

NOTA 982 (gewijzigd)

februari 1978

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

EEN BENADERING VOOR DE STIKSTOFEMISSION UIT HET GRASLANDBEDRIJF

P.E. Rijtema

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn, omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

INHOUD

	blz.
1. INLEIDING	1
2. DE STIKSTOFBALANS PER GROOT VEE-EENHEID	2
3. ADDITIONELE STIKSTOFAANVOER	3
4. STIKSTOFBEHOEFTE EN BRUTO DROGESTOF- PRODUKTIE VAN GRASLAND	4
4.1. Oogstverliezen	8
4.2. Stikstofvastlegging in de wortels	8
4.3. Humificatie en mineralisatie	9
5. VERLIEZEN AAN STIKSTOF	13
5.1. Denitrificatie	13
5.2. Uitspoeling van stikstof	15
6. MODELMATIGE BENADERING VAN DE STIKSTOF- BALANS VOOR HET RUNDVEEHOUDERIJBEDRIJF	19
6.1. Gestandaardiseerde berekeningen voor de stik- stofhuishouding	22
6.2. Invloed van bedrijfsintensivering en cultuur- technische maatregelen op de additionele stikstof-behoefte en de humusopbouw	23
6.3. De invloed van het klimaat op de stikstofbalans	31
6.5. Beheersovereenkomsten en stikstofuitspoeling	33
6.5.1. Het goede weidebedrijf uit de jaren 1920-1940	33
6.5.2. Het weidebedrijf met beperkingen	34
7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	36
8. LITERATUUR	37

ALTERRA
Wageningen University & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

Ten behoeve van de discussie over de milieu-effecten van de landbouw, met name ten aanzien van de stikstofemissie, is een objectieve kwantitatieve benadering van deze emissie noodzakelijk. Voor de graslandbedrijven is op basis van de thans beschikbare gegevens een modelmatige benadering van de stikstofhuishouding binnen dit bedrijfstype opgesteld. Met behulp van dit model kan een eerste kwantitatieve benadering van de stikstofemissie worden gegeven.

Het model kan voorts worden gebruikt voor een benadering van de invloed van bedrijfsintensivering, zonder en met cultuurtechnische verbeteringen, op de stikstofemissie. Hierdoor kan deze benadering tevens dienen als een van de uitgangspunten voor een milieu-effect rapportage ten behoeve van cultuurtechnische werken.

Tevens kan met het model worden nagegaan welke effecten beperkende maatregelen voor de landbouw in beheersovereenkomsten hebben op de stikstofemissie.

Bij het rundveehouderijbedrijf is een grote hoeveelheid stikstof in circulatie via eigen ruwvoederwinning en bemesting met organische mest. Daarnaast wordt echter stikstof in het bedrijf geïmporteerd via de kunstmest, de biologische binding van luchtstikstof en via het van elders aangekochte krachtvoer en ruwvoer. Afvoer van stikstof vindt plaats via de melk, het vlees, de denitrificatie en de uitspoeling.

Na een bespreking van de verschillende termen in de stikstofbalans zal, met behulp van een aantal standaardgegevens, de invloed van verschillende factoren op de emissie worden gedemonstreerd,

2. DE STIKSTOFBALANS PER GROOTVEE-EENHEID

Voor de benadering van de stikstofbalans is uitgegaan van een standaard grootvee-eenheid, waarbij op het rundvee weidebedrijf in Nederland een melkkoe met bijbehorend jongvee equivalent is met 1,31 gve. Bij een melkproduktie van 4500 kg (4% vet) en een vleesproduktie van 192 kg per 1,31 gve bestaat er een zetmeelwaarde-behoefte van 3272 kg zw. Per standaard gve betekent dit een zw-behoefte van 2498 kg zw bij een melkproduktie van 3435 kg (4% vet) en een vleesproduktie van 147 kg. Van de jaarlijkse zw-behoefte is 45% gedurende de stalperiode nodig en 55% gedurende de weideperiode. Op basis van het gemiddelde stikstofgehalte en de zetmeelwaarde voor respectievelijk ruwvoer en krachtvoer kan een stikstofbalans per gve worden opgesteld. Voor de berekening van de hoeveelheid stikstof die in de rundvee drijfmest aanwezig is, is aangenomen dat 10% van de N bij uitscheiding direct vervluchtigt. Op basis hiervan kan de in tabel 1 gegeven globale stikstofbalans per gve worden opgesteld.

Tabel 1. Stikstofbalans per standaard grootvee-eenheid in kg/gve

	N-opname uit voer	Melk en vlees	Uit- scheiding	Rundvee drijf- mest
Stalperiode	59,5	9,9	49,6	44,6
Weideperiode	76,7	12,2	64,5	58,0

De stikstof in de rundvee drijfmest is gedeeltelijk in minerale vorm en gedeeltelijk in organisch gebonden vorm aanwezig. Volgens Sluijsmans en Kolenbrander, (1976) geldt voor rundvee drijfmest:

$$N_m = 0,5 N_t, N_e = 0,25 N_t \text{ en } N_r = 0,25 N_t$$

hierin is: N_t = totale hoeveelheid N in de drijfmest

N_t^m = stikstof in minerale vorm

N_e^m = beschikbare stikstof van de organische fractie door mineralisatie in het eerste jaar

N_r = moeilijk mineraliseerbaar deel van de organisch gebonden N, dat pas in latere jaren beschikbaar komt

De minerale fractie bestaat uit NH_4 , ureum en urinezuur, componenten die bij het uitrijden van de drijfmest en als de mest op het land ligt voor een deel door vervluchtiging verloren gaan. Op basis van de gegevens van Kolenbrander (1969) en praktijkervaring (Henkens, 1977) is het mogelijk voor de organische mest in de weideperiode en de drijfmest, die in de stalperiode wordt verkregen, de in tabel 2 vermelde balansen op te stellen. Ten aanzien van de verwerking van de drijfmest gedurende de stalperiode is aangenomen dat de verwerking regelmatig gedurende de gehele stalperiode plaatsvindt, zodat voor de effecten het gemiddelde is genomen van de voorjaarsbemesting en de najaarsbemesting.

Tabel 2. Stikstofbalans van de organische mest gedurende de weideperiode en de stalperiode

	Weide periode	Stalperiode					
		voorjaars- bemesting		najaars- bemesting		gemiddeld	
Vervluchtiging bij uitrijden	-	0,10	N _t	0,10	N _t	0,10	N _t
op de grond	0,075N _t	0,06	N _t	0,06	N _t	0,06	N _t
Direct voor gewas beschikbaar	0,55 N _t	0,565	N _t	-		0,283	N _t
Mineralisatie in najaar + winter	0,025N _t	0,005	N _t	0,39	N _t	0,197	N _t
Mineralisatie volgend jaar	0,10 N _t	0,020	N _t	0,20	N _t	0,11	N _t
Mineralisatie volgende jaren	0,25 N _t	0,25	N _t	0,25	N _t	0,25	N _t
Totaal	1,000N _t	1,000	N _t	1,000	N _t	1,000	N _t

3. ADDITIONELE STIKSTOFAANVOER

Bij de beschouwingen wordt er vanuit gegaan dat de organische mest van het rundvee op het grasland wordt gebruikt voor bemesting. Naast de stikstofaanvoer naar het grasland via de organische mest,

zijn nog enkele stikstofbronnen aanwezig, die worden samengevoegd als de additionele stikstofaanvoer. Naast de kunstmest stikstof, bestaat deze aanvoer voornamelijk uit stikstofbinding via bacteriën en met behulp van vlinderbloemigen.

De vlinderbloemigen blijken potentieel in staat te zijn zeer grote hoeveelheden stikstof te binden. In engels proefveldonderzoek (Bell and Nutmann, 1971) is voor luzerne een maximale luchtstikstofbinding vastgesteld van 300 kg N/ha/jr. Door Postgate (1974) worden voor luzerne dezelfde waarden genoemd en voor klaver en lupine 250 en 150 kg N/ha/jr. Voor de praktijk van de landbouw gaat men momenteel uit van gemiddeld 100 à 200 kg N/ha per geteelde vlinderbloemige. Voor klavers in grasland wordt met een produktie van ongeveer 4,5 kg N per procent voorkomen in de botanische samenstelling gerekend.

Door de ANOG-landbouw (Anoniem, 1972) wordt aangenomen, dat de vrij levende *Azotobacter* onder 'gunstige' omstandigheden 30 kg N/ha/jr kan binden. Diverse andere vrij levende bodembacteriën, alsmede blauwwieren kunnen zekere hoeveelheden luchtstikstof binden (Becking, 1967, 1971; Mulder, 1962). Over het algemeen zijn deze hoeveelheden in de gematigde klimaatzones niet groot. Met name in afhankelijkheid van het klaverbestand, in de weiden zou rekening moeten worden gehouden met een natuurlijke N-aanvoer van 30-50 kg N/ha in puur grasland tot 120 kg N/ha in de goede klaverweide zoals die vroeger, zonder gebruik van kunstmest veel voorkwam.

4. STIKSTOFBEHOEFTE EN BRUTO DROGESTOF PRODUCTIE VAN GRASLAND

Het aantal gegevens van proefvelden waarbij de invloed van zeer hoge stikstofgiften op de jaaropbrengsten van de bruto drogestof pro-

duktie van grasland wordt nagegaan is betrekkelijk gering. In tabel 3 is een overzicht gegeven van literatuurgegevens betreffende de opbrengstverhoging aan drogestof per kg toegevoegde stikstof voor diverse bemestingsniveaus. De gegevens hebben betrekking op grasland op veen, klei en zand.

Tabel 3. De invloed van de stikstofbemesting op de opbrengstverhoging (kg ds/kg N)

Auteur	Grondsoort	N-gift in kg/ha				
		0-100	100-200	200-300	300-400	400-480
Frankena (1939)	veen	16,1	13,4	11,4	9,8	7,8
	klei	19,2	16,9	13,9	10,4	1,7
		N-gift in kg/ha				
		0-120	120-240	240-360	360-480	
Mulder (1949)	klei	20,9	17,8	12,1	5,1	
	veen	19,2	9,0	5,2	-	
		N-gift in kg/ha				
		0-100	100-200	200-300	300-400	
Oostendorp (1964)	zand	25,5	14,6	9,3	6,0	
	veen	12,5	8,4	2,5	0,6	
	klei	18,0	13,6	7,9	1,7	
		N-gift in kg/ha				
		0-100	100-150	150-200	200-250	
Boxem (1973)	klei	15,1	12,2	9,8	8,0	
	zand	18,6	13,8	10,2	8,0	
	veen	9,4	7,3	6,0	2,1	
		N-gift in kg/ha				
		250-300	300-350	350-400		
	klei	5,6	1,8	-		
	zand	6,0	4,0	2,9		
	veen	-	-	-		

Bij de nu volgende beschouwing is er van uitgegaan dat met de

laatste dosering het maximale stikstof afhankelijke produktieniveau wordt bereikt. Voor een aantal gegevens zal dit, gezien de nog vrij hoge produktie-toename bij de hoogste stikstofgift niet helemaal het geval zijn. In fig. 1 is de hoeveelheid N die nodig is voor een produktie van 1 kg drogestof (dN/dP) weergegeven als functie van het opbrengstdeficiet ($P_{\max} - P$). De in de figuur weergegeven curve kan worden beschreven met de vergelijking:

$$\frac{dN}{dP} = \frac{62,7}{P_{\max} - P} + 0,04 \quad (1)$$

hierin is: $P_{\max}$ het maximale produktieniveau in kg/ha
 P de werkelijke produktie in kg/ha

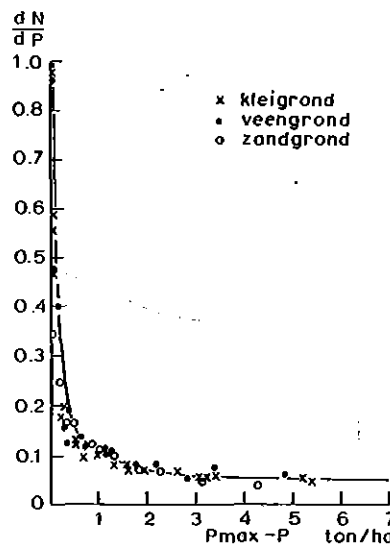


Fig. 1. Het verband tussen de stikstofbehoefte per kg droge stof (dN/dP) en het produktiedeficiet ($P_{\max} - P$) bij grasland
 x kleigrond • veengrond o zandgrond

De waarde van $P_{\max}$ is onafhankelijk van de N-bemesting, maar wordt bepaald door andere factoren als botanische samenstelling van het grasland, de waterhuishouding van de bodem, zowel wateroverlast als droogte, de kwaliteit van de graszoden. enz. Met name cultuurtechnische maatregelen zullen er op gericht zijn om de waarde van $P_{\max}$ te verhogen.

De gegevens wijzen er op dat de relatie tussen dN/dP en ($P_{\max} - P$) onafhankelijk is van het bodemtype en bovendien onaf-

hankelijk is van die waarde van $P_{\max}$. Integratie van vgl 1 geeft de totale hoeveelheid N die nodig is voor een bepaalde te bereiken bruto drogestof produktie, waarvoor geldt:

$$N_o = 0,04 P - 62,7 \ln \frac{P_{\max} - P}{P_{\max}} \quad (2)$$

hierin is : N_o de hoeveelheid N , die in omloop is in kg/ha

De stikstofreactiecurven voor verschillende waarden van $P_{\max}$ zijn weergegeven in fig. 2.

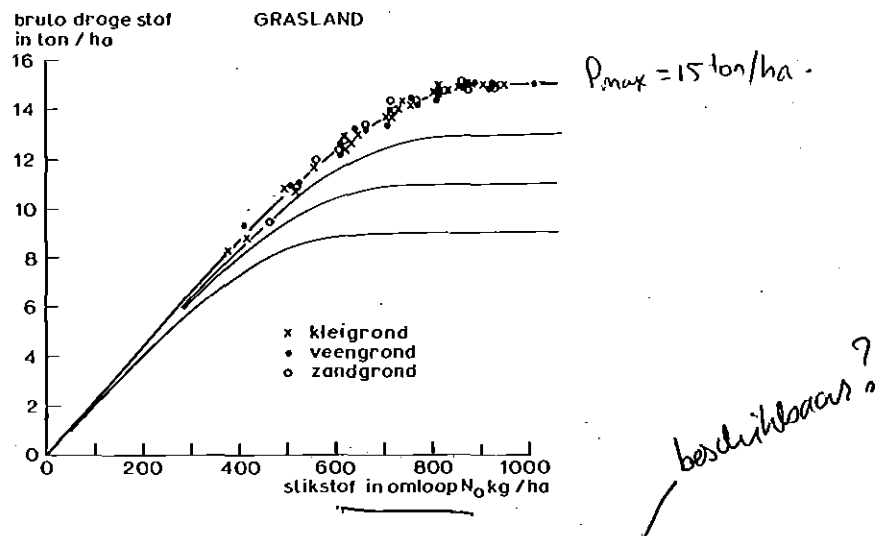


Fig. 2. Het verband tussen de hoeveelheid stikstof in omloop (N_o) en de bruto drogestof produktie van grasland voor verschillende waarden van $P_{\max}$.
 x kleigrond • veengrond o zandgrond

Voor een $P_{\max}$ -waarde van een bruto drogestof produktie van 15 ton/ha zijn tevens de gegevens uit tabel 3 weergegeven. De vorm van de curven blijkt goed in overeenstemming te zijn met de gegevens. Bij een stikstofgehalte van 3% van de drogestof van het gras blijkt een stikstofefficiëntie voor te komen van 65 - 50% afhankelijk van $P_{\max}$. Bij te zware N-bemesting neemt de efficiëntie duidelijk af en treedt een luxe consumptie van N op resulterend in een sterk verhoogd nitraatgehalte van het gras (Burg, van, 1965). Hoge gehalten aan nitraat zijn echter uit een oogpunt van veevoeding zeer ongewenst, zodat in de praktijk doorgaans zal worden getracht een luxe

consumptie van N te voorkomen. Wil in de praktijk een aanvullende stikstofdosering rendabel zijn, dan moet een bruto-opbrengstverhoging van minstens 5 kg droge stof per kg N worden verkregen.

4.1. Oogstverliezen

Van de bruto drogestofproduktie blijft een deel van de produktie door oogstverliezen en vertrapping op het veld achter. Dit organische materiaal zal in de loop van het jaar worden omgezet, waarbij een deel van de stikstof weer mineraliseert. Bij de berekeningen is aangenomen dat op het klassieke, matig ontwaterde rundveebedrijf, de opbrengstverliezen 40% bedragen. Op het moderne rationeel gevoerde, goed ontwaterde bedrijf is een verliespost van 25% aangenomen.

4.2. Stikstof vastlegging in de wortels

Naast de stikstof, die in de bovengrondse delen wordt vastgelegd, wordt ook een deel van de stikstof in de wortels vastgelegd. Volgens gegevens van Rose et al (1972) kan de verhouding tussen de totale drogestof produktie van bovengrondse delen en de drogestof produktie van de wortels, worden weergegeven als functie van de produktie van bovengrondse delen. Deze relatie is weergegeven in fig. 3 en kan worden beschreven met de vergelijking:

$$\frac{P + P_w}{P} = 1 + \frac{1}{0,375 P + 0,25} \quad (\text{niet afkomstig van Rose})$$

Hierin is: P de bruto drogestofproduktie van de bovengrondse delen in ton/ha

P_w , de drogestof produktie van de wortels.

Uit deze vergelijking volgt de hoeveelheid droge stof die in de wortels wordt vastgelegd namelijk:

$$P_w = \frac{P}{0,375 P + 0,25}$$

Indien wordt aangenomen dat het stikstofgehalte van de wortels gelijk is aan dat van de bovengrondse delen dan is bij een bruto drogestof produktie aan bovengrondse delen van 12 ton/ha de stikstof-

N.B. gaat zij uit van een leguminoos.
→ geldig voor ongemaaide graslanden N-bepaling.

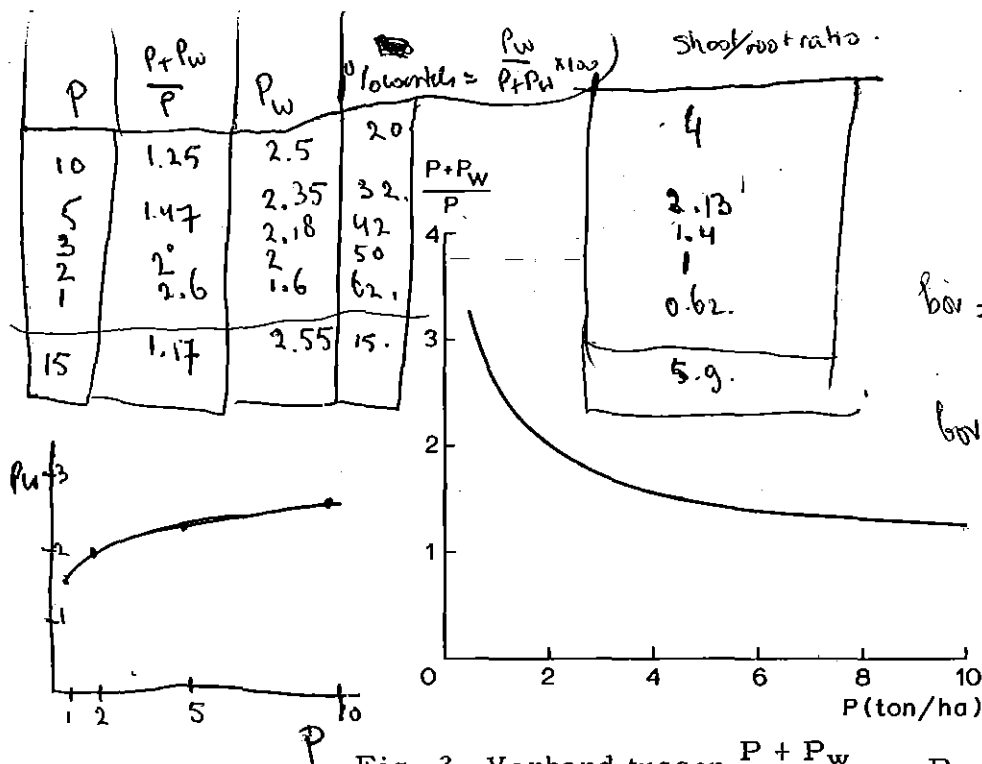


Fig. 3. Verband tussen $\frac{P + P_w}{P}$ en P voor grasland volgens Rose et al (1972)

dus bij bv.
 bov = 2 ton/ha. is $\frac{P+P_w}{P} \approx 2$ dus
 evenveel wortels als bov.
 bov = 10 $\rightarrow \frac{P+P_w}{P} \approx 1.1$, dus bijna
 geen wortels in verhouding.

vastlegging in de wortels 21% van die van de bovengrondse delen. Bij een bruto drogestof produktie van 15 tpn/ha is dit 17%. Uit gegevens van Dilz en Woldendorp (1960) met N^{15} proeven bleek, dat 60% van de stikstof op zand- en kleigrond in de bovengrondse delen werd vastgelegd en 10% in de wortels. Hieruit volgt dat destikstof-vastlegging in de wortels 17% van die in de bovengrondse delen was. Beide benaderingen stemmen dus redelijk met elkaar overeen.

4.3. Humificatie en mineralisatie

De opbouw van organische stof in de wortelzone van het grasland wordt veroorzaakt door twee aanvoerbronnen, namelijk door het moeilijk mineraliseerbare deel van de organische mest en door de humificatie van de oogstverliezen en de afgestorven wortels. Wat betreft de humificatie voor gras zijn geen gegevens bekend. Uitgaande van de gegevens van Kolenbrander (1974) voor bouwland kunnen in eerste instantie de in tabel 4 vermelde humificatiecoëfficiënten worden gebruikt.

Uitgaande van het voorgaande mag worden gesteld, dat uit 100 kg droge stof van bovengrondse plantendelen 20 kg 'humus' wordt gevormd met een stikstofgehalte van 4%. Op basis van een N-gehalte

Tabel 4. Humificatiecoëfficiënten voor verschillende organische materialen volgens gegevens van Kolenbrander (1974)

Organisch materiaal	Humificatie-coëfficiënt
bovengrondse plantendelen	0,20
stro (granen)	0,30
wortels van gewassen	<u>0,35</u>
groenbemesters ($\frac{s}{w} = 2$)	0,25
organische mest	0,50

van 3% in de droge stof van het gras, betekent dit dat van elke 3 kg N in de oogstverliezen 0,8 kg wordt vastgelegd in de humus en 2,2 kg weer direct mineraliseert. Het komt er dus op neer, dat van de oogstverliezen 27% van de N wordt vastgelegd en 73% weer direct in circulatie komt. Voor de wortels met een humificatiecoëfficiënt van 0,35 komt dit neer op respectievelijk 47% en 53% van de stikstof in de wortels.

De stikstofvastlegging via de organische mest komt effectief per gve neer op de reeds eerder genoemde hoeveelheid N_r , die voor rundveedrijfmest gelijk is aan $0,25 N_t$, dit wil zeggen gelijk aan 25,7 kg N/gve.

De jaarlijkse stikstofvastlegging via de humificatie van oogstverliezen, plantenwortels en de organische mest bedraagt dus bij een N-gehalte van 30kg per ton droge stof in het gras:

$$30 \left\{ 0,27 a_t + \frac{0,47}{0,375 P_t + 0,25} \right\} P_t + 25,7 n_t \text{ in kg N/ha}$$

Hierin is: a_t de fractie oogstverlies in het jaar t

n_t de veebezetting in gve/ha in het jaar t

P_t bruto drogestof produktie in ton/ha in het jaar t

De totale hoeveelheid stikstof, die in het jaar t in de humus in de bodem is vastgelegd is dan gelijk aan:

$$N_H(t) = (1 - \lambda) N_H(t-1) + 30 \left\{ 0,27 a + \frac{0,47}{0,375 P_t + 0,25} \right\} P_t + 25,7 n_t$$

Hierin is:

$N_H(t)$ de totale hoeveelheid N vastgelegd in de humus in kg/ha in jaar t

$N_H(t-1)$ idem in jaar $t-1$, δ de mineralisatiecoëfficiënt organische stof

Voor opeenvolgende fasen van bedrijfsintensivering kan de hoeveelheid N in de humusvoorraad worden weergegeven door de algemene vergelijking:

$$N_H(T) = (1 - \delta)^T N_H(0) + \sum_{t=1}^{t=T} (1 - \delta)^{T-t} \left[30 \left\{ 0,27 a_t + \frac{0,47}{0,375 P_t + 0,25} \right\} P_t + 25,7 n_t \right]$$

De jaarlijkse mineralisatie van de humus op bouwland is ongeveer 2% van de aanwezige humus. Bij permanent grasland met een over het algemeen wat slechtere aeratie ligt de mineralisatiesnelheid vermoedelijk lager. De in de wortelzone van grasland voorkomende humusgehalten geven echter wel een mogelijkheid om de orde van grootte van de mineralisatiecoëfficiënt voor grasland te benaderen.

In dit geval moet worden verondersteld, dat voordat in de naoorlogse jaren de bedrijfsintensivering werd doorgevoerd er een zeer lange periode is geweest met een betrekkelijk constant productiepeil en een constante veebezetting, zodat de jaarlijkse stikstofvastlegging in de humus dan gelijk is aan de, door mineralisatie, vrijkomende stikstof. Hierbij moet worden bedacht dat in die periode stro in de mest werd verwerkt. De gebruikte hoeveelheden stro bedroegen ongeveer 1,5 kg/gve per dag. Bij een stalperiode van 180 dagen komt dit neer op een stroverbruik van 270 kg/gve. Bij een humificatiecoëfficiënt van 0,3 en een N-gehalte van 4% in de humus komt dit neer op een extra N-vastlegging van 3,2 kg N/gve, deels afkomstig uit het stro, deels uit de organische mest. De N-voorraad in de humus op het moment dat de bedrijfsintensivering wordt ingevoerd kan dan worden benaderd met de vergelijking:

$$N_H(0) = \frac{1}{\delta} \left[30 \left\{ 0,27 a_0 + \frac{0,47}{0,375 P_0 + 0,25} \right\} P_0 + (25,7 + 3,2) n_0 \right]$$

Wordt aangenomen dat de veebezetting n_0 tot 1950 vrij constant is geweest op 1,1 gve/ha bij een bruto-produktieniveau van ongeveer 8 ton/ha, dan kan voor verschillende waarden van δ de hoeveelheid stikstof vastgelegd in de humus worden berekend. Bij een N-gehalte

van 4% volgt hieruit bij bijvoorbeeld een wortelzone van 30 cm ook de dichtheid van de organische stof. De resultaten van enkele berekeningen zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Totale evenwichts stikstofvastlegging in de bodem en het volume gewicht van de humus bij een bewortelingsdiepte van 0,3 m, een bruto drogestof produktie van 8 ton/ha en een veebezetting van 1,1 gve/ha. De oogstverliezen zijn gesteld op 40%

	Mineralisatiecoëfficiënt λ							
	0,02	0,015	0,0125	0,01	0,075	0,005	0,004	0,003
N kg/ha	4621	6161	7393	9242	12322	18484	23104	30806
humus kg/m ³	38,5	51,3	61,6	77,0	102,7	154,0	192,5	256,7

Bij waarden van λ , die kleiner zijn dan 0,005 worden humusdichtheden bereikt, die kenmerkend zijn voor venige gronden tot pure veengronden. Volgens Schothorst (1977) zou bij matig ontwaterd veengrasland de stikstofleverantie uit de bodem aan het gewas 80 kg/ha hoger zijn dan bij minerale gronden. Bij een diepere ontwatering van het veengrasland zou dit zelfs 240 kg meer moeten zijn. Wordt de efficiëntie van de stikstof opname door het gewas op 70% gesteld, dan zou door de veengrond door mineralisatie van de organische stof bij matige en bij goede ontwatering respectievelijk 114 en 343 kg N/ha extra moeten worden geleverd. De stikstof voorraad in de 'humus' in de wortelzone van 0,3 m bij veengronden is in de orde van grootte van 30 000 kg N/ha. Indien wordt aangenomen dat bij zeer slecht ontwaterd veengrasland de mineralisatiecoëfficiënt in de orde van grootte van 0,003 ligt, dan betekent een matige ontwatering, waardoor 114 kg stikstof extra mineraliseert, dat de mineralisatiecoëfficiënt met 0,0038 toeneemt en in de orde van grootte van 0,007 komt. Bij een diepere ontwatering met een extra mineralisatie van 343 kg N/ha neemt de mineralisatiecoëfficiënt toe met 0,0114 tot een waarde in de orde van grootte van 0,014. Op grond van het voorgaande lijkt het zinvol om bij de berekeningen voor grasland bij een matige ontwatering voor gronden die rijk zijn aan organische stof de mineralisatiecoëfficiënt te stellen op 0,075 en bij een goede ontwatering op 0,015.

Uit de gegevens van Schothorst is niet zonder meer af te leiden dat de mineralisatiecoëfficiënt zo sterk toeneemt. Door de diepere

ontwatering neemt ook de dikte van de gearceerde veenlaag toe, waardoor de N-voorraad in de bodem ook schijnbaar toeneemt. Bij zandgronden met een beperkte dikte van de humeuze laag hoeft een verlaging van de grondwaterstand dan geen sterke toename van de mineralisatiecoëfficiënt tot gevolg te hebben. Indien de mineralisatiecoëfficiënt sterk toeneemt, of indien de schijnbare N-voorraad in de bodem groter wordt betekent ontwatering in de meeste gevallen stikstofleverantie uit de bodem. In het tweede geval is bij produktietoename een organische stofopbouw in de bodem te verwachten.

5. VERLIEZEN AAN STIKSTOF

Op grond van de voorafgaande discussie wordt onder Nederlandse omstandigheden ongeveer 35 P kg N/ha door het gewas, zowel bovengrondse delen als wortels opgenomen. Deze opname is afhankelijk van het bemestingsniveau 60-75% van de hoeveelheid stikstof (N_0) die in omloop is. 25 - 40% van de in omloop zijnde stikstof wordt dus niet door het gewas benut en kan verloren gaan door denitrificatie en uitspoeling.

5.1. Denitrificatie

Voor het optreden van denitrificatie moet aan enkele voorwaarden worden voldaan.

- a. Er moet zuurstofgebrek zijn. Deze anaërobie kan zeer lokaal optreden. Een forse regenbui kan in de onverzadigde zone lokaal een voldoende anaëroob milieu veroorzaken voor denitrificatie;
- b. Er moeten biologisch afbreekbare organische verbindingen aanwezig zijn. Door afbraak van de humus in de wortelzone van het gewas wordt doorgaans aan deze eis voldaan;
- c. De denitrificatiesnelheid is temperatuur afhankelijk en neemt beneden 10 °C sterk af. Dit betekent, dat de denitrificatie in de zomer veel belangrijker is dan in de winter.

Uit de experimenten van Dilz en Woldendorp (1960) kan een denitrificatie activiteit worden afgeleid voor de in deze experimenten

gebruikte bodemtypen. Bij de beschouwing is er van uitgegaan dat de denitrificatiesnelheid evenredig is met het verschil tussen toe-
 diende en opgenomen stikstof, zodat geldt:

$$N_d = \alpha (N_o - N_{pl}) \quad (3)$$

hierin geldt:

N_d = de door denitrificatie verloren gegane stikstof in
 kg/ha⁻¹

N_o = hoeveelheid stikstof in omloop in kg/ha

N_{pl} = hoeveelheid door de plant opgenomen stikstof in kg/ha

α = denitrificatie activiteitscoëfficiënt

Uit de experimenten van Dilz en Woldendorp kunnen de globale
 waarden van de denitrificatie activiteitscoëfficiënt worden afgeleid. In
hun proeven trad geen uitspoeling van stikstof op. De resultaten zijn
 vermeld in tabel 6.

Tabel 6. De relatieve hoeveelheden stikstof die door het gewas zijn
 opgenomen, in de grond zijn achtergebleven en door denitri-
 ficatie zijn verloren gegaan (Dilz en Woldendorp, 1960)

Bodem- type	Relatieve hoeveelheden stikstof aanwezig in			Denitrificatie activiteits- coëfficiënt
	gras + wortels	grond	verlies	
zand	0,741	0,09	0,169	0,65
klei	0,696	0,09	0,214	0,70
veen	0,439	0,16	0,401	0,72

De spreiding in de gegevens van Dilz en Woldendorp was vrij
 groot, zodat deze auteurs een variatie voor het stikstofverlies door
 denitrificatie voor zandgrond opgeven van 0,11 tot 0,25 en voor klei-
 grond van 0,16 tot 0,31, waardoor de activiteitscoëfficiënt voor
 zandgrond kan variëren van 0,43 - 0,96 en voor kleigrond van 0,53
 - 1,00. Hoewel met uitzondering van veengrond, uit de gegevens
 van Dilz en Woldendorp geen directe relatie met de vochthuishouding
 kan worden afgeleid, lijkt het aannemelijk dat er tussen droge en
 natte zomers een variatie in denitrificatie bestaat. Om de invloed

van de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen in rekening te brengen zijn de in tabel 7 gegeven waarden voor de activiteitscoëfficiënten bij de berekeningen gebruikt.

Tabel 7. Gestandaardiseerde waarden van de denitrificatiecoëfficiënt α in afhankelijkheid van de weersomstandigheden gedurende het groeiseizoen

Winterzone.

Bodemtype	Weersomstandigheden in groeiseizoen		
	droog	gemiddeld	nat
zand	0,50	0,60	0,70
klei	0,60	0,70	0,80
veen	0,65	0,75	0,85

Volgens Kolenbrander (1969) gaat op lichte gronden naar schatting circa 20% van de in november aanwezige minerale stikstof door denitrificatie verloren. In vergelijking met bovenstaande gegevens van zandgrond zou dit betekenen dat de denitrificatiesnelheid in het winterhalfjaar 1/3 is van die in de zomer.

5.2. Uitspoeling van stikstof

Voor de berekening van de hoeveelheid minerale stikstof die door uitspoeling verloren gaat, is gebruik gemaakt van een model, dat reeds eerder door Hamaker (1975) werd gebruikt voor de berekening van de zoutuitspoeling van kasgronden. Dit model is van toepassing op de uitspoeling van ionen welke uitsluitend in de vloeibare bodemfase voorkomen en niet zijn betrokken bij fysisch chemische evenwichten.

Het bodemprofiel is onderverdeeld in een aantal homogene lagen. Door de beide grensvlakken van elke laag vindt transport van ionen plaats met de massastroming van het bodemvocht. Aangenomen wordt dat in elke laag steeds volledige menging plaatsvindt met het door het grensvlak aan de bovenzijde aangevoerde bodemvocht. De ionenbalans voor de n^{de} laag kan dan als volgt worden geschreven:

$$L \theta_n \frac{dC_n(t)}{dt} = \left\{ V_D C_{n-1}(t) - V_D C_n(t) \right\} \quad (4)$$

Hierin is:

L = laagdikte in cm

θ_n = volumetrisch vochtgehalte

V_D = de stroomsnelheid (cm/dag)

C_n en C_{n-1} = de concentraties in het bodemvocht van het betreffende ion in de n^{de} en $(n-1)^{\text{ste}}$ laag (me/cm)

t = tijd in dagen

Vergelijking (4) wordt met $1/L\theta_n = A_n$ geschreven als:

$$\frac{d}{dt} \left\{ C_n(t) \right\} + A_n V_D C_n(t) = A_n V_D C_{n-1}(t) \quad (5)$$

Deze differentiaalvergelijking kan worden opgelost mits de randvoorwaarde bekend is. Als randvoorwaarde wordt ingevoerd:

$$C_n(t) = C_n(t_0) \text{ voor } t = 0$$

Indien wordt gewerkt op basis van constante vochtvolumina per laag, dus $L\theta_n = \text{constant}$, dan wordt een variabele laagdikte ingevoerd in afhankelijkheid van het vochtgehalte. Onder deze omstandigheden geldt echter:

$A_0 = A_1 = A_2 = \dots = A_n$, waarbij na integratie van vgl (5) de volgende oplossing wordt verkregen

$$C_n(t) = \sum_{k=0}^n \left[\left\{ C_k(t_0) \right\} \left\{ A V_D t \right\}^{n-k} \exp \left\{ - A V_D t \right\} \left\{ 1/(n-k)! \right\} \right] \quad (6)$$

De uitspoeling kan met vergelijking (6) worden berekend in afhankelijkheid van de door het profiel gepercoleerde hoeveelheid water.

Mits de initiële distributie bekend is. Nu is A de reciproke van een vochtvolume die kan worden uitgedrukt in $(\text{mm H}_2\text{O})^{-1}$.

$V_D t$ is de som van vochtberging in het profiel en de afvoer gedurende de winter in mm. De initiële distributie van de minerale stikstof is niet bekend, maar er is aangenomen, dat deze zich concentreert in de bovenste laag van het profiel, zodat met vgl (6) de stikstofdistributie in het bodemprofiel kan worden berekend voor verschillende waarden van het neerslag-overschot. Aangezien voor de huidige studie de distributie van de stikstof in het profiel van minder belang is,

dan de integrale waarde is in fig. 4 de relatie weergegeven tussen het vochtvolume in het profiel en het percentage van de geïntegreerde aanwezige minerale stikstof voor uiteenlopende waarden van de som van de neerslagafvoer en de vochtberging. Tevens zijn in de figuur de corresponderende diepten in het profiel weergegeven voor zand, veen en kleigronden met een voorjaarsgrondwaterstand van circa 60 cm - m.v. De getrokken curven geven het percentage van de aanwezige stikstof aan, dat boven een bepaalde diepte in het profiel in het voorjaar aanwezig is.

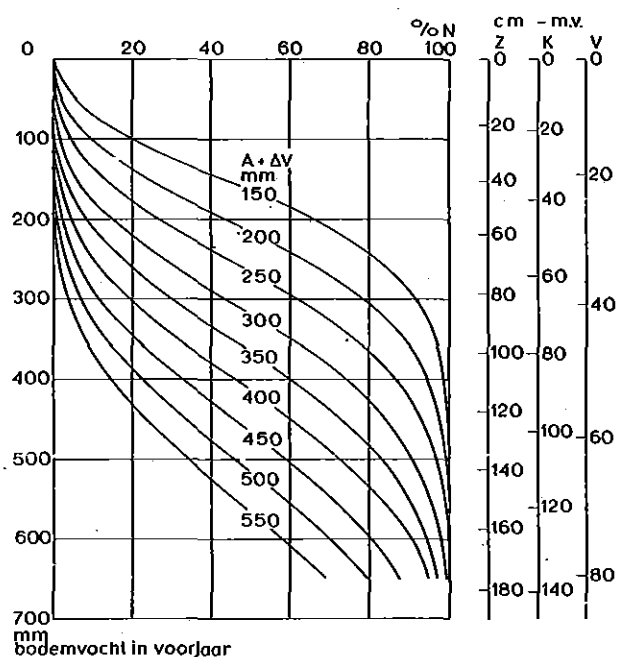


Fig. 4. Het verband tussen de geïntegreerde hoeveelheid stikstof in % en de hoeveelheid bodemvocht in het profiel voor verschillende waarden van de som van afvoer en vochtberging ($A + \Delta V$). Tevens is de diepte beneden maaiveld aangegeven voor zand- (Z), klei- (K) en veen(V) gronden.

Kolenbrander (1969) vindt met behulp van lysimeterproeven met lichte gronden, dat gemiddeld ongeveer eenzelfde hoeveelheid stikstof uitspoelt als er in het profiel achterblijft. De lysimeters hadden een diepte van 1 meter. Inclusief het drainbed en de afvoerleiding mag de vochtinhoud van deze lysimeters worden geschat op ongeveer 400 mm. Bij een waarde van $A + \Delta V$ tussen de 350 en 400 mm, vindt men uit figuur 4 ongeveer een gelijke verhouding tussen uitspoeling en hetgeen in het profiel achterblijft.

Bij redelijk goed ontwaterde zandgronden met een gemiddeld laagste grondwaterstand van 1,20 m en dieper, treedt ook gedurende de zomer een zeer kleine afvoer naar diepere lagen op. De kans, dat de stikstof, die dit 1,20 m vlak gepasseerd is weer in de wortelzone terugkeert moet uitgesloten worden geacht. De stikstof die zich nog boven dat niveau bevindt neemt in principe het volgende jaar weer aan de kringloop deel. Voor redelijk goed ontwaterde klei- en veengraslanden zijn deze diepten gesteld op respectievelijk 1,10 m en 0,80 m. Op matig tot slecht ontwaterde graslanden zal een groot deel van de afvoer via greppels plaatsvinden. De stroomlijnen voor de afvoer zullen in dat geval over het algemeen niet tot grote diepte in het profiel doordringen. Bij een greppelafstand van 10 m zal de maximale diepte die door een stroombaan midden tussen de greppels wordt bereikt ongeveer $1/6$ van de greppelafstand bedragen, dus ongeveer 1,67 m. Bij de greppel wordt het water direct afgevoerd, zodat mag worden gesteld, dat in dit geval de gemiddelde doordringdiepte 0,80 m bedraagt.

Slecht ontwaterde percelen kunnen ook dikwijls een gevolg zijn van een kwelsituatie waardoor de afvoerstroming tot nog geringere diepte in het profiel zal doordringen. Een en ander heeft tot gevolg, dat de hoeveelheid af te voeren water over het algemeen een zeer korte verblijftijd in het profiel heeft en reeds in dezelfde winter in het oppervlaktewater terecht komt. Eenzelfde argumentatie geldt voor de klei- en veengraslanden. Voor de matig tot slecht ontwaterde zand-, klei- en veengraslanden is daarom aangenomen dat de stikstof die een diepte passeert van respectievelijk 0,8 m, 0,8 m en 0,6 m door uitspoeling naar het oppervlaktewater verloren gaat. Op basis van de hier voor gegeven redenering volgt de in tabel 6 weergegeven stikstofuitspoeling bij een goede en een matig tot slechte ontwateringstoestand, uitgedrukt als fractie van de stikstof die in het najaar aanwezig is verminderd met de denitrificatie gedurende het winterhalfjaar.

Uit tabel 8 blijkt dat de ontwateringstoestand in sterke mate bepalend is voor de hoeveelheid stikstof die verloren gaat.

Tabel 8. Stikstofuitspoeling in afhankelijkheid van het neerslagoverschot en de ontwateringstoestand voor drie bodemtypen weergegeven als fractie van de in het najaar aanwezige stikstof verminderd met het verlies tengevolge van denitrificatie in het winter halfjaar

Bodem- type	Ontwaterings- toestand	Neerslageverschot (A + ΔV) in mm								
		150	200	250	300	350	400	450	500	550
zand	goed	0,01	0,04	0,11	0,22	0,36	0,50	0,64	0,75	0,83
	matig	0,09	0,23	0,40	0,58	0,71	0,82	0,89	0,93	0,97
klei	goed	0,00	0,01	0,03	0,08	0,15	0,25	0,39	0,52	0,64
	matig	0,02	0,09	0,20	0,35	0,50	0,65	0,76	0,84	0,90
veen	goed	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,12	0,20	0,31
	matig	0,00	0,01	0,05	0,12	0,22	0,34	0,48	0,60	0,72

Hierbij moet worden opgemerkt dat bij slechte ontwatering deze hoeveelheid stikstof na een zeer korte verblijftijd in dezelfde winter nog in het oppervlaktewater terechtkomt. Bij een goede ontwateringstoestand is de verblijftijd in het bodemprofiel veel langer, waarbij door de denitrificatie in de daarop volgende zomerperiode een belangrijk deel van de stikstof alsnog uit het ondiepe grondwater verdwijnt. Op grond van een analyse van de hierover beschikbare gegevens (Rijtema, 1976) mag als vuistregel worden aangenomen dat het stikstofgehalte bij goede ontwatering tot circa 50% van de hier gegeven waarden reduceert, voordat het diepe grondwater of het oppervlaktewater wordt bereikt.

6. MODELMATIGE BENADERING VAN DE STIKSTOFBALANS VOOR HET RUNDVEEHOUDERIJBEDRIJF

Bij een gegeven constante veebezetting en een constant produktieniveau zal zich ten aanzien van de mineralisatie van de bodemstikstof

een stationaire toestand ontwikkelen, waarbij de stikstofvastlegging via de humificatie gelijk is aan de hoeveelheid, die vrij komt door mineralisatie. In dat geval is de netto-stikstofleverantie door de bodem gelijk aan nul en zou met een eenvoudig invoer-uitvoer model kunnen worden volstaan. Bij de bedrijfsintensivering zoals die zich de afgelopen jaren heeft voorgedaan en door de uitvoering van cultuurtechnische maatregelen is de huidige toestand ver van een evenwichtssituatie verwijderd. Anderzijds zal bij een door te voeren extensivering en verlaging van het bemestingsniveau uit een oogpunt van natuurbeheer tot gevolg hebben dat de mineralisatie groter is dan de humificatie, zodat de bodem stikstof blijft leveren.

De hoeveelheid minerale stikstof (N_o), die per ha in een rundveebedrijf in omloop is, kan via de N-balans worden berekend. Voor deze N-balans geldt:

$$N_o = N(\text{add.}) + N(\text{eff. org. mest}) + N(\text{naw. org. mest}) + 0,73 N(\text{opbrengstverlies}) + 0,53 N(\text{wortels}) + N_o(\text{rest naw. vorig jaar}) + \gamma N_H(T-1)$$

Hierin is:

N_o	=	hoeveelheid minerale N in omloop in kg/ha
N_{add}	=	additionele N-aanvoer via kunstmest, neerslag en atmosferische stikstofbinding in kg/ha
$N(\text{eff. org. mest})$	=	direct beschikbare N uit organische mest in kg/ha
$N(\text{naw. org. mest})$	=	beschikbaar komende N uit organische mest van het vorig jaar na mineralisatie in kg/ha
$N(\text{opbrengstverlies})$	=	hoeveelheid N aanwezig in beweidings- en oogstverliezen in kg/ha (73% komt direct in circulatie, 27% naar humus)
$N(\text{wortels})$	=	hoeveelheid N aanwezig in de wortels in kg/ha (53% komt direct in circulatie, 47% naar humus)
$N_o(\text{rest naw. vorig jaar})$	=	hoeveelheid N die in het voorjaar als rest aanwezig is van de N_o van vorig jaar in kg/ha
γ	=	mineralisatiecoëfficiënt van de humus
$N_H(T-1)$	=	totale hoeveelheid stikstof aanwezig in de humus aan het einde van het voorafgaande jaar.

Voor de organische mesttermen kan met behulp van tabellen 1 en 2 de volgende berekening worden gemaakt:

$$\begin{aligned}
 N(\text{eff. org. mest}) &= 0,55 N_{t(\text{weide})} + 0,283 N_{t(\text{stal})} \\
 N(\text{naw. org. mest}) &= 0,10 N_{t(\text{weide})} + 0,11 N_{t(\text{stal})} + \\
 &\quad 0,025 \beta N_{t(\text{weide})} + 0,197 \beta N_{t(\text{stal})} \\
 &= (0,65 + 0,025 \beta) N_{t(\text{weide})} + (0,393 + 0,147 \beta) N_{t(\text{stal})} \\
 &= 58,0 (0,65 + 0,025 \beta) n_t + 44,6 (0,393 + 0,197 \beta) n_t \\
 &= (55,2 + 10,24 \beta) n_t
 \end{aligned}$$

Hierin is n_t het aantal gve/ha en β de fractie van de minerale N, die in het najaar aanwezig is en niet gedurende de winter denitrificeert of uitspoelt.

Ten aanzien van de overige termen kan worden opgemerkt, naar aanleiding van de voorafgaande discussie, dat:

$$\begin{aligned}
 N(\text{opbrengstverlies}) &= a \times 30 \times P, \text{ waarin } a \text{ de fractie oogst- en} \\
 &\quad \text{beweidingsverlies is en } P \text{ de bruto-droge-} \\
 &\quad \text{stofproductie in ton/ha} \\
 N(\text{wortels}) &= 30 \times \frac{P}{0,375 P + 0,25}, \text{ waarin } P \text{ de produktie} \\
 &\quad \text{aan bovengrondse delen is in ton/ha} \\
 N_o(\text{rest naw. vorig jaar}) &= \text{de } N_o \text{ van het vorig jaar verminderd met} \\
 &\quad \text{de totale hoeveelheid } N, \text{ die in het gewas} \\
 &\quad \text{is vastgelegd en verminderd met de hoeveel-} \\
 &\quad \text{heid } N, \text{ die door denitrificatie verloren is ge-} \\
 &\quad \text{gaan, en die niet in de winter is uitgespoeld.} \\
 &\quad \text{hiervoor geldt:}
 \end{aligned}$$

$$N_o(\text{rest naw. vorig jaar}) = N_o \left[(1 - \alpha_z) \left\{ N_o - 30 \left(1 + \frac{1}{0,375 P + 0,25} \right) P \right\} \right]$$

Uit het voorgaande volgt:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{add}} &= N_o - 55,2 n_t - \beta \left[10,24 n_t + (1 - \alpha_z) \left\{ N_o - 30 \left(1 + \frac{1}{0,375 P_t + 0,25} \right) P_t \right\} \right] \\
 &\quad - 30 \left(0,73 \times a_t + \frac{0,53}{0,375 P_t + 0,25} \right) P_t - \chi N_H (T - 1)
 \end{aligned}$$

Tevens geldt voor het verband tussen N_o en P (zie pag. 7)

$$N_o = 40 P - 62,7 \ln \frac{P_{\text{max}} - P}{P_{\text{max}}} \quad \text{kg/ha}$$

met P en P_{max} in ton/ha

Voor de humusopbouw geldt:

$$N_H(T) = (1 - \lambda) N_H(T-1) + 30 \left\{ 0,27a_t + \frac{0,47}{0,375 P_t + 0,25} \right\} P_t + 25,7 n_t$$

of

$$N_H(T) = (1 - \lambda)^T N_H(0) + \sum_{t=1}^T (1 - \lambda)^{T-t} \left[30 \left\{ 0,27a_t + \frac{0,47}{0,375 P_t + 0,25} \right\} P_t + 25,7 n_t \right]$$

met

$$N_H(0) = \frac{1}{\lambda} \left[30 \left\{ 0,27a_0 + \frac{0,47}{0,375 P_0 + 0,25} \right\} P_0 + (25,7 + 3,2) n_0 \right]$$

De hoeveelheid minerale stikstof die in het najaar aanwezig is wordt weergegeven door de vergelijking

$$N_{najaar} = \left[10,24 n_t + (1 - \alpha_z) \left\{ N_0 - 30 \left(1 + \frac{1}{0,375 P_t + 0,25} \right) P_t \right\} \right]$$

De hoeveelheid N_1 die in de winter uitspoelt is daarom weer te geven

als:

$$N_1 = (1 - \beta - \alpha_w) \left[10,24 n_t + (1 - \alpha_z) \left\{ N_0 - 30 \left(1 + \frac{1}{0,375 P_t + 0,25} \right) P_t \right\} \right]$$

6.1. Gestandaardiseerde berekeningen voor de stikstofhuishouding

Met behulp van de in de vorige paragraaf afgeleide betrekkingen kunnen modelberekeningen worden uitgevoerd om de gevolgen van bedrijfsintensivering, cultuurtechnische werken, beheersovereenkomsten en klimaatomstandigheden, op de stikstofhuishouding, bedrijfsresultaten en stikstofuitspoeling te bepalen. Aan de hand van een aantal rekenvoorbeelden zal nu het effect van verschillende ontwikkelingen op de stikstofhuishouding worden nagegaan. Hierbij is voor de berekeningen uitgegaan van een aantal gestandaardiseerde omstandigheden. Deze gestandaardiseerde omstandigheden zijn in tabel 9 gegeven.

Tabel 9. Standaardwaarden voor de voorbeeldberekeningen

Veebezetting van 0,5 tot 3,5 gve/ha				
Ontwatering	slecht		matig	goed
Opbrengstverliezen	0,50		0,40	0,25
$P_{\max}$	10,2		12,2	15,2 ton/ha
Weersomstandigheden zomer	droog		gemiddeld	nat
α_z (zand)	0,50		0,60	0,70
α_z (klei)	0,60		0,70	0,80
α_z (veen)	0,65		0,75	0,85
$\alpha_w = 1/3 \alpha_z$				
Weersomstandigheden winter	droog		gemiddeld	nat
β zand	{ goed 0,65		0,40	0,19
	{ matig 0,35		0,14	0,05
β klei	{ goed 0,74		0,58	0,35
Ontwatering	{ matig 0,52		0,27	0,12
β veen	{ goed 0,78		0,71	0,57
	{ matig 0,69		0,50	0,29

6.2. Invloed van bedrijfsintensivering en cultuurtechnische maatregelen op de additionele stikstofbehoefte en de humusopbouw

Voor de beoordeling van de invloed van bedrijfsintensivering en cultuurtechnische maatregelen op de additionele stikstofbehoefte binnen het bedrijf, is het noodzakelijk de humusopbouw c.q. humusafbraak in de tijd na te gaan. Als berekeningsvoorbeeld is uitgegaan van een sterk humeuze zandgrond, die bij een matige ontwateringstoestand een humus mineralisatiecoëfficiënt heeft van 0,0075 en bij goede ontwatering een waarde van 0,015 en van een matig humeuze zandgrond met een mineralisatiecoëfficiënt van 0,0125 bij matige ontwatering en 0,015 bij goede ontwatering. In het eerste geval is de waarde van $N_H(o)$ 12322 kg N/ha, overeenkomend afhankelijk van het volumegewicht met een humusgehalte van 8-12% in de bovenste 0,3 m.

In het tweede geval is de waarde van $N_H(o)$ 7393 kg N/ha, overeenkomend met een humusgehalte van 3,5-5% in de bovenste 0,3 m. Voor beide zandgronden is het in tabel 10 gegeven intensiveringsschema aangenomen.

Bovendien is voor beide zandgronden aangenomen dat in 1970 cultuur-technische maatregelen werden uitgevoerd, waardoor een aantal factoren zich wijzigde.

Tabel 10. Basisgegevens voor de gebruikte voorbeelden op zandgrond

Periode	Veebe- zetting gve/ha	$P_{\max}$ ton/ha	P_t ton/ha	Oogst- verliezen	Denitri- ficatie α_z	Ontwa- tering β
tot 1950	1,1	12,2	8,0	0,4	0,6	0,4
1950-1960	1,5	12,2	10,5	0,4	0,6	0,4
1960-1970	2,0	12,2	11,5	0,4	0,6	0,4
1970-1975	2,5	15,2	13,8	0,25	0,6	0,25
1975- ---	3,0	15,2	14,8	0,25	0,6	0,25

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in figuur 5. In figuur 5a is het verloop van de stikstofvastlegging in de bodem weergegeven. De bedrijfsintensivering voor 1970 veroorzaakt in beide gevallen een humusopbouw met stikstofvastlegging in de bodem. De cultuurtechnische ingrepen in 1970 hebben tot gevolg, dat in de sterk humeuze grond, de humusafbraak gaat overheersen, terwijl in het tweede geval de humusopbouw blijft doorgaan. Beide systemen bereiken hun evenwichtssituatie bij een waarde van $N_H(\infty)$ van 9536 kg/ha.

De berekende additionele N-behoefte, zoals weergegeven in figuur 5b, loopt voor beide systemen na 1970 duidelijk uiteen. Het profiel met stikstofleverantie uit de bodem heeft een duidelijk lagere waarde voor $N_{\text{add.}}$, dan het systeem waar de humusopbouw blijft doorgaan. Uiteindelijk bereiken beide systemen een waarde van $N_{\text{add.}}$ van 330 kg/ha. De afwijking van de evenwichtssituatie voor de additionele N-behoefte is gelijk aan de hoeveelheid N die vrijkomt uit of wordt vastgelegd in de humus. Bij berekeningen uitgaande van de evenwichtssituatie moet hiermede rekening worden gehouden.

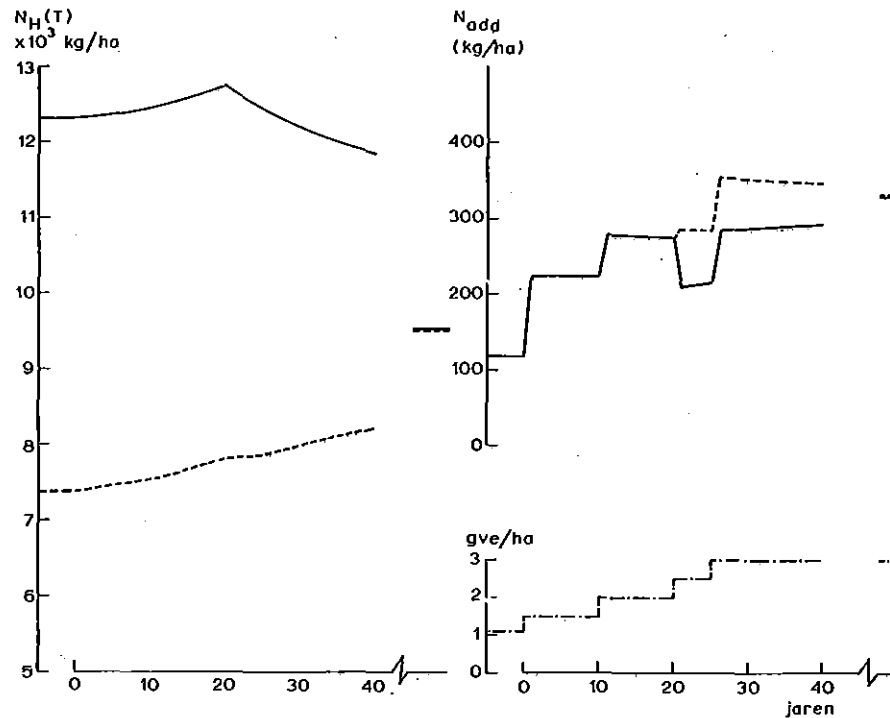


Fig. 5.a. Het verloop van de stikstofvastlegging in de bodem in afhankelijkheid van bedrijfsintensivering en cultuurtechnische maatregelen voor twee verschillende uitgangstoestanden
5.b. Het verloop van de additionele stikstofbehoefte in afhankelijkheid van bedrijfsintensivering en cultuurtechnische maatregelen voor twee verschillende uitgangstoestanden

6.3. De invloed van cultuurtechnische maatregelen

Cultuurtechnische maatregelen, als profielverbetering, waterbeheersing, wateraanvoer e.d. zijn er op gericht om een produktieverhoging te bereiken. Uit praktijkervaring blijkt dat onder optimale omstandigheden in Nederland een maximaal bruto produktieniveau van 15,2 ton/ha tot de reële mogelijkheden behoort. Daarnaast zullen door de verbeterde omstandigheden de opbrengstverliezen afnemen. Teneinde na te gaan wat het milieu-effect is van de cultuurtechnische maatregelen, kunnen dus de berekeningen worden uitgevoerd voor beide situaties. Voor de berekening is aangenomen dat het niet verbeterde grasland, met een matig tot slechte waterhuishouding een maximale bruto produktie heeft van 12,2 ton/ha bij een opbrengstverlies van 40%. De veebezetting bedraagt onder deze omstandigheden 2,5 gve/ha.

Na verbetering wordt verondersteld dat $P_{\max} = 15,2$ ton/ha en dat tengevolge van de verbeterde situatie bij een rationeel bewei- dingssysteem de opbrengstverliezen dalen tot 25%. Na de verbete- ring wordt door intensivering de veebezetting opgevoerd tot 3,5 gve per ha. In de figuren 6 a, b en c zijn de resultaten van de bereke- ningen weergegeven.

Tengevolge van de verbeterde omstandigheden is de N-efficiëntie toegenomen, waardoor bij eenzelfde waarde van N_0 een hogere bruto drogestofproduktie wordt bereikt. Tengevolge van het verhoogde produktieniveau zal bij een bedrijfsintensivering van 2,5 naar 3,5 gve/ha in het algemeen ook de additionele stikstofbehoefte nog toe- nemen om een optimale produktie te bereiken.

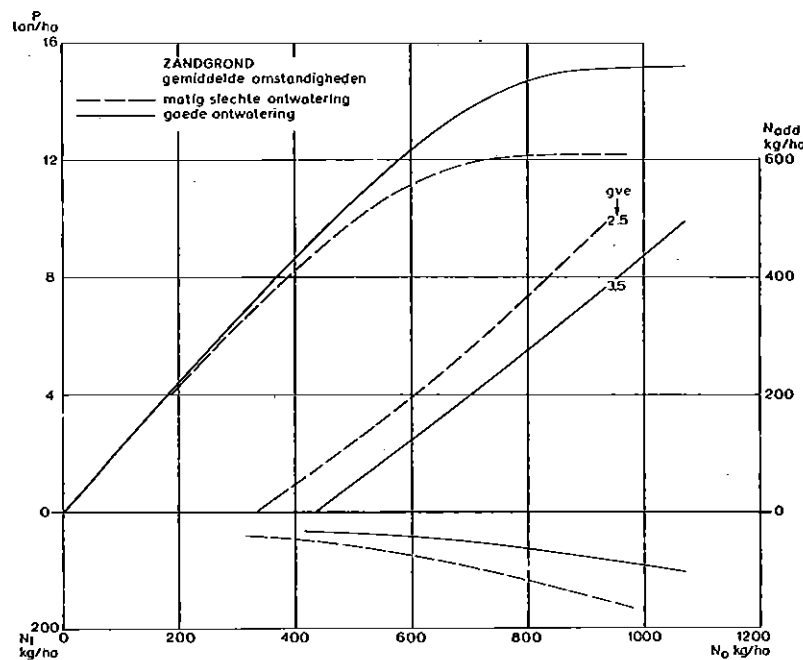


Fig. 6a. Het verband tussen de drogestofproduktie (P), de stikstof in omloop (N_0), de additionele stikstofaanvoer (N_{add}) en de stikstofuitspoeling (N_l) voor gemiddelde weersomstandigheden bij een matige en bij een goede ontwateringstoestand met bedrijfsintensivering op zandgrond

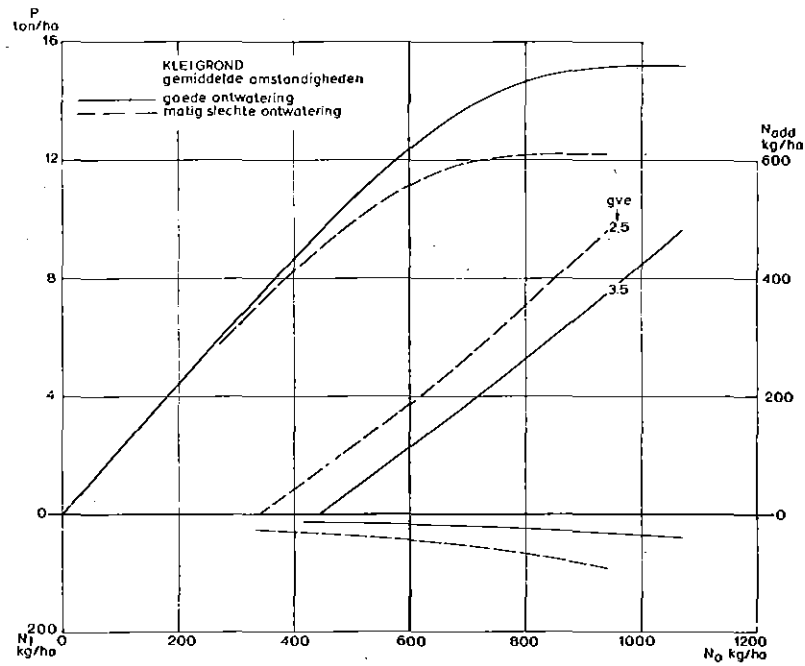


Fig. 6b. Idem als 6a echter op kleigrond

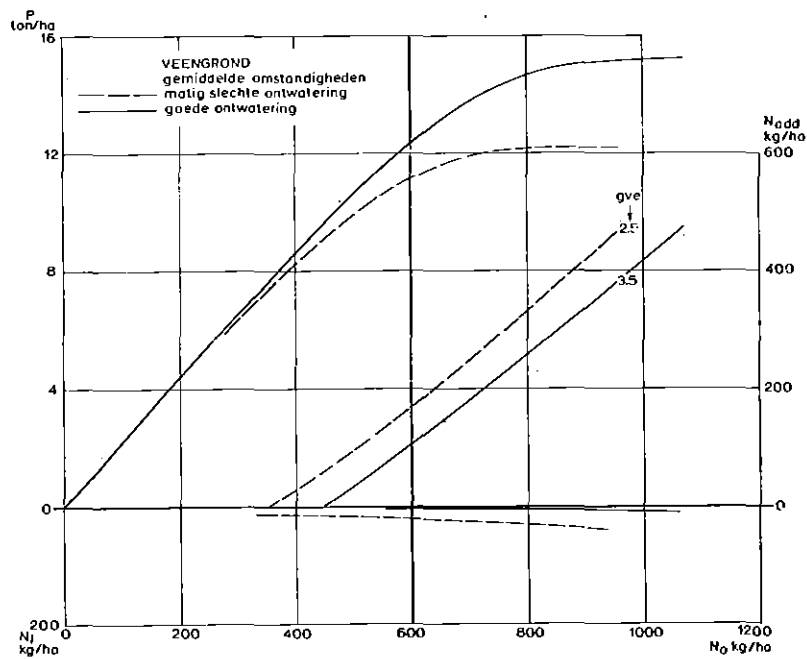


Fig. 6c. Idem als 6a echter op veengrond

Uit de uitspoelingscurven blijkt duidelijk dat de uitspoeling bij een goede ontwatering afneemt. In werkelijkheid moeten de hier gegeven waarden van de verbeterde situatie nog met een factor 2 worden gereduceerd, gezien de veel langere verblijftijd in het bodemprofiel,

waardoor in de zomer, na de winteruitspoeling, nog een belangrijke mate van denitrificatie optreedt (Rijtema, 1976). Voor alle drie de bodemtypen is het effect van cultuurtechnische verbeteringen op de uitspoeling in dezelfde richting van een verminderde uitspoeling.

In figuur 7 is voor zandgronden de invloed van beregening op de stikstofuitspoeling nagegaan. Hiervoor is in de berekeningen aangenomen dat een droge zomer wordt gevolgd door een normale winter. Er is van de veronderstelling uitgegaan, dat zonder beregening een droogteschade van 20% optreedt. Uit de berekeningen blijkt dat als er niet wordt beregend, de uitspoeling in de daarop volgende winter met 25 à 35 kg N/ha toeneemt.

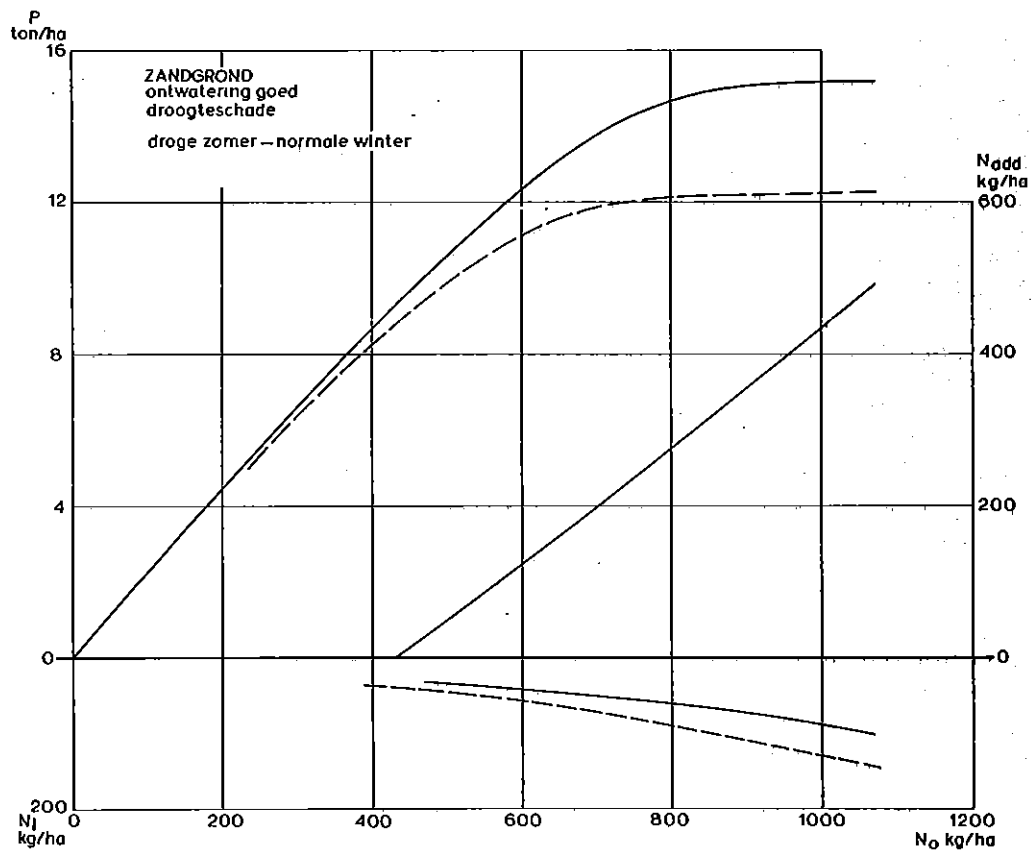


Fig. 7. Het verband tussen de drogestofproductie (P), de hoeveelheid stikstof in omloop (N_o), de additionele stikstofaanvoer (N_{add}) en de stikstofuitspoeling (N_l) voor zandgrasland met een goede ontwatering, met en zonder beregening in een droge zomer, gevolgd door een normale winter

Voor een beoordeling van de bedrijfsresultaten kan op basis van de ZW-behoefte per gve ook gebruik worden gemaakt van het hiervoor gegeven stikstof model. De resultaten van de berekeningen voor de niet verbeterde en de verbeterde situatie zijn weergegeven in fig. 8. In deze figuur is het verband weergegeven tussen de krachtvoerbehoefte uitgedrukt in ton ZW/ha, de additionele N-behoefte in kg/ha en de veebezetting in gve/ha. Uit praktijkervaring blijkt dat een produktieverhoging van 5 kg droge stof per kg N nog juist rendabel is. Bij een ZW-gehalte van 57% is de waarde van 1 kg N_{add} dan gelijk aan de waarde van 2,85 kg ZW. De gestippelde lijnen verbinden de punten waarbij de optimale verhouding wordt verkregen tussen de krachtvoer aankoop en de kunstmest aankoop.

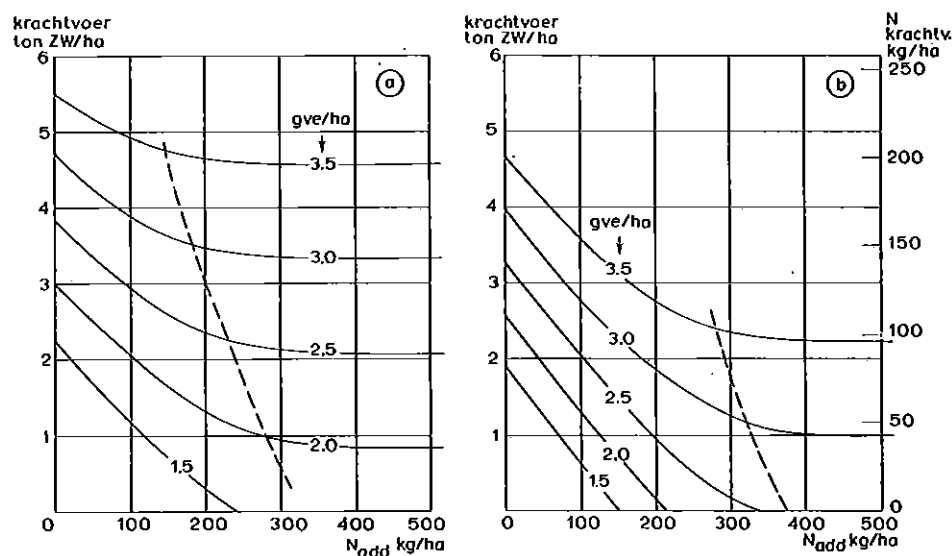


Fig. 8. Het verband tussen veebezetting, additionele stikstofbehoefte en krachtvoerbehoefte in ton ZW/ha. Tevens is de aanvoer van stikstof via het krachtvoer weergegeven. De stippellijnen geven de optimale waarde weer.
 a. gronden met een matige ontwateringstoestand
 b. gronden met een goede waterbeheersing

Tevens is de N-invoer in het bedrijf via het krachtvoer aangegeven. Ongeveer 75% van deze N-invoer komt via de organische mest in circulatie. Het is uit beide figuren duidelijk, dat in de verbeterde situatie een efficiëntere N-benutting optreedt. Tevens is uit de betreffende figuur duidelijk dat bij intensivering van het bedrijf bij gelijkblijven van het maximale ruwvoeder produktieniveau de additio-

nele N-behoefte afneemt. In de praktijk blijkt dit echter niet op te treden zodat met een toenemende veebezetting, het optimum wordt overschreden. Om een indruk te krijgen van de extra stikstofbelasting op het oppervlaktewater bij bedrijfsintensivering bij een slechte tot matige ontwateringstoestand is aangenomen dat de additionele N-gift bij 2,5 gve/ha gelijk is aan 230 kg N/ha. Ook bij 3,5 gve/ha wordt dan dezelfde gift gegeven. Op het verbeterde bedrijf wordt bij een veebezetting van 3,5 gve/ha de additionele N-gift geoptimaliseerd volgens figuur 8 op 280 kg N/ha. Gezien de gemiddelde verblijftijd van meer dan 1 jaar van de uitgespoelde N in het bodemprofiel na de verbetering van de ontwatering, waardoor nog circa 50% van de stikstof door denitrificatie uit het grondwater wordt verwijderd (Rijtema, 1976), kan nu de volgende stikstofbelastingstabel worden opgesteld.

Tabel 10. De stikstofbelasting op het oppervlaktewater bij bedrijfsintensivering en met en zonder verbetering van het produktie-omstandigheden en de ontwatering

Ontwateringstoestand	matig			goed
Veebezetting gve/ha	2,5	3,5	3,5	3,5
N _{add} kg/ha	230	230	150	280
Bodemtype	Effectieve N-uitspoeling in kg/ha			
zand	83	107	90	30
klei	50	67	54	13
veen	25	32	28	3

Uit tabel 10 blijkt duidelijk het belang van een goede beheersing van de produktie-omstandigheden, door verbeteringsmaatregelen en optimalisatie van de waarde van N_{add}.

Voor een beoordeling van de waarde van de verminderde stikstofbelasting op het oppervlaktewater, zou in eerste instantie kunnen worden uitgegaan van de extra kosten die moeten worden gemaakt voor de verwijking van stikstofverbindingen uit afvalwater. Dijkstra (1974) geeft een overzicht van de mogelijkheden om stikstof uit afvalwater te verwijderen en van de extra kosten die hiermede gemoeid zijn. De door hem vermelde kostencijfers zijn gegeven in tabel 11.

Op basis van de hier vermelde gegevens zou een vermindering van de N-belasting kunnen worden gewaardeerd op f 1 tot f 2 /kg N.

Tabel 11. Kosten voor de verwijdering van stikstofverbindingen , volgens Dijkstra (1974)

'Three sludge system' (bij gebruik van methanol als BZV-bron voor denitrificatie)	ca. f 3400/t kj-N
Breekpuntschloring	ca. f 2100/t kj-N
Verwijdering van nitraat-N door denitrificatie met methanol	ca. f 1900/t $\text{NO}_3\text{-N}$
Ionenwisselaars	ca. f 3000/t kj-N
DSM proces (afh. van de prijs van de BZV-bron)	f 1200 - f 1500/t kj-N f 600 - f 800/t $\text{NO}_3\text{-N}$

6.4. Invloed van het klimaat op de stikstofbalans

De additionele N-behoefte wordt in sterke mate mede bepaald door de klimaatsomstandigheden. Teneinde een indruk te verkrijgen betreffende de mogelijke effecten van de weersomstandigheden zijn voor bedrijven met een veebezetting van 3,5 gve/ha en een goede waterhuishouding voor de combinaties natte zomer - natte winter, droge zomer - droge winter en droge zomer - natte winter, de extreme waarden voor de additionele N-behoefte, de stikstofuitspoeling gedurende de winter en de in het voorjaar aanwezige stikstof in het bodemprofiel berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de figuren 9a, 9b en 9c.

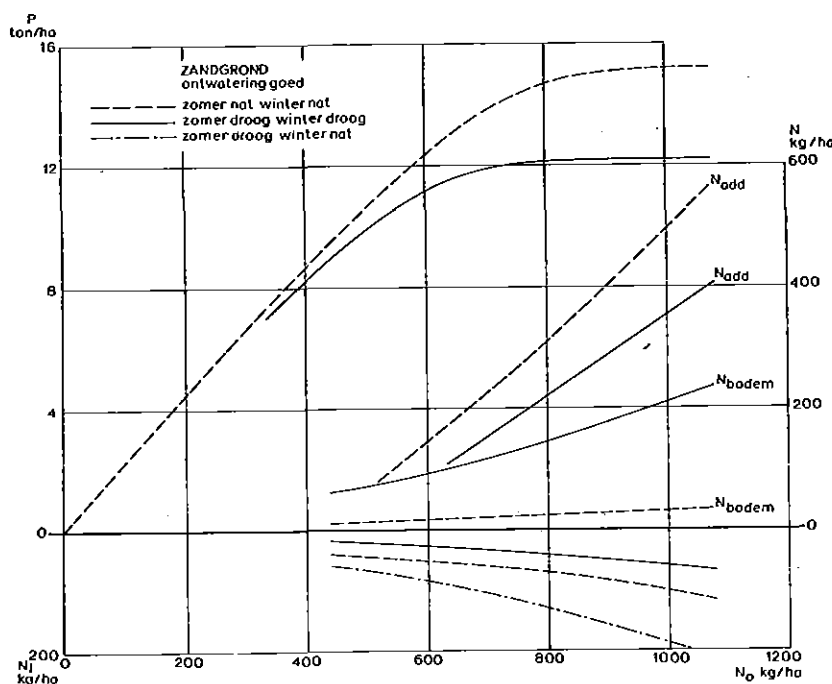


Fig. 9a.

Het verband tussen de drogestofproductie (P), de hoeveelheid stikstof in omloop (N_0) en de extreme waarden van de hoeveelheid stikstof in het voorjaar in de bodem, de additionele stikstofbehoefte en de stikstofuitspoeling (N_1) op zandgrond

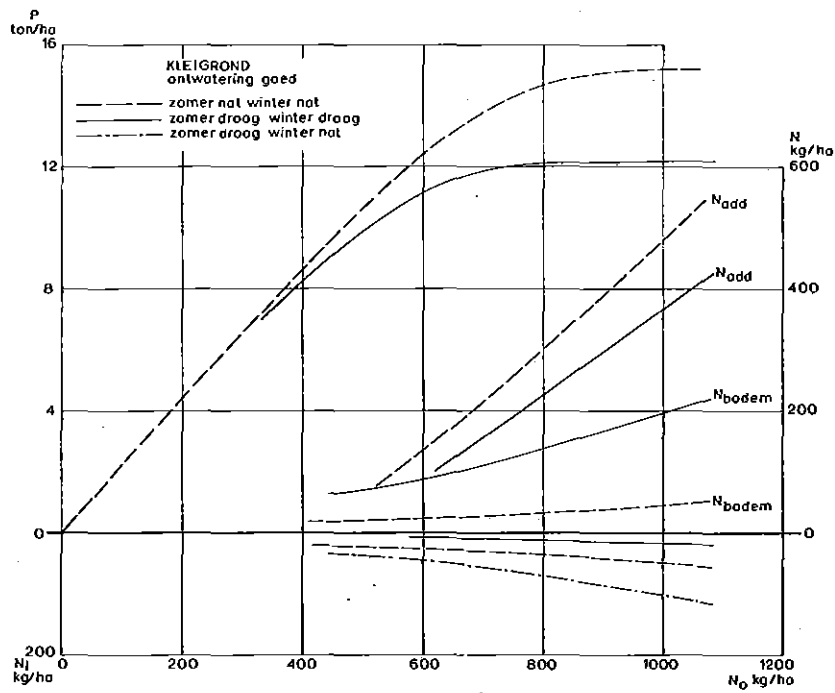


Fig. 9b. Idem als 9a, echter op kleigrond

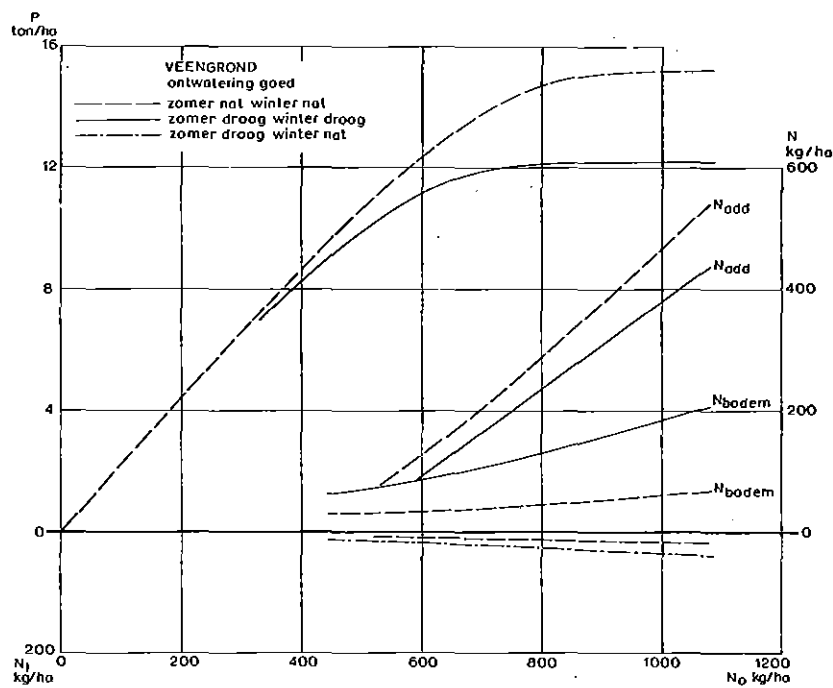


Fig. 9c. Idem als 9c, echter op veengrond

Uit de berekende resultaten blijkt, dat een bepaling van de in het voorjaar aanwezige bodemstikstof in de bovenste meter van het profiel een waardevolle aanwijzing kan geven betreffende de additionele N-behoefte. Voorts blijkt dat het verschil tussen de extreme waarden van de additionele N-behoefte zo groot is, dat het vrijwel onmogelijk is om in de praktijk de verhouding tussen krachtvoer aankoop en stikstofgift volledig te optimaliseren. In het algemeen zal men met een vrij constante N-gift rekening moeten houden, die onafhankelijk is van de weersomstandigheden. Het is duidelijk dat de verschillen in de extreme waarden voor de N-uitspoeling door de variatie in weersomstandigheden moeilijk zijn te voorkomen.

6.5. Beheersovereenkomsten en stikstofuitspoeling

In het kader van het natuurbeheer worden voor een aantal gebieden beheersovereenkomsten afgesloten met beperkende bepalingen voor de landbouw. Deze beperkingen hebben betrekking op het tijdstip van maaien en de beperkingen op het gebruik van met name de stikstof kunstmest.

6.5.1. Het goede weidebedrijf uit de jaren 1920-1940

In het oude weidebedrijf van voor de tweede wereldoorlog werd praktisch geen kunstmest toegepast, terwijl ook geen grote hoeveelheden krachtvoer werden aangekocht. Op de goede bedrijven werd ondanks dat een veebezetting van ca. 1 gve/ha bereikt. Dit was alleen mogelijk door een hoog percentage klavers in de botanische samenstelling, waardoor een biologische luchtstikstofbinding van 100 tot 125 kg N/ha werd bereikt. In figuur 10 is voor dit bedrijfstype de bruto drogestofproduktie en de stikstof uitspoeling weergegeven voor de drie bodemtypen. Door middel van een stippellijn is de situatie weergegeven voor een biologische stikstofaanvoer van 125 kg/ha. Onder deze omstandigheden wordt een bruto produktie bereikt van 7,5 ton/ha. Bij 40% opbrengstverlies en 57% ZW komt de ZW-voorziening via eigen ruwvoeder produktie op 2565 kg ZW/ha, hetgeen voldoende is om te voldoen aan de ZW behoefte van 1 gve/ha.

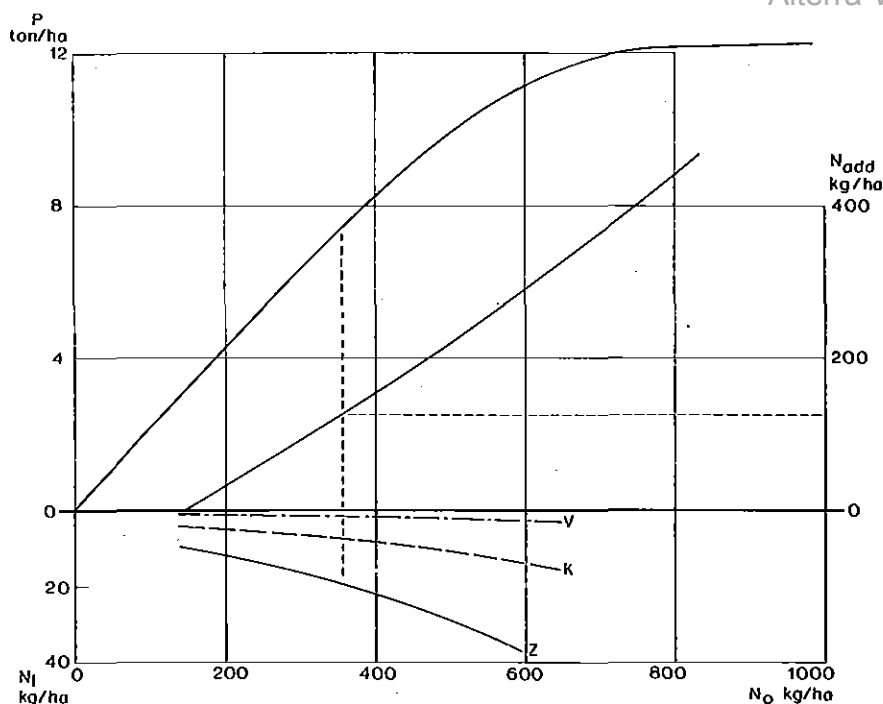


Fig.10. Het verband tussen de bruto drogestofproduktie (P), de hoeveelheid stikstof in omloop (N_o), de additionele stikstof aanvoer en de stikstof uitspoeling (N_l) bij een veebezetting van 1 gve/ha. De stippellijnen geven de produktie-omstandigheden weer voor goede klaverweiden, zonder gebruik van kunstmest

Onder deze omstandigheden is dus geen aankoop van grote hoeveelheden krachtvoer noodzakelijk.

6.5.2. Het weidebedrijf met beperkingen

Ten behoeve van weidevogelreservaten en bufferzones rond natuurterreinen worden beperkingen opgelegd aan de landbouw. Deze beperkingen betreffen zowel het gebruik van het land, als het bemestingsniveau. In veel gevallen wordt in deze gebieden het grondwater- en slootwaterpeil verhoogd. Door deze maatregelen verandert de botanische samenstelling van het grasland en neemt de waarde van $P_{\max}$ af. Tevens zullen de opbrengstverliezen toenemen. Voor de gebieden met beheersovereenkomsten is de waarde van $P_{\max}$ gesteld op 10,2 ton/ha, terwijl de opbrengstverliezen zijn gesteld op 50%.

In figuur 11. is het verband weergegeven tussen de additionele N-aanvoer de veebezetting, de bruto-drogestofproduktie en de

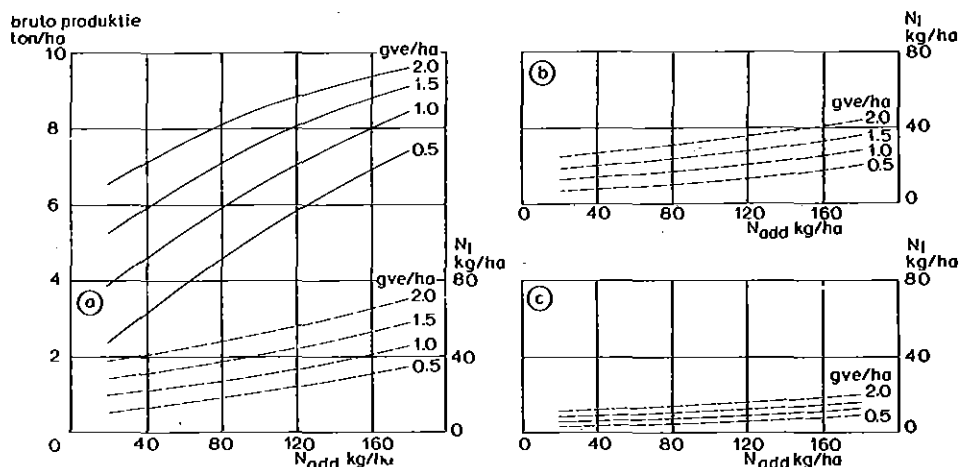


Fig. 11. Het verband tussen de bruto drogestofproduktie en de additionele stikstofaanvoer bij verschillende veebezettingen bij beperkende maatregelen. Tevens is de waarde van N_1 in afhankelijkheid van N_{add} weergegeven voor verschillende veebezettingen.
a. zandgrond; b. kleigrond; c. veengrond

stikstof uitspoeling. Hierbij is van de veronderstelling uitgegaan, dat de geproduceerde organische mest van het rundvee op het grasland wordt verwerkt. Indien de natuurlijke stikstofbinding onder deze omstandigheden wordt gesteld op 50 kg/ha, dan kan uit deze figuur de betekenis van een lage stikstof kunstmestgift op zowel productie als uitspoeling worden geanalyseerd.

In figuur 12 is voor deze bedrijfsomstandigheden, tevens het verband weergegeven tussen de additionele N-aanvoer, de netto ZW-productie/gve en de veebezetting weergegeven. Bij een ZW-behoefte van 2500 kg ZW/gve geeft het verschil met 2500 kg ZW de aankoopbehoefte voor krachtvoer/gve weer. Het is uit deze figuren duidelijk, dat in afhankelijkheid van de doelstellingen bij de beheersovereenkomst; naast beperkingen in het gebruik en het bemestingsniveau, ook beperkingen van de veebezetting noodzakelijk zijn.

De uitspoeling naar het oppervlaktewater bij een veebezetting van 1 gve/ha en een waarde van N_{add} van 100 kg/ha blijkt voor zand, klei en veen respectievelijk 30, 20 en 9 kg N/ha te bedragen. Deze waarden liggen in dezelfde orde van grootte als die bij optimale omstandigheden en goede ontwatering bij een veebezetting van 3, 5 gve/ha wordt bereikt (tabel 10).

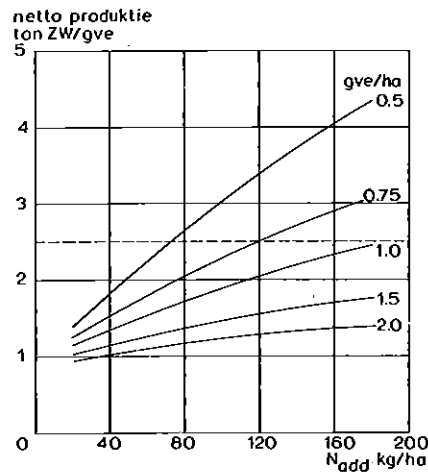


Fig. 12. Het verband tussen de netto ZW-productie in ton ZW/gve en de additionele stikstofaanvoer bij verschillende veebezettingen. De stippellijn geeft de ZW-behoefte per gve

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Ten behoeve van een uitgangsbasis voor de milieu-effectrapportage van cultuurtechnische werken en landbouwkundige maatregelen voor de produktieverhoging van het graslandbedrijf is een stikstofbalansmodel opgezet voor de berekening van de stikstofuitspoeling. Hoewel het model zeer globaal van opzet is, kunnen de te verwachten milieu-effecten op redelijke wijze worden gekwantificeerd.

Na een uitvoerige bespreking van de verschillende termen van de stikstofbalans binnen de melkveehouderij zijn voor een aantal gestandaardiseerde omstandigheden de consequenties van bepaalde ingrepen op de produktie-omstandigheden voor de stikstofemissie berekend. Hierbij is als 'nulplan' ingevoerd, bedrijfsintensivering zonder cultuurtechnische verbeteringen, naast bedrijfsintensivering met cultuurtechnische maatregelen.

Verbetering en beheersing van de produktie-omstandigheden door profielverbetering, goede ontwatering en eventueel toepassing van beregening heeft tot gevolg, dat bij bedrijfsintensivering de N-belasting op het oppervlaktewater kleiner wordt.

Ten behoeve van een eventuele waardering van dit milieu-effect, in een kosten-baten analyse van cultuurtechnische werken, is in

eerste instantie uitgegaan van de extra kosten die bij zuiveringsinstallaties zouden moeten worden gemaakt voor de stikstofverwijdering uit het effluent. Afhankelijk van het gebruikte systeem variëren deze kosten van f 1 tot f 2 per kg N.

De verminderde stikstofbelasting voor de berekende gestandaardiseerde condities is voor zand-, klei- en veengronden in de orde van grootte van respectievelijk 60-80, 40-55 en 20-30 kg N/ha.

Via de modelberekeningen is tevens een indicatie verkregen betreffende de mogelijke jaarlijkse fluctuaties in de N-uitspoeling bij een goede ontwatering. De resultaten van de berekeningen duiden er op dat een voorjaarsbemonstering van de in het profiel aanwezige minerale stikstof van grote betekenis kan zijn voor de stikstofbemestingsadvisering.

Met behulp van het ontwikkelde model is het mogelijk om de verhouding tussen krachtvoer aankoop en stikstof kunstmest aankoop in afhankelijkheid van veebezetting en cultuurtechnische omstandigheden te optimaliseren.

Ook ten behoeve van het onderzoek naar een bedrijfseconomische analyse van beheersovereenkomsten kan dit model een bijdrage leveren. Er zijn enkele voorbeeldberekeningen gegeven voor de relatie tussen de aanvoer van N_{add} , de veebezetting en de eigen ruwvoerproductie. Tevens is bij deze berekeningen de aankoopbehoefte aan krachtvoer of ruwvoer van elders bij verschillende veebezettingen bepaald. Naast beperkingen in de kunstmestgift lijkt een beperking van de veebezetting bij een beheersovereenkomst essentieel.

De stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater in beheersgebieden, waar het waterpeil wordt verhoogd, is bij een veebezetting van 1 gve/ha en bij een waarde van N_{add} van 100 kg/ha in dezelfde orde van grootte als bij cultuurtechnisch optimale omstandigheden met een veebezetting van 3,5 gve/ha.

8. LITERATUUR

ANONIEM, 1972. Grundsätze für den Anbau von Obst aus naturgemässen, biologischen Anbau. Anbaurichtlinien Fassung vom 15-1-1973. Arbeitsgemeinschaft für naturgemässen Qualitätsanbau von Obst und Gemüse.

- BECKING, J.H., 1967. Stikstofbinding, een biologisch proces van grote economische betekenis. *Natuur en techniek* 35, 9:1-11.
- , 1971. Biological nitrogen fixation and its economic significance. In: *Nitrogen - 15 in soil-plant studies*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- BELL, F. and P.S. NUTMANN, 1971. Experiments on nitrogen fixation by modulated lucerne. *Plant and Soil*. Special volume 231-264.
- BOXEM, Tj., 1973. Stikstofbemesting en bruto-opbrengst van grasland. *Stikstof* 7: 536-545.
- BURG, P.F.J., VAN, 1965. De stikstofbemesting van grasland. 7. Het nitraatgehalte als indicator voor de stikstofvoeding. *Stikstof* nr. 47/48: 461-469.
- DIJKSTRA, F., 1974. De verwijdering van stikstofverbindingen uit afvalwater. *H₂O* 22/74: 489-496.
- DILZ, K. and J.W. WOLFFENDORP, 1960. Distribution and nitrogen balance of N-15 labelled nitrate applied on grass sods. *Proc. 8th international Grassland Congress*: 150-152.
- FRANKENA, H.J., 1939. Over stikstofbemesting op grasland V. Verslag van vier behandelingsproefvelden. *Versl. L.O.* 45, no. 11.
- HAMAKER, PH, 1975. Experimentele toetsing van een model voor berekening van de chloride uitspoeling van kasgronden. *ICW-nota* 878: 19 pp.
- HENKENS, CH.H., 1977. Grasland. Interne Notitie Consulentenschap voor Bodem en Bemestingsaangelegenheden: 8 pp.
- KOLENBRANDER, G.J., 1969. Nitrate content and nitrogen loss in drain water. *Neth. J. Agric. Sci.* 17 : 246-255.
- , 1974. Efficiency and organic manure in increasing soil organic matter content. *Trans. 10th int. Congr. Soil Sci. Moscow* 2: 129-136.
- MULDER, E.G., 1949. Onderzoekingen over de stikstofvoeding van landbouwgewassen. I. Proeven met kalkammonsalpeter op grasland. *Versl. v. L.O.* 55. nr. 7.
- , 1962. Stikstofbemesting en stikstofbinders. *Landbouwkundig Tijdschr.* 74.13: 546-565.

- OOSTENDORP, D., 1964. Stikstofbemesting en bruto-opbrengst van grasland. Stikstof 4: 192-202.
- POSTGATE, J.R., 1974. New advances and future potential in biological nitrogen fixation. Journal of applied Bacteriology 37: 185-202.
- ROSE, C.W., J.E. BEGG, G.F. BYRNE, B.W.R. TORSELL and J.H. GONCZ, 1972. A simulation model of growth-field environment relationships for Townville Stylo (*Stylosanthes humilis*, HBK) pasture. Agric Met. 10:161-183.
- RIJTEMA, P.E., 1976. Emissie van fosfaat en stikstof uit landbouwgronden. ICW-nota 929. 17 pp.
- SCHOTHORST, C.J., 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. Geoderma 17: 265-291.
- SLUIJSMANS, C.M.J. en G.J. KOLENBRANDER, 1976. De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn. Stikstof 76, band 7:349-354.