

**De praktische gevolgen van verscherpte milieu-eisen
voor de weide- en voederbouw op zandgrond:
een theoretische benadering**

H.F.M. Aarts en H. van Keulen

CABO-Verslag nr. 139

1990



Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
Postbus 14, 6700 AA Wageningen

Inhoud

	Blz.
Samenvatting	5
Abstract	5
1. Inleiding	6
2. De produktiemogelijkheden bij beperkte vochtvoorziening	7
2.1 Het vochtverbruik en de vochtvoorziening	7
2.2 Vochtgelimiteerde produktie	11
3. De produktiemogelijkheden bij beperkte vocht- en stikstofvoorziening	15
4. De gevolgen van verscherpte milieu-eisen voor grondgebruik en melkproduktie-mogelijkheden	21
Literatuur	28

Samenvatting

Om aan milieunormen, zoals vastgelegd in onder meer het Nationaal Milieu-beleidsplan (NMP), te voldoen zullen beperkingen worden gesteld aan de bemesting en de vochtvoorziening van gewassen. Berekend is wat deze beperkingen betekenen voor de produktie van grasland, snijmaïs en voederbieten op zandgrond van verschillende kwaliteit.

Vervolgens is berekend hoeveel melk er maximaal per ha geproduceerd kan worden als de dierlijke mest op het bedrijf zelf moet worden aangewend en de verhouding tussen de arealen bouw- en grasland wordt geoptimaliseerd. Geconcludeerd wordt dat vooral de afzet van de stikstof, die zich in de dierlijke mest bevindt, grenzen stelt aan de mogelijkheden om melk te produceren.

Abstract

To meet the environmental standards, as formulated, in the National Environmental Policy Plan, restrictions will be necessary with respect to fertilizer application and irrigation of crops. In this paper calculations are reported to quantify the consequences of these restrictions for the production of grass, fodder maize and fodder-beets on sandy soils of different quality. Maximum milk production per ha has been calculated, if all animal manure must be applied at the farm and the ratio of grassland and arable land in total land use has been optimised. It is concluded that especially the restrictions with respect to nitrogen in animal manure are constraints for the milk production potential.

1. Inleiding

De zandgronden in Nederland worden op het ogenblik hoofdzakelijk gebruikt voor de produktie van voer voor melkvee en voor het uitrijden van dierlijke mest. Hoewel gras en maïs nog veruit de belangrijkste gewassen zijn, neemt de betekenis van voederbieten de laatste jaren toe. De opbrengst van voedergewassen hangt vooral af van de beschikbare hoeveelheden vocht en nutriënten. Ziekten en plagen spelen een relatief geringe rol en de onkruidbestrijding is in de regel effectief. Ondanks de melkquotering, die de totale melkproduktie aanzienlijk heeft verlaagd, is de melkproduktie op zandgrond nog steeds erg hoog: in het Oostelijke en Centrale Zandgebied bedraagt de produktie op de grotere bedrijven gemiddeld 12.500 liter/ha, in het Zuidelijke Zandgebied maar liefst 14.800 (Terwan & Wesselo, 1990). Om als bedrijf zo veel mogelijk te voorzien in de eigen voederbehoefte worden de gewassen zwaar bemest en wordt bij droogte beregening toegepast. Desondanks moeten grote hoeveelheden krachtvoer worden aangekocht en op de intensievere bedrijven ook ruwvoer, in de vorm van snijmaïs.

Het huidige bedrijfssysteem, vooral gericht op economische doelen en nog nauwelijks gehinderd door milieubeperkingen, leidt tot een slechte benutting van stikstof en mineralen uit voer en meststoffen. Slechts 15 % van de stikstof die op een melkveebedrijf wordt aangevoerd verlaat dat bedrijf weer in de vorm van eiwit in melk en vlees. De rest, gemiddeld ongeveer 500 kg/ha, gaat verloren door vervluchtiging als ammoniak, uitspoeling als nitraat, denitrificatie tot elementaire stikstof en stikstofoxiden, of accumuleert in de bodem (Van der Meer & Meeuwissen, 1989; Aarts & Van Gorp, 1989).

In de zandgebieden vormt de melkveehouderij de belangrijkste emissiebron voor stikstofverbindingen. Het gebruik van grote hoeveelheden dierlijke mest heeft er bovendien toe geleid dat de bodem op veel plaatsen verzadigd is met fosfaat, zodat ook uitspoeling van fosfaat dreigt (Breeuwsma et al., 1990). Het beleid van de Nederlandse overheid is er op gericht de emissies van nutriënten, vooral die van stikstof en fosfor, drastisch te beperken (NMP, 1989). Zo mag het nitraatgehalte van het grondwater in de toekomst niet hoger zijn dan 50 mg/l; de vervluchtiging van ammoniak moet in het jaar 2000 met tenminste 50 % en zo mogelijk met 70 % zijn gereduceerd, ten opzichte van 1980, waardoor de gemiddelde emissie vanuit de melkveehouderij naar de atmosfeer in geen geval meer dan 50 kg stikstof/ha/jr mag bedragen; op de meeste zandgronden zal de toevoer

van fosfor door bemesting de afvoer in de vorm van produkten niet meer mogen overtreffen. Dit laatste zal echter nauwelijks gevolgen hebben voor de gewasproduktie omdat in de fosforbehoefte van gewassen al ruimschoots is voorzien voordat de bodem met fosfaat verzadigd is. Wel heeft deze eis invloed op de mogelijkheden dierlijke mest binnen het bedrijf af te zetten. In de zandgebieden bestaat niet alleen een vermestings- maar ook een verdrogingsprobleem. Door verbetering van de waterafvoer en door grondwateronttrekking, vooral ten behoeve van de drinkwatervoorziening maar ook voor kunstmatige beregening van landbouwgewassen, is het grondwaterpeil de laatste decennia aanzienlijk gedaald, waardoor waardevolle natuurgebieden verdrogen. Om verdere verdroging te voorkomen zal beregening alleen onder voorwaarden worden toegestaan en in een aantal streken zelfs geheel worden verboden.

Voor de voederproduktie op zandgronden heeft het verscherpte milieubeleid tot gevolg dat stringente voorwaarden gaan gelden voor de manier waarop voedergewassen kunnen worden geteeld. Binnen deze voorwaarden zal de veehouder gewaskeuze en teeltmethode proberen te optimaliseren naar economische doelen. In dit artikel worden de effecten van de belangrijkste milieurestricties, namelijk die ten aanzien van het vochtverbruik en de stikstofemissies, op de opbrengsten van voedergewassen gekwantificeerd. Daarbij wordt rekening gehouden met natuurlijke verschillen in het vochtleverend vermogen van de bodem. Vervolgens wordt berekend hoe hoog de melkproduktie per ha kan zijn als kunstmatige beregening niet meer is toegestaan, aan stikstof-emissienormen moet worden voldaan, de aanvoer van fosfor op het bedrijf niet groter is dan de afvoer in melk en vlees en alle mest op het bedrijf zelf moet worden aangewend. Berekend wordt wat de consequenties zijn voor de verhouding tussen het areaal bouwland en grasland.

2. De produktiemogelijkheden bij beperkte vochtvoorziening

2.1 Het vochtverbruik en de vochtvoorziening

Voor de groei van planten is water noodzakelijk. Vrijwel al het opgenomen water wordt gebruikt voor verdamping, een klein deel als bouwstof en als grondstof in het fotosyntheseprocess. Om koolzuuropname via diffusie mogelijk te maken heeft de plant open verbindingen met de buitenlucht: de huidmondjes. De lucht in de holte achter een huidmondje is met water verzadigd, waardoor bij open huidmondjes waterdamp door diffusie naar de buitenlucht

ontwikkelt. Sluit het huidmondje bij vochttekort, om het waterverlies te beperken, dan zal ook de aanvoer van koolzuur proportioneel afnemen (Van Keulen & Van Laar, 1986). Daarom bestaat er een rechtlijnig verband tussen de hoeveelheid verdampt water en de hoeveelheid geproduceerde drogestof (De Wit, 1958; Rijtema, 1968; Feddes, 1985). De helling van de lijn is afhankelijk van de plantensoort en de luchtvochtigheid (De Wit & Alberda, 1961). Het vochtverbruik van planten per eenheid geproduceerde drogestof lijkt niet sterk te worden beïnvloed door de voedingstoestand van het gewas (Tanner & Sinclair, 1983; Van Keulen, 1975). Als planten suboptimaal worden bemest is de groeisnelheid lager. De huidmondjes hoeven dan minder ver open om voldoende koolzuur naar binnen te laten (Van Keulen & Van Laar, 1986), waardoor ook minder water wordt verbruikt. Toch kan het totale vochtverbruik van gewassen per kg geproduceerde drogestof hoger zijn bij suboptimale stikstofbemesting. De voornaamste oorzaak is dat het langer duurt voor gewassen de grond bedekken, waardoor er meer water vanaf het bodemoppervlak kan verdampen. Op zandgrond wordt bij droogte al snel een droog bovenlaagje gevormd dat een effectieve barrière vormt tegen uitdroging van diepere bodemlagen.

Uit berekeningen is gebleken dat de rechtstreekse verdamping vanaf het bodemoppervlak op zandgrond zo gering is, dat aangenomen mag worden dat het bemestingsniveau het waterverbruik per kg totaal geproduceerde drogestof nauwelijks beïnvloedt (Aarts & Middelkoop, 1990).

In de tachtiger jaren is via beregeningsproeven het vochtverbruik van maïs vastgesteld (Drenth & Ouwerkerk, 1987). Gemiddeld was de transpiratiecoëfficiënt, dat is het aantal liters water dat per kg totaal geproduceerde drogestof wordt verbruikt, bijna 200. In een droge, warme zomer was de transpiratiecoëfficiënt 15 tot 20 % hoger dan in een natte, koele zomer. De transpiratiecoëfficiënt van bieten is vermoedelijk iets lager dan die van maïs (De Wit, 1958; Van der Schans & Drenth, 1989). Het verschil is zo gering dat uit praktische overwegingen wordt verondersteld dat de transpiratiecoëfficiënten gelijk zijn. Het vochtverbruik van grasland is regelmatig onderwerp van studie geweest in verband met onderzoek naar de rentabiliteit van kunstmatige beregening. Uit dat onderzoek blijkt dat het produktieverhogend effect per eenheid beregeningswater hoger is naarmate de voorziening met nutriënten beter is (Van Boheemen, 1984). Als water de groei-beperkende factor is, blijkt bij hoge bemestingsniveaus ongeveer 400 liter beregeningswater per extra kg oogstbare drogestof nodig te zijn, bij wat lagere bemestingsniveaus ruim 10 % meer. Een verklaring voor dit verschijn-

sel, dat ogenschijnlijk strijdig is met het eerder vermelde rechtlijnige verband tussen vochtverbruik en produktie, onafhankelijk van de nutriënten-voorziening, ligt vermoedelijk bij de verdeling van de extra gevormde drogestof over wortels, stoppels en oogstbare delen. Bij lagere bemestingsniveaus wordt deze drogestof ten dele geïnvesteerd in wortels, bij hogere bemestingsniveaus gebeurt dat niet of veel minder omdat de wortelmassa dan al een maximum gewicht bereikt heeft (Ennik & Baan Hofman, 1983; Baan Hofman, 1988). Het rendement van beregening, uitgedrukt als de extra hoeveelheid oogstbare drogestof per mm beregeningswater, zal in dat laatste geval hoger zijn. Gecorrigeerd voor de verdeling van drogestof over wortels, stoppels en oogstbare delen (figuur 1) en rekening houdend met verliezen door directe bodemverdamping en een slechte verdeling van het beregeningswater, blijkt de transpiratiecoëfficiënt van gras ongeveer 250 liter per kg drogestof te bedragen, ongeacht het bemestingsniveau. Resultaten van proeven in lysimeters waarbij een vochtbalans kon worden opgesteld, ondersteunen deze waarde (Van Boheemen, 1981).

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. Bietenplanten slaan het grootste deel van de assimilaten op in 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.

De hoeveelheid water die een gewas ter beschikking staat tijdens het groeiseizoen wordt bepaald door de neerslag, de hoeveelheid water die door de bodem in het bewortelde deel van het profiel kan worden vastgehouden tegen de werking van de zwaartekracht in ('hangwater') en de hoeveelheid water die door capillaire opstijging uit het grondwater naar de wortelzone kan worden getransporteerd. Gemiddeld valt er in de zandgebieden van Nederland tijdens het groeiseizoen per maand 66 mm neerslag. De neerslag in april en mei is relatief gering, gemiddeld 53 mm, en in juli en augustus relatief hoog, gemiddeld 84 mm (KNMI, 1988). Van jaar tot jaar kunnen grote verschillen optreden in de hoeveelheid neerslag en de verdeling over het groeiseizoen.

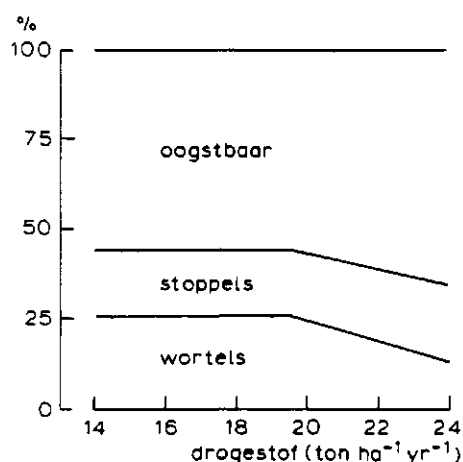
2.2 Vochtgelimiteerde produktie

Door Van Heemst et al. (1978) is berekend hoeveel drogestof een gesloten gewas met een C3-fotosynthesecyclus in Nederland maandelijks kan produceren op grond van de gemiddelde temperatuur en stralingsintensiteit, als dat gewas over voldoende vocht en nutriënten kan beschikken. Geen enkel gewas is echter in staat deze produktie ook werkelijk te realiseren, omdat niet steeds een voldoende groot of voldoende actief bladapparaat aanwezig is.

Maïs heeft relatief hoge temperaturen nodig voor kieming en groei. Daarom vindt zaai pas eind april plaats en duurt het lang voor de grond volledig door het gewas wordt bedekt. Om de drogestofproduktie te kunnen berekenen is hier verondersteld dat de lichtonderschepping in de eerste helft van mei verwaarloosbaar is, in de tweede helft 5 % bedraagt, in de eerste helft van juni 12,5 % en in de tweede helft 50 %. Daarna wordt het licht tot de oogst volledig onderschept (Sibma, 1977; 1987). Ten gevolge van veroudering wordt na september geen drogestof meer geproduceerd. Hoewel maïs een andere fotosynthesecyclus kent dan het 'standaardgewas' van Van Heemst et al. (1978) blijkt de op deze manier berekende maïsopbrengst zeer goed overeen te komen met opbrengsten die experimenteel werden vastgesteld (Louwerse et al.; 1990).

Ook bieten hebben een trage beginontwikkeling al is deze sneller dan van maïs. Verondersteld wordt dat de lichtonderschepping in de eerste helft van mei verwaarloosbaar is, in de tweede helft van mei 12,5 % bedraagt, in de eerste helft van juni 25 % en in de tweede helft 50 %. Daarna wordt het licht tot de oogst, die op 1 november wordt verondersteld plaats te vinden, volledig onderschept (Sibma, 1977; Van Heemst et al., 1978; Smit, 1990).

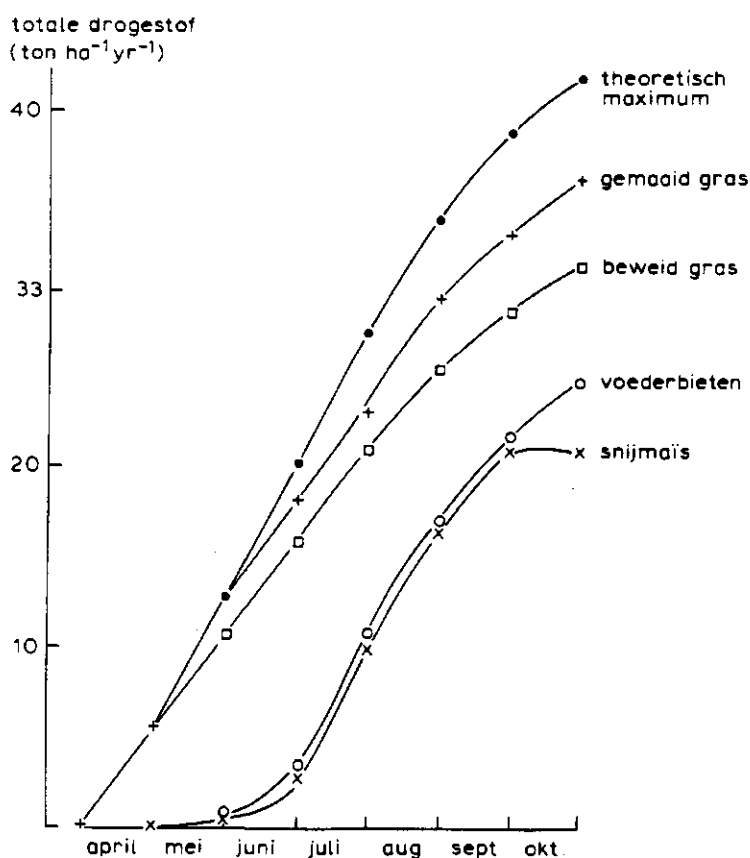
Grasland kan tussen 1 april en 1 november in principe over een voldoende groot bladapparaat beschikken om de maximaal haalbare drogestofproduktie te realiseren. Gras wordt echter periodiek geoogst. Verondersteld is dat gras 4 keer per jaar wordt gemaaid of 7 keer beweid en dat gedurende 18 dagen na beweiden of maaien de produktie 50 % is van die van het standaardgewas, omdat een nieuw bladapparaat moet worden gevormd (Alberda & Sibma, 1968).



Figuur 1. De verdeling van de drogestof over wortels, stoppels en oogstbare delen bij gras, als functie van het produktieniveau (naar gegevens Sibma & Ennik, 1988; Baan Hofman, 1988; Ennik & Baan Hofman, 1983; Ennik et al., 1980; Alberda, 1962)

De hoeveelheid 'hangwater' wordt bepaald door de bewortelbare diepte, de gehalten aan organische stof, klei en leem en de korrelgrootteverdeling van de zandfractie in de wortelzone. De bewortelbare diepte is op zandgrond meestal beperkt tot de humushoudende laag. De zandlaag daaronder is voor wortels moeilijk doordringbaar. De dikte van de humushoudende laag is in de regel minder dan 60 cm, waardoor er weinig verschillen zijn tussen de bewortelingsdiepten van verschillende gewassen omdat genetische verschillen niet tot uitdrukking kunnen komen (Van der Sluijs & Houben, 1978).

Voorals op zandgrond kan een geringe daling van de grondwaterstand al leiden tot een sterke afname van de hoeveelheid water die bij droogte beschikbaar komt door capillaire opstijging (Rijtema, 1971). De grondwaterstand is nu vaak zo laag dat de bijdrage van capillaire opstijging aan de vochtvoorziening van weinig betekenis meer kan zijn (Breeuwsma & Schoumans, 1986). De som van de hoeveelheid 'hangwater' en de maximale capillaire opstijging gedurende het groeiseizoen wordt het vochtleverend vermogen van een bodem genoemd. 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).



Figuur 2. De theoretisch maximale drogestofproduktie en de potentiële drogestofproduktie (inclusief niet oogstbare delen) van maïs, voederbieten en gras onder gemiddelde Nederlandse omstandigheden

In figuur 2 is de potentiële cumulatieve drogestofproduktie van de gewassen weergegeven. Maïs blijkt de potentiële produktiemogelijkheden onder Nederlandse omstandigheden maar voor maximaal de helft te kunnen benutten. Bieten presteren beter, vooral door de langere groeiperiode en de snellere beginontwikkeling. De potentiële produktiemogelijkheden van grasland zijn veel groter, vooral van gemaaid grasland dat minder frequent wordt ontbladerd.

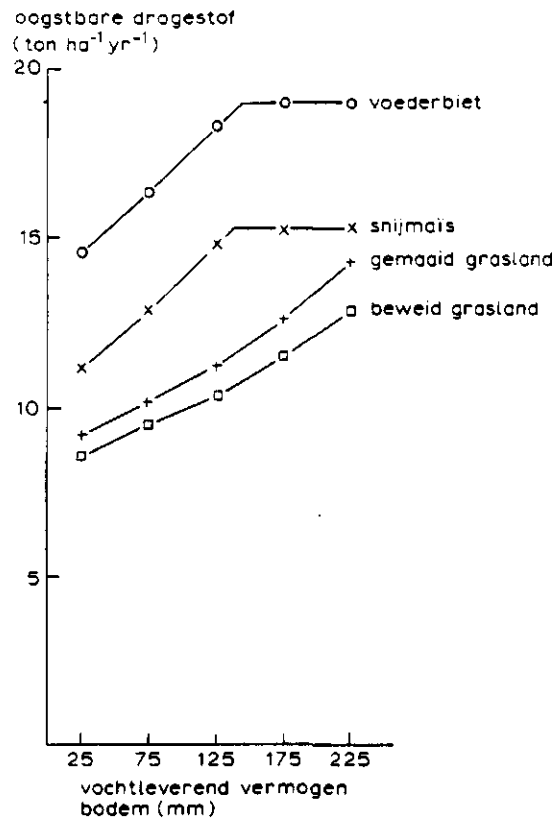
Als de produktie niet door andere factoren, zoals nutriëntengebrek of ziekten, wordt geremd zal de groei bepaald worden door de beschikbare hoeveelheid vocht, omdat in de regel op zandgrond tijdens het groeiseizoen vochttekorten optreden. Op basis van de gemiddelde maandelijkse neerslag en de gewasspecifieke transpiratiecoëfficiënt is voor bodems, die verschillen in vochtleverend vermogen, de maximaal realiseerbare drogestofproduktie berekend met behulp van een eenvoudige vochtbalans. Verondersteld is dat bij de aanvang van het groeiseizoen de bodem een hoeveelheid opneembaar

vocht bevat die overeen komt met het vochtleverend vermogen. Door groei wordt water onttrokken tot al het opneembare vocht verbruikt is. Het opneembare vocht wordt aangevuld door neerslag maar zal nooit meer zijn dan het vochtleverend vermogen. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. De totale drogestofproduktie, inclusief niet oogstbare delen, van maïs, voederbieten en gras bij beperkte vochtvoorziening en optimale nutriëntenvoorziening (kg/ha/jr)

	vochtleverend vermogen grond (mm)				
	25	75	125	175	225
maïs	15.253	17.703	20.253	20.953	20.953
voederbieten	18.993	21.493	23.993	24.893	24.893
gras, gemaaid	19.440	21.440	23.440	25.440	27.440
gras, beweid	19.312	21.312	23.312	25.312	27.312

De in de tabel vermelde drogestofproducties worden in de praktijk niet gerealiseerd als gevolg van de effecten van perceelsranden, heterogeniteit van de bodem binnen percelen, rijsporen en onvermijdelijke onvolkomenheden in het beheer (Ingram, 1990; Van Heemst et al., 1978; Frame & Merrilees, 1990). Bovendien is een gedeelte van het blad al vóór de oogst afgevallen en verteerd (Houba, 1973). De berekende opbrengst van maïs, bieten en gemaaid grasland is daarom verminderd met 15 % en die van beweid grasland met 20 % in verband met extra verlies op looppaden en drinkplaatsen en als gevolg van vertrapping in perioden met veel neerslag. Verondersteld is dat 10 % van de door de bij de oogst aanwezige drogestof niet oogstbaar is, (Houba, 1973; Sibma, 1977), vooral door het in de grond achterblijven van wortels. Van de oogstbare hoeveelheid bestaat 80 % uit wortels en 20 % uit blad (RIVRO, 1990). Bij maïs blijft 14 % op het land achter, vooral in de vorm van wortels en stoppels (Sibma, 1987) en bij gras is dat percentage afhankelijk van het produktieniveau, zoals blijkt uit figuur 1, maar ligt rond de 40 %, dus aanzienlijk hoger dan bij maïs of bieten.



Figuur 3. De in de praktijk oogstbare hoeveelheid drogestof van maïs, bieten en gras in relatie tot de vochtvoorziening, bij optimale nutriëntenvoorziening

Uit figuur 3 blijkt dat voederbieten een aanzienlijk hogere oogstbare produktie realiseren dan maïs, vooral door de langere groeiperiode en het relatief geringe aandeel niet-oogstbare delen. Door de hoge transpiratiecoëfficiënt, de tijdelijk lagere groeisnelheid na maaien of beweiden en het relatief hoge aandeel stoppels en wortels, is de oogstbare produktie van grasland laag, vooral op gronden met een gering vochtleverend vermogen omdat daar door vochttekorten de potentieel langere groeiperiode niet kan worden benut. Zelfs op gronden met het hoogste vochtleverend vermogen treden nog vochttekorten op.

De berekende opbrengsten gelden voor een jaar met een gemiddeld neerslagpatroon. In relatief natte jaren zijn de verschillen tussen de verschillende niveaus van vochtleverend vermogen geringer. Bij een laag vochtleverend vermogen kan dan dezelfde produktie worden gerealiseerd als bij een hoog vochtleverend vermogen. In droge jaren kan het voorkomen dat op gronden met een zeer laag vochtleverend vermogen het gewas geheel of

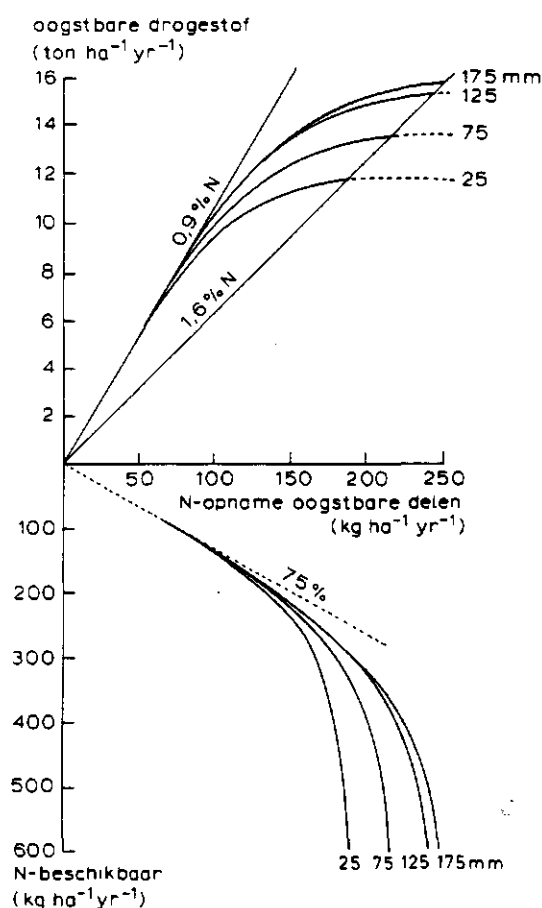
gedeeltelijk afsterft en niet meer kan profiteren van regen die daarna valt. De opbrengst wordt daar dan relatief sterker gereduceerd dan op gronden met een hoger vochtleverend vermogen.

De berekende opbrengsten aan drogestof stemmen redelijk overeen met de waarden die voor Nederland gegeven worden voor behoorlijk geslaagde gewassen: gemaaid Italiaans raaigras 13.500 kg/ha, snijmaïs 13.500 kg/ha en voederbieten 19.500 kg/ha (RIVRO, 1990).

3. De produktiemogelijkheden bij beperkte vocht- en stikstofvoorziening

Het verband tussen de hoeveelheid door het gewas opgenomen stikstof en de geproduceerde hoeveelheid drogestof is niet rechtlijnig over het hele traject van stikstofopnamen. Bij lage opnamen wordt per eenheid opgenomen stikstof meer drogestof geproduceerd. Bovendien zal bij een geringere hoeveelheid beschikbare stikstof in het wortelmilieu in de regel een groter deel worden opgenomen. De relaties tussen de hoeveelheid beschikbare stikstof en de stikstofopname en die tussen de stikstofopname en de drogestofproduktie zijn afhankelijk van de gewassoort en de vochtvoorziening. Bij een goede vochtvoorziening is de groeisnelheid hoog en daarmee de 'vraag' naar stikstof.

In figuur 4 zijn de genoemde relaties voor maïs gegeven voor bodems met een verschillend vochtleverend vermogen. De figuur is tot stand gekomen door de relaties, zoals ze op proefvelden werden vastgesteld, te beschrijven met niet-orthogonale hyperbolen. Vertaling naar een ander maximaal produktieniveau, berekend op basis van het vochtleverend vermogen van de bodem, werd daardoor mogelijk (Aarts & Middelkoop, 1990). De hoeveelheid beschikbare stikstof is gedefinieerd als de som van de hoeveelheden minerale stikstof die tijdens het groeiseizoen voor opname beschikbaar komen door mineralisatie en aanvoer met neerslag en meststoffen.



Figuur 4. De relatie tussen de hoeveelheid beschikbare stikstof in de bodem en de stikstofopname in de oogstbare delen (onder) en die tussen de stikstofopname en de oogstbare drogestofproduktie (boven) bij maïs

Als er weinig stikstof beschikbaar is, neemt maïs maximaal 75 % daarvan op in de oogstbare delen en handhaaft een stikstofgehalte in de drogestof van ongeveer 0,9 %. Het deel van de beschikbare stikstof dat wordt opgenomen neemt af bij toenemende beschikbaarheid: eerst geleidelijk maar later scherp, omdat maïs niet in staat is een overmaat aan stikstof te accumuleren als andere groeifactoren de produktie beperken. Het stikstofgehalte wordt niet hoger dan 1,6 % in de drogestof. Ook neemt de snelheid waarmee stikstof wordt opgenomen al vrij vroeg in het groeiseizoen af, zodat in de nazomer en herfst de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem stijgt ten gevolge van mineralisatie uit organische stof. Uitspoeling van deze stikstof in perioden met een neerslagoverschot in najaar en winter kan worden beperkt door een nagewas te telen dat de minerale stikstof na de maïs oogst alsnog opneemt. Bij een tijdige oogst van de maïs kan op die

manier ongeveer 40 kg minerale stikstof worden omgezet in organisch vorm en via onderploegen aan de bodemvoorraad worden toegevoegd. Uiteraard moet bij de bemesting van volggewassen rekening worden gehouden met een verhoogde mineralisatie door afbraak van deze organische stof (Aarts & Middelkoop, 1990).

In tegenstelling tot maïs wordt de stikstofopname van bieten nauwelijks geremd als andere groeifactoren de produktie beperken omdat stikstof kan accumuleren, vooral in de bladeren. De stikstofvoeding heeft wel invloed op de verdeling van de drogestof tussen bladeren en wortels. Hogere bemestingsniveaus stimuleren de bladgroei sterker dan de wortelgroei (Last & Draycott, 1975). Het bemestingsadvies voor suikerbieten is afgestemd op het behalen van een hoge suikeropbrengst. Een hogere bemesting verhoogt nog wel de totale drogestofproduktie, vooral door extra bladproduktie, maar gaat ten koste van de hoeveelheid winbare suiker. Suikerbieten nemen bij toepassing van het gangbare advies in de regel 200 tot 300 kg stikstof per ha op en het is aannemelijk dat de uitspoeling dan beneden de norm blijft die voor de kwaliteit van drinkwater geldt. Een voorwaarde is wel dat ook het blad wordt geoogst omdat de daarin opgeslagen stikstof door snelle mineralisatie verloren kan gaan (Groot et al., 1989). Evenals voor maïs is voor bieten uit proefveldgegevens een relatie afgeleid tussen de hoeveelheid opgenomen stikstof en de drogestofproduktie voor bodems met verschillend vochtleverend vermogen. Verondersteld is dat voederbieten op dezelfde manier op de stikstofvoorziening reageren als suikerbieten.

Grasland dat uitsluitend wordt gemaaid benut de aangeboden stikstof in de regel erg goed. Bij een redelijk tot goede vochtvoorziening wordt van de eerste 375 kg beschikbare stikstof ongeveer 85 % opgenomen, van de volgende 200 kg 75 % en daarboven 65 % (Van de Ven, 1990). Bij beweiding draagt ook de minerale stikstof die vrijkomt uit urine en faeces bij aan de beschikbare stikstof. Omdat een relatief groot deel daarvan verloren gaat door ammoniakvervluchtiging en denitrificatie, of pas laat beschikbaar komt, is de benutting lager dan van die uit andere bronnen. Door alleen overdag te beweiden en 's nachts op stal stikstofarm voer te verstrekken, bijvoorbeeld snijmaïs, kan het aandeel urinestikstof in de totale hoeveelheid beschikbare stikstof sterk worden teruggebracht, zodat de gemiddelde benutting wordt verbeterd. Ook gras is in staat grote hoeveelheden stikstof op te slaan in bladeren en stengels zodat bij hoge bemestingsniveaus het stikstofgehalte sterk toeneemt, en kans bestaat op nitraatvergiftiging van het vee (Van der Meer & Meeuwissen, 1989).

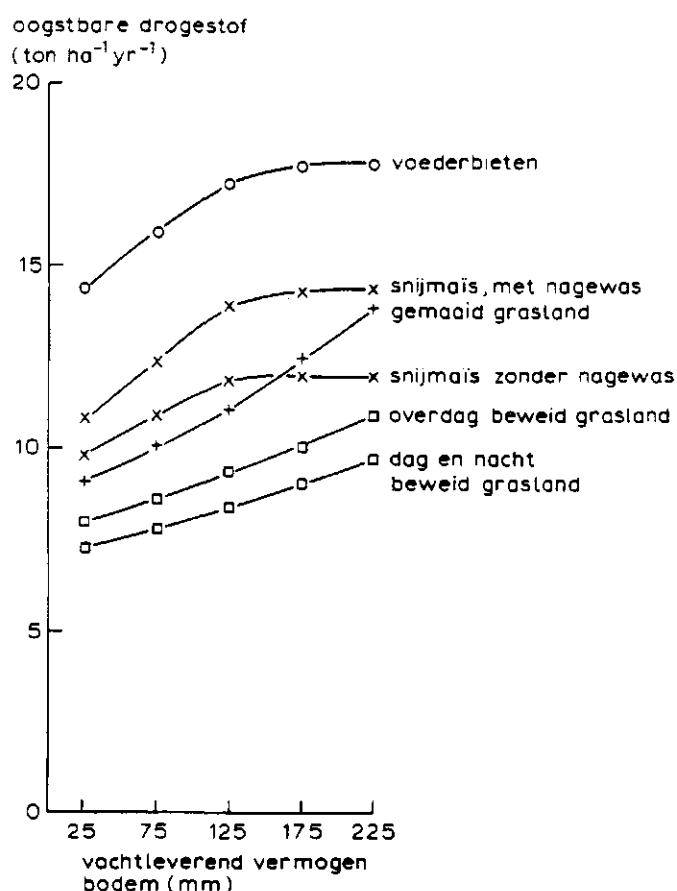
Als de voorraad organisch gebonden stikstof in de bodem stabiel blijft, wat op langere termijn verondersteld mag worden, zal de minerale stikstof die niet door het gewas wordt opgenomen, uit de bodem verdwijnen door denitrificatie en uitspoeling. Denitrificatie is op goed ontwaterde zandgrond in de regel gering, uitgezonderd op plekken met een extreem hoge belasting met minerale stikstof, zoals urineplekken. Als de nitraatbelasting van het percolatiewater moet worden teruggebracht tot 50 mg/l (10,6 mg N/l), zal bij een neerslagoverschot van 300 mm het stikstofoverschot niet hoger mogen zijn dan 34 kg per ha. Strikt genomen mag bij een laag produktieniveau meer uitspoelen dan bij een hoog niveau, omdat minder water door het gewas verbruikt wordt en het neerslagoverschot dus wat groter is, maar daarmee is bij de verdere berekeningen geen rekening gehouden. In tabel 2 is vermeld met welk percentage de opbrengst maximaal daalt, als de uitspoeling van nitraatstikstof tot het gewenste niveau wordt teruggebracht door een aangepaste bemesting. Bij voederbieten is aangenomen dat de stikstofopname niet hoger mag zijn dan die van een suikerbietengewas bij het gangbare bemestingsadvies. Het gangbare bemestingsadvies houdt geen rekening met het vochtleverend vermogen van de bodem. In tegenstelling tot bij grasland en maïs is het bemestingsniveau voor elke niveau van vochtleverend vermogen dus gelijk. Uit de cijfers in tabel 2 blijkt dat de grootste opbrengstdervingen optreden op gronden met een relatief hoog vochtleverend vermogen. De opbrengstreductie bij bieten en gemaaid grasland is gering. De opbrengstreductie bij maïs is erg groot maar kan aanzienlijk worden beperkt door de teelt van een nagewas. Het gedurende de nacht opstallen van het vee beperkt de opbrengstreductie bij beweid grasland.

Tabel 2. Opbrengstreductie voor verschillende gewassen (percentage van de maximaal realiseerbare drogestof opbrengst) bij een beperking van de uitspoeling tot ± 34 kg N/ha/jr op gronden met verschillend vochtleverend vermogen

	vochtleverend vermogen grond (mm)				
	25	75	125	175	225
maïs, geen nagewas	14	16	20	22	22
maïs, met nagewas	4	5	7	7	7
voederbieten, inc. blad 1		3	6	7	7
gras, gemaaid	1	1	2	2	4
gras, dag beweid	8	9	10	13	15
gras, dag+nacht beweid	15	17	19	22	24

De berekende hoeveelheden oogstbare drogestof die bij beperkte stikstof- en vochtvoorziening op gronden met verschillend vochtleverend vermogen, nog kunnen worden geproduceerd zijn weergegeven in figuur 5. Opvallend is het hoge produktieniveau van voederbieten ten opzichte van de andere gewassen. Wanneer na maïs een volggewas wordt geteeld om uitspoeling van resterende minerale stikstof te verhinderen, kan ook dat gewas nog een hoge drogestof-opbrengst realiseren. Als geen nagewas wordt geteeld is de produktie op gronden met een hoog vochtleverend vermogen lager dan van gemaaid grasland, op droogtegevoeliger gronden echter iets hoger.

De opbrengsten van beweid grasland zijn laag, zeker als het hele etmaal wordt beweid en het vochtleverende vermogen van de bodem gering is.



Figuur 5. De oogstbare hoeveelheid drogestof bij beperking van de stikstofuitspoeling tot ± 34 kg/ha/jr voor gronden met verschillend vochtleverend vermogen

Niet alle oogstbare drogestof wordt ook werkelijk door het vee geconsumeerd. Bij beweiding, oogst, conservering en vervoeding kunnen aanzienlijke verliezen optreden. Voor deze verliezen geeft de literatuur normen, al is bekend dat in de praktijk de verschillen groot kunnen zijn (PR, 1988).

Zo wordt aangenomen dat 8 % van de maïs verloren gaat. Van bietenblad gaat bij inkuilen 25 % verloren, van bietenwortels tijdens bewaring tot het voorjaar 10 %. Als rekening wordt gehouden met de opbrengstverhouding tussen wortels en blad en het consumptiepatroon, waardoor de hoeveelheid wortels in voorraad gedurende de stalperiode afneemt, is het gemiddelde verlies bij voederbieten ongeveer 10 %. Bij grasland zijn de verliezen het grootst: bij gemaaid grasland gaat 17 % verloren, bij grasland dat dag en nacht wordt beweide 20 % en bij grasland dat alleen overdag wordt beweide 14 %. De hoge verliespercentages bij grasland, in combinatie met de lage oogstbare drogestofproductie, zorgen ervoor dat grasland, per ha gezien,

een beperkte rol speelt bij de voeding van het vee. De hoeveelheid drogestof die door het vee per ha wordt opgenomen is bij voederbieten, waarvan ook het blad wordt vervoederd, vrijwel het dubbele van die bij dag en nacht beweide grasland (tabel 3).

Tabel 3. De hoeveelheid door het vee benutte drogestof (kg/ha/jr) bij beperking van de stikstofuitspoeling tot ± 34 kg/ha/jr voor gronden met verschillend vochtleverend vermogen

	vochtleverend vermogen grond (mm)				
	25	75	125	175	225
maïs, geen nagewas	8.822	10.000	10.896	10.991	10.991
maïs, met nagewas	9.848	11.310	12.667	13.105	13.105
voederbieten, incl. blad	12.947	14.354	15.528	15.939	15.939
gras, gemaaid	7.569	8.340	9.120	10.287	11.437
gras, dag beweide	6.827	7.429	8.009	8.621	9.414
gras, dag+nacht beweide	5.857	6.302	6.754	7.220	7.815

4. De gevolgen van verscherpte milieu-eisen voor grondgebruik en melkproductie-mogelijkheden

Beperking van de stikstofbemesting, met als doel de drinkwaternorm met betrekking tot de nitraatconcentratie niet te overschrijden, zal resulteren in een lagere drogestofproductie. De effecten zijn groter, zowel relatief als absoluut, naarmate het vochtleverend vermogen van de grond hoger is. Als de teelt van maïs wordt gevolgd door een nagewas en het grasland alleen overdag wordt beweide en een of twee keer per jaar wordt gemaaid, zijn de verschillen tussen de gewassen gering zodat er weinig reden is te veronderstellen dat de verhouding tussen de arealen bouw- en grasland sterk zal wijzigen.

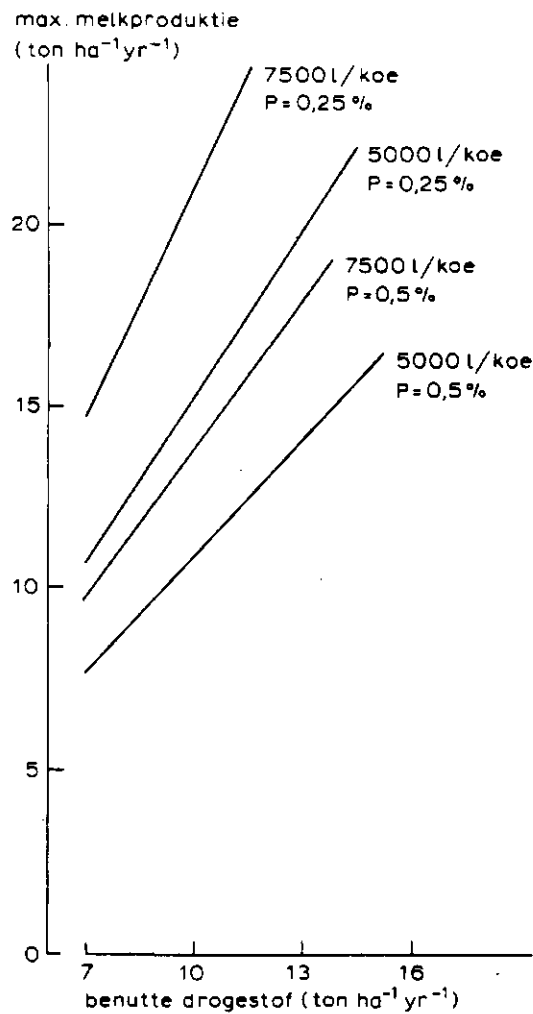
Achterwege laten van berekening leidt in een gemiddeld jaar tot opbrengstderving bij maïs en bieten als het vochtleverend vermogen van de grond minder is dan 140 mm. Zelfs op gronden met een hoog vochtleverend vermogen moet met een aanzienlijke opbrengstreductie van grasland rekening

worden gehouden als berekening onmogelijk is. Bovendien wordt vooral op droogtegevoeliger gronden de grasgroei sterk afhankelijk van het neerslagpatroon, waardoor de veehouder niet meer verzekerd is van voldoende weidegras gedurende de hele weideperiode. Als gedurende de zomer toch perioden voorkomen waarin onvoldoende weidegras beschikbaar is, en er dus moet worden overgeschakeld op ander voer, kan dat voor bedrijven voldoende reden zijn om volledig over te gaan op het verstrekken van geconserveerd voer op stal. Het is aannemelijk dat op die bedrijven dan bij voorkeur snijmaïs zal worden geteeld, onder andere vanwege de hogere voederproduktie per ha, in vergelijking met die van gemaaid grasland, en de stabiele en hoge kwaliteit van het geconserveerde produkt. Om het hoge produktiepotentieel van maïs te kunnen benutten zal een nagewas geteeld moeten worden. Hoewel voederbieten meer voer per hectare kunnen leveren dan snijmaïs zal het areaal ervan nooit met dat van snijmaïs kunnen wedijveren. Uit vruchtwisselingsoverwegingen is het immers ongewenst vaker dan een keer in de zes jaar op eenzelfde perceel bieten te telen en om problemen met de spijsvertering te voorkomen mag het rantsoen van een melkkoe per dag niet meer dan 6 kg drogestof uit voederbieten bevatten. Ook het langdurig bewaren van voederbieten is problematisch.

Bij een beperkt beregeningsverbod kan het aantrekkelijk zijn de berekening te concentreren op de te beweiden graslandpercelen, ondanks een lagere drogestofproduktie per eenheid beregeningswater dan bij maïs of voederbieten, om alsnog te kunnen profiteren van vermeende voordelen van beweiding, zoals de gunstige invloed op het welzijn van de dieren. Het is dan verstandig het areaal grasland zo beperkt mogelijk te houden, dus het gras zo veel mogelijk te bestemmen voor beweiding. Vanwege de 'overproduktie' van gras in het voorjaar is maaien niet helemaal te vermijden. Een beregeningsverbod leidt dus tot een toename van het areaal bouwland.

Als naast het instellen van een beregeningsverbod en een gelimiteerde stikstofbemesting ook als voorwaarde wordt gesteld dat alle mest op het bedrijf zelf moet worden aangewend zal, om accumulatie van fosfor in de bodem te voorkomen, de aanvoer van fosfor op het bedrijf de afvoer niet mogen overtreffen. Fosfor kan het bedrijf binnen komen in de vorm van aangekocht voer en kunstmest. Als geen fosforhoudende kunstmeststoffen worden gebruikt, vanwege de reeds hoge fosfaattoestand van de grond, mag de hoeveelheid in aangekocht veevoer dus niet meer zijn dan de afvoer in melk en vlees.

Hoeveel voer moet worden aangekocht is afhankelijk van de voederbehoefte van de veestapel en de hoeveelheid voer die het bedrijf zelf produceert. De voederbehoefte is groter naarmate de melk- en vleesproduktie hoger is. De verhouding tussen melk- en vleesproduktie op melkveebedrijven wordt voornamelijk bepaald door de melkproduktie per koe, die in de zandgebieden gemiddeld zo'n 6000 l per jaar bedraagt. Een hoge melkproduktie per koe gaat gepaard met een relatief geringe vleesproduktie, omdat er slechts weinig koeien nodig zijn om de gewenste hoeveelheid melk te produceren. Omdat er weinig koeien zijn kan ook het aantal kalveren in opfok gering zijn: er hoeven immers maar weinig koeien te worden vervangen. Uit normgetallen die gelden voor de energiebehoefte van melk- en jongvee kan een verband worden afgeleid tussen de energiebehoefte per liter melk en de melkproduktie per koe. Als jaarlijks 25 % van het melkvee wordt vervangen is voor de produktie van een liter melk 1,075 kVEM nodig bij een gemiddelde produktie van 5000 l per jaar. Bij een produktie van 7500 liter per koe is per liter slechts 0,875 kVEM nodig. Met dit gegeven, kennis van de energiewaarde van voedermiddelen en kennis van de fosforgehalten van voedermiddelen, melk en vlees kan een verband worden gelegd tussen de maximaal per ha realiseerbare melkproduktie en de hoeveelheid drogestof die het bedrijf per hectare produceert en benut (waarden uit tabel 3). In figuur 6 worden vier verschillende situaties geïllustreerd: twee melkproduktieniveaus per koe (5000 l en 7500 l per jaar) en twee fosforgehalten van aangekocht voer. Het hoogste gehalte, 0,5 % in de drogestof, komt overeen met dat in het meest gebruikte krachtvoer, het laagste gehalte, 0,25 %, met dat in snijmaïs. Bij het hoge melkproduktieniveau zal het aangekochte voer voor een groot deel uit krachtvoer moeten bestaan met een relatief hoog fosforgehalte. Bij het lage niveau zal snijmaïs, met een laag fosforgehalte, een groter deel van het aangekochte voer kunnen vormen. Veel praktijkbedrijven zullen zich daarom vermoedelijk bevinden in de ruimte tussen de twee dicht bij elkaar gelegen middelste lijnen van figuur 6. Bij de berekening van de lijnen is verondersteld dat niet meer voer verstrekt wordt dan noodzakelijk is en dat op het bedrijf geen mestvee of andere diersoorten voorkomen. Als er luxeconsumptie van voer plaatsvindt of als er meer jongvee of mestvee aanwezig is dan hier werd aangenomen ligt de maximaal realiseerbare melkproduktie uiteraard lager.



Figuur 6. De melkproduktie die maximaal kan worden gerealiseerd, in relatie tot de hoeveelheid voer die op het bedrijf wordt geproduceerd en benut

De helft van de melkveebedrijven op zandgrond produceert jaarlijks tussen de 10.000 en 15.000 liter melk per ha, ongeveer 30 % van de bedrijven produceert minder en 20 % meer (LEI, 1990). Voor een melkproduktie van 10.000 liter per ha moet de eigen voederproduktie ongeveer 7.000 kg drogestof per ha zijn. Ongeacht het vochtleverend vermogen van de bodem of de gewaskeuze is dat haalbaar. Op de meest droge grond zal echter alleen overdag mogen worden beweid als de grond overwegend voor grasland wordt bestemd. Voor een melkproduktie van 15.000 liter per ha moet de drogestofproduktie ongeveer 10.500 kg per ha zijn. Zelfs bij het hoogste vochtleverend vermogen is de produktie bij de huidige gemiddelde verhouding tussen het gras- en maïsareaal op melkveebedrijven (22 hectare grasland en 3 hectare maïs; Aarts et al., 1988), niet meer dan 10.000 kg benutte drogestof per ha, ook al wordt alleen overdag beweid en de maïs gevolgd door een

nagewas. Een deel van het grasland zal dus door meer produktieve maïs of voederbieten moeten worden vervangen en wel meer naarmate het vochtleverend vermogen van de grond geringer is.

Theoretisch is op gronden met een vochtleverend vermogen van 125 mm of meer een melkproduktie mogelijk van ruim 19.000 l/ha als eenzesde deel van de grond wordt beteeld met voederbieten en het restant met maïs, gevolgd door een nagewas. Op veruit de meeste bedrijven kan dus een fosforoverschot worden vermeden door een deel van het grasland te vervangen door bouwland.

Het omzetten van grasland in bouwland kan leiden tot problemen met de afzet van de stikstof in de mest omdat de voedergewassen een lagere stikstofbehoefte hebben dan grasland, en een overmatige bemesting tot nitraatuitspoeling leidt. In de huidige praktijk wordt ongeveer 16 % van de stikstof in het voer omgezet in melk en vlees ((Biewinga et al., 1987). Ook bij een uit voedingsoogpunt zo beperkt mogelijk eiwitgehalte in het rantsoen zal slechts een beperkt deel van de stikstof in melk en vlees terecht komen, vermoedelijk in de praktijk niet meer dan 22 % (pers. ned. H. Valk, IVVO). Dat houdt in dat minimaal 78 % van de geconsumeerde stikstof in de urine en faeces terecht komt.

Per liter melk wordt ruim 6 gram stikstof afgevoerd, inclusief de stikstof die door de verkoop van vee het bedrijf verlaat. Per liter melk zal daarom ruim 22 gram stikstof als dierlijke mest beschikbaar komen. Ammoniakverliezen uit deze mest moeten en kunnen worden beperkt door de mestopslag af te dekken en de mest in de bodem te brengen door bijvoorbeeld injecteren of onderploegen. De opname van stikstof uit de mest zal daarom relatief hoog zijn. Er mag op het bedrijf in geen geval meer stikstof in dierlijke mest worden geproduceerd dan de gewassen kunnen opnemen. Wel mogen de acceptabele verliezen door uitspoeling van nitraat, vervluchtiging van ammoniak en denitrificatie daarbij worden opgeteld, anderzijds moet de ongevraagde bemesting door stikstofdepositie in mindering worden gebracht. Gras neemt veel meer stikstof op dan snijmaïs, de stikstofbehoefte van voederbieten ligt daar tussen. Afhankelijk van het vochtleverend vermogen van de bodem mag de stikstofbemesting op grasland 97 tot 128 kg/ha hoger zijn dan die van bouwland, als het bouwland voor drievierde wordt gebruikt voor de teelt van maïs en voor éénvierde voor voederbieten. Als de afzet van stikstof in de dierlijke mest op het melkveebedrijf een probleem wordt, kan dat dus worden opgelost door het grasareaal uit te breiden. Zoals eerder is aangetoond neemt hierdoor de totale voederproduktie af waardoor

meer voer moet worden aangekocht en uiteindelijk op het bedrijf een fosforoverschot kan ontstaan.

Bij elk niveau van vochtleverend vermogen is uit te rekenen waar de optimale verhouding tussen het areaal bouwland en grasland ligt als een maximale melkproduktie per ha tot doel wordt gesteld en zowel een stikstof- als een fosfaatoverschot in dierlijke mest moet worden vermeden. In tabel 4 zijn de resultaten van die berekeningen vermeld. Verondersteld is dat de verhouding tussen de arealen snijmaïs en voederbieten steeds 3 : 1 is, dat maïs wordt gevolgd door een nagewas, dat het vee in de zomer 's nachts wordt opgesteld en dat het gras in gelijke mate voor maaien en beweiden wordt gebruikt. Er is van uitgegaan dat de stikstofverliezen door nitraat-uitspoeling en ammoniakvervluchtiging respectievelijk 34 en 50 kg/ha/jr mogen bedragen en dat 40 kg N/ha/jr denitrificeert. Verondersteld wordt ook dat de stikstofdepositie 45 kg/ha/jr bedraagt.

Uit de tabel blijkt dat de melkproduktiemogelijkheden aanzienlijk lager zijn dan wanneer uitsluitend rekening hoeft te worden gehouden met het vermijden van een fosforoverschot. Er is sprake van een aanzienlijk aandeel van grasland in het totale areaal cultuurgrond, zeker bij een hoog vochtleverend vermogen van de bodem.

Soms is het aantrekkelijk naast dierlijke mest ook kunstmeststikstof te gebruiken. Zo reageert maïs positief op een kleine hoeveelheid kunstmeststikstof in de rijen bij het zaaien en het gebruik van kunstmest op grasland heeft in de zomer voordelen omdat die mest niet hoeft te worden ingewerkt. De huidige praktijk gebruikt gemiddeld ruim 300 kg kunstmeststikstof per ha cultuurgrond. Door gebruik van kunstmeststikstof worden de afzetmogelijkheden van de stikstof in dierlijke mest beperkt, hetgeen gevolgen heeft voor de optimale verhouding tussen de arealen bouw- en grasland en daardoor ook voor het maximale melkproduktieniveau. In tabel 4 staan ook de resultaten van berekeningen als verondersteld wordt dat snijmaïs per hectare 30 kg kunstmeststikstof krijgt toegediend en het grasland 50 kg.

Tabel 4. De maximaal realiseerbare melkproduktie (l/ha) en het daarvoor noodzakelijke aandeel grasland in het totale areaal grond, als alle dierlijke mest op het bedrijf zelf op een verantwoorde manier moet worden afgezet

	vochtleverend vermogen bodem (mm)				
	25	75	125	175	225
geen kunstmest-N:					
maximale melkprod./ha	12.606	13.205	14.465	15.219	16.021
aandeel grasland	0,56	0,54	0,71	0,76	0,81
grasland 50 kg kunstmest-N, maïs 30 kg kunstmest-N:					
maximale melkprod./ha	11.315	12.401	13.181	13.995	14.864
aandeel grasland	0,82	0,84	0,89	0,95	1,00

Bij het gebruik van kleine hoeveelheden kunstmeststikstof neemt het aandeel grasland in het totale areaal toe. Dat komt omdat het afzetprobleem van de stikstof in de vorm van dierlijke mest steeds nijpender wordt en grasland nog steeds een hogere dosis stikstof uit dierlijke mest verdraagt dan bouwland. Als de bemesting van grasland met kunstmeststikstof toe blijft nemen wordt de ruimte voor het gebruik van dierlijke mest op het grasland steeds beperkter en wordt op een moment zelfs kleiner dan die op bouwland. Op dat moment zal het areaal bouwland plotseling stijgen naar 100 % omdat het grote voordeel van grasland, namelijk de relatief gunstige afzetmogelijkheden voor dierlijk mest, verdwenen is. Door de inzet van een kleine hoeveelheid kunstmeststikstof daalt de maximale melkproduktie tot een niveau dat in veel gevallen lager ligt dan dat in de huidige praktijk. Een verlaging van de melkproduktie kan dan worden voorkomen door de koeien ook 's zomers dag en nacht op te stallen en het grasland uitsluitend te maaien, waardoor de produktiviteit en de mestbehoefte van het grasland worden verhoogd. Een verhoging van de melkproduktie per koe kan leiden tot een betere benutting van het mestafzetprobleem minder groot wordt.

Literatuur

- Aarts, H.F.M. en J.H. van Gorp, 1989. Veranderingen binnen het melkveebedrijf als reactie op milieueisen. Milieu 1989/2, 55 - 60
- Aarts, H.F.M. en N. Middelkoop, 1990. De invloed van bodemeigenschappen en bemesting op de opbrengst van maïs en de emissies van ammoniak en nitraat. CABO-verslag nr 131, 55 pp
- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, G. Bruin, B. Edel en H. Korevaar, 1988. Melkveehouderij en Milieu. CABO-verslag nr 79, 136 pp
- Alberda, Th., 1962. Actual and potential production of agricultural crops. Neth. J. Agric. Sci. 10, 325 - 333
- Alberda, Th. and L. Sibma, 1968. Dry matter production and light interception of crop surfaces. IV. Maximum herbage production as compared with predicted values. Neth. J. Agric. Sci. 16, 142-153
- Baan Hofman, T., 1988. Effecten van stikstofgift en maaifrequentie op de drogestofopbrengst van Engels-raaigrasrassen die verschillen in persistentie. Cabo-verslag 86, 27 pp
- Biewinga, B.H.W., B.H.W. Edel en F. Stouthart, 1987. Naar een proefbedrijf Melkveehouderij en Milieu. CLM, Utrecht, 108 pp
- Boheemen, P.J.M. van , 1984. Additional water use and production of grassland under irrigation. Proceedings 10th Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed. 26-30 June, Norway. Technical Bulletin ICW nr 31, 4 pp
- Boheemen, P.J.M. van, 1981. Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW-nota 1298, 68 pp
- Breeuwsma, A. en O.F. Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Rapport nr 1866 Stiboka, 19-20.
- Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink en O.F. Schoumans, 1990. Fosfaatverzadigde gronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied. Rapport 68 Staringcentrum, 63 pp
- Drenth, H. en I. Ouwerkerk, 1987. Beregeningsonderzoek bij snijmaïs op de proefboerderij Sinderhoeve. Jaarboek 1986 PAGV. Publicatie nr 38, 122-129.
- Ennik G.C. and T. Baan Hofman, 1983. Variation in the root mass of ryegrass types and its ecological consequences. Neth. J. Agric. Sc. 31, 325-334

- Ennik, G.C., M. Gillet and L. Sibma, 1980. Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. In; W.H. Prins and 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
- Feddes, R.A., 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art. In Les besoins en eau des cultures. Conference Internationale, Paris 11 - 14 sept., 221-234
- Frame, J. and D.W. Merrilees, 1990. The effect of tractor wheeling on the productivity of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) swards. In: Proceedings of 13th General Meeting of the European Grassland Federation, volume 1, 170-175
- Groot, J.J.R., P. de Willigen en W.P. Wadman, 1989. Nitraatophoping in de bodem en nitraatuitspoeling ten gevolge van stikstofbemesting in de landbouw. IB-nota 216
- Heemst, H.D.J. van, H. van Keulen en H. Stolwijk, 1978. De potentiële produktie, bruto- en nettoproduktie van de Nederlandse landbouw. Agric. Res. Rep. no 879, Pudoc, Wageningen, 3-18.
- Houba, V.J.G., 1973. Effect of nitrogen dressings on growth and development of sugar-beet. Pudoc, Wageningen, Proefschrift, pp
- Ingram, J., 1990. The potential yield and varietal choice available for the major forage crops. Paper presented on the conference 'Milk and Meat from Forage Crops' of the British Grassland Society, February 1990.
- Keulen, H. van, 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Simulation Monographs, Pudoc Wageningen, 176 pp
- Keulen, H. van and H.H. van Laar, 1986. The relation between water use and crop production. In: Keulen, H. van and J. Wolf (eds.) Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc Wageningen, 117-129
- KNMI, 1988. Maandoverzicht van het weer in Nederland. Jaargang 85
- Last, P.J. and A.P. Draycott, 1975. Growth and yield of sugar beet on contrasting soils in relation to nitrogen supply. J. Agric. Sci. Camb. 85, 19-37
- LEI, 1990. Niet gepubliceerde gegevens; LEI-steekproef 1988/89
- Louwerse W., L. Sibma and J. van Kleef, 1990. Crop photosynthesis, respiration and dry matter production of maize. Net. J. of Agric. Sc. 38, 95-108

- Meer, H.G. van der en P.C. Meeuwissen, 1989. Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. Landschap 1, 19-31
- NMP, 1989. Nationaal milieubeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988/1989, 21137 nrs 1-2
- PR, 1988. Handboek voor de Rundveehouderij, Lelystad
- Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. ICW-nota 587, pp. 44
- Rijtema P.E. 1968. On the relationship between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plans. Comm. Hydrol. Res. Proc. and Inf. 15, 28-58
- RIVRO, 1990. Rassenlijst Landbouwgewassen, 178-179
- Schans, D.A. van der en H. Drenth, 1989. De invloed van droogtestress op groei en kwaliteit van suikerbieten. Jaarboek PAGV 1987/1988, publicatie nr 43, 42-49.
- Sibma, L, 1987. Ontwikkeling en groei van maïs onder Nederlandse omstandigheden. Pudoc, Gewassenreeks, Wageningen, 9-52.
- Sibma, L., 1977. Maximization of arable crop yield in the Netherlands. Neth. J. Agric. Sci. 25, 278-287
- Sibma, L. en G.C. Ennik, 1988. De ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden. Pudoc, Gewassenreeks, Wageningen,
- Sluijs, P. van der, 1987. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: Bodemkunde van Nederland. Stiboka/Ministerie van landbouw en Visserij, 159-172.
- Sluijs, P. van der en J.M.M.Th Houben, 1978. Bewortelbaarheid van de grond; een analyse van bodemfactoren van belang voor beworteling. Landbouwkundig tijdschrift/pt 90-9, 340-344
- Smit, A.L., 1990. Teeltvervroeging bij suikerbieten. PAGV-verslag nr 100, 11-24
- Tanner C.B. and T.R. Sinclair, 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search. In: (Taylor, H.M., W.R. Jordan and T.R. Sinclair, eds.) Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 1-27
- Terwan, P. en A. Wesselo, 1990. Produktiebeheersing in de landbouw: nieuwe kansen voor milieu en natuur. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 41-42
- Ven, G.W.J. van de, 1990. Verslag CABO (in voorbereiding)

Wit, C.T. de, 1958. Transpiration and crop yields. Agric. Res. Reports
64.6, Pudoc, Wageningen, 88 p.

Wit, C.T. de and Th. Alberda, 1961. Transpiration coëfficiënt and
transpiration rate of three grain species in growth chambers. Mededeling
IBS 156 (Jaarboek 1961), 73-81.