

CENTRUM VOOR AGROBIOLOGISCH ONDERZOEK
WAGENINGEN

BEMESTING VAN TROPISCH GRASLAND

H.G. van der Meer

CABO-verslag nr. 60

1985

247389

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
Inleiding	5
N-verliezen uit graslandssystemen	6
N-aanvoer in graslandssystemen	8
Literatuur	17

INLEIDING

Bij de exploitatie van grasland dient men te streven naar een hoge en zo goed mogelijk over het jaar verdeelde produktie van jong bladrijk materiaal. Daarvoor zijn grote hoeveelheden nutriënten nodig, waarvan N ongetwijfeld de belangrijkste is. Behalve dat er voor goede grasproduktie veel N nodig is, kan de aangevoerde N op verschillende manieren uit het produktiesysteem verloren gaan, zodat men steeds voor nieuwe aanvoer van N dient te zorgen. Efficiënte systemen van ruwvoederproduktie worden dan ook gekenmerkt door een grote en regelmatige aanvoer van N:

- In West-Europa wordt op grasland veel kunstmest-N gebruikt, bijv. op de 1,2 miljoen ha grasland in Nederland gemiddeld ongeveer 270 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Daarnaast wordt nog een aanzienlijke hoeveelheid N in het krachtvoer aangevoerd (op Nederlandse weidebedrijven gemiddeld ruim 100 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹), waarvan een deel via de dierlijke mest ook beschikbaar komt voor bemesting van grasland en voedergewassen. Hoewel er in veel gevallen voldoende P en K in het krachtvoer wordt aangevoerd, worden nog kleine hoeveelheden P en K in kunstmest toegediend. Kalk wordt hier voornamelijk gegeven als bestanddeel van de N-meststoffen. Sommige elementen, bijv. S, worden ook door verontreinigde lucht (industrie) aangevoerd.
- In Nieuw-Zeeland en delen van Zuid-Australië wordt in de N-behoefte van grasland voorzien door leguminosen (vooral witte klaver en plaatselijk ondergrondse klaver). Deze binden in symbiose met Rhizobium-bacteriën N uit de lucht. De gebonden N komt via het weidende dier (mest en urine) en uit afstervende delen van de leguminoos, indirect voor het gras beschikbaar. Bemesting van deze mengsels van grassen en leguminosen is er vooral op gericht goede omstandigheden te scheppen voor groei van en N-binding door de leguminosen.
- Op veel plaatsen in de USA en Canada is de melkveehouderij gebaseerd op stalvoeding van (meestal geconserveerde) luzerne en maïs. Luzerne bindt daar grote hoeveelheden N. Als in een dergelijk produktiesysteem de in de gewassen geoogste nutriënten via de dierlijke mest naar het land worden teruggebracht, is voor beide gewassen slechts een relatief kleine aanvulling met kunstmest nodig.

In tegenstelling tot voorgaande produktiesystemen wordt onbemest grasland in de tropen (en in streken met gematigd klimaat) meestal gekenmerkt door een geringe beschikbaarheid van nutriënten. Het verschil blijkt vooral als men de opname van nutriënten in het geproduceerde gras vergelijkt. In Nederland produceert goed bemest grasland ongeveer 12 ton droge stof (ds) ha⁻¹ jaar⁻¹, met daarin 400-450 kg N, 50-60 kg P en ongeveer 350 kg K. Onbemest tropisch grasland produceert vaak niet meer dan enkele tonnen ds ha⁻¹ jaar⁻¹, met daarin 10-40 kg N en K en 1-4 kg P. Als gevolg van de geringe beschikbaarheid van nutriënten op tropisch grasland is de produktie van ruwvoer veel lager dan mogelijk, zelfs in zeer droge gebieden (Penning de Vries en Djitëye, 1982). Bovendien zijn de gehalten in het gegroeide ruwvoer gedurende een groot deel van het jaar lager dan voor het vee noodzakelijk is. Tropische grassen "verdunnen" namelijk de opgenomen nutriënten sterk, bijv. N tot ongeveer 0,5% in de oogstbare droge stof. Dit is veel te laag voor het vee; in het algemeen gaat men er van uit dat de grasopname door het vee sterk vermindert als het gehalte aan ruw eiwit (re) beneden 7% daalt (% re = % N x 6,25). Aangezien de meeste N beschikbaar komt in het begin van de regentijd, is er dus op onbemest tropisch grasland slechts in die periode gras van vrij goede kwaliteit. Naarmate het groeiseizoen verstrijkt, neemt de totale biomassa toe, maar de hoeveelheid goed voer (dat wil zeggen met een re-gehalte > 7%) af (Breman en De Wit, 1983). Kwantiteit en kwaliteit zijn hier dus duidelijk tegengesteld. Vaak houdt

men bij onderzoek of voorlichting gericht op graslandverbetering onvoldoende rekening met deze tegenstelling.

Hoewel bij verbetering van tropisch grasland vaak de meeste aandacht wordt besteed aan de keuze van de in te zaaien of te planten soort(en), is de vraag hoe men de beschikbaarheid van nutriënten kan verhogen veel wezenlijker voor blijvende verbetering. Gezien de invloed van N op de ruwvoederproduktie en -kwaliteit gaat het hierbij primair om N. Daarbij zullen meestal ook andere nutriënten nodig zijn (bijv. om leguminosen te stimuleren of om het effect van een verhoogd N-aanbod te verbeteren). Het voorgaande betekent dat het vervangen van de natuurlijke vegetatie door een onbemest gras, wat in veel landen nog steeds de gebruikelijke vorm van graslandverbetering is, die aanduiding niet verdient, omdat de verbetering vrijwel altijd van korte duur is (nl. een gevolg van de grondbewerking; zie verder).

Door de grote invloed van N op de produktie en voederwaarde van gras, moet dus bij het ontwikkelen van een graslandverbeteringsstrategie veel aandacht aan verbetering van de N-voorziening worden geschonken. Daarvoor is het nodig inzicht te hebben in de N-huishouding van het graslandsysteem. Men moet dus nagaan door welke processen aanvoer en afvoer van N (en eventueel andere nutriënten) plaatsvinden en hoe de beschikbaarheid van N verbeterd kan worden (door beperking van N-verliezen en/of stimulering van processen waardoor N aangevoerd wordt). N-verliezen en N-aanvoer zullen hierna kort besproken worden.

N-VERLIEZEN UIT GRASLANDSYSTEMEN

N en andere nutriënten gaan uit graslandsystemen verloren door:

1. Afvoer in dierlijke produkten. De gehalten aan nutriënten in dierlijke produkten variëren betrekkelijk weinig. In onderstaande tabel zijn de gehalten aan N, P, K en Ca in melk, levendgewicht (rund) en wol vermeld.

	Gehalte, in %			
	N	P	K	Ca
Melk	0,54	0,09	0,14	0,11
Levendgewicht	2,61	0,73	0,18	1,27
Wol (ongewassen)	11,45	0,03	4,67	0,13

De afvoer van nutriënten in dierlijke produkten is dus evenredig aan de produktie en is bij de lage produktie op veel tropische graslanden slechts gering. Men zal er naar streven deze afvoer te verhogen.

2. Afvoer in gemaaid ruwvoer. Ruwvoer kan worden gemaaid voor verkoop (bijv. luzerne en Alexandrijnse klaver in sommige landen), stalvoeding of conservering voor perioden met geringe groei. In sommige landen wordt op grasland ook biomassa geoogst voor gebruik als brandstof in huizen en industrie. Hoewel de gehalten in het afgevoerde materiaal sterk kunnen verschillen (vergelijk luzerne en uitgegroeide tropische grassen) worden in de geoogste biomassa relatief grote hoeveelheden nutriënten afgevoerd. Als die niet worden teruggebracht door bemesting, vindt sterke uitputting van de bodemvruchtbaarheid plaats. Maaien en afvoeren van biomassa wordt in Nederland toegepast voor opzettelijke verschraling van gronden (bijv. wegbermen).

3. Afvoer in dierlijke mest die elders wordt gebruikt. Van de door het vee in het voer opgenomen nutriënten wordt meer dan 80% (en vaak meer dan 90%) in mest en urine uitgescheiden. In arme streken wordt vee nog vaak gebruikt voor het "oogsten van bodemvruchtbaarheid" op natuurlijke weidegronden. Een deel van de dierlijke mest wordt verzameld (vaak door het vee 's nachts op te sluiten in een kleine ruimte) en aangewend voor bemesting van voedselgewassen. In dergelijke situaties beschouwen de boeren mest soms als het belangrijkste produkt van het vee. Daarin hebben ze gelijk (!), want het vee is door de mest indirect van belang voor de voedselvoorziening van de bevolking. In veeteeltprojecten moet men daar rekening mee houden.
4. Afbranden van de vegetatie. Hoewel vuur een belangrijk hulpmiddel kan zijn bij het beheer van vegetaties (Whiteman, 1980), moet men er rekening mee houden dat de in de verbrande biomassa aanwezige N en S in gasvormige verbindingen de lucht in gaan. Andere nutriënten blijven achter in de as en zouden gedeeltelijk door afspoeling (runoff) verloren kunnen gaan.
5. Afspoeling (runoff) en erosie. De mate waarin afspoeling optreedt hangt af van veel factoren, o.a. neerslagintensiteit, helling van het terrein, grondbedekking, grondsoort en korstvorming. Vooral bij geringe bodembedekking (open vegetatie, overbeweiding) kan afspoelend water veel materiaal (o.a. mest, afgestorven plantedelen) en daarin aanzienlijke hoeveelheden nutriënten meevoeren. Deze kunnen verloren gaan of elders op het grasland weer worden afgezet, waardoor aanzienlijke verschillen in bodemvruchtbaarheid gaan optreden. Bij erosie heeft men vastgesteld dat de nutriëntengehalten in het afgespoelde materiaal een veelvoud zijn van die in het achterblijvende materiaal. Afspoeling en erosie nemen vaak sterk toe bij afnemende bodemvruchtbaarheid (die het gevolg kan zijn van één of meer van de bovengenoemde oorzaken van nutriëntenverlies) en versnellen de degradatie van het produktiesysteem.
6. Directe verliezen van anorganische N. Deze verliezen vinden plaats door vervluchtiging van ammoniak, denitrificatie en uitspoeling van nitraat; ze zullen optreden waar anorganische N in de grond voorkomt. In extensieve graslandssystemen zal dat voornamelijk in mest- en urineplekken zijn; als met kunstmest-N wordt bemest, zal ook daar een deel van verloren kunnen gaan.

Zoals reeds vermeld werd, wordt het grootste deel van de door het vee opgenomen nutriënten in mest en urine uitgescheiden. Het vee concentreert deze nutriënten op een zeer klein deel van de totale beweide oppervlakte. Per dag wordt door rundvee 11-12 maal gemest en 8-11 maal geürineerd; een mestflat bedekt ongeveer 0,09 m² en een urineplek 0,3-0,4 m² (Watkin en Clements, 1978). Per weidedag wordt dus bijna 5 m² met mest en urine bedekt. Binnen percelen kan bovendien nogal wat concentratie van nutriënten plaatsvinden doordat het vee veel op bepaalde plaatsen verblijft ("stock camps", schaduw, drinkplekken e.d.). Doordat op mest- en urineplekken veel meer N komt dan de vegetatie in korte tijd op kan nemen, zal daaruit N verloren gaan:

- Vervluchtiging van ammoniak zal vooral optreden in urineplekken. N wordt in urine voornamelijk als ureum uitgescheiden, dat doorgaans zeer snel hydrolyseert tot ammoniumcarbonaat, dat uiteen valt in NH₄OH en H₂CO₃. Doordat de hydrolyse van ureum gepaard gaat met een sterke stijging van de pH en een hoge pH (> 7,0) de vervluchtiging van ammoniak stimuleert, kan een belangrijk deel van de urine-N door vervluchtiging verloren gaan. Vallis et al. (1982) vonden in Zuid-Queensland N-verliezen door vervluchtiging van 14,4-28,5% (hoogste waarden in de zomer) gedurende de eerste veertien dagen na toediening van urine. In Nieuw-

Zeeland vond Ball (1985) dat in een warme droge periode 66% van de urine-N door vervluchtiging van ammoniak verloren ging. Het lijkt niet goed mogelijk ammoniakvervluchtiging uit urineplekken van weidend vee te beperken.

Bij (tijdelijk) opstallen of insluiten van het vee kan veel N verloren gaan door vervluchtiging van ammoniak uit mest en urine. Deze verliezen vinden reeds gedeeltelijk in de stal of kraal plaats en verder uit de opgeslagen mest en gier en na uitbrengen van mest of gier op het land. Uit oppervlakkig uitgebrachte drijfmest (tijdens een koude periode in de lente) in Nederland, was na 7 uur ongeveer 25% van de anorganische N vervluchtigd, na drie dagen 70% en na één week 85% (CABO, ongepubliceerde gegevens). Bij hoge temperatuur zal dit waarschijnlijk nog sneller gaan. Ammoniakvervluchtiging uit stalmest en gier kan worden beperkt door de mest bij bewaring netjes te stapelen, de gier in een kelder (met weinig ventilatie) op te vangen en mest en gier na uitbrengen direct onder te ploegen of in te regenen.

Als men kunstmest-N wil gebruiken, is het aan te bevelen bij de keuze van de kunstmestsoort rekening te houden met de kans op verliezen door ammoniakvervluchtiging. Op zure gronden vindt alleen (enige) ammoniakvervluchtiging plaats bij gebruik van ureum. Op alkalische gronden kan de ammoniakvervluchtiging groot zijn bij gebruik van ammoniumsulfaat, ureum en diammoniumfosfaat (18-46-0); bij gebruik van ammoniumnitraat zullen de verliezen veel kleiner zijn (voor verklaring zie Terman, 1979).

- Denitrificatie is de biologische reductie van nitraat (en nitriet) tot gasvormige N-verbindingen (N_2O en N_2) die naar de lucht verdwijnen. Hiervoor zijn nodig: facultatief anaërobe bacteriën, goed afbreekbare organische stof, nitraat en (tijdelijk) gebrek aan vrije zuurstof. Denitrificatie zou ook op kunnen treden in mest- en urineplekken, waar doorgaans na verloop van tijd de (uit hydrolyse van ureum en mineralisatie van organische N) ontstane ammonium wordt omgezet in nitraat (deze omzetting wordt nitrificatie genoemd). Denitrificatie is moeilijk in het veld te meten en er zijn geen gegevens bekend over de grootte van denitrificatie in tropisch grasland. Waarschijnlijk zullen de N-verliezen door denitrificatie daar slechts belangrijk zijn in graslandssystemen met aanzienlijke aanvoer van N.

- Uitspoeling vindt plaats als de neerslag de verdamping zover overtreft dat er water uit de bewortelde grondlaag buiten bereik van de wortels zakt en daarin N-verbindingen (dus voornamelijk nitraat) worden meegevoerd. Bij lage N-voorziening zal enige uitspoeling van N uit mest- en urineplekken plaats kunnen vinden. Kunstmest-N kan in natte perioden direct uitspoelen en zal onder dergelijke omstandigheden bij voorkeur slechts in kleine hoeveelheden tegelijk worden gegeven.

N-AANVOER IN GRASLANDSYSTEMEN

Er zijn verschillende processen waardoor N in graslandssystemen aangevoerd kan worden:

1. Door natte en droge depositie. Penning de Vries en Djitéye (1982) schatten de hoeveelheid N die in de Sahel door natte_1 en droge depositie wordt aangevoerd op resp. 0,5 en 0,15 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ per 100 mm neerslag. Gedeeltelijk is dit N die door vervluchtiging van ammoniak en verbranding van biomassa en brandstoffen in de lucht is gekomen. De droge en natte depositie van N is dus o.a. afhankelijk van de omvang van de gasvormige N-verliezen in een gebied.

2. In aangekocht (kracht)voer en mineralenmengsels voor het vee worden N en andere nutriënten aangevoerd, die dan via mest en urine voor de vegetatie beschikbaar kunnen komen. In intensieve veehouderijsystemen kan dit belangrijk zijn, vooral voor nutriënten die niet gemakkelijk uit het systeem verloren gaan. In extensieve systemen lijkt de aanvoer van N door bijvoeding van weinig belang (vooral ook door de aanzienlijke verliezen van N uit mest en urine). Hier zou echter het gebruik van mineralensupplementen voor het vee op langere termijn de beschikbaarheid van minder labiele nutriënten wel wat kunnen verbeteren.

3. Door mineralisatie van organische N. Onder sommige omstandigheden kan door mineralisatie van organische N tijdelijk vrij veel N voor het gras beschikbaar komen. Dit ziet men vooral na kappen en branden van bos en ook na scheuren van oud grasland. De goede groei die daarna optreedt kan zeer misleidend zijn. Na kappen en branden van bos vindt een snelle afbraak plaats van de op en in de bosgrond aanwezige organische stof. Hierbij komen grote hoeveelheden N en andere nutriënten vrij (mineralisatie). In de zogenaamde bosbraaklandbouw ("shifting cultivation" of "swidden agriculture") maakt men hiervan gebruik voor de produktie van voedselgewassen (goed beschreven door Watters, 1971). In veel gebieden laat men het bos echter niet meer regenereren, maar wordt er na één of enkele voedselgewassen grasland aangelegd dat aanvankelijk ook nog profiteert van de vrijkomende nutriënten. De mineralisatie van N neemt echter snel af en bovendien gaat de vrijgekomen N, vooral ook door de invloed van het vee (N-verliezen uit mest en urine), snel verloren. Na enkele jaren bereikt het gehalte aan organische N in de grond een nieuw evenwichtsniveau; hierbij is de aanvoer van organische N uit grasresten, afgestorven wortels en mest gelijk aan de afvoer door mineralisatie. De produktie van het gras gaat dan afhangen van de aanvoer van N door andere processen en zal zonder produktieve leguminosen of N-bemesting zo laag zijn dat invasie van ongewenste soorten mogelijk wordt en vaak ook erosie op gaat treden. In het noorden van Guatemala zagen we dat op deze manier 5 tot 8 jaar na het kappen van tropisch regenwoud vaak slechts een vegetatie van onsmakelijke grassen en onkruiden en plaatselijk reeds sterk geërodeerde grond over was (Van der Meer, 1978a). N-bemesting was daar voor vleesproduktie niet rendabel en de plaatselijke landbouwkundigen waren er van overtuigd dat onderzoek met tropische leguminosen zinloos was door de geringe persistentie onder beweiding.

Ook na scheuren van oud grasland komt extra N beschikbaar door een tijdelijke toename van de mineralisatie. Als men dan een andere soort inzaait, is die vooral daardoor produktiever dan de oorspronkelijke vegetatie; na enkele jaren kan dat dan erg tegenvallen. Er wordt nogal wat "graslandverbetering" uitgevoerd die gebaseerd is op niet herkende mineralisatie-effecten in kortdurende experimenten.

Op arme gronden kan het voorkomen dat door bemesting met P en K of door bekalking de mineralisatie van organische N tijdelijk wordt verhoogd. In een bemestingsproef op natuurlijk grasland in het Hoogland van Guatemala werd door bemesting met 200 kg triplesuperfosfaat en 100 kg K-60 per ha in 1973 en 1974 de droge-stofopbrengst in 1974 verhoogd van 1574 (onbemest) tot 4035 kg ha⁻¹ en de N-opbrengst van 25 tot 103 kg ha⁻¹ (Van der Meer, ongepubliceerde gegevens). Eenzelfde effect werd in 1975 gevonden toen niet meer was bemest. Uit andere objecten bleek dat zowel P als K bijdroegen aan het effect. Een mogelijke verklaring is dat de beschikbaarheid van P en K in deze grond te laag was voor de micro-organismen die organische stof afbreken en dat bemesting met P en K de groeiomstandigheden voor deze microben verbeterde en daardoor ook de mineralisatie van N. Dergelijke effecten, die ook elders gevonden zijn (Van Keulen en Van Heemst, 1982; Campino, 1981) zullen soms ook optreden bij de startbemesting in graslandverbetering.

Hoewel er door omstandigheden of maatregelen die de mineralisatie stimuleren tijdelijk meer N beschikbaar komt, moet men zich realiseren dat dit op den duur tot uitputting van de bodem en tot degeneratie van de vegetatie kan leiden. Als zich een evenwichtssituatie instelt, waarbij de mineralisatie en vastlegging van N in organische stof gelijk zijn, is mineralisatie echter niet als proces te beschouwen dat N aanvoert.

4. Biologische N-binding door vrijlevende organismen. Van Egeraat (1977) noemt een groot aantal micro-organismen die N kunnen binden. In graslandsystemen zijn de volgende mogelijk van (enig) belang:
 - a. Blauw-groene algen. Deze komen voor aan de oppervlakte van de grond en zouden vooral in natte rijstvelden een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de N-voorziening. In de Sahel schatten Penning de Vries en Djitèye (1982) de N-binding door blauw-groene algen op 0,2 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ per 100 mm neerslag.
 - b. Vrijlevende bacteriën, o.a. Azotobacters, die afstervende plantresten als substraat gebruiken. De N-binding is het hoogst bij aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof en een geringe N-voorziening. Penning de Vries en Djitèye (1982) schatten de N-binding in de Sahel door deze organismen op 0,25 kg N per ton (droge stof) planteresten.
 - c. Specifieke associaties tussen grassen en bacteriën. In de literatuur wordt melding gemaakt van associaties tussen grassen en bacteriën die aanzienlijke hoeveelheden N zouden binden. De bacteriën komen in grote aantallen voor in de rizosfeer en op het worteloppervlak van bepaalde grassen en leven op C-substraat dat door de wortels wordt uitgescheiden. De associaties tussen Paspalum notatum en Azotobacter paspali en Digitaria decumbens en Azospirillum brasilense (syn. Spirillum lipoferum) hebben de meeste aandacht getrokken, waarschijnlijk door de gerapporteerde hoge N-bindingen: resp. 93 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ en 0,076 tot 0,186 kg N ha⁻¹ dag⁻¹ (zie Weier, 1980). Voor een Cynodon-hybride werd uit Nigeria een N-binding van 1 kg N ha⁻¹ week⁻¹ gemeld (Odu et al., 1981). Er bestaat echter nogal wat twijfel over de juistheid van deze gegevens. Volgens Henzell (1980) melden weinig publikaties hoge N-bindingen en zijn er veel meldingen van betrekkelijk geringe N-bindingen. Op zich is het merkwaardig dat op plaatsen waar men hoge N-bindingen vond, deze waarnemingen niet beter zijn onderbouwd. Als sommige grassen in associatie met bacteriën de gerapporteerde hoge N-bindingen mogelijk maken (en andere niet), moet dat namelijk in een vergelijkende veld- of potproef op arme grond duidelijk blijken uit de N-opbrengst in het gras. Gezien de sterk uiteenlopende informatie over dit onderwerp en het belang van N-binding in tropisch grasland, is het dringend nodig deze vorm van N-binding beter te onderzoeken.
5. Biologische N-binding door de symbiose tussen leguminosen en Rhizobium-bacteriën. Leguminosen kunnen in symbiose met Rhizobium-bacteriën grote hoeveelheden N binden. Voor graslandsystemen waar kunstmest-N te duur is of om andere redenen niet bruikbaar is, is stimulering van natuurlijke leguminosen of introductie van exotische in feite de enige mogelijkheid om een aanzienlijke verbetering van de produktie tot stand te brengen. Ondanks vele negatieve ervaringen met tropische leguminosen dient men daar rekening mee te houden. Er is dan ook veel vindingrijkheid nodig om onder verschillende omstandigheden te kunnen profiteren van de goede eigenschappen van leguminosen.

Uit het feit dat er geen of slechts zeer kleine opbrengstverschillen zijn gevonden tussen al dan niet met N bemeste luzerne, kan men concluderen dat de produktie van een goed genoduleerd gewas luzerne niet door N-gebrek wordt beperkt en dat dus de symbiotische N-binding het

gewas optimaal van N voorziet (Van der Meer, 1984). De indruk bestaat dat dit ook geldt voor rode en witte klaver. Mede hierdoor is het N- of ruweiwitgehalte in deze leguminosen hoog, ook in een wat ouder stadium. Luzerne en rode klaver hebben bij het optimale oogststadium vrijwel altijd een N-gehalte van 3 tot 3,5% in de droge stof; in witte klaver is dat meestal ruim 4%. Hoewel er in het algemeen minder informatie is over tropische leguminosen, lijkt het wel aannemelijk dat ook die bij goede nodulering zoveel N binden dat de groei niet door N-gebrek wordt beperkt. Uit de door Skerman (1977) gegeven chemische samenstelling van een groot aantal tropische leguminosen blijkt dat N-gehalten in de droge stof van 3 tot 4% vaak voorkomen. Bij veroudering daalt het N-gehalte slechts langzaam; dit in tegenstelling tot grassen die doorgaans bij veroudering een sterke daling van het N-gehalte te zien geven (zie figuur 4.1 van Whiteman, 1980).

De hoeveelheid N die door een leguminoos gebonden wordt, kan sterk verschillen. In het algemeen kan gesteld worden dat de totale hoeveelheid N in de door de leguminoos geproduceerde droge stof (geogoste produkt + niet geogoste plantedelen) ongeveer de bovengrens aangeeft van de symbiotische N-binding (Van der Meer, 1984). De werkelijke N-binding zal echter lager zijn, doordat de plant een deel van de in de grond aanwezige anorganische N (uit gemineraliseerde organische stof, mest, urine, kunstmest) opneemt ten koste van de N-binding. Volgens Humphreys (1978) en Whiteman (1980) kunnen tropische leguminosen evenveel N binden als luzerne en klavers. De waarden die ze vermelden zijn wel hoog, maar bevestigen deze bewering toch niet helemaal.

De N die leguminosen binden, komt indirect (dus uit afstervende plantedelen en uit mest en urine van het vee) voor andere planten beschikbaar. Dit kunnen grassen en kruiden zijn die deel uitmaken van de graslandvegetatie, maar ook gewassen die elders of in rotatie met de leguminosen worden verbouwd en een deel van de dierlijke mest krijgen of profiteren van de nalevering van in de bodem geaccumuleerde N. Men kan de hoogste N-binding verwachten als de gebonden N van het perceel wordt afgevoerd, dus bijv. bij maaien en stalvoeding. De afgevoerde andere nutriënten (P, K etc.) dient men dan echter wel door kunstmest aan te vullen.

Bij bemesting van leguminosen en mengsels van leguminosen en grassen zal men in het algemeen trachten zo gunstig mogelijk condities te scheppen voor de leguminoos en de Rhizobium-bacteriën. Zo kan men trachten door bemesting het aandeel van leguminosen in natuurlijk grasland te verhogen. In een bemestingsproef op natuurlijk grasland in Zuid-China bleek bijv. bemesting met superfosfaat (P, S en Ca) een sterke uitbreiding van de leguminosen Alysicarpus vaginalis en Lespedeza striata te geven, vooral op die delen van de veldjes waar door een tussentijdse oogst in het begin van het groeiseizoen de concurrentie door de grassen was verminderd (Nederlandse Graslandwerkgroep China, ongepubliceerde gegevens). Op arme gronden zal bij graslandverbetering vaak een zware zogenaamde startbemesting ("fertilizer requirements for establishment") nodig zijn om voldoende gunstige omstandigheden voor de leguminosen en andere gewenste soorten te scheppen. Daarnaast onderscheidt men de onderhoudsbemesting ("fertilizer requirements for maintenance") die tot doel heeft de produktie van het verbeterde grasland op peil te houden door de verloren gegane nutriënten aan te vullen. Voor beantwoording van de vragen welke nutriënten men moet toedienen en hoeveel van elk, is een combinatie van grondonderzoek en bemestingsproeven nodig waarbij men vaak ook gebruik tracht te maken van gewasanalyses (kritische gehalten). Goede informatie over de methoden van onderzoek is gegeven door Andrew en Fergus (1976) en in het algemeen over bodemvruchtbaarheid en bemesting van leguminosen in de tropen en sub-tropen door Andrew en Kamprath (1978).

Uiteraard is de rentabiliteit het belangrijkste criterium bij het vaststellen van de hoogte van de kunstmestgift, met andere woorden de bemesting moet leiden tot toename van de dierlijke produktie en (meer dan) betaald worden uit de extra inkomsten die daaruit voortkomen. Het verband tussen de hoeveelheid van een voedingsstof en de gewasopbrengst (en bij goed management de dierlijke produktie) is een zogenaamde verzadigings- of Mitscherlich-curve. Dit betekent dat naarmate meer van de voedingsstof wordt gegeven (voor het gewas beschikbaar komt) het effect per extra kg op de opbrengst kleiner wordt (afnemende meeropbrengst). Hierbij is er een economisch marginale gift, dat is de gift waarbij de waarde van de opbrengsttoename die door één extra kg van de voedingsstof wordt verkregen, gelijk is aan de kosten van die extra kg. Bij de economisch marginale gift is de winst het hoogst. Het is echter zeer moeilijk vast te stellen welke kunstmestgift economisch marginaal is. Daar het gaat om dierlijke produktie moet het effect van de bemesting worden vastgesteld in een bedrijfssituatie en dat is moeilijk en duur onderzoek. Men dient hierbij ook rekening te houden met het specifieke gedrag van de voedingsstof in het produktiesysteem. N gaat bijv. relatief snel uit het produktiesysteem verloren; P veel langzamer, hoewel er door de chemische fixatie in de grond nog vrij weinig inzicht lijkt te bestaan in de nawerking van P op verschillende gronden. Bovendien kan de werking van een voedingsstof op een mengsel zeer complex zijn. Op P-arme gronden kan bemesting met P de leguminosen en de N-binding sterk stimuleren waardoor soms veel meer N beschikbaar komt. Whiteman (1980) geeft daar enkele voorbeelden van (pag. 224 en 225). Als zich een dergelijke situatie voordoet, zal bemesting doorgaans wel rendabel zijn.

Voor bemesting van leguminosen en mengsels van leguminosen en grassen in de tropen en sub-tropen is P ongetwijfeld het belangrijkste element. De meeste P-meststoffen zijn voor 80 tot 100% in water oplosbaar (Aldrich *et al.*, 1975; dit boek bevat een zeer duidelijke beschrijving van meststoffen en algemene principes van bemesting). In de grond worden de in water oplosbare fosfaten echter snel omgezet in minder oplosbare of onoplosbare Al-, Fe- en Mn-fosfaten (op zure gronden) en Ca-fosfaten op neutrale en alkalische gronden. De hoeveelheid beschikbare P neemt dus na bemesting snel af en die afname gaat enkele jaren door. Daarbij is er echter wel een (verschuivend) evenwicht tussen de chemisch gefixeerde (niet beschikbare) P en de in het bodemvocht opgeloste (beschikbare) P. Bij bemesting gaat het er om een bepaalde P-concentratie in het bodemvocht tot stand te brengen en te handhaven. Op de ene grond kunnen hier veel hogere P-giften voor nodig zijn dan op de andere (o.a. door verschillen in vermogen tot P-fixatie). Daarnaast verschillen plantesoorten sterk in vermogen om P op te nemen; daardoor heeft de ene soort een hoger P-gehalte in het bodemvocht nodig dan de andere. In het boek van Andrew en Kamprath (1978) staan verschillende bijdragen over genoemde aspecten van de P-bemesting. Gesimplificeerd wordt de startbemesting met P wel voorgesteld als een kapitaal op de bank dat jaarlijks rente oplevert (Aldrich *et al.*, 1975; Anon., 1975). Het kapitaal moet echter wel steeds aangevuld worden (onderhoudsbemesting) om de gevolgen van inflatie op te vangen.

Behalve de P-bemesting is de zuurgraad (pH) van de grond vaak van belang voor leguminosen en hun specifieke Rhizobium-bacteriën. De zuurgraad van de grond oefent vooral indirect invloed uit door de beschikbaarheid van elementen in de grond te veranderen. Naarmate een grond zuurder wordt, neemt de beschikbaarheid van Al en Mn toe, waarbij op veel gronden toxische niveaus ontstaan; tegelijkertijd neemt de beschikbaarheid van Ca, Mg, P en Mo af. Leguminosen verschillen sterk in gevoeligheid voor de gevolgen van een hoge zuurgraad (lage pH). In het algemeen zijn de tropische leguminosen minder gevoelig dan die uit gematigd

klimaat; ook tussen de bekende tropische soorten zijn er echter in dit opzicht grote verschillen (Skerman, 1977; Andrew en Kamprath, 1978). De nadelige gevolgen van te zure grond kan men dus beperken door een weinig gevoelige soort te kiezen of door die gevolgen direct (door bemesting met een element dat door de lage pH onvoldoende beschikbaar is) of indirect (door bekalken of prillen van het zaad met kalk; zie Van der Meer, 1984) op te heffen.

De toegenomen kennis over bodemvruchtbaarheid en bemesting van leguminosen in de tropen zal nog op weinig plaatsen hebben geleid tot een goed bemestingsadvies voor graslandverbetering. Vaak ontbreken tijd en middelen om goed onderzoek te doen en zal men slechts wat oriënterende bemestingsproeven kunnen doen. Hierbij zal men in eerste instantie zoveel mogelijk gebruik maken van ter plaatse reeds aanwezige kennis over de bodemvruchtbaarheid. Tevens kan observatie van de natuurlijke vegetatie (en in een later stadium vegetatiekartering) vaak nuttige aanwijzingen opleveren. Als er al verbeterd grasland is, kunnen groeiverschillen (van leguminosen) tussen mest- of urineplekken en de rest van het perceel een indruk geven over eventuele nutriëntentekorten. In het algemeen zal het nuttig zijn boeren te stimuleren om in beperkte mate te experimenteren met bemesting. Toen in 1975 in Australië superfosfaat plotseling veel duurder werd en veel boeren zich afvroegen of onderhoudsbemesting van het grasland (gras met witte of ondergrondse klaver) wel noodzakelijk was, adviseerde men op dat grasland slechts proefstroken te bemesten (Anon., 1975). Op grond van de resultaten daarvan, kon men dan besluiten of bemesting van het gehele perceel zinvol was. Deze methode kan men ook toepassen op natuurlijk grasland waarin leguminosen voorkomen (Van der Meer, 1978b).

Doordat in veel veehouderijsystemen kunstmest relatief duur is, is het van groot belang de extra ruwvoederproductie en -kwaliteit als gevolg van bemesting zo goed mogelijk te benutten voor produktieverhoging van de veestapel. Hierbij kan men denken aan verhoging van de produktie per dier en/of uitbreiding van de veestapel. Vanwege de kosten zal men vaak slechts een deel van het grasland op een bedrijf verbeteren. Door de Hill Farming Research Organisation in Schotland is veel goed onderzoek gedaan over de vraag hoe men op een extensief schapenbedrijf een kleine oppervlakte verbeterd grasland (ongeveer 15% van het bedrijf) zo goed mogelijk kan benutten voor verhoging van de dierlijke produktie (concept beschreven door Eadie, 1970; resultaten van veel gerelateerd onderzoek in de HFRO-Reports die elke 3 of 4 jaar verschijnen). Het verbeterd grasland wordt hier gebruikt om de voeding van de schapen te verbeteren in perioden van de produktiecyclus waarin de behoefte aan goed voer groot is (groeïende dieren, laatste weken voordat de lammeren geboren worden, tijdens de lactatie, "flushing" van ooien voor de dekkingsperiode). Hierdoor wordt een sterke stijging van de produktie per ooi verkregen. Dit concept van strategisch gebruik van verbeterd grasland zou ook elders meer aandacht moeten krijgen.

Voor de rentabiliteit van graslandverbetering in de tropen door introductie van leguminosen en bemesting zal in veel gevallen de geringe persistentie van de leguminosen onder beweiding nog een "bottleneck" zijn. Ondanks vooruitgang op dit gebied blijft er in de tropen grote behoefte aan ontwikkeling van stabiele op leguminosen gebaseerde graslandssystemen.

6. Bemesting met kunstmest-N. De manier waarop men op veel plaatsen in de tropen in maaiproeven grassen vergelijkt en het effect van kunstmest-N op de grasproduktie onderzoekt, veroorzaakt waarschijnlijk zowel een onderschatting van de N-behoefte als een overschatting van het effect van N op de opbrengst. Vaak zijn zulke proeven namelijk van korte duur en worden ze aangelegd op gronden waar door verhoogde mineralisatie van

N tijdelijk meer N beschikbaar komt dan op langere termijn het geval zou zijn. Bovendien worden tropische grassen in maaiproeven vrijwel altijd in een veel te oud stadium gemaaid. De droge-stofopbrengst is dan wel hoog, maar door de geringe voederwaarde van het geoogste materiaal heeft dergelijk onderzoek weinig praktische betekenis.

Toegediende N veroorzaakt een zeer snelle verbetering van de grasgroei. Bij goede groeiomstandigheden zal er twee tot drie weken na een kunstmestgift van 60 kg N ha^{-1} geen anorganische N meer in de grond over zijn. Een deel van de gegeven N kan verloren zijn gegaan door vervluchtiging van ammoniak, afspoeling van N, denitrificatie en uitspoeling van nitraat; een ander deel kan door micro-organismen worden geïmmobiliseerd. De rest wordt door het gewas opgenomen met een snelheid die wel $5 \text{ à } 6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ kan bedragen. Voor het effect van kunstmest-N op de gewasopbrengst zijn drie aspecten van belang:

- Het deel van de gegeven N dat door het gewas wordt opgenomen. Dit wordt in het algemeen aangeduid als het N-rendement ("apparent recovery of N"); dat is het verschil in N-opbrengst (in het gras) tussen een bemest en een onbemest perceel, uitgedrukt als percentage van de N-gift. Simpson en Stobbs (1981) melden dat het N-rendement in tropisch grasland vaak 50 tot 60% is; Vicente-Chandler (1974) vermeldt waarden tussen 40 en 60%. In afzonderlijke proeven komen echter zeer grote verschillen voor; op natuurlijk grasland met bijv. *Hyparrhenia*-soorten vindt men soms zeer lage N-rendementen (men zegt wel dat deze soorten aan de arme omstandigheden aangepast zijn en weinig op N reageren; als dat waar is, is het echter merkwaardig dat geen nader onderzoek is gedaan naar een dergelijk belangrijke soorteigenschap). Lage N-rendementen worden vooral verkregen onder natte (waarschijnlijk door aanzienlijke N-verliezen door denitrificatie en uitspoeling) en zeer droge omstandigheden (droogte beperkt gewasgroei en N-opname en de gegeven anorganische N accumuleert in de bodem) en bij gebruik van ureum of ammoniummeststoffen op alkalische gronden (N-verliezen door vervluchtiging van ammoniak).
- Het verband tussen de N-opname door het gewas (dat is hier de N-opbrengst in de geoogste delen van het gewas) en de droge-stofopbrengst, of met andere woorden de droge-stofopbrengst per kg opgenomen N. Deze relatie wordt zeer sterk door de lengte van het groeiseizoen en door de oogstfrequentie beïnvloed. Naarmate het groeiseizoen langer is, zal een bepaalde hoeveelheid opgenomen N sterker uitverdund kunnen worden. Hetzelfde geldt bij een geringere oogstfrequentie doordat de droge-stofopbrengst van tropische grassen zeer sterk stijgt naarmate ze minder vaak geoogst worden, terwijl de N-opbrengst hierdoor weinig beïnvloed wordt. Het verband tussen N-opname door het gewas en de droge-stofopbrengst is enigszins kromlijdig, maar vlakt boven een bepaalde N-opname sterk af doordat andere produktiefactoren beperkend worden.

N.B. De reciproke van droge-stofopbrengst per kg opgenomen N is het N-gehalte in de droge stof.

- De kwaliteit van de geproduceerde droge stof. Het gaat hierbij vooral om de gehalten aan verteerbaar eiwit en verteerbare organische stof. Naast smakelijkheid zijn dit de belangrijkste aspecten die de voederwaarde van ruwvoerders en de mogelijke dierlijke produktie bepalen (gehalten aan mineralen zijn ook belangrijk, maar kunnen binnen zekere grenzen nog wel door verstreking van mineralenmengsels aan het vee gecorrigeerd worden). Er is merkwaardig weinig aandacht besteed aan de invloed van N en maai-frequentie op het gehalte aan verteerbare organische stof in de droge stof van tropische grassen. Er is dus vrijwel geen informatie om de eerder genoemde tegenstelling tussen kwantiteit en kwaliteit te optimaliseren.

Door bemesting met N wordt de grasgroei versneld. Dat betekent dat minder tijd nodig is voor het behalen van een bepaalde opbrengst en dat die opbrengst wordt behaald met een hoger N-gehalte. Dit kan worden geïllustreerd voor een droge-stofopbrengst van 2000 kg ha^{-1} . Stel dat zonder bemesting de N-opbrengst in het geoogste gras 30 kg N ha^{-1} is (1% N in de droge stof). Bij een N-gift van 60 kg ha^{-1} en een N-rendement van 50% is de N-opbrengst 50 kg ha^{-1} (2,5% N in de droge stof). Behalve een goed eiwitgehalte zal dit jongere en bladrijkere gras ook een hoger gehalte aan verteerbare organische stof hebben. Als bij een gelijke opbrengst wordt geoogst, is het effect van N-bemesting dus een hogere voederwaarde en een toename van de opbrengst door meer oogsten per jaar.

Als met N bemeste tropische grassen jong worden geoogst, zal de gemiddelde groeisnelheid niet veel verschillen van die van met N bemest Nederlands grasland. In proeven met N-bemesting op beweid grasland (*Digitaria decumbens* of *Brachiaria decumbens*), die in het begin van de jaren zeventig in Midden-Amerika werden uitgevoerd, bleek het ook meestal wel drie tot vier weken te duren voor er een "weidesnede" gegroeid was. Er is weinig bekend over de geschiktheid van verschillende tropische grassen voor intensief management (N-bemesting, intensieve beweiding) en over het meest geschikte beweidingssysteem dat daarbij op de verschillende soorten toegepast moet worden. Er wordt wel vermeld dat bij gebruik van kunstmest-N zodevormende grassen het meest geschikt zijn en men noemt dan vooral *Digitaria decumbens*, *Brachiaria decumbens* en voor wat hogere gebieden *Pennisetum clandestinum*. In onderzoek in Puerto Rico bleken *Cynodon nlemfuensis* of *C. plectostachyus* ("stargrass"), *Pennisetum purpureum* en *Panicum maximum* echter bij verschillende N-giften wat hogere vleesproducties te geven dan *Digitaria decumbens* (Vicente-Chandler, 1974). Voor een goed overzicht van mogelijke melk- en vleesproducties op met N bemest tropisch grasland kan naar Dirven (1977) verwezen worden.

Kunstmest-N zal op veel plaatsen in de tropen te duur zijn als het gras voor vleesproductie wordt benut. Uit een analyse van Simpson en Stobbs (1981) van de resultaten van een aantal proeven in de tropen over vleesproductie bij verschillende N-giften (beweiding met ossen of ander jongvee), blijkt dat er tot jaarlijkse giften van 500 kg N ha^{-1} een vrijwel lineair verband was tussen N-gift en produktie van levendgewicht en dat er gemiddeld $1,5 \text{ kg levendgewicht per kg N}$ werd geproduceerd. In het onderzoek in Puerto Rico was dat gemiddeld bijna $1,8 \text{ kg levendgewicht per kg N}$ (Dirven, 1977). Er is geen onderzoek bekend over de invloed van de N-gift op de melkproduktie. Bij melkproduktie zijn de prijsverhoudingen op veel plaatsen echter gunstiger voor gebruik van kunstmest-N.

In het algemeen is het van belang er rekening mee te houden dat met N bemeste tropische grassen produktiever zijn dan mengsels van grassen en leguminosen of leguminosen in monocultuur. Bij goede prijzen van melk en vlees en relatief duur (schaars) land kan het dus aantrekkelijk zijn de veehouderij geheel of gedeeltelijk op met N bemeste grassen te baseren. Voorts benutten met N bemeste grassen water aanzienlijk beter dan leguminosen. Vooral als irrigatiewater schaars en/of duur is wordt gebruik van grassen daarom wel aanbevolen. Ten slotte wordt vaak kunstmest-N gebruikt op grassen die voor een speciaal doel worden verbouwd bijv. voedergewassen voor stalvoeding of conservering en raaigrassen of haver in een koele periode van het jaar als tropisch grasland weinig produceert. Bij de keuze van voedergewassen is het van belang er rekening mee te houden dat soorten met een opslagorgaan voor koolhydraten een hoog gehalte aan verteerbare organische stof kunnen hebben (zelfs bij hoge opbrengsten) en veel verteerbare organische stof per kg N produceren.

Voor een goede benutting van N is ook een goede voorziening met andere nutriënten nodig. Ook op met N bemest gras onderscheidt men voor andere nutriënten een startbemesting (om de beschikbaarheid van nutriënten in korte tijd op voldoende niveau te brengen) en een onderhoudsbemesting (om verliezen aan te vullen). Tevens is het van groot belang de pH van de grond op peil te houden. Ureum en ammoniummeststoffen werken nl. door de nitrificatie (bacteriële omzetting in de grond van ammonium in nitraat:

$\text{NH}_4^+ + 1\frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+$) sterk verzurend. Hierdoor kan bij zware N-bemesting de grond in een aantal jaren zo sterk verzuren, dat de produktiviteit ernstig geschaad wordt. Herstel door bekalking is dan niet eenvoudig doordat de kalk slechts langzaam in de grond doordringt. Om verzuring tegen te gaan wordt in Nederland op grasland de meeste N als kalkammonsalpeter gegeven. Hierin is voldoende kalk aanwezig om de verzurende werking van de ammonium-N te neutraliseren. Ook door biologische N-binding en de ammonium-N uit mest, urine en mineraliserende organische N vindt enige verzuring plaats. Periodiek grondonderzoek is nodig om vast te stellen of bekalkt moet worden.

Door N-bemesting kan de verdeling van de grasproduktie over het jaar ongunstig beïnvloed worden. In een moessonklimaat bijv. stijgt door N-bemesting de grasproduktie in de regentijd en men zal meer vee moeten houden om de extra produktie te benutten. Dit betekent echter doorgaans dat er ook meer vee in de droge tijd aanwezig is en men zal daarvoor ook voorzieningen moeten treffen. Ook in de humide tropen zal de produktie niet constant zijn doordat daar vaak toch een wat koelere en/of drogere periode is. Uit gegevens van Vicente-Chandler (1974) blijkt dat in Puerto Rico de produktie van verschillende met N bemeste grassen in de maanden november tot februari slechts ongeveer 1000 kg ds ha⁻¹ maand⁻¹ is en in de maanden mei tot september 1500 tot 3000 kg ds ha⁻¹ maand⁻¹. In proeven past men dan het "put and take"-systeem toe, maar er is bijzonder weinig informatie over hoe men in de praktijk dergelijke produktieverschillen op kan vangen. Hierbij zou men kunnen denken aan aanpassing van de verdeling van de N-gift over het seizoen (de meeste N in de minst groeizame periode), aan maaien en conserveren en aan integratie van met N bemest grasland en andere bronnen van ruwvoer (bijv. mengsels van grassen en leguminosen, natuurlijk grasland, voedergewassen) en krachtvoer. Het bovenstaande geeft wel aan dat goed management van met N bemest tropisch grasland moeilijk is. Daarom is het aan te bevelen N-bemesting voorzichtig en geleidelijk in te voeren en er naar te streven het bemeste gras steeds in jong stadium te benutten.

LITERATUUR

- Aldrich, S.R., W.O. Scott and E.R. Leng, 1975. Modern corn production, second edition. A. & L. Publications, Champaign, Illinois, 378 pp.
- Andrew, C.S. and I.F. Fergus, 1976. Plant nutrition and soil fertility. In: Shaw, N.H. and W.W. Bryan (eds.) Tropical pasture research, principles and methods. Bulletin 51, pp. 101-133, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, U.K.
- Andrew, C.S. and E.J. Kamprath (eds.), 1978. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. CSIRO, Melbourne, 415 pp.
- Anon., 1975. Is topdressing worth the effort? Rural Research in CSIRO, 87, 22-28.
- Ball, P.R., 1985. Effects of grazing ruminants on the nitrogen economy of pastures. Fertilizer Research (in preparation).
- Breman, H. and C.T. de Wit, 1983. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. Science, 221, 1341-1347.
- Campino, I., 1981. Effects of phosphate and potash on mineralization of meadow soil. Summaries of Papers, XIV International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, p. 142.
- Dirven, J.G.P., 1977. Beef and milk production from cultivated tropical pastures, a comparison with temperate pastures. Stikstof (English edition), 20, 2-14.
- Eadie, J., 1970. Hill sheep production systems development. Fifth Report 1967-1970, pp. 70-87. Hill Farming Research Organisation, Penicuik, Scotland.
- Egeraat, A.W.S.M., 1977. Biologische stikstofbinding. Landbouwkundig Tijdschrift, 89, 416-423.
- Henzell, E.F., 1980. Concluding remarks and priorities for future research. Proceedings Second Australian Conference on Tropical Pastures. Tropical Grasslands, 14, 296-301.
- Humphreys, L.R., 1978. Tropical pastures and fodder crops. Intermediate Tropical Agriculture Series, Longman Group Ltd., Londen, 135 pp.
- Keulen, H. van and H.D.J. van Heemst, 1982. Crop response to the supply of macronutrients. Agricultural Research Reports 916, PUDOC, Wageningen, 46 pp.
- Meer, H.G. van der, 1978a. Pasturas y ganadería en la zona norte de Guatemala: posibilidades y limitaciones para su desarrollo. Informe Técnico 1, Proyecto GUA/76/010, DIGESA/FAO/PNUD, 47 pp. (verkrijgbaar bij auteur, CABO, Postbus 14, 6700 AA Wageningen).
- Meer, H.G. van der, 1978b. Mejora de pasturas en el programa lechero en Coban y zonas similares. Informe Técnico 2, Proyecto GUA/76/010, DIGESA/FAO/PNUD, 35 pp. (verkrijgbaar bij auteur, CABO, Postbus 14, 6700 AA Wageningen).

- Meer, H.G. van der, 1984. Teelt en opbrengst van luzerne en rode klaver. Gebundelde Verslagen Nr. 25, pp. 1-33. Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw, Wageningen (verkrijgbaar als CABO-verslag nr. 59, CABO, Wageningen).
- Odu, C.T.I., M.G. Solomon and H.R. Chheda, 1981. Microbial associations and nitrogen fixation in the rhizosphere of some tropical grasses. Summaries of Papers, XIV International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, p. 144.
- Penning de Vries, F.W.T. et M.A. Djitèye (éditeurs), 1982. La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. PUDOC, Wageningen, 525 pp.
- Simpson, J.R. and T.H. Stobbs, 1981. Nitrogen supply and animal production from pastures. In: Morley, F.H.W. (ed.). Grazing animals. World Animal Science, Bl, pp. 261-287. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Skerman, P.J., 1977. Tropical forage legumes. FAO Plant Production and Protection Series No. 2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 609 pp.
- Terman, G.L., 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. Advances in Agronomy, 31, 189-223.
- Vallis, I., L.A. Harper, V.R. Catchpoole and K.L. Weier, 1982. Volatilization of ammonia from urine patches in a subtropical pasture. Australian Journal of Agricultural Research, 33, 97-107.
- Vicente-Chandler, J., 1974. Fertilization of humid tropical grasslands. In: Mays, D.A. (ed.). Forage fertilization. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 277-300.
- Watkin, B.R. and R.J. Clements, 1978. The effects of grazing animals on pastures. In: Wilson, J.R. (ed.). Plant relations in pastures, pp. 273-289. CSIRO, Melbourne.
- Watters, R.F., 1971. Shifting cultivation in Latin America. FAO Forestry Development Paper No. 17. FAO, Rome, 305 pp.
- Weier, K.L., 1980. Nitrogen fixation associated with grasses. Proceedings Second Australian Conference on Tropical Pastures. Tropical Grasslands, 14, 194-201.
- Whiteman, P.C., 1980. Tropical pasture science. Oxford University Press, Oxford, 392 pp.