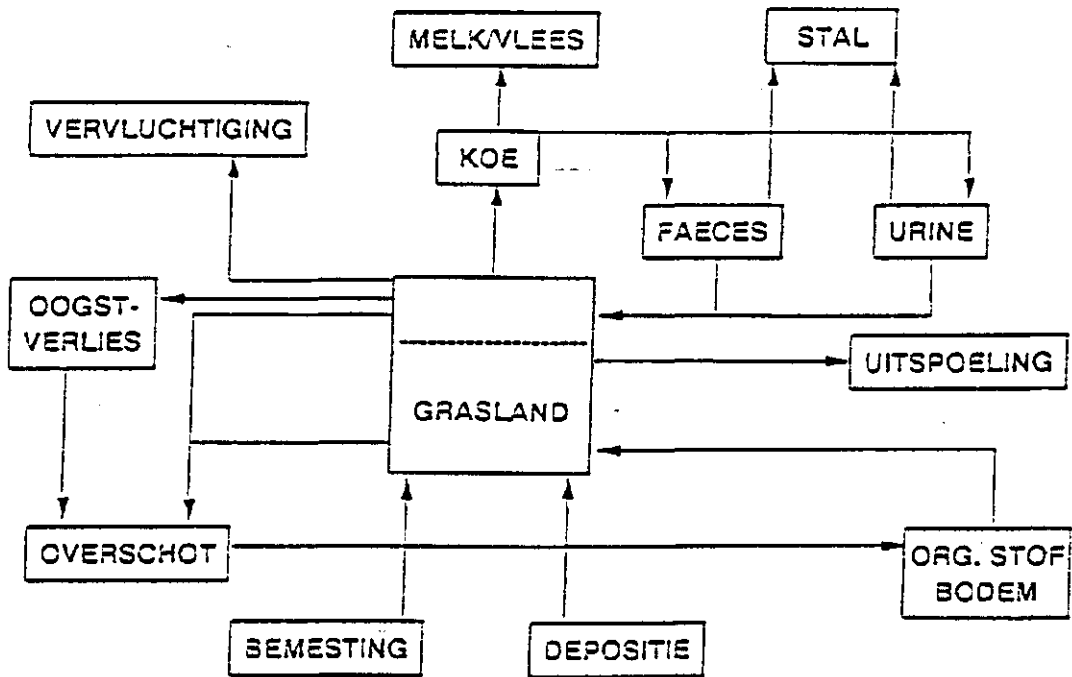
Figuur 23. De relatie tussen N-opname en de bruto drogestofproductie bij 3 oogstfrequenties, nl oogsten bij 1 700 (---), 2 300 (.....) en 3 000 (—) kg per snede.

In figuur 23 is voor de verschillende snede-opbrengsten de jaarproductie uitgezet tegen de N-opname. Deze verbanden zijn afgeleid uit de resultaten van een 10 jaar durende veldproef op 'normaal' vochthoudende zandgrond, gelegen op drie lokaties (Van Steenbergen, 1977 en ongepubl. gegevens; Van de Ven, 1991). De jaarlijkse N-opname wordt vooral beïnvloed door de N-bemesting en niet zozeer door de oogstfrequentie (Sibma & Alberda, 1980; Prins, 1983).

De drogestofproductie wordt wel beïnvloed door de oogstfrequentie. Na de oogst van gras treedt steeds een periode van verminderde groei op. De oogstfrequentie bepaalt het aantal hergroeiperiodes en daarmee de totale lengte van de periode met verminderde groei en de jaarproductie. Voor elk van de drie oogstfrequenties, namelijk steeds oogsten bij een opbrengst van 1700, 2300 en 3000 kg ha⁻¹, is dus een andere curve afgeleid. De maximale drogestofproductie onder beweiding en bij maaien voor zomerstalvoeding en voor conservering is respectievelijk 12 400, 13 400 en 14 800 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (figuur 23).

De opbouw van en aannamen in grasmod

De N-huishouding zoals in het model beschreven, is schematisch weergegeven in figuur 24.



Figuur 24. Schema van de N-huishouding van grasland in het weideseizoen

De N die door het gras wordt opgenomen, is afkomstig van levering door de bodem, depositie en bemesting. Mineralisatie van N is gesteld op 180 en de depositie op 45 kg ha⁻¹ jr⁻¹. De N-opname uit deze twee posten samen is gesteld op 150 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (Van der Meer, 1987). Als de N-opname hoger moet zijn, wordt door bemesting het resterende deel aangevuld. De N-recovery van kunstmest is voor de eerste 200 kg gesteld op 85%, voor de volgende 200 kg op 75% en voor het resterende deel op 65%. De maximale N-gift in GRASMOD is 525 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

1990). Op een diep ontwaterde zandgrond met een goede bodemstructuur zijn de N-verliezen door denitrificatie en afspoeling waarschijnlijk gering en worden voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Aangenomen is dat de jaarlijkse hoeveelheid N die in niet-oogstbare delen van het gewas (stoppel en wortel) wordt vastgelegd, gelijk is aan de hoeveelheid die door afsterving daaruit vrijkomt. Daarbij wordt anorganische N vastgelegd en komt organische N vrij, maar de totale hoeveelheid verandert niet.

Het overschot wordt toegevoegd aan de bodemvoorraad. Als geen andere dan de hiervoor genoemde processen optreden waarbij N verloren gaat, is in een evenwichtssituatie het overschot gelijk aan de N-levering door de bodem.

Alle in figuur 24 weergegeven relaties zijn zo goed mogelijk gekwantificeerd.

In urine- en faecesplekken komt extra N terecht. Voor faeces is aangenomen dat deze extra N geen invloed op de grasgroei heeft, omdat die voor het grootste deel organische gebonden is en dus langzaam vrij komt. In de faecesplekken wordt de grasgroei door bedekking tijdelijk geremd. In experimenteel onderzoek is aan de randen een wat hogere grasproductie waargenomen (Middelkoop, 1989). In het model is aangenomen dat deze extra produktie aan de randen de lagere produktie in het centrum compenseert. Van de N uit faeces vervluchtigt 13% (Vertregt & Rutgers, 1988) en de rest wordt via de post overschot toegevoegd aan de bodemvoorraad.

Van de N uit urine vervluchtigt ook 13% als ammoniak, gaat 27% verloren door een niet geïdentificeerd proces (mogelijk chemodenitrificatie) en kan maximaal 60% door het gras worden opgenomen (Vertregt & Rutgers, 1988). Aangenomen is dat het percentage vervluchtiging onafhankelijk is van het N-niveau, hoewel dat niet zeker. Nader onderzoek moet daar meer duidelijkheid in brengen. Aangenomen is dat de voor het gras beschikbare N uit urine hetzelfde effect heeft als N uit kunstmest en daarbij opgeteld kan worden om de totale N-beschikbaarheid in urineplekken te berekenen. Door deze hogere bemesting is de N-opname door het gras hoger en uit figuur 23 wordt vervolgens de drogestofopbrengst in een urineplek afgeleid. Uitgaande van de totale N-belasting kan uit de uitspoelingscurve voor zomerstalvoeding de nitraatuitspoeling in urineplekken geschat worden. Hierbij is aangenomen dat bij een N-belasting boven $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ 70% van de extra N uitspoelt (Van der Meer & Meeuwissen, 1989). Er wordt onderscheid gemaakt in velddelen die niet, éénmaal, tweemaal of vaker met urine worden bedekt. Voor elk van deze delen worden de N-opname, de drogestofopbrengst en de verliezen volgens dezelfde procedure, maar met een hogere N-bemesting berekend. Vervolgens worden de resultaten per ha grasland berekend als het gewogen gemiddelde van de verschillende velddelen. De oppervlakte die bedekt wordt met urine en faeces is afhankelijk van:

- de veebezetting, die in het model berekend wordt;
- het aantal lozingen per dier per dag, zowel voor urine als faeces gesteld op 12;

- de beïnvloede oppervlakte per lozing, voor urineplekken is dat $0,68 \text{ m}^2$ en voor faecesplekken $0,08 \text{ m}^2$.

6.3 Aanpassingen van het graslandbeheersmodel GRASMOD

Het model GRASMOD is geldig voor grasland gelegen op een diep ontwaterde, goed vochthoudende zandgrond met een goede bodemstructuur, waarbij door mineralisatie 180 kg N/ha.jaar beschikbaar komt. Om het model geschikt te maken voor andere zandgronden zijn als extra invoergegevens het stikstofleverend vermogen en het vochtleverend vermogen van de grond aangebracht. Voor het vochtleverend vermogen zijn er vijf klassen. Voor iedere klasse is er een relatie tussen drogestofopbrengst en N-opname zoals aangegeven in paragraaf 4.2.2.

Voor bepaling van de N-opname gaat het model GRASMOD uit van een constante opname van stikstof afkomstig van bodemmineralisatie en depositie, 150 kg/ha.jaar , en is de N-recovery van kunstmest afhankelijk van de grootte van de gift. Zoals in paragraaf 4.2.1 is beschreven wordt in het aangepaste model vanuit de bemesting, mineralisatie en depositie eerst de opneembare stikstof berekend. De opneembare stikstof bepaalt vervolgens de stikstofopname volgens de relaties beschreven in paragraaf 4.2.3. Deze relaties zijn voor de drie maainiveaus enigszins verschillend, dit in tegenstelling tot GRASMOD.

De maximale N-gift in GRASMOD is 525 kg/ha.jaar . Deze beperking is in de aangepaste versie niet aanwezig. Omdat ook de drijfmestgift ingevoerd wordt is het mogelijk om het effect van hoge stikstofgiften uit drijfmest te berekenen. GRASMOD stelt een maximum aan de stikstofopname in urineplekken van 620 kg/ha.jaar . Deze beperking is in de aangepaste versie niet nodig omdat de asymptoot van de hyperbolische functie er zorg voor draagt dat de N-opname nooit extreem hoog wordt.

De ammoniakvervluchtiging ten gevolge van het toedienen van drijfmest wordt toegevoegd aan de ammoniakvervluchtiging uit mest, urine en beweidingsverliezen.

GRASMOD geeft aan wat de bijdrage is van iedere stikstofbron aan de stikstofopname, de ammoniakvervluchtiging en de uitspoeling. Omdat in het aangepaste model alle stikstofbronnen verwerkt worden in de opneembare stikstof en waar vanuit de stikstofopname wordt bepaald is het niet meer mogelijk om een dergelijke uitsplitsing te maken, voor het doel van dit onderzoek is dit echter geen probleem.

Het gras wordt opgenomen door melkkoeien, waarbij een deel van de opgenomen N, afhankelijk van het graslandgebruik, verloren gaat als beweidings- of oogstverliezen. Bij zomerstalvoeding zijn de oogstverliezen 7%, bij beperkt en onbeperkt omweiden zijn de beweidingsverliezen respectievelijk 14 en 20% (Pelser, 1988).

De veebezetting wordt berekend door de netto door het gras geproduceerde energie en de energiebehoefte van koeien, die gedurende het weideseizoen gemiddeld 20 kg melk per dag produceren, op elkaar af te stemmen. De energiebehoefte van melkkoeien bij beperkt omweiden en zomerstalvoeding is respectievelijk 99 en 93,5% van die bij beperkt omweiden (Pelser, 1988).

Het rantsoen bestaat bij zomerstalvoeding en onbeperkt omweiden volledig uit gras. Bij beperkt omweiden krijgen de koeien 's nachts snijmaïs bijgevoerd, die voorziet in eenderde deel van de energiebehoefte. Voor maïs is standaard een bruto drogestofopbrengst van 12 500 kg ha⁻¹ jr⁻¹ aangenomen (Pelser, 1988).

In melk en vlees wordt een deel van de door de koeien opgenomen N afgevoerd. Het resterende deel wordt uitgescheiden in urine en faeces. Bij alle drie gebruikswijzen komt een deel van de geproduceerde mest tijdens het melken in de stal terecht. Bij onbeperkt omweiden zijn de koeien 4 uur per etmaal, bij beperkt weiden 14 uur en bij zomerstalvoeding het hele etmaal binnen. Verondersteld is dat de mestproductie evenredig over een etmaal verdeeld is.

N die op het grasland terecht komt, maar niet door het gras wordt opgenomen, kan vervluchtigen als ammoniak of uitspoelen als nitraat.

Van der Meer & Meeuwissen (1989) hebben voor diep ontwaterd grasland op zandgrond bij uitsluitend maaien een 'gemiddelde' relatie tussen N-bemesting en nitraatuitspoeling afgeleid uit literatuurgegevens. Deze relatie is in GRASMOD aangehouden bij maaien voor zomerstalvoeding.

Ammoniakvervluchtiging uit grasland vindt plaats uit urine, faeces en rottend gras. De beweidings- en oogstverliezen die op het grasland blijven worden beschouwd als rottend gras en daaruit vervluchtigt 3% van de aanwezige N (Vertregt & Rutgers, 1988). De vervluchtiging uit kunstmest is waarschijnlijk verwaarloosbaar en wordt niet meegerekend.

Alle N die niet in één van de hiervoor genoemde posten is verwerkt, wordt, samen met de N in beweidings- en oogstverliezen, aan de post 'overschot' toegerekend. Dit is een voorlopige vereenvoudiging.

Alle N die onder de wortelzone terecht komt, wordt hier beschouwd als verloren door uitspoeling. De drinkwaternorm van 50 mg nitraat l⁻¹ geldt voor grondwater op 2 m diepte. Onder bepaalde omstandigheden kan nitraat in de tijd, die verstrijkt tussen het moment waarop het water met de opgeloste nitraat de wortelzone verlaat en het moment waarop het op 2 m beneden de grondwaterspiegel komt, gedenitrificeerd worden (Corré & De Klein, 1990). Stikstof gaat dan verloren als N₂ of N₂O i.p.v. als nitraat. N-verlies door afspoeling treedt vooral op bij hoge grondwaterstanden en op slecht ontwaterde gronden (Steenvoorden et.al.,

1990). Op een diep ontwaterde zandgrond met een goede bodemstructuur zijn de N-verliezen door denitrificatie en afspoeling waarschijnlijk gering en worden voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Aangenomen is dat de jaarlijkse hoeveelheid N die in niet-oogstbare delen van het gewas (stoppel en wortel) wordt vastgelegd, gelijk is aan de hoeveelheid die door afsterving daaruit vrijkomt. Daarbij wordt anorganische N vastgelegd en komt organische N vrij, maar de totale hoeveelheid verandert niet.

Het overschot wordt toegevoegd aan de bodemvoorraad. Als geen andere dan de hiervoor genoemde processen optreden waarbij N verloren gaat, is in een evenwichtssituatie het overschot gelijk aan de N-levering door de bodem.

Alle in figuur 24 weergegeven relaties zijn zo goed mogelijk gekwantificeerd.

In urine- en faecesplekken komt extra N terecht. Voor faeces is aangenomen dat deze extra N geen invloed op de grasgroei heeft, omdat die voor het grootste deel organische gebonden is en dus langzaam vrij komt. In de faecesplekken wordt de grasgroei door bedekking tijdelijk geremd. In experimenteel onderzoek is aan de randen een wat hogere grasproductie waargenomen (Middelkoop, 1989). In het model is aangenomen dat deze extra produktie aan de randen de lagere produktie in het centrum compenseert. Van de N uit faeces vervluchtigt 13% (Vertregt & Rutgers, 1988) en de rest wordt via de post overschot toegevoegd aan de bodemvoorraad.

Van de N uit urine vervluchtigt ook 13% als ammoniak, gaat 27% verloren door een niet geïdentificeerd proces (mogelijk chemodenitrificatie) en kan maximaal 60% door het gras worden opgenomen (Vertregt & Rutgers, 1988). Aangenomen is dat het percentage vervluchtiging onafhankelijk is van het N-niveau, hoewel dat niet zeker. Nader onderzoek moet daar meer duidelijkheid in brengen. Aangenomen is dat de voor het gras beschikbare N uit urine hetzelfde effect heeft als N uit kunstmest en daarbij opgeteld kan worden om de totale N-beschikbaarheid in urineplekken te berekenen. Door deze hogere bemesting is de N-opname door het gras hoger en uit figuur 23 wordt vervolgens de drogestofopbrengst in een urineplek afgeleid. Uitgaande van de totale N-belasting kan uit de uitspoelingscurve voor zomerstalvoeding de nitraatuitspoeling in urineplekken geschat worden. Hierbij is aangenomen dat bij een N-belasting boven $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ 70% van de extra N uitspoelt (Van der Meer & Meeuwissen, 1989). Er wordt onderscheid gemaakt in velddelen die niet, éénmaal, tweemaal of vaker met urine worden bedekt. Voor elk van deze delen worden de N-opname, de drogestofopbrengst en de verliezen volgens dezelfde procedure, maar met een hogere N-bemesting berekend. Vervolgens worden de resultaten per ha grasland berekend als het gewogen gemiddelde van de verschillende velddelen. De oppervlakte die bedekt wordt met urine en faeces is afhankelijk van:

- de veebezetting, die in het model berekend wordt;
- het aantal lozingen per dier per dag, zowel voor urine als faeces gesteld op 12;

- de beïnvloede oppervlakte per lozing, voor urineplekken is dat $0,68 \text{ m}^2$ en voor faecesplekken $0,08 \text{ m}^2$.

6.3 Aanpassingen van het graslandbeheersmodel GRASMOD

Het model GRASMOD is geldig voor grasland gelegen op een diep ontwaterde, goed vochthoudende zandgrond met een goede bodemstructuur, waarbij door mineralisatie 180 kg N/ha.jaar beschikbaar komt. Om het model geschikt te maken voor andere zandgronden zijn als extra invoergegevens het stikstofleverend vermogen en het vochtleverend vermogen van de grond aangebracht. Voor het vochtleverend vermogen zijn er vijf klassen. Voor iedere klasse is er een relatie tussen drogestofopbrengst en N-opname zoals aangegeven in paragraaf 4.2.2.

Voor bepaling van de N-opname gaat het model GRASMOD uit van een constante opname van stikstof afkomstig van bodemmineralisatie en depositie, 150 kg/ha.jaar , en is de N-recovery van kunstmest afhankelijk van de grootte van de gift. Zoals in paragraaf 4.2.1 is beschreven wordt in het aangepaste model vanuit de bemesting, mineralisatie en depositie eerst de opneembare stikstof berekend. De opneembare stikstof bepaalt vervolgens de stikstofopname volgens de relaties beschreven in paragraaf 4.2.3. Deze relaties zijn voor de drie maainiveaus enigszins verschillend, dit in tegenstelling tot GRASMOD.

De maximale N-gift in GRASMOD is 525 kg/ha.jaar . Deze beperking is in de aangepaste versie niet aanwezig. Omdat ook de drijfmestgift ingevoerd wordt is het mogelijk om het effect van hoge stikstofgiften uit drijfmest te berekenen. GRASMOD stelt een maximum aan de stikstofopname in urineplekken van 620 kg/ha.jaar . Deze beperking is in de aangepaste versie niet nodig omdat de asymptoot van de hyperbolische functie er zorg voor draagt dat de N-opname nooit extreem hoog wordt.

De ammoniakvervluchtiging ten gevolge van het toedienen van drijfmest wordt toegevoegd aan de ammoniakvervluchtiging uit mest, urine en beweidingsverliezen.

GRASMOD geeft aan wat de bijdrage is van iedere stikstofbron aan de stikstofopname, de ammoniakvervluchtiging en de uitspoeling. Omdat in het aangepaste model alle stikstofbronnen verwerkt worden in de opneembare stikstof en waar vanuit de stikstofopname wordt bepaald is het niet meer mogelijk om een dergelijke uitsplitsing te maken, voor het doel van dit onderzoek is dit echter geen probleem.

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

Met behulp van het aangepaste graslandbeheersmodel is het mogelijk op basis van bodemkenmerken de effecten van bemesting (hoeveelheid, tijdstip, methode en mestsoort) en gebruik (maaïen of beweiden) op opbrengst en emissies vast te stellen. Ook kan worden uitgerekend welke bemesting nog verantwoord is als de emissies tot bepaalde niveaus moeten worden beperkt. In dit hoofdstuk worden enige 'bemestingsadviezen' doorgerekend voor percelen die verschillen in vochtleverend 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 (225 mm) bij een humusrijke, diep bewortelbare enkeerdgrond. De grondwatertrap wordt op VII* verondersteld.

De berekeningen worden uitgevoerd voor de maaipercentages 100 en 200 (een perceel wordt dan 1 of 2 keer per jaar gemaaid en voor de rest beweïd). Indien dierlijke mest wordt toegediend is verondersteld dat dit in het voorjaar gebeurt en dat de mest wordt geïnjecteerd om ammoniakvervluchtiging te beperken. Er worden drie categorieën adviezen doorgerekend (tabel 23).

Tot de eerste categorie behoren de adviezen van de landbouwvoorlichting. Het huidige advies voor stikstofbemesting van grasland op zandgrond is 400 kg/ha.jaar. Ook worden de berekeningen uitgevoerd voor de bemestingsniveaus van 300 en 200 kg N/ha.jaar om te laten zien wat het effect is als het huidige bemestingsadvies naar beneden bijgesteld wordt, bijvoorbeeld als er een ruwvoeroverschot op het bedrijf is als gevolg van de melkquotering. Deze stikstof kan worden gegeven in de vorm van kunstmest of dierlijke mest. Wanneer de helft van de N-gift in de vorm van drijfmest wordt gegeven wordt voor bepaling van de grootte van de drijfmestgift aangenomen dat de werking van de stikstof in deze mest 60 % bedraagt van die in kunstmest, het percentage dat in de voorlichting wordt gehanteerd (MvL, 1985).

De tweede categorie adviezen betreft de maximale hoeveelheid drijfmest die wettelijk mag worden toegepast. Tot 1995 mag 200 kg fosfaat (110 ton runderdrijfmest) worden uitgebracht. Van 1995 tot 2000 mag 175 kg fosfaat (97 ton runderdrijfmest) worden uitgereden. De fosfaat van de weidende dieren is bij deze waarden inbegrepen. Op percelen die dag en nacht beweïd worden mag dus minder drijfmest uitgereden worden. Om de maximale drijfmestgift te berekenen wordt een schatting gemaakt van de mest die tijdens beweïding op het perceel belandt. Hierbij is uitgegaan van de drijfmestproductie door de dieren zoals beschreven in de brochure dierlijke mest (MvL, 1985) en de aanname dat op een bedrijf met 25 ha 58 melkkoeien, 15 éénjarige en 15 tweejarige dieren aanwezig zijn. Wanneer zomerstalvoeding wordt toegepast wordt aangenomen dat alleen de één- en tweejarige dieren in het groeiseizoen buiten lopen. Bij het B4-systeem, alleen overdag beweïden, lopen de melkkoeien 10 van de 24 uur buiten en het jongvee het gehele etmaal. Bij dag en nacht beweïden (O4-systeem) verblijven

de melkkoeien 20 uur per etmaal in de wei, de resterende vier uur staan ze in de melkstal. Met behulp van deze aannamen is berekend hoeveel runderdrijfmest maximaal nog mag worden uitgereden (tabel 24).

De derde categorie adviezen gaat uit van de maximaal toelaatbare nitraatuitspoeling. 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). Als uitgegaan wordt van een aanvulling van het grondwater met 300 mm per jaar dan wordt de drinkwaternorm overschreden als meer dan 34 kg N/ha.jaar uitspoelt (Van der Meer & Meeuwissen, 1989). Berekend is hoe hoog de bemesting maximaal mag zijn als de drinkwaternorm niet overschreden mag worden, dit voor zowel bemesting met kunstmest als met runderdrijfmest.

In tabel 24 is vermeld in welke mestgiften deze adviezen resulteren.

Tabel 23. Bemestingsadviezen

Code	bemesting (per ha per jaar)
Categorie 'voorlichting':	
V1a	400 kg N in de vorm van kunstmest
V1b	400 kg N in de vorm van kunstmest (50%) en runderdrijfmest (50%)
V2a	300 kg N in de vorm van kunstmest
V2b	300 kg N in de vorm van kunstmest (50%) en runderdrijfmest (50%)
V3a	200 kg N in de vorm van kunstmest
V3b	200 kg N in de vorm van kunstmest (50%) en runderdrijfmest (50%)
Categorie 'mestwet':	
M1	runderdrijfmest tot fosfaatsnorm, geldend tot 1995: 200 kg fosfaat, met inbegrip van weidemest
M2	runderdrijfmest tot fosfaatsnorm, geldend van 1995 tot 2000: 175 kg fosfaat, met inbegrip van weidemest
Categorie 'milieu':	
W1	bemesting tot nitraatoverschot van 34 kg N/ha.jaar, 100% kunstmest
W2	bemesting tot nitraatoverschot van 34 kg N/ha.jaar, 100% runderdrijfmest

Tabel 24. Kunstmestgift (kg N/ha.jaar) en drijfmestgift (ton/ha.jaar) voor de verschillende bemestingsadviezen bij zomerstalvoeding, alleen overdag (B4), en dag en nacht beweiden (O4), en bij twee maaipercenages (100 en 200%).

code advies	vochtl. vermogen grond mun	ZOMERSTALVOEDERING				B4 - beweiding				O4 - beweiding			
		maaiper. 100 %		maaiper. 200 %		maaiper. 100 %		maaiper. 200 %		maaiper. 100 %		maaiper. 200 %	
		kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar	kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar	kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar	kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar	kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar	kunstmest kg N/ha.jaar	drijfmest ton/ha.jaar
V1a	25	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
	75	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
	125	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
	175	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
V1b	25	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67
	75	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67
	125	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67
	175	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67	200	67
V2a	25	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0
	75	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0
	125	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0
	175	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0
V2b	25	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50
	75	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50
	125	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50
	175	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50
V3a	25	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
	75	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
	125	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
	175	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
V3b	25	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33
	75	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33
	125	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33
	175	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33	100	33
M1	25	0	104,2	0	104,2	0	92,6	0	92,6	0	92,6	0	81
	75	0	104,2	0	104,2	0	92,6	0	92,6	0	92,6	0	81
	125	0	104,2	0	104,2	0	92,6	0	92,6	0	92,6	0	81
	175	0	104,2	0	104,2	0	92,6	0	92,6	0	92,6	0	81
M2	25	0	91,2	0	91,2	0	79,6	0	79,6	0	79,6	0	68
	75	0	91,2	0	91,2	0	79,6	0	79,6	0	79,6	0	68
	125	0	91,2	0	91,2	0	79,6	0	79,6	0	79,6	0	68
	175	0	91,2	0	91,2	0	79,6	0	79,6	0	79,6	0	68
W1	25	260	0	260	0	180	0	216	0	125	0	175	0
	75	285	0	285	0	195	0	230	0	180	0	140	0
	125	310	0	310	0	210	0	240	0	150	0	190	0
	175	330	0	330	0	220	0	250	0	160	0	200	0
W2	25	0	87	0	87	0	60	0	71	0	42	0	57
	75	0	94	0	94	0	65	0	75	0	46	0	60
	125	0	100	0	100	0	70	0	79	0	50	0	64
	175	0	109	0	109	0	73	0	82	0	52	0	66
225	0	115	0	115	0	76	0	85	0	55	0	68	

Tabel 25. Drogestofopbrengst (ds in ton/ha.jaar), stikstofopname (in kg/ha.jaar), ammoniakvervluchtiging (NH₃ in kg N/ha.jaar), nitraatuit-spoeling (NO₃⁻ in kg N/ha.jaar) en denitrificatie (N₂+N₂O in kg N/ha.jaar) voor de verschillende bemestingsadviezen bij zomerstalvoeding en twee maaipercentsages (100 en 200 %).

code advies	vocht- vermogen grond (mm)	ZOMERSTALVOEDERING				ZOMERSTALVOEDERING				Denitrificatie kg N/ha.jaar	NH ₃ kg N/ha.jaar	NO ₃ ⁻ kg N/ha.jaar	Denitrificatie kg N/ha.jaar
		maaipercentage (100%)	ds opbrengst (ton/ha.jaar)	N-opname (kg/ha.jaar)	NH ₃ kg N/ha.jaar	NO ₃ ⁻ kg N/ha.jaar	Denitrificatie kg N/ha.jaar	maaipercentage (200%)	ds opbrengst (ton/ha.jaar)				
V1a	25	9546	386	386	0	83	24	9827	386	0	83	24	83
	75	10594	413	67	0	67	22	10772	413	0	67	22	67
	125	11505	434	34	0	56	19	11687	434	0	56	19	56
	175	12731	454	20	1	46	18	12963	454	0	46	18	46
	225	13966	467	16	1	40	16	14248	467	0	40	16	40
V1b	25	9644	385	385	2	84	24	9826	385	2	84	24	84
	75	10591	412	67	2	67	22	10769	412	2	67	22	67
	125	11500	433	33	2	56	20	11682	433	2	56	20	56
	175	12722	452	20	2	47	18	12954	452	2	47	18	47
	225	13952	465	16	2	41	16	14233	465	2	41	16	41
V2a	25	9570	360	360	0	43	17	9753	360	0	43	17	43
	75	10466	376	376	0	37	15	10647	376	0	37	15	37
	125	11309	386	25	0	33	14	11495	386	0	33	14	33
	175	12319	394	20	0	30	13	12652	394	0	30	13	30
	225	13502	400	13	0	28	13	13778	400	0	28	13	28
V2b	25	9565	359	359	2	44	17	9748	359	2	44	17	44
	75	10458	374	374	2	37	15	10639	374	2	37	15	37
	125	11297	383	25	2	33	14	11483	383	2	33	14	33
	175	12401	392	20	2	30	14	12634	392	2	30	14	30
	225	13476	397	13	2	28	13	13752	397	2	28	13	28
V3a	25	9355	310	310	0	24	12	9544	310	0	24	12	24
	75	10145	315	315	0	23	11	10332	315	0	23	11	23
	125	10858	319	22	0	22	11	11051	319	0	22	11	22
	175	11757	322	21	0	21	11	11987	322	0	21	11	21
	225	12568	324	10	0	20	10	12827	324	0	20	10	20
V3b	25	9343	308	308	1	24	12	9532	308	1	24	12	24
	75	10127	313	313	1	23	11	10314	313	1	23	11	23
	125	10834	316	22	1	22	11	11026	316	1	22	11	22
	175	11721	319	21	1	21	11	11951	319	1	21	11	21
	225	12319	321	11	1	20	11	12778	321	1	20	11	20
M1	25	9575	362	362	3	47	18	9758	362	3	47	18	47
	75	10474	378	378	3	40	16	10655	378	3	40	16	40
	125	11321	388	26	3	36	15	11507	388	3	36	15	36
	175	12338	397	23	3	32	14	12671	397	3	32	14	32
	225	13529	403	14	3	30	14	13805	403	3	30	14	30
M2	25	9520	346	346	3	37	15	9705	346	3	37	15	37
	75	10388	358	358	3	33	14	10571	358	3	33	14	33
	125	11196	365	25	3	30	14	11384	365	3	30	14	30
	175	12250	371	23	3	28	13	12483	371	3	28	13	28
	225	13258	375	13	3	26	13	13530	375	3	26	13	26
W1	25	9509	343	343	0	34	15	9694	343	0	34	15	34
	75	10435	368	368	0	34	15	10616	368	0	34	15	34
	125	11337	392	34	0	34	15	11522	392	0	34	15	34
	175	12538	414	34	0	34	15	12771	414	0	34	15	34
	225	13817	442	34	1	34	15	14097	442	0	34	15	34
W2	25	9497	340	340	3	34	15	9683	340	3	34	15	34
	75	10410	362	362	3	34	15	10591	362	3	34	15	34
	125	11285	381	381	3	34	15	11471	381	3	34	15	34
	175	12495	406	406	3	34	15	12727	406	3	34	15	34
	225	13705	425	425	3	34	15	13984	425	3	34	15	34

In tabel 25, 26 en 27 zijn de opbrengsten en emissies vermeld.

Als bemest wordt volgens het huidige bemestingsadvies is de nitraatuitspoeling hoger dan gewenst in verband met de nitraatnorm voor drinkwater. Dit geldt vooral voor de beide beweidingssystemen. De uitspoeling bij zomerstalvoeding is veel lager dan bij beweiding. Dit is niet zo verwonderlijk, omdat de mest die de melkkoeien in de zomer produceren niet in de wei maar in de stal terecht komt. Op gronden met een laag vochtleverend vermogen is de uitspoeling 1,5 à 2 keer zo groot als op gronden met een hoog vochtleverend vermogen. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in stikstofopname door het gras. Bij zomerstalvoeding is de ammoniakvervluchtiging te verwaarlozen. Hierbij moet wel bedacht worden dat de ammoniakvervluchtiging in de stal niet wordt berekend. Bij beweiding neemt de ammoniakvervluchtiging af als het vochtleverend vermogen van de grond afneemt. Dit komt omdat de drogestofopbrengst afneemt met als gevolg dat het model een lagere veebezetting berekent en dus minder mestuitscheiding in de wei. Dat de verliezen bij het maaipcentage van 200 lager zijn dan bij 100 komt omdat bij maaien de verliezen kleiner zijn dan bij beweiden.

Wanneer de bemesting gedeeltelijk bestaat uit runderdrijfmest zijn de drogestofopbrengst en stikstofopname hetzelfde als wanneer uitsluitend kunstmest wordt gebruikt. Dit wijst er op dat de stikstofwerking van de drijfmest volgens deze berekeningen gelijk is aan de 60 % die de voorlichting hanteert.

Wanneer de stikstofbemesting wordt teruggebracht naar 200 kg/ha.jaar neemt de drogestofopbrengst met maximaal 10 % af. De nitraatuitspoeling wordt echter meer dan gehalveerd. Bij zomerstalvoeding komt de nitraatuitspoeling dan onder de drinkwaternorm, bij beweiding is de uitspoeling ongeveer gelijk aan de drinkwaternorm. Wanneer door de lagere productie maïs moet worden aangekocht kan deze kostenpost afgewogen worden tegen de besparing aan kunstmest. Bij een prijs van maïs van 0,24 gulden/kg droge stof en een stikstofprijs van 1,58 gulden/kg blijkt het in de meeste situaties rendabel te zijn om de N-gift te verlagen tot 200 kg/ha.jaar. Alleen bij een vochtleverend vermogen van de bodem van 225 mm is het economisch voordeliger om 300 kg N/ha.jaar te strooien. Dat het economisch niet aantrekkelijk is om volgens het bemestingsadvies, van 400 kg N/ha.jaar, te bemesten komt, omdat in bovenstaande modelberekeningen uitgegaan is van vochtgelimiteerde productie. Alleen als hogere producties gehaald kunnen worden in relatief natte zomers of door berekening dan is een bemesting van 400 kg N/ha.jaar economisch gezien zinvol.

Bij bemesting met de maximaal toelaatbare hoeveelheid runderdrijfmest mag de bemesting bij zomerstalvoeding hoger zijn dan bij beweiding. Toch is de uitspoeling op de beweide percelen groter omdat bij beweiding urineplekken ontstaan en de nitraatuitspoeling op deze plekken is 5 à 10 maal zo hoog als op andere plaatsen in het perceel, dit blijkt uit hier niet vermelde berekeningsresultaten en uit onderzoek van Ryden et.al. (1984). Bij deze berekeningen is verondersteld dat de hoeveelheid weidemest onafhankelijk is van de productie van de grond. Het model echter past de veebezetting aan aan de hoeveelheid droge stof die beschikbaar is

voor de dieren (exclusief de hoeveelheid ingekuuld gras). Bij deze lage veebezetting behoort dan eigenlijk een grotere maximaal toelaatbare hoeveelheid drijfmest, met als gevolg dat de veebezetting door het model weer hoger wordt berekend. Dit resulteert in een eindige 'loop', die echter niet in het model is verwerkt.

Wanneer gesteld wordt dat de bemesting zo aangepast dient te worden dat slechts 34 kg N/ha.jaar uitspoelt, dan resulteert dit in verschillende bemestingsniveaus voor gronden met een verschillend vochtleverend vermogen en een verschillend maaipercentage (zie tabel 24). Bij zomerstalvoeding is de toegestane mestgift zodanig dat de oogstreductie ten opzichte van bemesting met 400 kg N/ha.jaar slechts 1 % is. Bij dag en nacht beweiden, een vochtleverend vermogen van de bodem van 225 mm en één keer maaien per seizoen is de maximale oogstreductie 11 %. Bij beperkt omweiden ligt dit percentage tussen die van zomerstalvoeding en dag en nacht beweiden.

Ook bij toepassing van drijfmest is het mogelijk om de nitraatuitspoeling beneden de drinkwaternorm te houden. De toegestane hoeveelheid drijfmest is dan iets minder dan de drijfmestnorm tot het jaar 2000 indien geen aanvullende kunstmestgift wordt toegepast.

Als deze opbrengstreductie van 11 % gecompenseerd moet worden door de aankoop van maïs dan kost dit 388 gulden/ha.jaar. Hier staat een besparing aan kunstmest tegenover van 230 kg stikstof in vergelijking met het advies van 400 kg/ha.jaar, wat overeenkomt met 363 gulden/ha.jaar. Ook op een grond met een lager vochtleverend vermogen geldt bij beweiden, maar ook bij zomerstalvoeding dat het economisch beter is om de bemesting te verlagen zodat de drinkwaternorm niet overschreden wordt, dan om 400 kg/ha.jaar kunstmest-N te geven.

In deze modelmatige benadering wordt geen rekening gehouden met de nadelige invloed van hoge stikstofgiften op de zodekwaliteit. Uit beweidingsonderzoek uitgevoerd op zandgrasland te Achterberg (Geelen & Middelkoop, 1989; Middelkoop, 1989) in het relatief natte jaar 1987 bleek deze invloed duidelijk aanwezig. Het gevolg van deze negatieve invloed van de stikstofbemesting op de zodekwaliteit was dat de drogestofopbrengst bij de bemesting met 400 kg N/ha.jaar niet verschillend was met die bij 250 kg N/ha.jaar.

Literatuur

- Aarts, H.F.M. & H. van Keulen, 1990. De praktische gevolgen van verscherpte milieu-eisen voor de weide- en voederbouw op zandgrond: een theoretische benadering. Verslag nr. 139, CABO, Wageningen, 31 pp.
- Aarts, H.F.M. & N. Middelkoop, 1990. De invloed van bodemeigenschappen en bemesting op de opbrengst van maïs en de emissies van ammoniak en nitraat. Verslag nr. 131, CABO, Wageningen, 55 pp.
- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, G. Bruin, B. Edel & H. Korevaar, 1988. Melkveehouderij en Milieu. Verslag nr. 79, CABO, Wageningen, 16-26.
- Alberda, Th., 1968. Dry matter production and light interception of crop surfaces. IV. Maximum herbage production as compared with predicted values. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 16, 142-153.
- Baan Hofman, T., 1988. Effecten van stikstofgift en maaifrequentie op de drogestofopbrengst van Engels-raaigrasrassen die verschillen in persistentie. Verslag 86, CABO, Wageningen, 27 pp.
- Beauchamp, E.G. & J.W. Paul (1989). A simple model to predict manure N availability to crops in the field. In: J.Aa. Hansen & K. Henriksen (eds): Nitrogen in organic wastes applied to soils, Academic Press London, New York, 140-149.
- Boheemen, P.J.M. van, 1981. Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW-nota 1298, ICW Wageningen, 68 pp.
- Boheemen, P.J.M. van, 1984. Additional water use and production of grassland under irrigation. *Proceedings 10th General Meeting of the European Grassland Federation 26-30 June, Norway*, 4 pp.
- Bon, J., 1958. Mededelingen over de verdrogings-, verstuiwings- en verziltingskaart van Nederland. *Landbouwkundig Tijdschrift* 67, 183-189.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989. Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. RIVM rapport nr. 724903002, RIVM, Bilthoven, 43 pp.
- CLM, 1989. Mineralenboekhouding Melkveebedrijf, voorlopig formulier. Centrum Landbouw en Milieu, Utrecht. 29 pp.
- Corré, W.J. & C.A.M. de Klein, 1990. Stikstofverlies en milieubelasting door denitrificatie in de bovengrond van grasland. In: A. Breeuwsma & H.A.C. Verkerk (eds): Milieu-effecten van nitraat en fosfaat uit dierlijke mest: problemen en oplossingen. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 27-33.
- Doak, B.W. 1952. Some chemical changes in the nitrogenous constituents of urine when voided on pasture. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 42, 162-171.

- Doornbos, J., H. van der Straten & H. Wieling, 1977. Berekening op melkveebedrijven. Rapport nr 53, PR, Lelystad, 44 pp.
- Ennik G.C. & T. Baan Hofman, 1983. Variation in the root mass of ryegrass types and its ecological consequences. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 31, 325-334.
- Ennik, G.C., M. Gillet & L. Sibma, 1980. Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. In: W.H. Prins & G.H. Arnold (eds): *The role of nitrogen in intensive grassland production. Proceedings International Symposium of the European Grassland Federation (Wageningen)*, Pudoc, Wageningen, 67-76.
- Erisman, J.W., F.A.A.M. de Leeuw & R.M. van Aalst, 1987. Depositie van de voor verzuuring in Nederland belangrijkste componenten in de jaren 1980 t/m 1986. RIVM-rapp.nr. 228473001. RIVM, Bilthoven, Bilthoven, 57 pp.
- Feddes, R.A., 1987. Crop water use and dry matter production: state of the art. In: *Les besoins en eau des cultures. Conference internationale, Paris 11- 14 sept.*, 221-234.
- Geelen M.L.M. & N. Middelkoop, 1989. De produktiviteit van grasland onder beweiding. Doctoraalverslag, Landbouwniversiteit Wageningen, 42 pp.
- Goossensen, F.R. & P.C. Meeuwissen, (eds): 1990. Advies van de Commissie Stikstof. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, Ede, 93 pp + bijlagen.
- Goudriaan, J., 1979. A family of saturation type curves, especially in relation to photosynthesis. *Annals of Botany* 43, 783-785.
- Heemst, H.D.J., H. van Keulen & H. Stolwijk, 1978. De potentiële produktie, bruto- en nettoproduktie van de Nederlandse landbouw. *Agricultural Research Report no 879*, Pudoc, Wageningen, 25 pp.
- Humbert H., G. Krist, P.R. en anderen, 1984. Invloed vochtvoorziening op grasproduktie. Jaarverslag 1984 proefboerderij Heino, Heino, 46-50.
- Jagtenberg W.D. & Th. A. de Boer, 1967. Het effect van stikstofbemesting op de gewasopbrengst van grasland bij diverse ontwateringstoestanden en grondsoorten. Proefstation voor de akker- en weidebouw Wageningen, mededeling nr. 135, 35 pp.
- Kemp, A., O.J. Hemkes & T. van Steenbergen, 1979. The crude protein production of grassland and the utilization by milking cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 27, 36-47.
- Keulen, H. van, 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, 176 pp.
- Keulen, H. van & H.H. van Laar, 1986. The relation between water use and crop production. In: Keulen, H. van & J. Wolf (eds): *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs*, Pudoc Wageningen, 117-129.
- Keulen, H. van & J. Goudriaan, 1991. Grenzen aan de plantaardige produktie. Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschappen, Amsterdam. In druk.

- KNMI, 1988. Maandoverzicht van het weer in Nederland. 85ste jaargang.
- Korevaar, H., 1990. Overzicht van mestbenuttinsmogelijkheden. In: Praktijkonderzoek; Mestbenutting op grasland. jaargang 3 nr. 3, PR, Lelystad, 23-26.
- Krabbenborg, A.J. J.N.B. Poelman & E. J. van Zuilen, 1983. Standaard vocht karakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Rapport 1680, 2 dl, Stiboka, Wageningen.
- 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, Staatsdrukkerij, Den Haag, 185-201.
- Makkink, G.F., 1962. Vijf jaren lysimeteronderzoek. Verslagen Landbouwkundig Onderzoek nr 68.1, Pudoc, Wageningen, 241 pp.
- Meer, H.G. van der, 1987. Mogelijkheden tot verbetering van de benutting van stikstof op grasland. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Jaarverslag 1986, 34-41.
- Meer, H.G. van der, 1991. Stikstofbenutting en -verliezen van gras- en maïsland. Stand van zaken in het onderzoek naar de stikstofproblematiek van gras- en maïsland, DLO, Wageningen, 134 pp.
- Meer, H.G. van der & P.C. Meeuwissen, 1989. Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. Landschap 1, 19-32.
- Meer, H.G. van der & M.G. van Uum-van Lohuyzen 1989. Benutting en verliezen van stikstof uit de urine van weidend vee. Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw, Gebundelde verslagen nr 30, 65-79.
- Middelkoop N., 1989. Effecten van mest en urine op de produktiviteit van grasland. Doctoraalverslag, Landbouwniversiteit Wageningen, 63 pp.
- Ministerie van Landbouw, 1985. Vlugschrift dierlijke mest (nr 106), 12 pp.
- Pelser, L. (red.), 1988. Handboek voor de Rundveehouderij. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad, 376 pp.
- Prins, W.H., 1983. Limits to nitrogen fertilizer on grassland. Proefschrift, Landbouwhogeschool, Wageningen, 122 pp.
- 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, ICW, Wageningen, 58 pp.

- Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking, ICW-nota 587, ICW, Wageningen 44 pp.
- Rijtema, P.E., 1983. Onderdeel van programma Animo. Rekenregels als bijlage bij Lammers 1983.
- Ryden J.C., P.R. Ball & E.A. Garwood, 1984. Nitrate leaching in grassland. *Nature* 311, 50-53.
- Sibma, L. & Th. Alberda, 1980. The effect of cutting frequency and nitrogen fertilizer rates on dry matter production, nitrogen uptake and herbage nitrate content. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 28, 243-251.
- Sibma, L. & G.C. Ennik, 1988. De ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden. *Gewassenreeks, Pudoc, Wageningen*, 53 pp.
- Sluijs, P. van der, 1987. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: W.P. Locher & H. de Bakker (eds): *Bodemkunde van Nederland, deel 1*. Malmberg Den Bosch, 159-172.
- Sluijsmans, C.M.J. & G.J. Kolenbrander, 1976. De stikstofwerking van stal mest op korte en lange termijn. *Stikstof* 7, 349-354.
- Snijders P.J.M., J.J. Woldring, J.H. Geurink & H.G. van der Meer, 1987. Stikstofwerking van gïinjecteerde runderdrijfmest op grasland. Rapport nr. 103, PR Lelystad, 156 pp.
- Steenbergen, T. van, 1977. De invloed van grond en jaar op het effect van stikstofbemesting op de graslandopbrengst. *Stikstof* 85, 9-15.
- Steenvoorden, J.H.A.M., 1988. Vermindering stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater. ICW nota 1849. ICW, Wageningen, 27 pp.
- Steenvoorden, J.H.A.M., H. Fonck & H.P. Oosterom, 1986. Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface runoff. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds): *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 85-97.
- Tamminga M. & J.A. Los, 1980. Some aspects of the information required prior to the introduction of economic instruments for the management of water resources. In: *Economic instruments for rational utilization of water resources*. Verslagen Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO nr 29b, 134.
- Tanner, C.B. & T.R. Sinclair, 1983. Efficient water use in crop production: Research or research. In: Taylor, H.M., W.R. Jordan & T.R. Sinclair (eds): *Limitations to efficient water use in crop production*, ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wi., 1-27.
- Thornley, J.H.M., 1976. *Mathematical Models in Plant Physiology*. pp 44-46. Academic Press London, Great Britain, 44-46.
- Troughton, A., 1981. Length of life of grass roots. *Grass and Forage Science* 36, 117-120.
- Valk H., H.W. Klein Poelhuis & H.J. Wentink, 1990. Snijmaïs of krachtvoer bijvoeding naast gras in het rantsoen voor hoogproductief melkvee. Rapport nr. 213, Instituut voor Veevoedingsonderzoek, Lelystad, 83 pp.

- Ven, G.W.J. van de, 1990. Optimalisering van ruwvoederproductie en gebruik van dierlijke mest in relatie tot milieu-eisen: een tussenstand van zaken. In: A. Breeuwsma & H.A.C. Verkerk (eds): Milieu-effecten van nitraat en fosfaat uit dierlijke mest: problemen en oplossingen. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 9-24.
- Ven, G.W.J. van de, 1991. GRASMOD, a grassland management model to calculate nitrogen losses from grassland. CABO-report (in press) Wageningen.
- Vertregt, N. & B. Rutgers, 1988. Ammonia volatilization from grazed pastures. Report 84, CABO Wageningen, 37 pp.
- Whitehead, D.C., 1986. Sources and transformations of organic nitrogen in intensively managed grassland soils. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 47-58.
- Wit, C.T. de & H. van Keulen, 1987. Modelling production of field crops and its requirements. *Geoderma* 40, 253-265.
- Wopereis, F.A. & R. Schuiling, 1990. Mestinjectiemogelijkheden op grasland in Nederland. Rapport nr. 81, Staring Centrum, Wageningen, 31 pp.

Bijlage 1

Het vochtleverend vermogen van zandgrond

Het vochtleverend vermogen van een grond is opgebouwd uit twee componenten. Het ene bestaat uit water dat bij het begin van het groeiseizoen aanwezig is in de bewortelbare zone en daaraan door de plantenwortels kan worden onttrokken, het 'hangwater'. Het andere deel is water dat via capillair transport in de loop van het groeiseizoen vanuit aanwezig grondwater naar de wortelzone wordt getransporteerd.

Bij gronden met een hangwaterprofiel is geen sprake van capillaire vochtlevering. Bij gronden met een permanent grondwaterprofiel is steeds sprake van capillaire vochtlevering en bij gronden met een tijdelijk grondwaterprofiel vindt gedurende een deel van het groeiseizoen capillaire vochtlevering plaats. De kritische grondwaterstand is gedefinieerd als de maximale diepte van het grondwater waarbij nog sprake is van de toevoer van een zekere hoeveelheid vocht per dag (Rijtema, 1971). In tabel 1 zijn de kritische grondwaterstanden voor enige typen zandgronden gegeven voor verschillende aanvoersnelheden. Ze gelden voor een homogeen profiel. De aanwezigheid van bijvoorbeeld een dun laagje grof zand in het profiel kan de kritische stijgafstand al aanzienlijk beperken.

Tabel 1. Kritische grondwaterstand (cm -mv) bij gegeven capillaire aanvoersnelheid uit de ondergrond en een effectieve wortelzone van 40 cm (Rijtema, 1971)

aard ondergrond	minimale capillaire aanvoersnelheid (mm/d)			
	2,0	1,5	1,0	0,6
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 de diepte van de grondwaterstand worden gronden ingedeeld in trappen, weergegeven in tabel 2. In verband met de mogelijkheden voor mestinjectie is recent nagegaan hoe het grasland in de zandgebieden over de onderscheiden grondwatertrappen is verdeeld (tabel 3; naar Wopereis en Schuiling, 1990; Wopereis, persoonlijke mededeling).

Tabel 2. Grondwatertrappenindeling (Van der Sluijs, 1987)

grondwatertrap	gemiddelde grondwaterstand (cm-mv)	
	hoogste	laagste
I	--	minder dan 50
II	--	50 - 80
III	minder dan 40	80 - 120
III*	meer dan 25	80 - 120
IV	meer dan 40	80 - 120
V	minder dan 40	meer dan 120
V*	meer dan 25	meer dan 120
VI	40 - 80	meer dan 120
VII	meer dan 80	meer dan 120

Tabel 3. Arealen grasland en de procentuele verdeling over verschillende grondwatertrappen in het Noordelijk, Centraal, Oostelijk en Zuidelijk Zandgebied. (naar Wopereis en Schuiling, 1990).

grondwatertrap	Zandgebied			
	Noordelijk (173.000 ha)	Centraal (65.000 ha)	Oostelijk (144.000 ha)	Zuidelijk (148.000 ha)
I + II	3	2	2	1
III + V	55	1	13	18
IV (natter deel) + III* + V*	17	19	9	15
VI + IV (droger deel)	24	10	20	13
VII	0	68	57	53

Door verbetering van de ontwatering en door grondwateronttrekking, ook door de landbouw, is de laatste decennia in de zandgebieden op veel plaatsen een daling van de grondwaterstand opgetreden. Bij gronden met matige tot slechte transportkarakteristieken is het verband tussen grondwaterstand en kritische stijgsnelheid vrij steil. 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.

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

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 waarin de bewortelingsintensiteit zodanig is dat het vocht tot verwelkingspunt kan worden onttrokken. In deze laag bevindt zich minstens 80 % van de totale hoeveelheid wortels van het gewas. Op veel zandgronden is de onderkant van de bewortelbare zone scherp begrensd. Een voorbeeld van de berekening van het vochtleverend vermogen van de bodem: bij een bewortelbare diepte van 50 cm en een volumepercentage opneembaar vocht van 15 (matig humus- en leemarme zandgrond, met een matig fijne korrelgrootte van de zandfractie) is het vochtleverend vermogen van een grond 75 mm. Afhankelijk van de grondwaterstand en de textuur van de ondergrond kan daar dan een hoeveelheid 'opwaartse neerslag' bij worden geteld.

Tabel 4. Bodemkenmerken en de daarmee samenhangende hoeveelheid beschikbaar bodemvocht.

(naar 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		

Bijlage 2

Tabel: Berekening van het percentage van de jaarlijks door mineralisatie vrijkomende stikstof dat opneembaar is voor de plant.

maand	Percentage van de jaarlijkse mineralisatie 1)	Percentage dat opneembaar is voor de plant 2)	Percentage van Nmin dat opneembaar is voor de plant
jan.	1.0	40	0.4
feb.	4.0	75	3.0
mrt.	6.1	100	6.1
apr.	9.1	100	9.1
mei	11.9	100	11.9
juni	15.9	100	15.9
juli	15.3	100	15.3
aug.	13.3	100	13.3
sept.	10.4	75	7.8
okt.	6.1	40	2.4
nov.	3.9	10	0.4 3)
dec.	2.3	25	0.6 3)
totaal	100		86.2

1) verdeling volgens Sluijsmans en Kolenbrander (1976)

2) zie tabel 7

3) komt ten goede aan het volgende gewas, maar wordt wel meegeteld

Bijlage 3

Tabel: Berekening van het percentage van de stikstofdepositie dat opneembaar is voor de plant.

maand	Percentage van de jaarlijkse N-depositie 1)	Percentage dat opneembaar is voor de plant 2)	Percentage van N-depositie dat opneembaar is voor de plant
jan.	8.3	40	3.3
febr.	8.3	75	6.2
mrt.	8.3	100	8.3
apr.	8.3	100	8.3
mei	8.3	100	8.3
juni	8.3	100	8.3
juli	8.3	100	8.3
aug.	8.3	100	8.3
sept.	8.3	75	6.2
okt.	8.3	40	3.3
nov.	8.3	10	0.8 3)
dec.	8.3	25	2.1 3)
totaal	100		71.8

1) aangenomen wordt dat de N-depositie iedere maand hetzelfde is

2) zie tabel 7

3) komt ten goede aan het volgende gewas, maar wordt wel meegeteld

Bijlage 4

Tabel: Berekening van het percentage van de stikstof in de Ne-fractie dat opneembaar is voor de plant.

Voorbeeld: drijfmest uitgereden in maart op zandgrond.

maand	Percentage van de mineralisatie uit de Ne-fractie 1)	Percentage dat opneembaar is voor de plant 2)	Percentage van Ne dat opneembaar is voor de plant
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	75	6.6
okt.	4.8	40	1.9
nov.	2.9	10	0.4
dec.	1.9	25	0.5
jan.	1.1	40	0.7 3)
feb.	1.7	75	1.3 3)
totaal	100		89.4

1) verdeling volgens Lammers (1984)

2) zie tabel 7

3) komt ten goede aan het volgende gewas, maar wordt wel meegeteld

Bijlage 5

Beschrijving van de bodemgesteldheid van de proefvelden van Den Ham, Ruurlo en Finsterwolde.

Den Ham (Snijders et al., 1987)

De bodem bestaat uit kalkloze zandgrond. De humeuze bovengrond is ca. 15 cm dik, de ondergrond is humusarm en heterogeen van samenstelling. Grotendeels bestaat de ondergrond uit zwak tot sterk lemig en matig fijn zand, plaatselijk komen beekleemachtige lagen voor.

Het zijn natte gronden (Gt III) met een GHG-niveau van 0 à 25 cm - mv en een GLG-niveau van ca. 110 cm - mv.

De gronden zijn tot ca. 40 cm diepte bewortelbaar.

Ruurlo (Snijders et al., 1987)

De bodem bestaat uit kalkloze zandgrond. De humeuze bovengrond is ca. 20 cm dik, de ondergrond is humusarm en bestaat uit zwak lemig en matig fijn zand. Op ongeveer 70 cm diepte is een matig tot sterk verkitten ijzerrijke laag aanwezig. Zeer waarschijnlijk heeft deze laag een storende werking op de verticale waterbeweging.

De gronden op een deel van het proefveld met Gt III zijn de natste gronden, verder komt Gt III* en Gt VI voor.

De bewortelbare diepte varieert van 20 tot 50 cm.

Finsterwolde (Oenema, persoonlijke mededeling)

De bodem bestaat uit een zeer lichte zavel. Volgens de profielbeschrijving van het Stiboka (1981) is de Gt VI, bevindt zich op een gemiddelde diepte van 40 cm keileem en is de bewortelbare diepte ook 40 cm.

Volgens bewortelingspatronen die in maart 1980 zijn opgenomen was de bewortelingsdiepte van het controle-object circa 50 cm, met uitlopers naar 70 tot 80 cm. Naarmate de N-gift toenam, nam de diepte sterk af. Bij 80 N was dat slechts 30 cm, met een enkele uitloper tot 40 à 50 cm.