

Optimalisering van economische en milieukundige doelen in de melkveehouderij op zandgrond op regionaal niveau

G.W.J. van de Ven

ab-dlo

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:

- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige productiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwproducten.

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembioïologie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidecologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

Adres

Vestiging Wageningen:

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

tel. 0317-475700

fax 0317-423110

e-mail postkamer@ab.dlo.nl

Vestiging Haren:

Postbus 129, 9750 AC Haren

tel. 050-5337777

fax 050-5337291

e-mail postkamer@ab.dlo.nl

Inhoudsopgave

| | pagina |
|---|--------|
| Samenvatting | 1 |
| 1. Inleiding | 3 |
| 2. Methode | 5 |
| 3. GRASMOD, de technische coëfficiëntengenerator voor grasland | 7 |
| 3.1. Kenmerken van produktietechnieken en stikstofstromen in grasland | 7 |
| 3.2. Resultaten van GRASMOD | 9 |
| 4. De technische coëfficiëntengenerator voor maïs en voederbieten | 13 |
| 4.1. Kenmerken van produktietechnieken en stikstofstromen in maïs en voederbieten | 13 |
| 5. De IMDP-matrix | 17 |
| 5.1. De doelstellingen | 17 |
| 5.2. De randvoorwaarden | 18 |
| 6. Resultaten van het Melkveehouderijmodel | 21 |
| 6.1. Stikstofverliezen en arbeidsinkomen | 21 |
| 6.2. Melkveehouderij op zandgrond bij maximalisering van het regionale inkomen zonder beperkingen | 24 |
| 6.3. Melkveehouderij op zandgrond in het jaar 2000 bij het huidige stikstofbeleid | 25 |
| 6.4. Geïntegreerde melkveehouderij | 27 |
| 7. Slotbeschouwing | 33 |
| Literatuur | 35 |

Samenvatting

Het doel van het onderzoek was een modelmatige analyse van de mogelijkheden voor ruwvoerproductie (met name gras, maïs en voederbieten) en aanwending van dierlijke mest in de melkveehouderij binnen landbouwkundig, milieutechnisch en economisch gedefinieerde randvoorwaarden. De mogelijkheden en beperkingen van het mestgebruik zijn geanalyseerd door kwantificering van de nutriëntenhuishouding, met name stikstof (N).

Met het model GRASMOD zijn kengetallen betreffende gewasproductie, veebezetting en stikstofstromen voor een breed scala van graslandmanagementsystemen gekwantificeerd. De managementvarianten hebben betrekking op graslandgebruikswijze, melkproduktieniveau per koe en stikstofbemesting. Hetzelfde is met gelijksoortige modellen gedaan voor maïs in continueelt en in rotatie met voederbieten. De managementvarianten van deze systemen hebben betrekking op stikstofbemesting, aanwendingsmethode van drijfmest, telen van een wintergewas, geogoste produkt en bij voederbieten het oogsten van het blad. Naast deze kengetallen zijn gegevens verzameld over de voedervoorziening van het vee en is een economische component gedefinieerd, beiden gebaseerd op de gangbare normen. Al deze delen tesamen vormen het melkveehouderijsysteem.

Met behulp van optimaliseringstechnieken zijn verschillende doelstellingen geoptimaliseerd onder een set van randvoorwaarden. Daarbij worden ruwvoerproduktietechnieken geselecteerd, die zo goed mogelijk voldoen aan de geformuleerde eisen. Optimalisering is uitgevoerd voor melkveehouderij op zandgrond op regionaal niveau.

De resultaten laten zien dat bij maximalisering van het inkomen zonder beperkingen op stikstofemissies een melkproduktie van ruim 26 t per ha bereikt kan worden. Daar hoort zomerstalvoeding bij met krachtvoeraankopen van ruim 13 t per ha en een inkomen van fl 5 250 per ha. Maïs en voederbieten worden niet geteeld. De veebezetting is 3,3 melkkoeien per ha. Dit is het meest intensieve systeem dat onder de gegeven set van produktiesystemen en randvoorwaarden mogelijk is.

Bij aanscherping van de eisen voor nitraatuitspoeling tot 34 en voor ammoniakvervluchtiging tot 30 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, volgens de normen voor het jaar 2000, daalt de melkproduktie tot 16,4 t per ha, wordt beperkt geweid en wordt maïs in continueelt verbouwd. De krachtvoeraankopen dalen tot 5,5 t per ha en het inkomen daalt tot fl 3 810 per ha. De veebezetting is 2,1 melkkoei per ha.

Als laatste zijn voor geïntegreerde melkveehouderij een set van doelstellingen gedefinieerd en geoptimaliseerd. Dit zijn nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging, het stikstofoverschot, het fosforoverschot, de melkproduktie, het inkomen, de reservering van een deel van het areaal voor houtwallen en het aantal koeien in een beweidingssysteem in de zomer. Aan deze doelstellingen zijn tevens grenswaarden opgelegd. De uitkomsten laten zien dat aan alle doelstellingen in redelijke mate kan worden voldaan. De componenten waaruit het melkveehouderijsysteem is opgebouwd verschillen weinig bij optimalisering van de verschillende doelstellingen, maar de verhouding waarin ze geselecteerd worden verschilt aanzienlijk.

De analyse zoals in deze studie weergegeven laat zien dat de Nederlandse melkveehouderij op zandgrond aan zowel economische en milieudoelen tegemoet kan komen. Om aan beide tegelijkertijd in redelijke mate te voldoen moet echter zowel inkomen worden opgeofferd als een zekere stikstofemissie worden geaccepteerd.

De set van modellen die in deze studie is ontwikkeld biedt goede mogelijkheden om beleidsondersteunende analyses uit te voeren.

1. Inleiding

De gangbare produktiesystemen in de Nederlandse landbouw worden gekenmerkt door een hoge graad van intensivering, een ruime inzet van produktiemiddelen, zoals kunstmest, en een eenzijdig accent op economische doelstellingen. Dit heeft enerzijds geleid tot overproduktie en anderzijds tot een aanzienlijke belasting van bodem, water en lucht met ongewenste stoffen en verarming van flora en fauna en van het landschap.

In de zandgebieden overschrijdt de nitraatconcentratie in het grondwater op steeds grotere schaal de drinkwaternorm van 50 mg l⁻¹ (De Wit & Bleuten, 1987; Van Duijvenbooden, 1989). Nitraatuitspoeling treedt vooral op in periodes met een neerslagoverschot (winterperiode), hoewel er aanwijzingen zijn dat ook in natte periodes gedurende het groeiseizoen aanzienlijke verliezen op kunnen treden, bijvoorbeeld na aanwending van grote hoeveelheden mest, zoals op maïsland gebruikelijk was, en uit beweid grasland bij hoge stikstofgiften. In de bodem kan onder bepaalde omstandigheden denitrificatie plaats vinden, waarbij nitraat wordt omgezet in stikstofgas en lachgas. Het eerste is onschadelijk, maar het tweede draagt bij aan het broeikas-effect. Stikstof kan in de bodem geïmmobiliseerd worden in organische vorm en is in die vorm niet schadelijk voor het milieu. De stikstof die vrijkomt bij de afbraak van organische stof kan door het gewas worden opgenomen, alsnog uitspoelen of denitrificeren.

Vervluchtiging van ammoniak draagt sterk bij aan atmosferische depositie van stikstof en derhalve aan eutrofiëring van terrestrische ecosystemen en verzuring van de bodem. Van de totale ammoniakvervluchtiging in Nederland komt ca. 50 % uit de rundveehouderij (Schneider & Bresser, 1988). Naar schatting was in 1980 de vervluchtiging gemiddeld ca. 100 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Steeds meer zandgronden raken verzadigd met fosfor, met als gevolg uitspoeling en afspoeling (Breeuwsma et al., 1991). Dit leidt tot eutrofiëring van oppervlaktewater.

In de afgelopen jaren heeft het beleid zich intensief met deze problematiek beziggehouden. Nationaal heeft dat geleid tot het uitbrengen van een groot aantal beleidsdocumenten, zoals het Nationaal Milieubeleidsplan, de Structuurnota Landbouw en het Natuurbeleidsplan. Oplossingsrichtingen zijn ook aangedragen, zoals in het Advies van de Commissie Stikstof (Goossens & Meeuwissen, 1990) en het Plan van Aanpak Beperking Ammoniak-emissie van de Landbouw (Ministerie VROM, 1989). In deze documenten wordt beargumenteerd dat voor een duurzame landbouw de inzet van externe produktiemiddelen drastisch moet worden beperkt en dat produktiesystemen moeten worden ontwikkeld die economische, milieukundige, ecologische en landschappelijke doelen op een evenwichtige manier nastreven, daarbij gebruik makend van de meest geschikte technieken. Deze systemen worden geïntegreerde produktiesystemen genoemd. Geïntegreerde landbouw is een dynamisch geheel. Naarmate het relatieve belang van de doelstellingen anders ligt, bijvoorbeeld door regionale verschillen of verschuivingen in de tijd door aanscherping van milieu-eisen, zijn verschillende produktiesystemen gewenst.

Het doel van het onderzoek was mogelijke ontwikkelingsrichtingen voor de melkveehouderij op zandgrond te indentificeren, die aan al deze doelstellingen tegemoet komen. Hiertoe is een modelmatige analyse uitgevoerd van de mogelijkheden voor ruwvoerproduktie (met name gras, maïs en voederbieten) en aanwending van dierlijke mest in de melkveehouderij binnen landbouwkundig, milieutechnisch en economisch gedefinieerde randvoorwaarden. De mogelijkheden en beperkingen van mestgebruik zijn geanalyseerd door kwantificering van de nutriëntenhuishouding. De economische evaluatie is gebaseerd op de opbrengst en kwaliteit van het geproduceerde ruwvoer en op normatieve economische gegevens. In deze systeem-

analytische benadering worden kennis en inzicht op bodemkundig, veevoedkundig, waterhuishoudkundig, teelttechnisch en economisch gebied geïntegreerd. Met behulp van optimaliseringstechnieken zijn ruwvoederproductiesystemen geselecteerd, die zo goed mogelijk voldoen aan de geformuleerde randvoorwaarden en eisen.

Deze studie is gericht op goed ontwaterde zandgronden in Nederland, omdat daar de milieuproblemen het grootst zijn. Met enige aanvullende informatie zijn de uitkomsten vrij gemakkelijk uit te breiden naar alle zandgronden. Voor uitbreiding naar andere grondsoorten moet meer basisinformatie verzameld worden.

2. Methode

De mogelijkheden voor de melkveehouderij zijn verkend door middel van optimalisering, waarbij melkproductiesystemen moeten voldoen aan meerdere, deels conflicterende, doelstellingen tegelijk, onder een aantal gespecificeerde randvoorwaarden. De melkproductiesystemen zijn geformuleerd door interacties tussen bodem, gewassen en dieren te kwantificeren voor een groot aantal uiteenlopende productiesystemen voor voedergewassen en drie typen dieren. De doelstellingen hebben zowel betrekking op het arbeidsinkomen als op het milieu.

De belangrijkste elementen van deze methode zijn technische coëfficiëntengeneratoren (TCG) en een model voor interactieve meervoudige doelprogrammering (IMDP). De TCG is een model om voor een uiteenlopende set van produktietechnieken op consistente wijze gewasopbrengst, produktkwaliteit, stikstofbalans, stikstofverliezen en fosforoverschot te kwantificeren. De produktietechnieken variëren in de benodigde inzet van produktiemiddelen en in output, zowel gewenste als ongewenste. Ze dragen daardoor op uiteenlopende wijze bij aan de realisatiemogelijkheden van de doelstellingen. Het resultaat van de TCG is een tabel met technische coëfficiënten per gewas.

IMDP combineert een multi-criteria-optimaliseringstechniek met lineaire programmering. De input/output-tabellen uit de TCG worden samen met economische gegevens via een subroutine ingelezen in het IMDP-model. In dat model zijn alle doelstellingen en randvoorwaarden expliciet geformuleerd. Het TCG- en IMDP-model samen vormen het Melkveehouderijmodel.

Het optimaliseringsproces bestaat uit verschillende iteraties. Per iteratie wordt één doelvariabele geoptimaliseerd, terwijl op de andere doelvariabelen restricties worden gezet. De mate waarin een doel gerealiseerd wordt, wordt uitgedrukt door de waarde van de betreffende doelvariabele. In de eerste ronde zijn de restricties op de doelvariabelen zo ruim mogelijk, zodat het absolute minimum of maximum van elke doelstelling onder de gegeven set van randvoorwaarden en produktietechnieken wordt verkregen. In volgende rondes wordt iedere doelstellingen steeds opnieuw geoptimaliseerd, terwijl de doelrestricties op de verschillende doelstellingen stapsgewijs worden aangetrokken. Op deze manier worden economische en milieu-doelen stapsgewijs geïntegreerd, totdat het meest acceptabele compromis is bereikt. Gedurende het optimaliseringsproces moet de gebruiker van het model zijn voorkeuren voor de doelstellingen uitspreken. Daardoor krijgt hij een beeld van de onderlinge uitruilwaarden van de verschillende doelen, dat wil zeggen wat het toegeven op de ene doelstelling oplevert in termen van de andere doelstellingen. Door tijdens de optimaliseringsprocedure de nadruk op bijvoorbeeld milieudoelen te leggen, zullen andere productiesystemen worden geselecteerd, dan wanneer de nadruk op economische doelen ligt. De uitkomsten van het model geven het meest optimale melkveehouderijsysteem weer bij de gekozen waarden van de doelstellingen onder de gegeven omstandigheden. Dat melkveehouderijsysteem wordt beschouwd als het eind van een ontwikkelingspad. Hoe de ontwikkeling van het huidige naar het meest optimale systeem zou moeten verlopen, wordt in deze studie niet bekeken.

De optimalisering is uitgevoerd op regionaal niveau. Dit heeft als voordeel dat het aantal produktietechnieken dat geselecteerd kan worden uit de geformuleerde set onbepaald is. De keuze tussen een combinatie van intensieve en extensieve technieken enerzijds en alleen gematigd intensieve technieken anderzijds, wordt zodoende niet van tevoren ingebouwd, maar is een uitkomst van de optimalisering.

De uitkomsten van deze studie kunnen niet zonder meer naar bedrijfsniveau vertaald worden. Het is praktisch gesproken onmogelijk om alle gekozen produktietechnieken op één bedrijf toe te passen en alle bedrijven in een regio identiek te maken. Bovendien hebben boeren zo hun eigen voorkeuren wat betreft produktietechnieken en doelstellingen (Van der Ploeg et al., 1993). Het model is vrij eenvoudig zó aan te passen, dat het wél geschikt is voor optimaliseringen op bedrijfsniveau. Daarvoor dienen extra beperkingen opgenomen te worden, die een produktietechniek aan een minimum oppervlakte binden. Het aantal produktietechnieken dat geselecteerd kan worden, wordt zodoende beperkt. Tevens dient de economische component in het model uitgebreid te worden met bedrijfsspecifieke kengetallen. Bedrijfskenmerken, zoals bedrijfsgrootte en verkaveling zijn niet in de analyse meegenomen.

3. GRASMOD, de technische coëfficiënten-generator voor grasland

De beschikbare grond kan worden gebruikt als grasland en voor de teelt van maïs en voederbieten. Voor elk van deze gewassen is een TCG gemaakt. De opzet van elke TCG is afhankelijk van de meest bepalende teeltkenmerken die van belang zijn voor de realisatie van de doelstellingen. De TCG voor grasland verschilt nogal sterk van die voor maïs en voederbieten.

De grasproductie in de zomer bepaalt de veebezetting, in afhankelijkheid van de diercategorie en het melkproductieniveau van de melkkoeien. In de TCG voor grasland gaat het dus niet puur om grasproductie, maar ook om het aantal dieren dat gehouden kan worden. Maïs en voederbieten zijn alleen toeleverend aan het vee.

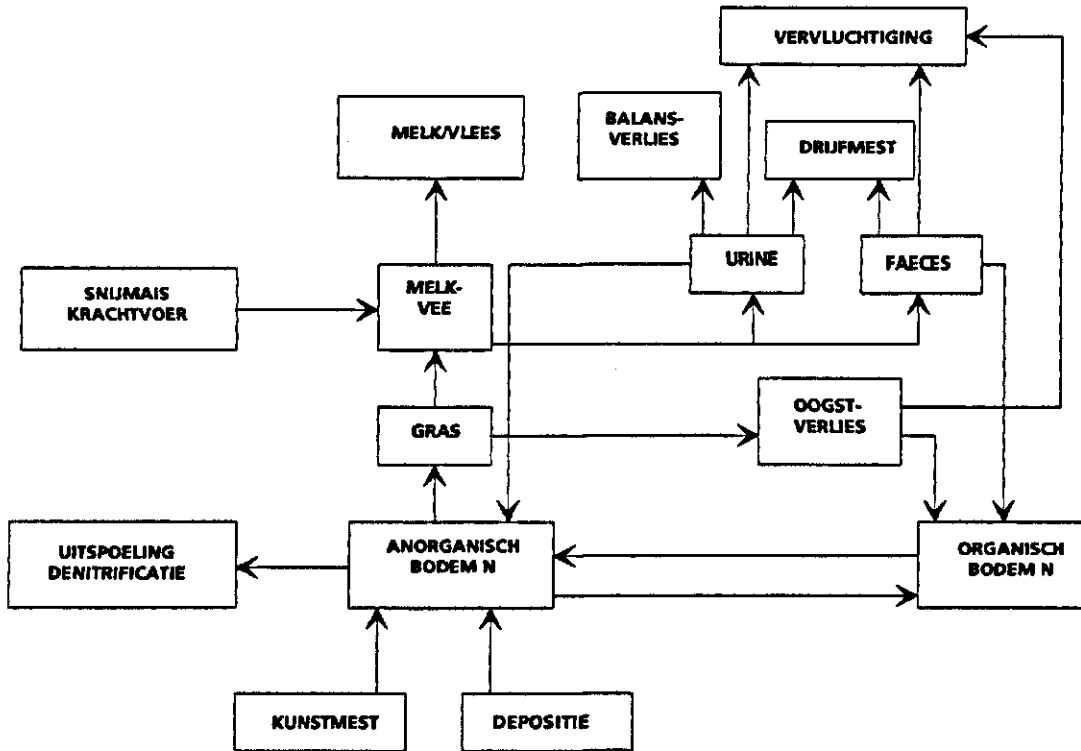
3.1. Kenmerken van produktietechnieken en stikstofstromen in grasland

De technieken voor grasproductie en -gebruik worden gekenmerkt door

- het stikstofbemestingsniveau: 8 niveaus, variërend van 100 tot 450 kg ha⁻¹ jr⁻¹;
- de diercategorie: melkkoe, kalf en pink;
- de graslandgebruikswijze: zomerstalvoeding met bijvoeding van 4,5 kg snijmaïs per dag, zomerstalvoeding zonder bijvoeding van snijmaïs, onbeperkt weiden zonder bijvoeding van snijmaïs, beperkt weiden met bijvoeding van 4,5 kg snijmaïs, maaien voor conservering met als produkt hooi, kuilgras gemaaid bij 4 t ds ha⁻¹, kuilgras gemaaid bij 3 t ds ha⁻¹ of kunstmatig gedroogd gras gemaaid bij 3 t ds ha⁻¹;
- het niveau van ruwvoerrestrekking: 80, 90 en 100 % van de maximale ruwvoeropname;
- het melkproductieniveau van de koeien: 5000, 6500 en 8000 kg melk per dier per jaar.

Elke realistische combinatie van deze kenmerken vormt een unieke produktietechniek. Dit leidt tot 320 verschillende produktietechnieken. De TCG voor gras is een onderdeel van het graslandgebruiksmodel GRASMOD. Met dit model worden stikstofstromen, fosforstromen, gewasopbrengst en -kwaliteit, veebezetting, etc. voor elke techniek voor grasproductie en -gebruik voor de zomerperiode berekend. De fosforstromen zijn slechts globaal uitgewerkt. Ze worden voornamelijk berekend volgens de geldende normen. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van de stikstofstromen in GRASMOD.

De relatie tussen stikstofopname en grasproductie bij verschillende oogstfrequenties is afgeleid uit de resultaten van PAW 970. Dit was een 10-jarige veldproef op 'normaal' vochthoudende zandgrond gelegen op drie lokaties (Van Steenberghe, 1977; Van de Ven, 1992). De relatie tussen stikstofbemesting en stikstofopname is gebaseerd op drie andere proeven op zandgrond (Snijders et al., 1987). De stikstoflevering door de bodem en depositie is gesteld op 150 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (Van der Meer, 1987). Het gras wordt opgenomen door het vee, waarbij een deel, afhankelijk van de graslandgebruikswijze, verloren gaat als beweidings- of oogstverlies.



Figuur 1 Overzicht van de stikstofstromen op grasland in melkveehouderijsystemen

De veebezetting wordt berekend door de netto-energieproductie van het gras en de energiebehoefte van de dieren op elkaar af te stemmen. In eerste instantie wordt uitgegaan van zoveel mogelijk ruwvoer. Het ruwvoedervervoorzieningsniveau wordt dan op 100 % gesteld. Krachtvoer wordt alleen verstrekt indien noodzakelijk om de melkproductie te realiseren. Bij een ruwvoedervervoorziening van 80 en 90 % wordt 20, respectievelijk 10 % van het ruwvoer vervangen door krachtvoer. In melk en vlees wordt een deel van de door het vee opgenomen stikstof vastgelegd. De rest wordt uitgescheiden in urine en faeces. Bij alle graslandgebruikswijzen komt een deel van de mest tijdens het melken in de stal terecht. Aangenomen is dat melken 4 uur per etmaal duurt en dat de mestproductie evenredig over het etmaal verdeeld is. Stikstof die op grasland terecht komt, maar niet wordt opgenomen, kan vervluchtigen als ammoniak, uitspoelen als nitraat of denitrificeren. In GRASMOD is de relatie tussen stikstofbemesting en nitraatverlies voor diep ontwaterd grasland op zandgrond, zoals beschreven door Van der Meer en Meeuwissen (1989), aangehouden. Aangenomen is dat 10 % van het nitraatverlies denitrificeert en de rest uitspoelt. Ammoniakvervluchtiging vindt plaats uit mest, urine en rottend gras. Uit de beweidings- en oogstverliezen die op het land achterblijven vervluchtigt 3 % van de aanwezige stikstof (Vertregt en Rutgers, 1988). Voor urineplekken is de relatie tussen stikstofbemesting en ammoniakvervluchtiging afgeleid uit verschillende experimenten (Jarvis, 1987; Vertregt en Rutgers, 1988; Bussink, 1994). Voor mestflatten is aangenomen dat 13 % van de aanwezige stikstof vervluchtigt (Vertregt en Rutgers, 1988). Dit leidt tot een plaatselijk hoge stikstofbelasting en ook hoge gewasproductie. In mestflatten is de meeste stikstof organisch gebonden. Aangenomen is dat de extra produktie aan de rand van mestflatten (Middelkoop, 1989) juist de gederfde produktie in de flat compenseert. Van de stikstof uitgescheiden in urine komt ca. 60 % beschikbaar voor het gewas (Vertregt en Rutgers, 1988). Uitgaande van de totale stikstofbelasting in een urineplek kan uit de uitspoelingscurve voor maaien, de uitspoeling berekend worden (Van der Meer & Meeuwissen, 1989). Er wordt onderscheid gemaakt in velddelen die niet, éénmaal, tweemaal of vaker met urine worden bedekt. Voor elk van deze delen worden stikstofopname, drogestofopbrengst en stikstof-

verliezen volgens dezelfde procedure, maar met oplopende stikstofbelasting berekend. Vervolgens worden de resultaten per ha grasland berekend als het gewogen gemiddelde. Aangenomen is dat de hoeveelheid stikstof die jaarlijkse in niet-oogstbare delen van het gewas wordt vastgelegd, gelijk is aan de hoeveelheid die er door afsterving eruit vrijkomt. Gebaseerd op de hiervoor genoemde aannamen ten aanzien van stikstofstromen wordt een stikstofbalans berekend. Als geen andere processen optreden waarbij stikstof verloren gaat dan de vermelde, is in een evenwichtssituatie het berekende overschot gelijk aan de levering door de bodem. Indien het overschot groter is, vindt accumulatie plaats. Indien het kleiner is, vindt uitputting van bodemstikstof plaats. Het stikstofoverschot is dus niet gebaseerd op gemeten waarden, maar berekend als sluitpost van de stikstofbalans. Onnauwkeurigheden in schatting van de grootte van andere stikstofstromen, komen hier dus in terug. Bij de berekeningen in GRASMOD wordt de geproduceerde drijfmest niet aangewend. Dit gebeurt later in het IMDP-model. Voor meer informatie over de berekeningswijze wordt verwezen naar het verslag over GRASMOD (Van de Ven, 1992) en de uitbreiding voor jongvee daarvan (Boons & Van de Ven, 1993).

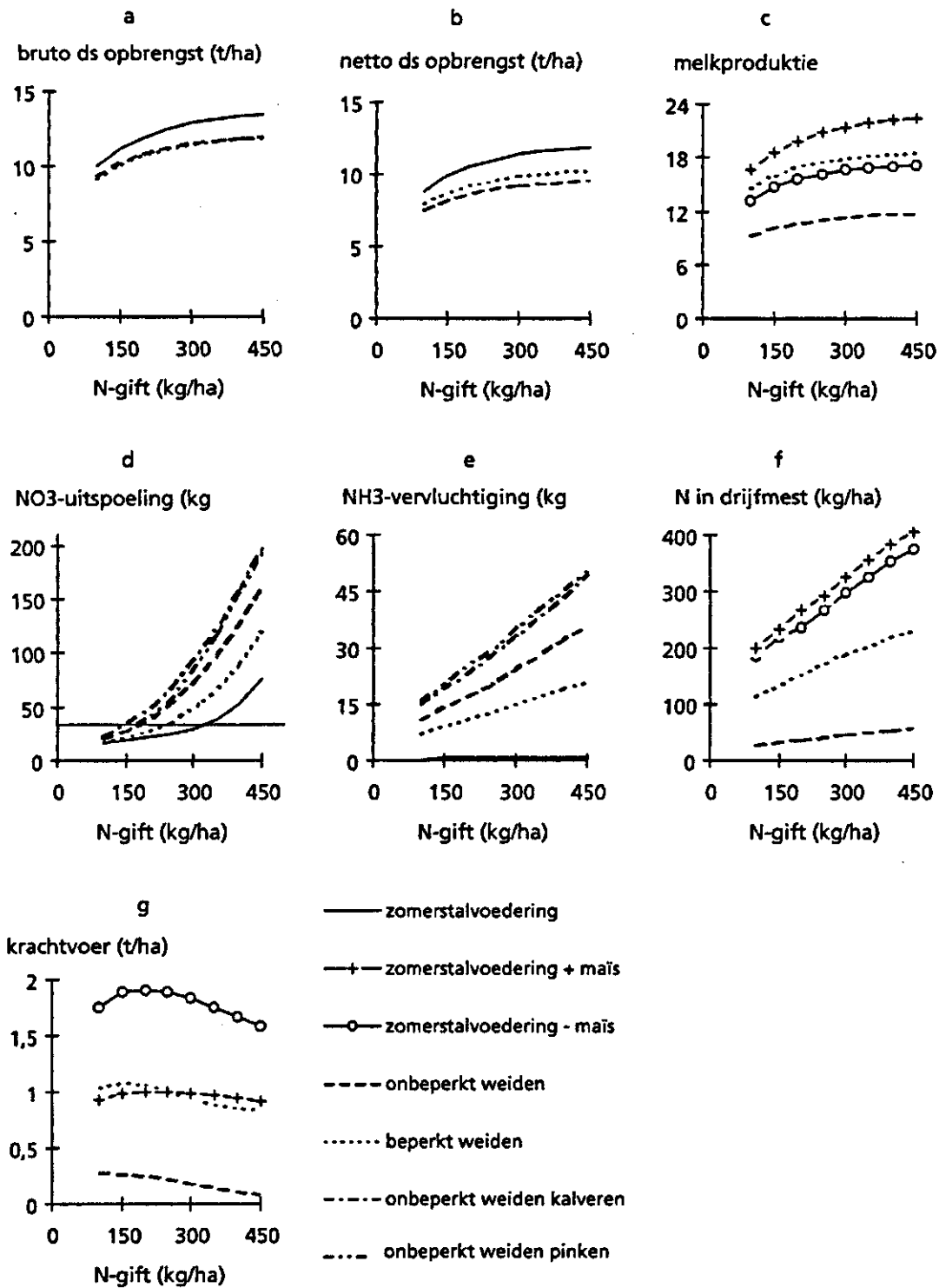
De TCG selecteert uit de resultaten van GRASMOD een aantal inputs en outputs die nodig zijn voor de optimalisering. De inputs betreffen veebezetting, stikstofbemesting, stikstofdepositie, en snijmaïs- en krachtvoerbehoefte. De outputs betreffen hoeveelheid stikstof en fosfor in drijfmest, nitraatverliezen uit de wortelzone (nitraatuitspoeling + denitrificatie) en ammoniakvervluchtiging. Verder worden het aantal sneden dat per jaar geoogst kan worden, de fosforbalans en de organische-stikstofbalans geselecteerd. Indien het gras gemaaid wordt voor conservering worden tevens de drogestofopbrengst en de voederwaarde, uitgedrukt in energie-inhoud, DVE- en OEB-waarde, berekend. Een aantal andere inputs en outputs, zoals arbeidsbehoefte, melkproductie per ha en inkomen worden om praktische redenen in het IMDP-model berekend of komen uit een aparte 'datafile'.

3.2. Resultaten van GRASMOD

Met GRASMOD is de invloed van stikstofbemesting en graslandgebruikswijze op gewas- en melkproductie en verliezen berekend (Fig. 2). De resultaten hebben betrekking op 1 ha grasland in de zomerperiode, bij een ruwvoedervervoorziening van 100 % en melkkoeien die 6 500 kg per jaar produceren. De oppervlakte nodig om maïs te telen en de winning van wintervoer zijn buiten beschouwing gelaten.

De bruto-grasopbrengst wordt voornamelijk bepaald door de oogstfrequentie. Koeien worden ingeschaard bij 1700 kg ds, terwijl bij zomerstalvoeding wordt gemaaid bij 2300 kg ds. Bij begrazing is het aantal hergroeiperiodes, waarin een vertraagde groei optreedt, groter en dus de opbrengst lager (Fig. 2a). Het kleine verschil tussen onbeperkt en beperkt omweiden wordt veroorzaakt door stikstof uit urine (Tabel 1). Bij onbeperkt weiden is de hoeveelheid urine-stikstof die op het land komt groter en de drogestofopbrengst dus hoger. Het verschil in hoeveelheid uitgescheiden urinstikstof per koe tussen beide systemen vertaalt zich niet evenredig door naar stikstofbelasting per ha, omdat bij beperkt weiden de veebezetting hoger is. De netto-drogestofopbrengst bij onbeperkt weiden is lager dan bij beperkt weiden (Fig. 2b), omdat de beweidingsverliezen groter zijn, nl. 20 % versus 14 %. Bij zomerstalvoeding zijn de oogstverliezen 7 % (Asijee, 1994).

De melkproductie per ha is het hoogst bij zomerstalvoeding met bijvoeding van snijmaïs (Fig. 2c). Omdat 4,5 kg maïs wordt bijgevoerd, kunnen er per ha grasland meer koeien gehouden worden. Bij beperkt weiden met snijmaïsbijsvoeding is de melkproductie per ha hoger dan bij zomerstalvoeding zonder snijmaïs.



Figuur 2 Het effect van stikstofbemesting op (a) bruto-drogestofopbrengst, (b) netto-drogestofopbrengst, (c) melkproductie, (d) nitraatuitspoeling; de horizontale lijn geeft de EU-drinkwaternorm aan bij een neerslagoverschot van 300 mm, (e) ammoniakvervluchtiging, (f) de hoeveelheid N die in drijfmest terecht komt en (g) de hoeveelheid aangekocht krachtvoer voor de verschillende graslandgebruikssystemen zoals berekend met GRASMOD

De nitraatuitspoeling is het laagst bij zomerstalvoeding, omdat geen mest en urine op het land komen (Fig. 2d). De EU-norm voor drinkwater is 50 mg nitraat per liter. Bij een neerslagoverschot van 300 mm komt dit neer op een toegestane uitspoeling van 34 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Bij zomerstalvoeding leidt dit tot een maximale stikstofgift van 325 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Onder beweiding is de nitraatuitspoeling aanzienlijk hoger. Het effect van urinestikstof op nitraatverliezen is veel groter dan op drogestofopbrengst (Tabel 1).

Tabel 1 De invloed van beweiding op het oppervlak bedekt door urine, de totale N-belasting in urineplekken, produktie en nitraatuitspoeling bij een stikstofgift van 200 kg ha⁻¹, een ruwvoedervoorzieningsniveau van 100 % en koeien met een melkproduktieniveau van 6 500 kg jr⁻¹

| | Geen urine | 1x urine | 2x urine | > 2x urine | Gemiddeld |
|--|------------|----------|----------|------------|-----------|
| Oppervlakte bedekt (%) | 68 | 26 | 5 | 1 | 100 |
| N in urine kg ha ⁻¹) | 0 | 345 | 690 | 1070 | 135 |
| ds-opbrengst | 10540 | 11470 | 11850 | 12000 | 10850 |
| NO ₃ -uitspoeling kg N ha ⁻¹) | 22 | 48 | 147 | 287 | 37 |

De maximale stikstofgift bij beperkt weiden is ca. 250 en bij onbeperkt weiden 190 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Kalveren en pinken leggen alleen stikstof vast in het lichaam door groei. Daardoor wordt een groter deel uitgescheiden in mest en urine dan bij melkkoeien. De maximale jaarlijkse stikstofbemesting bij onbeperkt weiden is voor pinken 150 en voor kalveren 180 kg ha⁻¹.

De ammoniakvervluchtiging neemt toe met de stikstofgift en is het hoogst bij onbeperkt weiden met kalveren door de hoge stikstofuitscheiding in mest en urine (Fig. 2e). Bij zomerstalvoeding treedt nauwelijks vervluchtiging op.

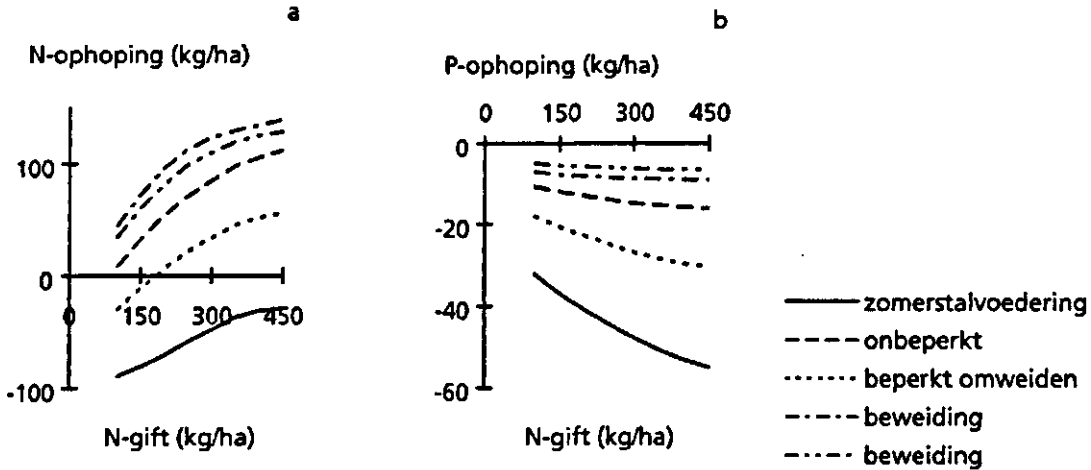
Bij zomerstalvoeding met snijmaïsbijsvoeding is de hoeveelheid stikstof die in drijfmest terecht komt het grootst (Fig. 2f). Blijkbaar is de veebezetting zoveel hoger dat het lagere stikstofgehalte in snijmaïs meer dan gecompenseerd wordt. Bij onbeperkt weiden komt slechts een klein deel van de mest en urine in de drijfmestkelder terecht.

De hoeveelheid aangekocht krachtvoer wordt beïnvloed door twee tegengestelde effecten. Bij toenemende stikstofbemesting neemt de produktie en dus ook de veebezetting toe. Bij een constante opnamecapaciteit voor ruwvoer, neemt de behoefte aan krachtvoer lineair met de veebezetting toe. Maar bij hogere bemesting neemt ook de kwaliteit van het ruwvoer toe en is juist weer minder krachtvoer nodig voor dezelfde produktie. Bij zomerstalvoeding zowel met als zonder bijsvoeding van snijmaïs heeft de toename in veebezetting de overhand bij bemestingsniveaus beneden 200 kg N en daarboven is het omgekeerde het geval. Bij onbeperkt weiden heeft het effect van een lagere krachtvoerbehoefte de overhand.

Er van uitgaande dat geen andere verliezen optreden dan beschreven, wordt alle stikstof die niet verloren gaat als nitraat of ammoniak of denitrificeert, vastgelegd. De mineralisatie is geschat op 153 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Deze hoeveelheid stikstof moet ook weer vastgelegd worden om uitputting van de bodem te voorkomen. De rest accumuleert of, indien de vastlegging minder is dan 153 kg, wordt er ingeteerd op de bodemvoorraad. De netto-accumulatie, d.w.z. de ophoping na correctie voor mineralisatie, is weergegeven in Figuur 3a. Bij zomerstalvoeding wordt over het hele traject van stikstofbemestingsniveaus ingeteerd op de bodemvoorraad. Bij beperkt weiden is de bodemstikstofvoorraad in evenwicht bij een stikstofgift van 180 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Bij onbeperkt weiden vindt over het hele traject van bemestingsniveaus accumulatie van stikstof plaats. Hierbij moet wel bedacht worden, dat de aanwending van drijfmest niet in de beschouwing is betrokken. Dit gebeurt in het IMPD-model. Als er geen even-

wicht in de bodem is, zal op den duur de stikstofmineralisatie veranderen en moet GRASMOD opnieuw gedraaid worden met een aangepaste stikstofmineralisatiesnelheid. Echter, de veranderingen in de bodemvoorraad zijn relatief zo klein, dat het vele jaren duurt voordat de stikstofstromen in grasland er wezenlijk door beïnvloed worden. Bovendien is de netto-accumulatie berekend als sluitpost op de mineralenbalans en heeft als zodanig geen theoretisch of experimentele achtergrond.

De netto-fosforaccumulatie is negatief voor alle graslandgebruikswijzen, omdat geen fosforbemesting plaatsvindt, noch met kunstmest, noch met drijfmest (Fig. 3b). Het IMDP-model neemt dit voor zijn rekening. Bij zomerstalvoeding wordt al het gras afgevoerd en dat resulteert in het laagste fosforoverschot. De hoeveelheid fosfor die met mest en urine weer terugkomt op het land bepaalt het fosforoverschot.

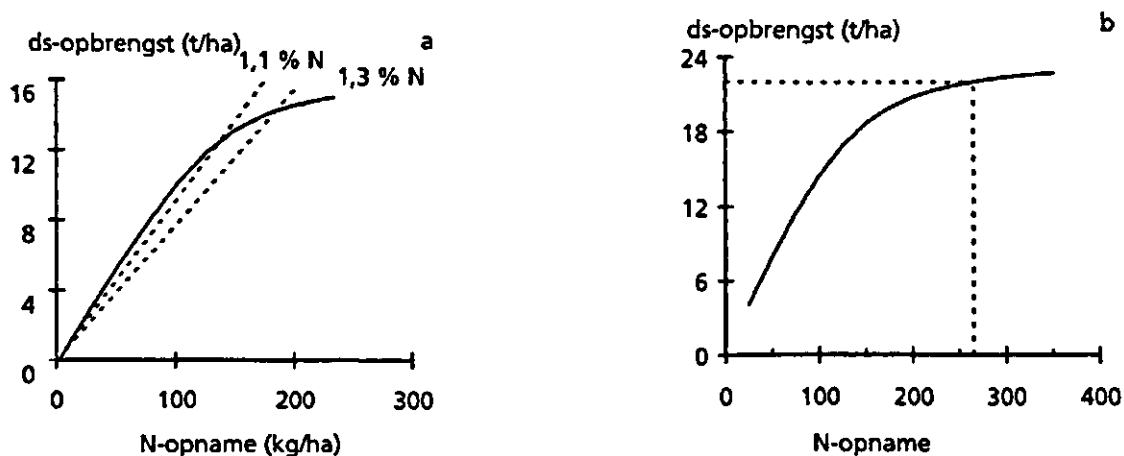


Figuur 3 De relatie tussen stikstofbemesting en (a) stikstofophoping en (b) fosforophoping voor verschillende graslandgebruikswijzen, zoals berekend met GRASMOD, zonder aanwending van de geproduceerde drijfmest

4. De technische coëfficiëntengenerator voor maïs en voederbieten

4.1. Kenmerken van produktietechnieken en stikstofstromen in maïs en voederbieten

De relatie tussen stikstofopname en drogestofproductie voor maïs en voederbieten is beschreven met een niet-orthogonale hyperbool (Aarts & Middelkoop, 1990; Fig. 4). De parameters die deze relatie beschrijven zijn het minimum stikstofgehalte, een vormparameter en de maximale opbrengst. Het minimum stikstofgehalte is soort- en rasspecifiek en niet afhankelijk van groeiomstandigheden. De vormparameter is afgeleid uit resultaten van veldproeven. De maximale opbrengst hangt af van de waterbeschikbaarheid. In dit onderzoek is het vochtleverend vermogen van de grond gesteld op 150 mm.



Figuur 4 De relatie tussen stikstofopname en produktie van (a) maïs en (b) voederbieten volgens een niet-orthogonale hyperbool (naar Aarts & Middelkoop, 1990)

Om de stikstofstromen in de bodem te beschrijven is gebruik gemaakt van een model ontwikkeld door Wolf et al. (1989). Dit is een eenvoudig stikstofbalansmodel, waarin schematisch de belangrijkste omzettingen van stikstof in de bodem op lange termijn beschreven worden. Er wordt onderscheid gemaakt in labiele en stabiele organische stikstof (LON en SON). Mineralisatie vindt alleen plaats door afbraak van LON. Afbraak van SON leidt tot transfer naar LON. Stikstof komt via externe bronnen, zoals depositie, organische en anorganische bemesting, het systeem binnen. Deze stikstof wordt verdeeld over opname door het gewas, verliezen en LON. Deze verdeling wordt beschreven via transfercoëfficiënten. Tabel 2 geeft een overzicht van de transfercoëfficiënten die nodig zijn om met het model te kunnen rekenen. De waarden zijn zowel voor maïs als voor voederbieten afgeleid uit resultaten van veldproeven. Waar geen gegevens voorhanden waren, zijn ze geschat op basis van andere informatie (Wolf et al., 1989).

Tabel 2 Transfercoëfficiënten voor de TCG's voor maïs en voederbieten

| Inputs | Transfercoëfficiënten naar: | | | |
|------------------|-----------------------------|---------|-----|-----|
| | Gewas | Verlies | LON | SON |
| Kunstmest | + | + | + | |
| Depositie | + | + | + | |
| LON | + | + | + | + |
| SON | | | + | |
| Stoppel + wortel | | | + | |
| Wintergewas | + | + | + | |
| Drijfmest | + | + | + | |

Voor maïs en voederbieten is dezelfde grondsoort genomen als voor grasland. De initiële hoeveelheden LON en SON zijn afgeleid uit proefveldgegevens. Maïs en voederbieten worden dus als het ware geteeld na het scheuren van grasland. In de eerste jaren is de mineralisatie vrij hoog en deze neemt in de loop van de tijd af tot evenwicht is bereikt. Om echt in een evenwichtssituatie terecht te komen zijn decennia nodig. Echter, na 20 tot 25 jaar is het effect van gescheurd grasland al sterk verkleind. De resultaten van het model gemiddeld voor de periode 20 tot 25 jaar na scheuren zijn daarom als basis genomen voor verdere berekeningen. Met de TCG's voor maïs en voederbieten worden gewasopbrengst, gewaskwaliteit uitgedrukt in energie-inhoud, DVE- en OEB-waarde, organische en anorganische stikstofvoorziening, nitraatverliezen uit de wortelzone, de fosforbalans en de organische stikstofbalans gekwantificeerd. Ook voor deze gewassen worden een aantal inputs en outputs in het IMDP-model berekend of via een aparte 'datafile' ingevoerd, o.a. de ammoniakvervluchtiging en arbeidsinzet. Maïs kan worden geteeld in continueelt of in rotatie met voederbieten. Voederbieten kunnen niet in continueelt worden geteeld door de te hoge ziektedruk die dan ontstaat. De rotatie bestaat uit twee jaar maïs en één jaar voederbieten. De produktiesystemen voor maïs en voederbieten worden gekenmerkt door:

- de produktiestreefwaarden: 3 stikstofgehalten voor maïs (1,1, 1,2 en 1,3 g kg⁻¹ ds) en 1 opbrengstniveau voor voederbieten (22 ton ds ha⁻¹ jr⁻¹). Voor maïs komen de stikstofgehalten overeen met een stikstofopname van 140, 165 en 185 kg en een drogestofopbrengst van 12,7, 13,7 en 14,3 t ha⁻¹. Voor voederbieten is de stikstofopname 265 kg, de bietenopbrengst 17,3 en de bladopbrengst 4,7 t ds ha⁻¹;
- de verhouding tussen kunstmest- en drijfmeststikstof: 4 verhoudingen, variërend van 100 % kunstmest tot 100 % runderdrijfmest;
- de drijfmesttoedieningsmethode: oppervlakkig aanwenden, injecteren en onderwerken direct na toediening;
- plaatsing van zowel kunstmest als drijfmest: breedwerpig en in de rij (De Wit, 1953; Schröder, 1991);
- al of niet telen van een wintergewas na maïs (Schröder et al. 1992; Schröder & Ten Holte, 1992);
- type maïsprodukt: snijmaïs en maïskolvensilage (MKS);
- al of niet oogsten van het blad na de teelt van voederbieten (Houba, 1973; Debruck, 1979; Ten Holte & Van Keulen, 1989).

Ook hier leidt elke realistische combinatie van kenmerken tot een unieke produktietechniek, resulterend in 512 varianten voor maïs in continueelt en 1024 varianten voor maïs in rotatie met voederbieten. Enkele resultaten met betrekking tot stikstofgift en nitraatuitspoeling voor verschillende varianten zijn weergegeven in de Tabellen 3 en 4. De eerste produktietechniek in

Tabel 3 wordt beschouwd als de referentie-techniek voor maïs in continueelt. De snijmaïso-pbrengst is $14,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, de stikstofopname is $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, de stikstofbemesting bestaat volledig uit kunstmest, de verdeling van de kunstmest is breedwerpig, er wordt geen wintergewas geteeld en het produkt is snijmaïs.

Tabel 3 De stikstofbemesting en het nitraatverlies voor een aantal produktietechnieken voor maïs in continueelt

| Produktietechniek | stikstofgift ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) | nitraatverlies ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) |
|--|---|---|
| referentietechniek | 225 | 115 |
| alleen drijfmest, geïnjecteerd | 285 | 135 |
| alleen drijfmest, oppervlakkige toediening | 430 | 145 |
| teelt wintergewas | 195 | 85 |
| rijenbemesting | 185 | 80 |
| teelt wintergewas en rijenbemesting | 160 | 50 |
| oogsten van MKS | 185 | 125 |
| stikstofgehalte 11 g kg ds^{-1} | 155 | 95 |
| teelt wintergewas | 120 | 65 |
| rijenbemesting | 125 | 70 |
| teelt wintergewas en rijenbemesting | 100 | 45 |
| oogsten van MKS | 125 | 100 |

Om de vereiste stikstofopname te bereiken is bij de referentietechniek 225 kg kunstmest-stikstof per ha nodig. De daarmee samengaande nitraatuitspoeling bedraagt $130 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De ammoniakvervluchtiging uit kunstmest is verwaarloosbaar. Doordat geen organische mest wordt aangewend is $30,5 \text{ kg}$ fosfor in de vorm van kunstmest nodig om de balans in evenwicht te houden. Als alle kunstmest wordt vervangen door geïnjecteerde runderdrijfmest is $285 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ nodig. Bij een gemiddeld stikstofgehalte van $4,4 \text{ kg}$ per ton is dus 65 ton drijfmest nodig. De nitraatuitspoeling is 135 kg N . Het fosfor-overschot is $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, dus er wordt geen extra fosfor toegediend met kunstmest. De ammoniakvervluchtiging is $7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bij oppervlakkige toediening van drijfmest is 430 kg N ha^{-1} nodig en is de uitspoeling $145 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Het fosforoverschot is 34 kg en de ammoniakvervluchtiging bedraagt $130 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De stikstofopname door het gewas moet in alle gevallen gelijk zijn en dus de hoeveelheid beschikbare minerale stikstof ook. Daardoor is het nitraatverlies ook steeds ongeveer hetzelfde. Het deel van stikstof uit drijfmest dat opneembaar is door het gewas, is aanzienlijk lager dan bij kunstmest. Bij oppervlakkige toediening vindt bovendien nog eens een aanmerkelijke ammoniakvervluchtiging plaats, zodat er extra veel drijfmest moet worden toegediend om dezelfde stikstofopname te realiseren als met kunstmest. Hier zijn alleen de twee extremen weergegeven: alle stikstof met kunstmest toedienen of alle stikstof met drijfmest. Uiteraard zijn er ook combinaties mogelijk, zodat de fosforbalans beter in evenwicht kan worden gebracht. De teelt van een wintergewas is een mogelijkheid om de nitraatuitspoeling met zo'n 25% terug te dringen. De stikstofgift is $195 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, omdat er meer stikstof in de bodem achter blijft en in het volgende jaar voor het gewas beschikbaar komt. De fosforbemesting voor evenwicht tussen aan- en afvoer is $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Het wintergewas wordt niet met fosfaat-kunstmest of met drijfmest bemest, zodat er geen extra aanvoer is. Indien de stikstof in de rij wordt toegediend, is $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ nodig en wordt het stikstofverlies met ca. 30% terug-

gedrongen. Bij combinatie van de teelt van een wintergewas en rijenbemesting is de stikstofgift nog $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en het nitraatverlies wordt met 55 % gereduceerd tot $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Het oogsten van de maïs als MKS leidt tot een iets hogere nitraatuitspoeling. Het organischestofgehalte van de bodem is hoger dan bij oogsten van de hele maïsplanten. Dit leidt tot een iets hogere basisuitspoeling. Om dezelfde reden is de bodemlevering wat hoger en kan met minder stikstof worden volstaan. De fosforbemesting is 4 kg minder omdat meer gewasresten op het land achterblijven dan bij de oogst van snijmaïs. Stikstof en fosfor komen bij afbraak van deze resten weer deels aan het gewas ten goede.

Bij een stikstofgehalte van $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ ds is de produktie $12,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De benodigde hoeveelheid kunstmeststikstof is $155 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, de nitraatuitspoeling $95 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en de fosforbemesting $27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bij de teelt van een wintergewas is de stikstofgift $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en de nitraatuitspoeling $65 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bij toepassen van rijenbemesting wordt 125 kg stikstof toegediend en is de nitraatuitspoeling $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Indien beide maatregelen worden genomen is de totale stikstofgift 100 kg en de nitraatuitspoeling $45 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Het oogsten van MKS leidt tot een stikstofgift van 125 kg en een nitraatuitspoeling van $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$.

Voor de rotatie van maïs en voederbieten zijn in Tabel 4 de resultaten van hetzelfde type produktiesystemen weergegeven. De getallen zijn gemiddelden per jaar voor een drie-jarige rotatie, dus voor 1/3 beteeld met voederbieten en 2/3 met maïs. De drogestofopbrengst is 5750 kg voederbieten, 1585 kg blad en 9500 kg snijmaïs ha^{-1} . De getallen in de tabel spreken voor zich. Het blijkt dat opname van voederbieten in de rotatie het nitraatverlies aanmerkelijk terugdringt, in het basissysteem met ruim 20 %, maar de drinkwaternorm wordt bij lange na nog niet bereikt. Maïsteelt gaat altijd gepaard met grote verliezen, tenzij zowel een wintergewas wordt geteeld als rijenbemesting toegepast. Het zou zinnig zijn rotaties door te rekenen, waarbij ook gras opgenomen wordt. Maïs kan dan in een lagere frequentie geteeld worden, zodat gemiddeld de nitraatverliezen wel aan de drinkwaternorm kunnen voldoen. Dat is in deze studie niet gedaan.

Tabel 4 Uitkomsten van de TCG voor een aantal produktietechnieken voor een rotatie van 2 jaar maïs en 1 jaar voederbieten

| Produktietechniek | stikstofgift ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) | nitraatverlies ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) |
|--|---|---|
| referentietechniek | 225 | 90 |
| alleen drijfmest, geïnjecteerd | 280 | 105 |
| alleen drijfmest, oppervlakkig aangewend | 420 | 115 |
| teelt wintergewas | 200 | 65 |
| rijenbemesting | 190 | 65 |
| teelt wintergewas en rijenbemesting | 175 | 45 |
| blad achterlaten op het land | 200 | 95 |
| oogsten MKS | 195 | 95 |

5. De IMPD-matrix

In de optimaliseringsmatrix worden de doelstellingen en randvoorwaarden beschreven als lineaire relaties. In de kolommen staan de verschillende activiteiten ofwel produktietechnieken weergegeven en in de rijen de randvoorwaarden. De rijen en kolommen worden met elkaar verbonden door technische coëfficiënten. De technische coëfficiënten van de landgebruiksvormen zijn berekend met de TCG's voor de verschillende gewassen en vormen een deel van de input/output-tabel. De overige technische coëfficiënten, zoals voederwaarden van krachtvoer, maïs en voederbieten en economische kengetallen, zijn uit de literatuur afgeleid. In de volgende paragrafen zullen de doelstellingen en de randvoorwaarden worden toegelicht.

5.1. De doelstellingen

De doelstellingen hebben betrekking op de problemen die in de inleiding zijn gesignaleerd. Voor het verkennen van de mogelijkheden voor geïntegreerde melkveehouderij zijn de volgende doelstellingen geformuleerd:

- nitraatuitspoeling (minimaliseren)
- ammoniakvervluchtiging (minimaliseren)
- stikstofoverschot zoals gedefinieerd op de mineralenbalans (minimaliseren)
- fosforoverschot zoals gedefinieerd op de mineralenbalans (minimaliseren)
- melkproduktie (maximaliseren)
- arbeidsinkomen (maximaliseren)
- arbeidsinzet (zowel minimaliseren als maximaliseren)
- landschap: * oppervlakte gereserveerd voor houtwallen (maximaliseren)
* aantal melkkoeien, dat 's zomers buiten graast (maximaliseren)

Voor geïntegreerde melkveehouderij is deze lijst niet compleet, maar weerspiegelt wel de aspecten die de meeste aandacht verdienen.

Nitraatuitspoeling bij de verschillende landgebruiksvormen wordt gekwantificeerd in de TCG's. Op een goed ontwaterde zandgrond spoelt ongeveer 90 % van de N die verloren gaat uit de wortelzone uit. De resterende 10 % denitrificeert. Ammoniak vervluchtigt uit rottende gewasresten, uit mest- en urineplekken in beweid grasland, uit stal en mestopslag en als gevolg van aanwending van drijfmest. Het stikstof- en fosforoverschot is gedefinieerd als het verschil tussen inputs en outputs. Inputs zijn depositie, kunstmest en krachtvoer. Outputs zijn melk en vlees. Het stikstofoverschot bestaat uit de som van uitspoeling, vervluchtiging, denitrificatie en stikstof vastgelegd in de bodem. Het fosforoverschot is gelijk aan de vastlegging plus de onvermijdelijke verliezen. Deze laatste post is nog onderwerp van discussie. De melkproduktie is de resultante van de veebezetting en de melkproduktie per koe. Het arbeidsinkomen is gedefinieerd als het verschil tussen de geldelijke opbrengsten en de variabele kosten, loonwerk-kosten en de variabele en vaste kosten voor werktuigen en gebouwen. Het is de vergoeding voor de inzet van de produktiefactoren land en arbeid. Een aantal bedrijfsspecifieke kosten, zoals waterschapslasten moeten hier nog uit betaald worden. Indien de arbeidskosten verrekend zouden zijn in het inkomen, zou het ondernemersoverschot per ha geoptimaliseerd worden. Dit gaat richting een bedrijfseconomische analyse en dan zouden eigenlijk ook andere bedrijfskenmerken meegenomen moeten worden. Deze studie is er in de eerste plaats op gericht de technische mogelijkheden te verkennen. De arbeidsinzet is één van de aspecten waarvan de grenzen verkend worden. Dit gebeurt op de meest zuivere manier door deze in

uren per ha uit te drukken. De arbeidsinzet is zowel geminimaliseerd als gemaximaliseerd. De arbeidsbehoefte is berekend uit de taaktijden voor alle uit te voeren activiteiten (Pelser, 1988). Ontwikkeling van landschappelijk waardevolle elementen is gedefinieerd door een variabel deel van de grond te reserveren voor houtwallen. Deze oppervlakte is maximaal 5 % en levert geen productie op, maar er vindt wel enige uitspoeling plaats. Een ander aspect van het landschap is dat een minimum aantal koeien in de zomer buiten moet staan. Dit kan alleen overdag, maar ook het hele etmaal zijn.

5.2. De randvoorwaarden

Randvoorwaarden kunnen van technische aard zijn of door de gebruiker van het model opgelegd worden. Een voorbeeld van de eersten is dat de drogestofopname door koeien fysiologisch beperkt is. Een voorbeeld van de tweeden is de grootte van de regio die bestudeerd wordt. Hier wordt een beknopte beschrijving van de randvoorwaarden gegeven.

De totale oppervlakte die gebruikt wordt voor de verschillende landgebruiksvormen moet gelijk zijn aan het totaal beschikbare oppervlak. Van het areaal van elk van de gewassen kan een deel gereserveerd worden voor houtwallen. Bij een constante veebezetting moet het grasland voor een deel gemaaid worden om een goede zode te handhaven. In het model is dit geformuleerd als een minimum areaal grasland dat jaarlijks gemaaid moet worden per beeweide oppervlakte. De stikstofbemesting van beiden moet uiteraard op elkaar zijn afgestemd. Gras vormt de basis voor het rantsoen in de zomer. De grasproductietechnieken bepalen de veebezetting voor alle diercategorieën. Per 100 koeien worden 30 kalveren en 27 pinken aangehouden. De overtollige kalveren worden na 10 dagen verkocht, 3 kalveren en 2 pinken per 100 koeien vallen in de loop van het jaar nog uit en per jaar worden 25 koeien vervangen. Ruwvoer kan niet worden aangekocht of verkocht om afwenteling van de met de productie samenhangende stikstof- en fosforverliezen te voorkomen. Het geproduceerde ruwvoer hoeft niet volledig vervoederd te worden, maar overtollig voer levert niets op en accumuleert op het bedrijf. Krachtvoer wordt in de regio zelf geteeld of van buiten de regio aangevoerd. Eigenlijk zou het benodigde areaal om krachtvoer te produceren ook in de analyse betrokken moeten worden, maar dit voert te ver voor deze studie.

In de zomer vragen een aantal zomerstalvoederingsystemen en alle systemen voor beperkt weiden 4,5 kg snijmaïs per koe per dag. Als gras en maïs niet in de voederbehoefte van de dieren voorzien kan krachtvoer aangekocht worden. MKS kan in de regio zelf geproduceerd worden of worden aangekocht.

In de winter bestaat het rantsoen uit geconserveerd gras, maïs, voederbieten, voederbietenblad en aangekocht krachtvoer. Het rantsoen wordt zodanig samengesteld dat precies aan de energiebehoefte van het vee wordt voldaan. De DVE-voorziening moet tenminste de DVE-behoefte dekken. De OEB wordt berekend, maar is niet beperkend voor de voedervoorziening. Kunstmatig gedroogd gras, MKS, voederbieten en bietenblad worden als krachtvoer beschouwd. Samen met aangekocht krachtvoer verdringen zij een deel van het ruwvoer (hooi, gras- en maïssilage). De maximale ruwvoeropname wordt hierdoor gereduceerd. De totale drogestofopname is, in afhankelijkheid van de melkproductie, fysiologisch beperkt. Als laatste randvoorwaarde moet één derde deel van het rantsoen uit structuurwaarde bestaan.

Een deel van de door het dier opgenomen stikstof en fosfor wordt vastgelegd in melk en in het dier zelf door gewichtstoename, waarbij melk en vlees een constant stikstof- en fosforgehalte hebben. De rest wordt uitgescheiden met mest en urine. Met GRASMOD is de verdeling van de uitgescheiden stikstof en fosfor over weidemest en drijfmest berekend voor de zomerperiode.

In de winter komt alles in de drijfmestkelder terecht. Vervoederingsverliezen in de stal zijn toegevoegd aan drijfmest. Een deel van de in drijfmest aanwezige stikstof vervluchtigt. De drijfmest kan terecht komen in een gangbaar of in een emissie-arm stal- en opslagsysteem. Aangenomen is dat in een emissie-arm systeem de vervluchtiging 50 % lager is dan in een gangbaar systeem. De manier waarop dat precies gebeurt is in het midden gelaten. Voor een schatting van de kosten is uitgegaan van afdekking van de mestopslag en een spoelsysteem en mestschuiven in de stal. Doordat bij spoelen het volume drijfmest toeneemt, moet ook uitbreiding van mestopslag plaatsvinden en stijgen de kosten van aanwending. Alle drijfmest moet aangewend worden binnen de regio, omdat afvoer afwenteling van de problemen zou veroorzaken. Fabrieksmatige verwerking van drijfmest is niet in beschouwing genomen vanwege de beperkte mogelijkheden en de hoge kosten.

Gras kan worden bemest met zowel kunstmest als drijfmest. Injectie kan slechts éénmaal in het voorjaar plaatsvinden om beschadiging van de zode te voorkomen. De organische-stikstofbalans voor grasland wordt berekend door de met drijfmest toegediende organisch gebonden stikstof te verrekenen met de door GRASMOD berekende balans. Voor maïs en voederbieten is de verhouding drijfmest/kunstmest berekend met de TCG.

De toegerekende kosten of variabele kosten zijn de uitgaven die variëren met het betaalde oppervlak of het aantal dieren, inclusief de loonwerkkosten. De kapitaalkosten hebben betrekking op machines en gebouwen. Deze moeten betrokken worden in het inkomen om een goede afweging te kunnen maken wat betreft gewassenkeuze. De teelt van maïs en voederbieten wordt volledig in loonwerk uitgevoerd. Indien voor gras de kapitaalkosten niet meegewogen worden in het inkomen, zijn de maïs- en voederbietenteelt relatief ten opzichte van gras erg duur. De machinekosten voor de teelt van gewassen zijn gebaseerd op een vergoeding voor onderling gebruik (IKC-Veehouderij, 1994) en toegerekend aan de gewassen. De vergoeding is uitgedrukt als percentage van de vervangingswaarde en dekt de kosten voor afschrijving, onderhoud en verzekering, stalling, bijkomende kosten en risico en rente. De kosten voor de melkuitrusting en gebouwen zijn op dezelfde manier berekend, maar zijn toegerekend aan de melkkoeien. Op deze manier worden kapitaalkosten, in bedrijfs-economische analyses gewoonlijk vaste kosten, omgezet in variabele kosten. De reden hiervoor is dat de werktuigenuitrusting vooral afhangt van de keuze van de teeltsystemen voor de gewassen. Daarom moet een aantal verschillende werktuiguitrustingen worden gedefinieerd of de uitrusting variabel worden gemaakt. In deze studie is voor het laatste gekozen, omdat schaaleffecten op deze manier omzeild worden. De kosten zijn gekwantificeerd voor een goed geleid, groot en efficiënt melkveebedrijf met 100 melkkoeien.

In het model worden stikstof- en fosforbalansen van het hele produktiesysteem bijgehouden. Alle stikstof- en fosforinputs en -outputs worden hierin meegenomen. Dat geeft een controle op de berekeningen betreffende de stikstof- en fosforstromen door het systeem.

6. Resultaten van het Melkveehouderijmodel

Met het melkveehouderijmodel zijn voor een aantal situaties berekeningen uitgevoerd, waarvan in dit hoofdstuk de resultaten gepresenteerd worden. In de eerste paragraaf worden de doelstellingen voor nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en arbeidsinkomen tegen elkaar afgewogen. In de tweede en derde paragraaf wordt het geselecteerde melkveehouderijsysteem besproken voor twee specifieke situaties. In de laatste paragraaf wordt een aantal doelstellingen voor geïntegreerde melkveehouderij tegen elkaar afgewogen en een aantal mogelijke systemen toegelicht.

6.1. Stikstofverliezen en arbeidsinkomen

De drie hoofddoelstellingen in deze studie zijn nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en arbeidsinkomen. In dit hoofdstuk worden deze doelstellingen tegen elkaar afgewogen en de uitkomsten geanalyseerd.

In de eerste iteratie worden alle doelstellingen geoptimaliseerd, zonder aan de andere doelstellingen restricties op te leggen. Dit levert voor elke doelstelling de maximaal haalbare waarde onder de gedefinieerde omstandigheden op. In Tabel 5 zijn de uitkomsten van deze iteratie voor de doelen nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en arbeidsinkomen weergegeven.

Tabel 5 De minimale/maximale waarden van de drie doelvariabelen (**vetgedrukt**) en de bijbehorende waarden voor de andere doelstellingen in de eerste optimaliseringsronde

| Doelvariabele | Optimalisering nr. doel | NO ₃ -uitsp. (kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹) | NH ₃ -vervl. kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹) | Arb. inkomen (fl ha ⁻¹ jr ⁻¹) |
|---|--|--|---|---|
| NO ₃ -uitspoeling (<i>minimaliseren</i>) | 1 min. NH ₃ -vervl. 2 max. arbeidsinkomen | 14 14 | 0 128 | -4 255 3 440 |
| NH ₃ -vervluchtiging (<i>minimaliseren</i>) | 3 min. NO ₃ -uitspoeling 4 max. arbeidsinkomen | 14 78 | 0 0 | -4 255 -3 420 |
| Arbeidsinkomen (<i>maximaliseren</i>) | 5 min. NO ₃ -uitspoeling | 56 | 178 | 5 250 |

De minimale nitraatuitspoeling die bereikt kan worden is 14 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De daarbij behorende minimale ammoniakvervluchtiging en inkomen zijn respectievelijk 0 kg N ha⁻¹ en fl 4 255 ha⁻¹ jr⁻¹ (optimalisering 1). Het maximale arbeidsinkomen bij een nitraatuitspoeling van 14 kg is fl 3 440, maar dan is de ammoniakvervluchtiging 128 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (optimalisering 2). Hieruit volgt dat bij de minimale nitraatuitspoeling, de ammoniakvervluchtiging en het arbeidsinkomen nog sterk kunnen variëren. De ammoniakvervluchtiging kan tot 0 gereduceerd worden. De minimale nitraatuitspoeling is dan 14 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ en het bijbehorende arbeidsinkomen fl 4 255 ha⁻¹ jr⁻¹ (optimalisering 3). Het maximale inkomen zonder ammoniakvervluchtiging is fl 3 420 en de bijbehorende nitraatuitspoeling 78 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (optimalisering 4). Indien geen ammoniakvervluchtiging is toegestaan, kunnen geen dieren gehouden worden. De systemen

in optimaliseringen 1 en 3 omvatten alleen de teelt van gewassen. Het arbeidsinkomen is sterk negatief, omdat alle grond gebruikt moet worden en het voer niet verkocht kan worden. Dit zijn natuurlijk weinig realistische systemen. Het maximale inkomen dat behaald kan worden is fl 5 250 ha⁻¹ jr⁻¹. De nitraatuitspoeling is dan 56 en de ammoniakvervluchtiging 178 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (optimalisering 5). Bij dit maximale inkomen is geen variatie in verliezen mogelijk.

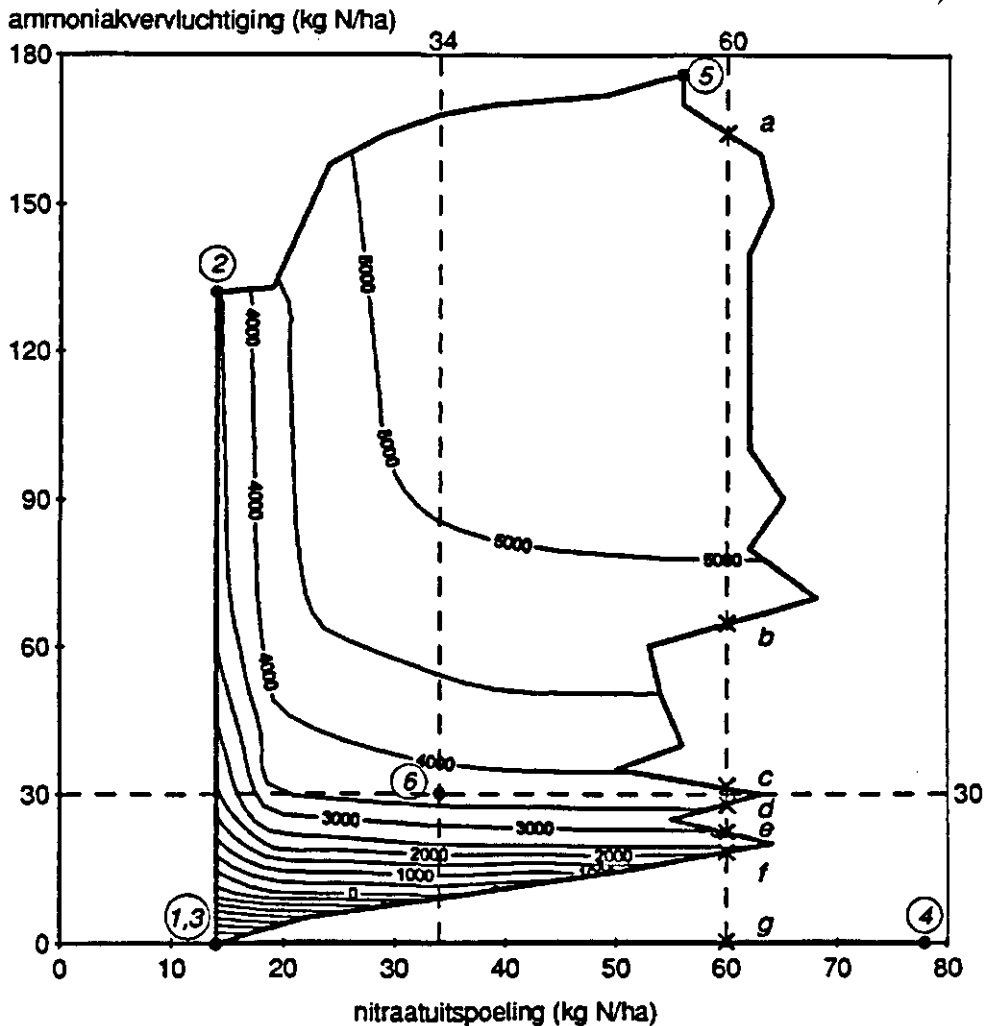
De resultaten in Tabel 5 geven de uiterste grenzen van de oplossingsruimte weer. In volgende iteraties is vastgesteld wat de acceptabele oplossingsruimte is die door deze drie doelstellingen wordt opgespannen. Dit is gedaan door de doelrestricties voor nitraatuitspoeling en ammoniakvervluchtiging stapsgewijs aan te trekken en het inkomen te maximaliseren. Het is niet van belang welke twee doelrestricties worden aangetrokken en welke doelvariabele geoptimaliseerd wordt. De uitkomsten blijven hetzelfde.

Het vlak in Figuur 5 geeft de oplossingsruimte voor combinaties van waarden op de doelrestricties voor nitraatuitspoeling en ammoniakvervluchtiging. De doelrestrictie voor nitraatuitspoeling is stapsgewijs gereduceerd van 78 tot 14 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De doelrestrictie voor ammoniakvervluchtiging is stapsgewijs gereduceerd van 180 tot 0 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Op de x-as is de nitraatuitspoeling zonder ammoniakvervluchtiging (het minimum) weergegeven. Dit is slechts een lijn tussen de punten 3 en 4 (optimaliseringen 3 en 4 in Tabel 5), zodat het bijbehorende arbeidsinkomen niet uit Figuur 5 afgelezen kan worden. Het vlak wordt aan de linkerkant begrensd door een minimale nitraatuitspoeling van 14 kg N. De variatie in ammoniakvervluchtiging en arbeidsinkomen wordt weergegeven op deze verticale lijn tussen punt 1 en 2. Punt 5 geeft het maximale arbeidsinkomen weer en de figuur laat zien dat er geen variatie in uitspoelings- en vervluchtigingsverliezen mogelijk is.

De lijnen in het vlak zijn lijnen met een gelijk inkomen. Het inkomen daalt over dit vlak van rechtsboven naar linksonder. Voor punten buiten het vlak geldt dat de nitraatuitspoeling en ammoniakvervluchtiging niet beperkend zijn voor het inkomen. De waarde van één of beide doelrestricties kan worden gereduceerd tot waarden op de grens van het vlak, zonder dat dit inkomen kost. Dit wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld: de onderbroken lijn bij een nitraatuitspoeling van 60 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ in Figuur 5.

Als de streefwaarde voor nitraatuitspoeling 60 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ is, dan is de ammoniakvervluchtiging die noodzakelijkerwijs moet worden toegestaan om het hoogst mogelijke inkomen te halen 163 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Fig. 5 punt a). Het arbeidsinkomen is dan fl 5 248, en dus slechts fl 2 onder het maximum van fl 5 250. Als de streefwaarde voor ammoniakvervluchtiging vanuit dit punt wordt aangetrokken tot 65 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Fig. 5 punt b), dan daalt het arbeidsinkomen tot fl 4 750. Nog verder aantrekken tot 32 kg N (Fig. 5 punt c) geeft punten buiten de oplossingsruimte. Dat betekent dat de waarde van 60 kg N voor nitraatuitspoeling niet beperkend is voor het arbeidsinkomen, indien de streefwaarde voor ammoniakvervluchtiging tussen 32 en 65 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ ligt. De streefwaarde voor nitraatuitspoeling kan dan verlaagd worden tot de grens van de oplossingsruimte bereikt is, zonder dat dit inkomen kost. Bij het aanscherpen van de streefwaarde voor ammoniakvervluchtiging tot beneden 32 kg N, zijn zowel ammoniakvervluchtiging als nitraatuitspoeling beperkend voor het inkomen. Bij streefwaarden voor ammoniakvervluchtiging tussen 22 en 28 (Fig. 5 punt e en d) en lager dan 18 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Fig. 5 punt f), is een nitraatuitspoeling van 60 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ wederom niet limiterend. Als geen ammoniakvervluchtiging is toegestaan, is de waarde van 60 kg wel beperkend, maar dit is weer een "onrealistische" situatie zonder dieren in het systeem (Fig. 5 punt g).

Uit deze figuur kan op dezelfde manier bij een bepaalde ammoniakvervluchtiging worden afgelezen wat de relevante grenzen aan de nitraatuitspoeling zijn. In dat geval worden waarden in de figuur afgelezen volgens een horizontale lijn. Bij het om en om aantrekken van grenzen aan de drie doelen, zoals gebeurt bij IMDP, wordt een zigzaglijn door het vlak gevolgd.



Figuur 5 De oplossingsruimte voor melkveehouderij zoals opgespannen door optimalisering van nitraatuitspoeling ($\text{kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$), ammoniakvervluchtiging ($\text{kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) en arbeidsinkomen ($\text{fl ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) op regionale schaal. De lijnen in het vlak zijn lijnen van gelijk inkomen; nr. 1-6 verwijzen naar optimalisering (zie Tabel 5 en tekst)

Figuur 5 laat zien dat reductie van de nitraatuitspoeling tot ongeveer $35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ weinig inkomen kost. Pas daaronder gaat het arbeidsinkomen echt omlaag. Reductie van de ammoniakvervluchtiging gaat beneden $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ pas gepaard met reductie van het arbeidsinkomen.

Naarmate de lijnen van gelijk inkomen dichter bij elkaar liggen, zijn voor reductie van de stikstofemissie de kosten per kg N hoger. Deze marginale kosten voor de reductie van nitraatuitspoeling en met name van ammoniakvervluchtiging stijgen naarmate de doelrestricties meer beperkend worden.

Bij elk punt in dit vlak hoort een set van productiesystemen voor de teelt van gras, maïs en voederbieten en voor het vee, die samen het regionale melkveehouderijsysteem beschrijven. In de volgende paragrafen wordt dit voor twee situaties toegelicht: in paragraaf 6.2 komt punt 5 in Figuur 5 aan de orde: het maximale inkomen zonder restricties op de stikstofverliezen en in paragraaf 6.3 punt 6, waarbij grenzen aan de nitraatuitspoeling en ammoniakverliezen worden gesteld overeenkomend het huidige overheidsbeleid.

6.2. Melkveehouderij op zandgrond bij maximalisering van het regionale inkomen zonder beperkingen

De resultaten bij maximalisering van het inkomen zonder beperkingen zijn uitgewerkt in Tabel 6. In het bovenste deel van de tabel staan het maximale inkomen en de waarde van de nitraat- en ammoniakemissie weergegeven. De schaduwprijs geeft aan in welke mate een restrictie beperkend is voor de doelstelling. Als er geen restricties aan de emissies zijn opgelegd, zoals in de eerste optimaliseringsronde, is de schaduwprijs 0.

Maximalisering van het inkomen leidt tot systemen gericht op een zo hoog mogelijke melkproductie per ha en dus een zo hoog mogelijke gewasproductie tegen zo laag mogelijke kosten, in combinatie met zo veel mogelijk aangekocht krachtvoer.

Bij maximalisering van het inkomen zonder restricties op de nitraat- en ammoniakemissie wordt alleen gras geteeld, waarvan ca. 1/3 deel wordt gemaaid bij een snede-opbrengst van 4 t ds en geconserveerd als kuilgras. Dit resulteert in hoge opbrengsten per ha. Dit kuilgras wordt in de winter gevoerd. In de rest van de energiebehoefte in de winter wordt voorzien door aangekocht krachtvoer. Zowel de melkkoeien als het jongvee worden het hele jaar door binnen gehouden. In de zomerperiode vindt geen bijvoeding met snijmaïs plaats. Het systeem van zomerstalvoeding is veel duurder dan beweiding, maar de grasproductie is hoger. Bovendien is de energiebehoefte van koeien die altijd binnen staan lager dan die van koeien die ook weiden.

Bij zomerstalvoeding kan daardoor een aanzienlijk de hoogste melkproductie per ha bereikt worden. Blijkbaar compenseren de hogere opbrengsten de hogere kosten. Het ruwvoeder-voorzieningsniveau is 80 %, het minimum toegestaan in deze studie. Op deze manier is de veebezetting maximaal. De stikstofgift op het grasland is gemiddeld 420 kg minerale stikstof, waarvan ruim 240 kg in de vorm van kunstmest wordt aangekocht en de rest uit drijfmest komt. De hoeveelheid N die met drijfmest wordt uitgescheiden is 450 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Dit is, uitgaande van een stikstofgehalte van 4,4 kg N per ton mest, 102 m³. Hiervan wordt 34 m³ geïnjecteerd en 68 m³ met een zodebemester toegediend. Oppervlakkig aanwenden is niet (meer) toegestaan. Wat betreft de stikstofvoorziening van het gras, kan alle drijfmest gemakkelijk aangewend worden. De veebezetting is 3,3 melkkoe ha⁻¹ plus bijbehorend jongvee. De melkproductie is 26,3 ton ha⁻¹ jr⁻¹. De arbeidsinzet is 122 u ha⁻¹ jr⁻¹. Er wordt 13 130 kg krachtvoer ha⁻¹ jr⁻¹ aangekocht of wel 3 990 kg per koe. Ongeveer 87 % van het krachtvoer bestaat uit MKS, omdat het goedkoop is, 11 % is eiwit-rijk krachtvoer, 1 % is standaard brok en 1 % is eiwit-arm krachtvoer. Het stikstofoverschot is 395 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Hiervan gaat 240 kg verloren door nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en denitrificatie, zodat de stikstofaccumulatie 155 kg ha⁻¹ jr⁻¹ is. Het fosforoverschot is 27 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Aangezien geen grens aan het fosforoverschot is opgelegd, is aanwending van drijfmest binnen de regio geen probleem. Dit melkveehouderijsysteem is zeer intensief en de stikstofverliezen en stikstof- en fosforaccumulatie zijn hoog. Dit systeem zou gekozen worden bij maximalisering van het regionale inkomen zonder grenzen aan emissies en beperkingen zoals het melkquotum. Eén mensjaar arbeid in de rundveehouderij is normatief 2237 uur (IKC-Veehouderij, 1994). In het geselecteerde systeem vragen 100 koeien 30,4 ha land en 1,7 mensjaren arbeid. De resultaten zijn uiteraard niet te vergelijken met maximalisering van het inkomen op bedrijfsniveau in de praktijk. In dat geval zijn bedrijfsgrootte en melkquotum een gegeven en zouden voor verschillende combinaties optimaliseringsronden uitgevoerd kunnen worden. Bovendien zouden

andere bedrijfsspecifieke kenmerken en kosten meegenomen moeten worden in de analyse. De gegevens waarop het model gebaseerd is hebben betrekking op een efficiënte goed georganiseerde melkveehouderij. In de praktijk zullen allerlei afwijkingen optreden, die in de technische coëfficiënten verwerkt zouden moeten worden. Overigens is de melkproductie van 26,3 ton per ha is wel realiseerbaar in de praktijk (Van der Putten en Van Laarhoven, 1994). De uitkomsten in de linkerkolom van Tabel 6 geven het meest intensieve systeem weer voor de gedefinieerde omstandigheden en produktietechnieken.

6.3. Melkveehouderij op zandgrond in het jaar 2000 bij het huidige stikstofbeleid

De doelstelling van het milieubeleid voor ammoniak is een emissiereductie van 70% in 2000 ten opzichte van die in 1980 en 90 % in 2010. In 1980 was de ammoniakvervluchtiging ongeveer 100 kg N ha^{-1} . De EG-drinkwaternorm voor nitraatuitspoeling is $11,3 \text{ mg N l}^{-1}$, wat bij een neerslagoverschot van 300 mm per jaar neerkomt op een N-verlies van $34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Dit moet in het jaar 2000 gerealiseerd zijn (Ministerie VROM, 1989). De EG-richtlijn is op langere termijn zelfs $5,6 \text{ mg N l}^{-1}$ ofwel $17 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Figuur 5 laat zien dat bij de bovengrenzen van 30 en $34 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ voor respectievelijk vervluchtiging en uitspoeling, het maximale inkomen met 28% gereduceerd wordt tot fl 3 810 $\text{ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (punt 6). Indien als bovengrenzen respectievelijk 10 en $17 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ worden aangehouden, wordt het inkomen fl 250 (niet aangegeven in de figuur). De systemen bij deze laatste normen worden hier niet verder uitgewerkt.

De laatste kolom in Tabel 6 geeft de resultaten weer bij maximalisering van het inkomen onder beperking van de nitraat- en ammoniakemissie tot de overheidsnormen in het jaar 2000. Bij beperking van de nitraatuitspoeling tot $34 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ is de schaduwprijs fl 4 per kg N. Dit betekent dat een versoepeling van de restrictie op nitraatuitspoeling met 1 eenheid, in dit geval 1 kg N, de doelstelling met fl 4 verhoogt. Voor ammoniak is de schaduwprijs fl 57 per kg N. Maatregelen ter beperking van ammoniakemissie tot de grenswaarde kosten dus meer geld dan die ter beperking van de nitraatuitspoeling.

Maatregelen om de nitraatuitspoeling te beperken zijn een lagere N-bemesting en zomerstalvoeding, zodat de aangekochte en de met mest en urine uitgescheiden stikstof het meest efficiënt benut kunnen worden. Voor beperking van de ammoniakvervluchtiging is juist beweiding gunstiger, omdat het grootste deel van de vervluchtiging plaatsvindt uit de stal en de mestopslag. Er kan wel geïnvesteerd worden in emissie-arme stallen en mestopslag, maar dat is erg duur. Aangenomen is dat de vervluchtiging uit stal en opslag proportioneel is met het N-gehalte van de mest, zodat een rantsoen gewenst is met een laag gehalte aan onverteerbaar eiwit, een DVE-gehalte dat afgestemd is op de DVE-behoefte en een OEB-balans van 0. Grasland neemt 85% van het areaal in, waarvan 22 % wordt gebruikt voor conservering. De gemiddelde stikstofbemesting op gras is $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, ongeveer 40 % van de hoeveelheid bij het maximale inkomen zonder beperkingen. De koeien worden beperkt beweid met bijvoeding van snijmaïs op stal. Het jongvee wordt onbeperkt geweid. Blijkbaar wegen nu de extra opbrengsten bij zomerstalvoeding niet op tegen de extra kosten. Met het drastisch terugdringen van de bemesting kan de nitraatuitspoeling zodanig beperkt worden, dat er nog ruimte voor beweiding overblijft.

Tabel 6 Resultaten bij maximalisering van het inkomen zonder beperkingen en met beperking van de ammoniakvervluchtiging tot 30 en de nitraatuitspoeling tot 34 kg N ha⁻¹ jr⁻¹; schaduwprijs ().

De getallen zijn gemiddeld per ha in de regio. *: per ha van het betreffende gewas.

| Karakteristieken produktiesysteem | Eenheid | Resultaten zonder beperkingen | Resultaten met beperkingen |
|--------------------------------------|--|---|---|
| inkomen | f1 ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 5250 | 3810 |
| NO ₃ -uitspoeling | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 56 (0) | 34 (4) |
| NH ₃ -vervluchtiging | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 178 (0) | 30 (57) |
| Grondgebruik | | | |
| gras, vers vervoerd | % opp | 65 | 63 |
| N-gift* | kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 410 | 150 |
| graslandgebruik | | alle dieren: zomerstal- voeding zonder snijmaïs | koeien: beperkt weiden met snijmaïs jongvee: onbeperkt weiden |
| gras, conservering | % opp | 35 | 22 |
| N-gift* | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 440 | 225 |
| produkt | | kuilgras | hooi, kuilgras |
| maïs, continueelt | % opp | 0 | 15 |
| N-gift* | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | | 150, alle drijfmest in de rij |
| wintergewas produkt | | | nee snijmaïs |
| Drijfmest | | | |
| totale produktie | m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 102 | 40 |
| gras, injectie | m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 34 | 13 |
| gras, zodebemesting | m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 68 | 19 |
| maïs continueelt, injectie | m ³ ha ⁻¹ jr ⁻¹ | | 8 |
| Overige kengetallen | | | |
| veebezetting | koeien ha ⁻¹ | 3,29 | 2,05 |
| melkproduktie | kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 26300 | 16350 |
| arbeidsbehoefte | u ha ⁻¹ | 122 | 71 |
| krachtvoeraankoop | kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 13130 | 5470 |
| kunstmestaankoop | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 240 | 75 |
| N-overschot | kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 395 | 140 |
| P-overschot | kg P ha ⁻¹ jr ⁻¹ | 29 | 8 |
| arbeidsinkomen | f1 (t melk) ⁻¹ | 200 | 233 |

Gras geoogst voor wintervoeding wordt gemaaid bij 4 ton ds en deels ingekuild en deels gehoid. Hooi heeft een lagere OEB-waarde en een hogere DVE-waarde dan kuilgras, maar van kuilgras is de energieopbrengst, zowel wat betreft VEM kg^{-1} ds als de opbrengst in kg ha^{-1} hoger. Het grootste deel van het ruwvoer in de winter bestaat echter uit snijmaïs. Snijmaïs heeft een negatieve OEB-waarde, zodat het voeders met een positieve OEB-waarde, zoals gras, kan compenseren. Maïs wordt in continueelt verbouwd en alleen bemest met drijfmest. In de rij wordt 54 m^3 toegediend equivalent aan 150 kg minerale stikstof ha^{-1} .

Er wordt geen wintergewas geteeld. De nitraatuitspoeling onder maïs is $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, maar omdat het slechts op 15 % van het areaal geteeld wordt, wordt deze uitspoeling gecompenseerd door de lage uitspoeling onder grasland. Op regionale schaal wordt de grens van 34 kg N ha^{-1} niet overschreden. Alle maïs wordt ingekuild als snijmaïs.

Gras krijgt 38 m^3 drijfmest per ha, aangevuld met met 90 kg kunstmest N. Dit is op 85 % van het areaal, dus voor de regio als geheel is drijfmesttoediening 32 m^3 en de aanvoer in kunstmest $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De veebezetting is $2,05$ melkkoei ha^{-1} plus bijbehorend jongvee. De melkproductie is $16,35 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (62% van de hoeveelheid in de vorige ronde). De krachtvoeraankoop is $5\,470 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ($2\,260 \text{ kg}$ per koe), waarvan $3\,130 \text{ kg}$ uit MKS bestaat. Het ruwvoedervoorzieningsniveau is 100 %. Het dagelijks rantsoen van de melkkoeien is uit een groot aantal componenten samengesteld: $9,9 \text{ kg}$ krachtvoer, $1,0 \text{ kg}$ hooi, $4,2 \text{ kg}$ kuilgras en $50,6 \text{ kg}$ snijmaïs. Hiermee wordt precies aan de energie- en DVE-behoefte van het vee voldaan. Voor kalveren is het rantsoen, totdat ze naar buiten gaan, vastgelegd en dit wordt niet geoptimaliseerd. Bovendien wordt door jongvee veel minder N vastgelegd in producten dan door melkkoeien, zodat het moeilijker is een rantsoen samen te stellen dat precies op de DVE-norm uitkomt. Het totale DVE-overschot in de winter is 18 kg . De OEB-waarde van het rantsoen is 0. Het stikstofgehalte van het rantsoen in de winter is 24 g kg^{-1} . Ongeveer de helft van het krachtvoer bestaat uit MKS en de helft is eiwitrijk (32 g kg^{-1}). Het stikstofoverschot is $140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Hiervan gaat 68 kg verloren door nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en denitrificatie, zodat de N-accumulatie $72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ is. Het fosforoverschot is $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bij dit melkveehouderijsysteem vragen 100 koeien 49 ha grond en de inzet van 1,6 arbeidskrachten.

Het terugdringen van de stikstofverliezen naar de normen voor 2000, gaat dus gepaard met het terugdringen van het stikstof- en fosforoverschot en met extensivering van de melkproductie. De melkproductie is nog steeds hoog vergeleken met praktijkbedrijven, maar die zijn gebonden aan melkquota en dat is in de berekeningen niet meegenomen. De grootste verschillen tussen dit melkveehouderijsysteem en dat bij maximalisering van het inkomen zonder restricties zijn: stikstof-bemesting, veebezetting, graslandgebruikswijze, ruwvoedervoorzieningsniveau en daarmee ook krachtvoeraankopen, emissie-arme stallen en mestopslag en het areaal onder maïs.

De conclusie is dat de normen voor 2000 gehaald kunnen worden als een daling in het arbeidsinkomen van bijna 30 % acceptabel is.

6.4. Geïntegreerde melkveehouderij

Voor geïntegreerde melkveehouderij is niet alleen het stikstofbeleid van belang, maar spelen ook andere doelstellingen een rol. Alle doelstellingen genoemd in paragraaf 4.1 zijn geoptimaliseerd zonder restricties op de andere doelvariabelen. De uitkomsten van deze eerste ronde zijn: de minimale nitraatuitspoeling is $14 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$; de ammoniakvervluchtiging kan tot 0 gereduceerd worden; het minimale stikstofoverschot is $24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$; het fosforoverschot kan tot 0 gereduceerd worden; de maximale melkproductie is $26,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$; het maximale

inkomen is fl 5250 ha⁻¹ jr⁻¹; de maximale arbeidsinzet is 139 u ha⁻¹ jr⁻¹ en de minimale inzet is 0 u ha⁻¹ jr⁻¹; het maximale areaal gebruikt voor houtwallen is 5 % van het totale oppervlak; het maximale aantal melkkoeien dat in de zomer buiten loopt is 3,18 ha⁻¹. Zoals reeds gezegd, geven deze uitkomsten voor elke doelstelling het absolute minimum of maximum aan onder de gegeven set van randvoorwaarden en produktietechnieken zonder rekening te houden met beperkingen op de overige doelstellingen.

In volgende optimaliseringsronden zijn aan elke doelvariabele stapsgewijs stringentere grenzen opgelegd. In de laatste ronde zijn de volgende waarden aan de doelrestricties opgelegd: de nitraatuitspoeling is maximaal 34 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Ministerie VROM, 1989); de ammoniakvervluchtiging is maximaal 30 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (Ministerie VROM, 1989); het stikstofoverschot is maximaal 130 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (Biewinga et al., 1992); op basis van momenteel gevoerde discussies is het fosfaatoverschot maximaal 5 kg ha⁻¹ jr⁻¹, equivalent aan 2,2 kg P ha⁻¹ jr⁻¹; het melkquotum is minimaal 10 en maximaal 12,5 t ha⁻¹ jr⁻¹, overeenkomend met het gemiddelde voor zandgronden in Nederland; het ondernemersoverschot, dit is het arbeidsinkomen minus arbeidskosten tegen CAO-loon, mag niet negatief zijn; houtwallen nemen minimaal 2,5 % van het oppervlak in, wat overeenkomt met de de streefwaarde voor ecologische bedrijven (Kloen, AB-DLO, pers. meded.); het aantal grazende melkkoeien in de zomer is minimaal 1,0 ha⁻¹, een vrij willekeurige grens. Aan de arbeidsinzet is geen minimum of maximum grens gesteld.

De resultaten van deze laatste ronde zijn weergegeven in Tabel 7.

Indien de opgelegde beperkingen een schaduwprijs hebben en dus limiterend zijn voor realisatie van de doelstelling, is de waarde onderstreept. Dit betekent bijvoorbeeld dat voor realisatie van de minimale nitraatuitspoeling van 16 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, de grenzen aan ammoniakvervluchtiging (30 kg N), fosforoverschot (2,2 kg P), ondernemersoverschot (fl 0) en aantal dieren buiten in de zomer (1,0) beperkend zijn. Hoewel het arbeidsinkomen niet beperkend is, is het wel het maximaal haalbare.

De minimale ammoniakvervluchtiging van 18 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ wordt beperkt door de restricties op de nitraatuitspoeling en het fosforoverschot. In dit geval zijn de waarden voor het arbeidsinkomen en het ondernemersoverschot maximaal. Het minimale stikstofoverschot van 38 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ wordt beperkt door de oppervlakte gereserveerd voor houtwallen en het ondernemersoverschot. Het minimale fosforoverschot, -3,3 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en dus in dit geval fosforuitputting, wordt beperkt door de grenzen op nitraatuitspoeling, stikstofoverschot, ondernemersoverschot en de beide landschapsdoelstellingen. Het maximale ondernemersoverschot, fl 1 310, wordt beperkt door de grenzen op ammoniakvervluchtiging, stikstofoverschot, fosforoverschot en de oppervlakte gereserveerd voor houtwallen. De arbeidsinzet kan variëren van 42 tot 79 u ha⁻¹ jr⁻¹. Het oppervlak gebruikt voor houtwallen kan de grenswaarde van 5 % bereiken. Het aantal melkkoeien dat in de zomer buiten kan lopen is maximaal 1,84 ha⁻¹. In elk van deze optimalisering wordt een andere combinatie van produktiesystemen geselecteerd.

De speelruimte voor de verschillende doelstellingen is beperkt, maar nog wel zodanig dat er aardig wat variatie in de produktiesystemen is. In Tabel 8 zijn een aantal kenmerken weergegeven, die in het volgende beknopt wordt besproken.

Het totale graslandareaal varieert van 64 tot 95 %, het aandeel maïs in continueelt van 0 tot 31 %. Bij minimale nitraatuitspoeling en maximaal ondernemersoverschot wordt géén maïs geteeld. De rotatie maïs/voederbieten wordt alleen bij minimale ammoniakvervluchtiging opgenomen en wel met 12 %.

Het graslandgebruik verschilt nogal per doelstelling. Bij minimalisering van nitraatuitspoeling worden voornamelijk onbeperkt geweiden en zomerstalvoeding toegepast, terwijl beperkt weiden of zomerstalvoeding verwacht zou worden. Echter, zomerstalvoeding is duur en bij beperkt weiden moet snijmaïs bijgevoerd worden in de zomer.

Onder maïs is de uitspoeling veel groter dan onder onbeperkt weiden met een lage stikstofbemesting. De ammoniak-emissienorm kan gehaald worden bij een combinatie van beperkt weiden en zomerstalvoeding. Beperkt weiden wordt vooral gekozen bij een minimaal stikstof- en fosforoverschot, bij een maximale arbeidsinzet en natuurwaarde. Bij een maximale melkproductie en minimaal P-overschot worden alle drie graslandgebruikswijzen gecombineerd. Bij een maximaal arbeidsinkomen en ondernemersoverschot, een minimale arbeidsinzet en een maximaal aantal dieren buiten, komt vooral onbeperkt weiden naar voren. Dit is een goedkoop systeem dat weinig arbeid vergt.

De stikstofbemesting varieert van 100 tot 270 kg ha⁻¹ grasland. Deze is het laagst bij een minimale nitraatuitspoeling en een minimaal overschot en het hoogst bij een minimaal fosforoverschot. Het deel van de koeien dat in emissie-arme stallen wordt gehuisvest varieert van 20 to 100 %. Dit houdt niet direct in dat twee typen stallen gebouwd moeten worden, maar het kan ook betekenen dat de ammoniakverluchting uit stal en op slag minder terug gedrongen hoeft te worden. Bij optimalisering van de milieudoelstellingen worden alle dieren in emissie-arme stallen gehouden. Dit is echter wel duur, zodat het aandeel bij optimalisering van economische doelstellingen beperkt is tot het minimum, vereist om aan de ammoniakdoelstelling te voldoen.

De krachtvoerverstrekking varieert van 2 545 tot 4 410 kg ha⁻¹. Bij alle doelstellingen, behalve een maximale arbeidsinzet, wordt een deel van het krachtvoer zelf geteeld. Dit wordt deels veroorzaakt door de grens aan het P-overschot en deels door het maximum dat aan de melkproductie is gesteld. Bij een quotum van 12,5 t ha⁻¹ is er voldoende ruimte voor eigen krachtvoerteelt. Sterker nog, het hele areaal moet gebruikt worden en ruwvoer levert niets op.

Een groot deel van het krachtvoer bestaat uit kunstmatig gedroogd gras. Bij een lage stikstofbemesting is het stikstofgehalte niet al te hoog en het gehalte aan bestendig eiwit is hoger dan in kuilgras en vers gras. Bij een minimale ammoniakverluchting wordt een aanzienlijk deel van de maïs als MKS geoogst en vervoederd. Hier gaat het erom zo weinig mogelijk stikstof in het rantsoen te hebben, zodat de uitscheiding met mest en urine zo laag mogelijk is. Ook bij optimalisering van alle andere doelstellingen bestaat een deel van het krachtvoer uit MKS, maar dan wordt het aangekocht.

Uit het voorgaande blijkt dat, ondanks de beperkte speelruimte voor een aantal doelstellingen (Tabel 7), de geselecteerde melkveehouderijsystemen toch duidelijk verschillende accenten krijgen, afhankelijk van de doelstelling die de meeste nadruk krijgt (Tabel 8).

Tabel 7 De optimale waarden voor 10 doelen met restricties op de andere doelen. Vetgedrukt: optimale waarde; x: grenswaarde wordt bereikt; (): minimaliseren of maximaliseren; alle getallen zijn uitgedrukt per ha per jaar.

| Doelvariabele | nitraat- uitspoeling (kg N) | ammoniak- vervluchtiging (kg N) | N-overschot (kg N) | P-overschot (kg P) | melk- productie (t) | arbeids- inkomen (fl) | ondernemers- overschot (fl) | arbeid (uur) | koelen buiten (aantal) | houtwal (ha) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| NO ₃ -uitspoeling (min) | 16 | <u>30</u> | 68 | <u>2,2</u> | 10,0 | 1565 | 0 | 51 | <u>1,00</u> | 5,0 |
| NH ₃ -vervluchtiging (min) | <u>34</u> | 18 | 84 | <u>2,2</u> | 10,0 | 1610 | 58 | 51 | 1,25 | 5,0 |
| N-overschot (max) | 19 | 20 | 38 | 2,0 | 10,0 | 1545 | 0 | 51 | 1,23 | <u>2,5</u> |
| P-overschot (max) | <u>34</u> | 29 | <u>130</u> | -3,3 | 10,0 | 1820 | 0 | 60 | <u>1,00</u> | <u>2,5</u> |
| Melkproductie (max) | 32 | 30 | 130 | 2,2 | 12,5 | 2085 | 0 | 68 | 1,00 | 5,0 |
| Arbeidsinkomen (max) | 27 | <u>30</u> | <u>130</u> | <u>2,2</u> | 12,5 | 2990 | 1290 | 56 | 1,56 | <u>2,5</u> |
| Ondernemersoverschot | 25 | <u>30</u> | <u>130</u> | <u>2,2</u> | 12,1 | 2960 | 1310 | 54 | 1,52 | <u>2,5</u> |
| Arbeid (min) | <u>34</u> | 24 | 100 | <u>2,2</u> | 10,0 | 1290 | 0 | 42 | 1,25 | 5,0 |
| Arbeid (max) | 27 | 28 | <u>130</u> | <u>2,2</u> | 12,5 | 2425 | 0 | 79 | 1,17 | <u>2,5</u> |
| Koelen buiten (max) | <u>34</u> | <u>30</u> | <u>130</u> | <u>2,2</u> | 12,5 | 1950 | 0 | 64 | 1,84 | <u>2,5</u> |
| Houtwallen (max) | <u>21</u> | 30 | 111 | 2,2 | 10,0 | 2090 | 345 | 57 | 1,00 | 5,0 |
| Beperkende waarde | 34 | 30 | 130 | 2,2 | 10,0/12,5 | | 0 | | 1,0 | 2,5 |

Tabel 8 Een aantal kenmerken van de melkveehouderijsystemen geselecteerd bij optimalisering van elf doelstellingen

| Kenmerk | productiesysteem | nitraat-uitspoeling | ammoniakvervluchtiging | N-overschot | P-overschot | melkproduktie | arbeidsinkomen | ondernemers-overschot | arbeid (min) | koelen buiten | houtwal |
|---|------------------|---------------------|------------------------|-------------|-------------|---------------|----------------|-----------------------|--------------|---------------|---------|
| Grondgebruik (% van het areaal) | | | | | | | | | | | |
| Gras, vers | 54 | 40 | 40 | 41 | 48 | 67 | 71 | 44 | 54 | 53 | 59 |
| Gras, geconserveerd | 41 | 27 | 49 | 45 | 36 | 27 | 26 | 45 | 10 | 41 | 28 |
| Maïs, continueelt | | 16 | 9 | 10 | 11 | 2 | | 8 | 31 | 1 | 10 |
| Maïs/voederbiet | | 12 | | | | | | | | | |
| Houtwal | 5 | 5 | 2,5 | 2,5 | 5 | 5 | 2,5 | 2,5 | 5 | 2,5 | 5 |
| Graslandgebruikswijze (% van het graslandareaal) | | | | | | | | | | | |
| Onbeperkt weiden | 39 | 8 | | 7 | 12 | 57 | 69 | | 53 | 46 | 21 |
| Beperkt weiden | 2 | 32 | 30 | 21 | 21 | 9 | | 29 | | | 36 |
| Zomerstalvoedering | 15 | | 10 | 13 | 16 | | 2 | 15 | 1 | 7 | 1 |
| N-gift op gras (kg ha ⁻¹) | 100 | 165 | 100 | 270 | 225 | 170 | 160 | 200 | 120 | 155 | 185 |
| Emissie-arme stal* (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 76 | 64 | 62 | 88 | 100 | 77 | 20 |
| Krachtvoer (kg ha⁻¹ jr⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| Voederbieten | | 610 | | | | | | | | | |
| MKS | | 1250 | 10 | | 100 | | | | 945 | | |
| Gedroogd gras | 1830 | 115 | 1820 | 3490 | 1300 | 1130 | 1035 | | 1130 | 2240 | 1100 |
| Aankoop | 1630 | 570 | 910 | 640 | 2930 | 3310 | 2940 | 2934 | 1145 | 1483 | 3310 |
| Totaal | 3460 | 2545 | 2730 | 4130 | 4130 | 4140 | 3975 | 2934 | 3220 | 3730 | 4410 |

* aandeel van de koeien gehuisvest in een emissie-arme stal

7. Slotbeschouwing

De in deze studie ontwikkelde set van modellen biedt ruime toepassingsmogelijkheden, waarvan er een paar in dit rapport zijn uitgewerkt. De modellen kunnen gebruikt worden ter ondersteuning en evaluatie van het milieubeleid. Verder kunnen consequenties van de visies van verschillende belangengroepen in de landbouw doorgerekend worden, zodat de implicaties expliciet gemaakt worden.

De hier gepresenteerde analyse laat zien dat de Nederlandse melkveehouderij op zangrond aan economische en milieudoelen tegemoet kan komen. Om aan beiden tegelijkertijd in redelijke mate te voldoen moet echter zowel inkomen worden opgeofferd als een zekere stikstofemissie worden geaccepteerd. Echter de speelruimte is nog zodanig dat duidelijk verschillende accenten gelegd kunnen worden bij het samenstellen van het melkveehouderijsysteem. In de praktijk zal dat ook zeker gebeuren, aangezien boeren hun eigen voorkeuren hebben wat betreft bedrijfsopzet (Van der Ploeg et al., 1993).

De resultaten zijn indicatief voor de perspectieven voor de melkveehouderij op goed ontwaterde zandgrond bij de door de overheid geformuleerde milieu-eisen.

De uitkomsten van de TCG's zijn getoetst aan proefveldresultaten en bedrijfsgegevens.

De uitkomsten van de optimalisering zijn in zoverre reëel dat de optimale situatie zonder beperkingen in de praktijk gehaald kan worden (Van der Putten en Van Laarhoven, 1994).

De resultaten zijn echter niet direct naar bedrijfsniveau te vertalen. Dit maakt vergelijking met statistische gegevens erg moeilijk. Regionale statistische gegevens zijn in het algemeen gesommeerde bedrijfsgegevens en geven daardoor een ander beeld dan optimalisering op regionaal niveau.

Deze studie gaat uit van een goed geleide, efficiënt ingerichte melkveehouderij. In de praktijk kunnen zich zodanige omstandigheden voordoen dat werkzaamheden meer tijd kosten of dat ze minder efficiënt uitgevoerd kunnen worden. Tevens geven de uitkomsten het eind van een ontwikkelingspad aan om de optimale combinatie van de doelstellingen te realiseren. Dit dient bij interpretatie van de uitkomsten in het achterhoofd gehouden te worden.

Maximalisering van het regionale inkomen per ha, gedefinieerd als geldelijke opbrengsten minus variabele kosten, loonwerkkosten en kosten voor machines en gebouwen, leidt tot de meest intensieve systemen. Dit geeft de grenzen van de technische mogelijkheden aan.

In de modellen zitten nog een aantal onvolkomenheden. De mestproduktie wordt uitgerekend in kg N. De kosten voor aanwending zijn gegeven per m³. Aangenomen is dat 1 m³ mest 4,4 kg N bevat (Pelser, 1989). In melkveehouderijsystemen waarbij de ammoniakvervluchtiging laag moet zijn, zal er minder N in de mest terecht komen. Het volume geproduceerde mest loopt waarschijnlijk minder uiteen. Zo laat Tabel 6 zien dat de mestproduktie per koe 30 m³ is als er geen beperkingen worden opgelegd en 19 m³ als er wel beperkingen worden opgelegd. Dit werkt alleen door in de kosten voor mestaanwending. Aangezien het doel van deze studie meer technisch dan economisch van aard is, is dit voor lief genomen.

Een andere onvolkomenheid is dat het rantsoen voor kalveren gedurende de eerste drie maanden vast staat. In deze periode wordt per definitie een overmaat aan DVE en OEB gegeven en dus meer stikstof uitgescheiden dan nodig is.

De kennis over stikstofstromen in de bodem is te beperkt om echt harde uitspraken over het berekende stikstofoverschot te kunnen doen. Bij het terugdringen van het nitraat- en ammoniakverlies, zal zeker het stikstofoverschot omlaag gaan. Het omgekeerde, dat bij het terugdringen van het stikstofoverschot ook automatisch de nitraat- en ammoniakverliezen omlaag gaan is niet per definitie waar. Hier speelt de accumulatie een rol. Bovendien zijn nitraatuitspoeling en ammoniakvervluchtiging deels substitueerbaar (Fig. 5).

De modellen zoals ze er nu liggen vormen een goede basis voor verdere ontwikkeling van de toepassingsmogelijkheden.

Er zijn vele mogelijkheden voor uitbreiding, bijvoorbeeld:

- opnemen van gras in een rotatie; dit kan mogelijkheden bieden voor het terugdringen van nitraat- en ammoniakemissies, wat nu niet naar voren komt;
- opnemen van andere maatregelen om de milieu-vervuiling tegen te gaan;
- opnemen van nieuwe technologieën, die nog niet in praktijk toepasbaar zijn, zodat deze bij voorbaat op hun merites beoordeeld kunnen worden;
- uitbreiden naar andere grondsoorten;
- uitbreiden met andere voedergewassen
- uitbreiden met andere sectoren, zodat de interactie tussen sectoren bekeken kan worden (gemengde produktiesystemen).

Aan een aantal van deze uitbreidingen wordt al gewerkt: opnemen van gras in de rotatie, uitbreiding met andere voedergewassen en met andere sectoren (akkerbouw en varkenshouderij).

Literatuur

- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga & H. van Keulen, 1992.
Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 40, 285-299.
- Aarts, H.F.M. & N. Middelkoop, 1990.
De invloed van bodemeigenschappen en bemesting op de opbrengst van maïs en de emissies van ammoniak en nitraat. CABO-verslag 131, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen, 55 pp.
- Asijee, K. (Ed.), 1993.
Handboek voor de Rundveehouderij. IKC-RSP, Ministerie LNV, Lelystad, 629 p.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts & R.A. Donker, 1992.
Melkveehouderij bij stringente milieunormen Rapport nr.1, CLM, CABO-DLO, PR, De Marke, Hengelo, 284 pp.
- Boons, E.R. & G.W.J. van de Ven, 1993.
Uitbreiding van het graslandbeheersmodel GRASMOD: invloed van de opfok van jongvee voor de melkveehouderij op stikstofstromen in grasland. Verslag 171, CABO-DLO, Wageningen, 38 pp.
- Breeuwsma, A., O.F. Schoumans & J.G.A. Reijerink, 1991.
Fosfaatverzadigde gronden: analyse van problemen en oplossingen. In: A. Breeuwsma, & H.A.C. Verkerk (Eds.). Milieu-effecten van nitraat en fosfaat uit dierlijke mest: problemen en oplossingen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 7, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 51-62.
- Bussink, D.W., 1994.
Relationships between ammonia volatilization and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle on grazed swards. *Fertilizer Research* 38, 111-121.
- Debruck, J., 1979.
Rübenblatt - so wertvoll wie eine Stallmistgabe. *Pflanzliche Produktion, DLG-Mitteilungen* 18, 1030-1032.
- Duijvenbooden, W. van (Ed.), 1989.
De kwaliteit van het grondwater in Nederland. Rapport 728820001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven, 307 pp.
- Goossens, F.R. & P.C. Meeuwissen (Red.), 1990.
Advies van de Commissie Stikstof Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9, Ministerie LNV, VROM en V&W, Ede, 93 pp.
- Holte, L. ten & H. van Keulen, 1989.
Effects of white and red clover as a green manure crop on growth, yield and nitrogen response of sugar beet and potatoes. In: P. Placquaert and R. Haggard (eds.), *Legumes in Farming systems*, 16-24.
- Houba, V.J.G., 1973.
Effect of nitrogen dressings on growth and development of sugar-beet. Ph-D Thesis, Agricultural University, Wageningen, 65 pp.
- IKC-Veehouderij, 1994.
Kwantitatieve informatie veehouderij 1993-1994. Publikatie nr 6-92, Ministerie van LNV, Ede, 264 pp.

- Jarvis, S.C., M. Sherwood & J.H.A.M. Steenvoorden, 1987.
Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. In: H.G. van der Meer, R.J. Unwin, T.A. van Dijk & G.C. Ennik, *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences no 30*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 195-212.
- Meer, H.G. van der, 1987.
Mogelijkheden tot verbetering van de benutting van stikstof op grasland. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Jaarverslag 1986, 34-41.
- Meer, H.G. van der & P.C. Meeuwissen, 1989.
Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. *Landschap 1*, 19-32.
- Middelkoop, N., 1989.
Effecten van mest en urine op de produktiviteit van grasland. Doctoraal scriptie, Vakgroep Landbouwplantenteelt en Graslandkunde, Landbouwuniversiteit Wageningen, 63 pp.
- Ministerie L&V & Ministerie VROM, 1989.
Plan van aanpak beperking ammoniak-emissie van de landbouw. Beleidsvoornemen, Vz 892905, Den Haag, 117 pp.
- Ministerie VROM, 1989.
Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen, Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21 250, nrs. 1-2, SDU, Den Haag, 297.
- Pelser, L. (Red.), 1988.
Handboek voor de rundveehouderij. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, 376 p.
- Ploeg, J.D. van der, H. Renting & J. Roex, 1993.
Meerdere vergelijkingen en veel onbekenden: een verkennend onderzoek naar empirische input-output relaties in de Nedelandse melkveehouderij. Den Haag, NRLO.
- Putten, A.H. van der & J.W. van Laarhoven, 1994.
Theoretische berekeningen voor praktijkbedrijven: een validatie van FARM-MIN. AB-DLO-notitie int. 8, AB-DLO, Wageningen, 54 pp.
- Schneider, T. & A.H.M. Bresser, 1988.
Additioneel Programma Verzuringsonderzoek: Evaluatierapport Verzuring Rapport 00-06, RIVM, Bilthoven, 190 pp.
- Schröder, J., 1991.
De benutting van stikstof door maïs met speciale aandacht voor de wortels. CABO-verslag 152, CABO, Wageningen, 53 pp.
- Schröder, J., W.J.M. de Groot & W. van Dijk, 1992.
Nitrogen losses from continuous maize as affected by cover crops. *Aspects of Applied Biology 30*
- Schröder, J. & L. ten Holte, 1992.
Stikstofbenutting en -verliezen in maïsteeltsystemen. In: H.G. van de Meer & J.H.J. Spiertz (Eds.), *Stikstofstromen in agro-ecosystemen. Agrobiologische Thema s 6*, CABO-DLO, Wageningen, 71-85.
- Snijders, P.J.M., J.J. Woldring, J.H. Geurink & H.G. van der Meer, 1987.
Stikstofwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland. PR-rapport 103, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad, 156 p.
- Steenbergen, T. van, 1977.
De invloed van grondsoort en jaar op het effect van stikstofbemesting op de grasland-opbrengst. *Stikstof (85) 8*, 6-15.

- Ven, G.W.J. van de, 1992.
GRASMOD, a grassland management model to calculate nitrogen losses from grassland.
Verslag 158, CABO-DLO, Wageningen, 108 pp.
- Vertregt, N. & B. Rutgers, 1988.
Ammonia volatilization from grazed pastures. Dutch Priority Programme on Acidification,
Report 64-2, 37 pp.
- Wit, C.T. de, 1953.
A physical theory on placement of fertilizers. Proefschrift Landbouwhogeschool,
Wageningen, 71 pp.
- Wit, N.H.S.M. de & W. Bleuten, 1987.
Nitrate, phosphate and potassium contamination of the groundwater toplayer related
to soil type, land use and spatial position. In: W. van Duijvenbooden & H.G. van
Weageningh (Eds.), Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. Proceedings and
information no. 38, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, 709-716.
- Wolf, J., C.T. de Wit & H. van Keulen, 1989.
Modelling long-term crop response to fertilizer and soil nitrogen. I. Model description and
application. Plant and Soil 120, 11-22.