

Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland

J.M.P.M. Peerboom

Rapport 43

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990

REFERAAT

Peerboom, J.M.P.M., 1990. Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 43. 180 blz.; 25 fig.; 13 tab.; 11 aanhangsels.

Met behulp van bestaande en nieuwe computermodellen zoals SWATRE, CROPR, en BBPR is een methode ontwikkeld om bedrijfsschades op grasland te berekenen die afhankelijk zijn van de waterhuishouding. De gebruikte deelmodellen zijn tijdens het onderzoek waar mogelijk gecalibreerd en geverifieerd. In de ontwikkelde methode wordt aan de hand van meteorologische, hydrologische en bedrijfsgegevens de grasgroei en het graslandgebruik van een fictief standaardbedrijf gegenereerd. Hieruit wordt de bedrijfsopbrengst in geld berekend. De methode kan gebruikt worden voor het berekenen van gemiddelde jaarlijkse bedrijfsschades onder verschillende bodem- en drainageomstandigheden (HELP-tabel) maar ook voor het berekenen van schades tijdens specifieke perioden in het jaar voor het peilbeheer.

Trefwoorden: schadefuncties, gewassimulatie, graslandgebruik, opbrengstverlies, ontwatering graslandgebieden, peilbeheer

ISSN 0924-3070

©1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-19100; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Proj.nr. 60291

[RAP/43]

INHOUD

WOORD VOORAF	11
SAMENVATTING	13
1 INLEIDING EN PROBLEEMDEFINITIE	15
2 BASISRELATIES IN GRASLANDPRODUKTIE	21
2.1 Grasgroei	21
2.2 Grasverliezen	23
2.2.1 Verliezen tijdens beweiding	24
2.2.2 Verliezen tijdens voederwinning en conservering	25
2.3 Waterhuishoudkundige relaties	26
2.4 Modelaanpak	28
3 CONCEPTUELE AANPAK	29
3.1 Alternatieve modelaanpakken	29
3.2 Modelkeuze	32
3.3 Uiteindelijke aanpak	34
4 SIMULATIEMODELLEN	37
4.1 Simulatie van de bodemvochttoestand (SWATRE)	37
4.1.1 Basisconcept	37
4.1.2 In- en uitvoer	39
4.1.3 Calibratie	40
4.1.4 Discussie	40
4.2 Simulatie van de grasgroei (CROPR)	41
4.2.1 Basisconcept	42
4.2.2 In- en uitvoer	44
4.2.3 Calibratie	45
4.2.4 Discussie	46
4.3 Simulatie van het graslandgebruik (GRAMAN)	47
4.3.1 Basisconcept	47
4.3.2 In- en uitvoer	48
4.3.3 Discussie	49
4.4 Overige simulaties	50
4.4.1 Stikstofhuishouding	50
4.4.2 Dierlijke produktie en consumptie (MLKVVEE)	53
4.5 Bedrijfseconomische evaluatie (BBPR)	54
4.5.1 In- en uitvoer	54
4.5.2 Discussie	55
4.6 Modelsynthese	55
5 VERIFICATIE EN GEVOELIGHEIDSANALYSE	59
5.1 Verificatie	59
5.1.1 HELP-tabel	59
5.1.1.1 Berekeningsmethode	59
5.1.1.2 Resultaten	61
5.1.1.3 Discussie	62
5.1.2 Droogteschade	63

5.1.2.1	Berekeningsmethode	64
5.1.2.2	Resultaten	64
5.1.2.3	Discussie	64
5.1.3	Conclusies	66
5.2	Gevoeligheidsanalyse	67
5.2.1	Draagkrachtgrenzen	67
5.2.2	Veebezetting	68
5.2.3	Economische invoer	70
5.2.3.1	Voerprijzen	70
5.2.3.2	Loonwerkkosten	72
5.2.4	Conclusies	74
6	CONSTRUCTIE VAN SCHADEFUNCTIES	75
6.1	Doel	75
6.2	Aandachtspunten	76
6.2.1	Berekeningsintervallen	77
6.2.2	Meteorologische reeksen	78
6.2.3	Grondwaterstandsverlopen	79
6.2.4	Bodemeenheid	81
6.2.5	Uitgangssituaties	82
6.2.6	Bedrijfseconomische omstandigheden	83
6.3	Synthese	83
7	SCHADEFUNCTIES	85
7.1	Berekende situaties	85
7.1.1	Fysische randvoorwaarden	85
7.1.1.1	Bodemeenheden	85
7.1.1.2	Drainagekarakteristieken	87
7.1.1.3	Meteorologische jaren	90
7.1.2	Bedrijfs- en economische randvoorwaarden	92
7.1.2.1	Veebezetting en beweidingssysteem	92
7.1.2.2	Prijzen	93
7.1.2.3	Overige	94
7.1.3	Initiële situaties	94
7.1.3.1	Start- en einddata	94
7.1.3.2	Hydrologische beginvoorwaarde	95
7.1.3.3	Bedrijfsbeginvoorwaarde	95
7.1.4	Conclusie	96
7.2	Resultaten	96
7.2.1	Grondwaterstandsverlopen	96
7.2.2	Fysische schadefuncties	97
7.2.3	Economische schadefuncties	102
7.3	Gebruiksvoorbeeld	106
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	113
8.1	Conclusies	113
8.2	Aanbevelingen	114
8.2.1	Modellen	114
8.2.2	Methodiek van de schadebepaling	115
	LITERATUUR	117

AANHANGSELS

1	SAMENSTELLING BEGELEIDINGSKOMMISSIE	121
2	CALIBRATIE SWATRE	123
3	CALIBRATIE/VERIFICATIE CROPR	133
3.1	Gewasrelaties	133
3.2	Calibratie	135
3.3	Verificatie	136
4	VOORBEELDEN BEWEIDINGSSHEMA	138
4.1	Natte omstandigheden	138
4.2	Droge omstandigheden	140
5	OPBRENGSTVERHOOGING DOOR BEREKENING	143
6	VOORNAAMSTE STANDAARDINVOER	145
6.1	BBPR	145
6.2	GRAMAN	148
6.3	MLKVEE	149
7	BODEMFYSISCHE KARAKTERISTIEKEN STARINGREEKS	150
7.1	pF- en K-h-relaties Staringreeks B101 en B303	150
7.2	Draagkrachtrelaties Staringreeks B101 en B303	152
8	HYDROLOGISCHE KARAKTERISTIEKEN BEREKENDE GRONDWATERTRAPPEN	153
8.1	Berekende waterbalansposten	153
8.2	Parameters drainageformules	154
9	PRINCIPE BEREKENING VOORTSCHRIJDENDE SCHADEFUNCTIES	155
10	STANDAARD GRONDWATERSTANDSVERLOPEN	157
10.1	B101	157
10.2	B303	162
11	FYSISCHE SCHADEFUNCTIES	167
11.1	Bodem B101	167
11.2	Bodem B303	173
	ERRATUM	179
FIGUREN		
1	Reductie van het aantal graaddagen door hoge grondwaterstanden	28
2	Schematische weergave van drie verschillende opties om de arbeidsopbrengst op grasland te berekenen afhankelijk van de waterhuishouding	30
3	Schema van het uiteindelijke modelconcept om de arbeidsopbrengst op grasland te berekenen met enkele belangrijke acties	34

4	Schematische weergave van de discretisatie die in SWATRE toegepast wordt op het bodemprofiel en de bijbehorende randvoorwaarden	38
5	Het verloop van de dimensieloze "sink-term" voor de reductie van de potentiële transpiratie	39
6	Het verloop van de assimilatie, respiratie en netto groei afhankelijk van de transpiratie, volgens het CROPR-concept	44
7	Koppeling van het waterbalansmodel SWATRE met het groei-model CROPR tot het model SWACROP	56
8	Implementatie van SWACROP binnen het bedrijfsmodel	57
9	Synthese van het overall-model om waterafhankelijke bedrijfsuitkomsten op grasland te genereren	57
10	Vergelijking tussen de berekeningen met het geïntegreerde model en de HELP-tabel voor enkele grondwatertrappen voor de reeks 1965-1966, 1971-1986 op bodemsoort B3/03, betreffende natheidsschade	62
11	Opgeheven vochttekort en toename van het ondernemersinkomen door berekening voor uiteenlopende situaties zonder kosten van berekening	65
12	Vergelijking tussen verliezen op jaarbasis bij een draagkrachtgrens van 0,6 en 0,5 MPa voor enkele gevoelige grondwatertrappen voor natheidsschade	68
13	Vergelijking tussen verliezen op jaarbasis bij verschillende grondwatertrappen en veebezettingen	69
14	Vergelijking tussen absolute verliezen op jaarbasis bij verschillende prijsniveaus; niveau 1988 en niveau 1988 verhoogd met 25%	71
15	Vergelijking tussen relatieve verliezen op jaarbasis bij verschillende prijsniveaus; niveau 1988 en niveau 1988 verhoogd met 25%	72
16	Vergelijking tussen de verliezen bij het geheel of slechts gedeeltelijk (alleen eerste snede) uitvoeren van inkuilwerkzaamheden door de loonwerker	73
17	Procedure voor het optimaliseren van het peilbeheer naar de visie van de provincie Gelderland	76
18	Schema van de voorgestelde procedure om voortschrijdende schadefuncties te hanteren	78
19	Gesimuleerd grondwaterstandsverloop tijdens twee jaren (1965 en 1976) voor verschillende drainagekarakteristieken, zoals gesimuleerd door SWATRE	80
20	Instrumentarium om schades met schadefuncties bij het operationele waterbeheer te bepalen	84
21	Verband tussen grondwaterstand en onderrandflux via geknikte Q-h-relaties	87
22	Frequentiediagram van het neerslagoverschot in De Bilt gedurende de jaren 1911-1986, 1965-1966 en 1971-1986 voor de periode maart-november	92
23	Schades in procenten van het totale jaarlijkse potentiële ondernemersinkomen voor acht verschillende ontwateringssituaties en twee bodemeenheden per periode gedurende het jaar	104

24	Opgetreden (tot 1 mei) en voorspeld grondwaterstandsverloop voor drie scenario's gedurende 1976, 1984 en 1986 voor het droge en het natte deel	108
25	Vergelijking van het voorspelde grondwaterstandsverloop met de standaardcurves voor het droge en natte deel in 1986 voor scenario 2	109

TABELLEN

1	Vergelijking van enkele aspecten van de voorgestelde modelaanpakken om de bedrijfsinkomsten op grasland te berekenen afhankelijk van de waterhuishouding	33
2	Toename van de produktie van grasland afhankelijk van het slootpeil en de stikstofgift op veengrond	52
3	Vergelijking tussen de berekeningen met het geïntegreerde model en de HELP-tabel voor enkele grondwatertrappen voor de reeks 1965-1966, 1971-1986 op bodemsoort B3/03, betreffende natheidsschade	61
4	Belangrijke textuurkarakteristieken van de vier Staringreeks bouwstenen met de uiterste waarden bij de middeling binnen de Staringreeks	86
5	GHG- en GLG-waarden en de extreme LG- en HG-waarden zoals berekend door SWATRE met verschillende drainagekarakteristieken over de jaren 1971-1986, en de overeenkomstige GHG- en GLG-waarden zoals gebruikt in de HELP-tabel	90
6	Totale netto hoeveelheid kuilvoer en geconsumeerd gras met verschillende perioden met optimale produktieomstandigheden gemiddeld over de periode 1965, 1966 en 1971-1986 voor acht ontwateringssituaties en twee bodemeenheden	98
7	Vertrappingsverlies bij verschillende perioden met optimale produktieomstandigheden, gemiddeld over de periode 1965, 1966 en 1971-1986 voor acht ontwateringssituaties en twee bodemeenheden	99
8	Jaarlijks aantal staldagen op het modelbedrijf bij verschillende perioden met optimale produktieomstandigheden, gemiddeld over de periode 1965, 1966 en 1971-1986 voor acht ontwateringssituaties en twee bodemeenheden	100
9	Hoeveelheid ruwvoer van eigen bedrijf in kg ruwvoer per staldag gemiddeld over de periode 1965, 1966 en 1971-1986 voor acht ontwateringssituaties en twee bodemeenheden	101
10	Jaarlijks ondernemersinkomen bij verschillende ontwateringssituaties op twee bodemeenheden, met verschillende voorafgaande perioden met optimale produktieomstandigheden	102
11	Minimum, maximum en gemiddelde schade (gebaseerd op het potentiële ondernemersinkomen) in gulden/ha voor acht verschillende ontwateringssituaties en twee bodemeenheden per periode gedurende het jaar	105

10

- 12 Minimum, maximum en gemiddelde schade (gebaseerd op het potentiële ondernemersinkomen) in procenten van het jaarinkomen voor acht verschillende ontwateringssituaties en twee bodemeenheden per periode gedurende het jaar 106
- 13 Schadeberekningen bij verschillende data van peilverhoging in een gefingeerd gebied met Gt III en Gt VII 110

WOORD VOORAF

Dit rapport is het eindverslag van het project "Schadefuncties bij hoge grondwaterstanden" dat van juni 1987 t/m december 1988 uitgevoerd werd aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) in Wageningen in nauwe samenwerking met het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR) in Lelystad in opdracht van de Dienst Milieu en Water van de Provincie Gelderland.

Het onderzoek had als doel schadefuncties op grasland te formuleren afhankelijk van de waterhuishouding, in het bijzonder bij hoge grondwaterstanden.

Het onderzoek bouwt voort op veel studies die in het verleden o.a. aan het ICW en het PR hebben plaatsgevonden op het gebied van opbrengstberekningen van grasland. Veel studies behandelen een bepaald aspect van de problematiek (o.a. Beuving et al., 1989; Righolt, 1988; Schothorst, 1980), andere studies hebben een meer integraal karakter (Mandersloot, 1984; Rempelberg et al., 1984; Werkgroep HELP-tabel, 1987). In deze studie staat integratie van de resultaten die in eerdere onderzoeken bereikt zijn, centraal.

Het onderzoek werd uitgevoerd door H.A. Wolters (t/m oktober 1987) en J.M.P.M. Peerboom (vanaf oktober 1987). De directe begeleiding was in handen van P.J.T. van Bakel.

De studie werd ondersteund door een multidisciplinaire ICW-PR-werkgroep "Schadefuncties bij hoge grondwaterstanden", samengesteld uit:

dr. P.J.T. van Bakel	- afd. technisch waterbeheer (projectleider)	ICW
dr. R.A. Feddes	- hfdafd. waterhuishouding (voorzitter)	ICW
dr. R. de Jong	- afd. agrohydrologie (t/m mei 1988)	ICW
ir. P. Kabat	- afd. agrohydrologie	ICW
ing. F. Mandersloot	- afd. bedrijfseconomie (vanaf mei 1988)	PR
ir. J.M.P.M. Peerboom	- afd. technisch waterbeheer (secretaris)	ICW
ir. J.W. Righolt	- afd. bedrijfseconomie	ICW
ing. E. Teenstra	- afd. graslandgebruik (t/m mei 1988)	PR
ir. Th. Vellinga	- afd. graslandgebruik	PR
dr. A.L.M. van Wijk	- hfdafd. bodemtechniek	ICW
ir. H.A. Wolters	- afd. technisch waterbeheer (t/m oktober 1987)	ICW

Voorts werd de studie op afstand begeleid door een begeleidingscommissie "Optimaliseren Peilbeheer" van de provincie Gelderland, waarvan de samenstelling in aanhangsel 1 volgt.

Bij dezen wil ik alle medewerkers van het PR, de provincie Gelderland, het Computercentrum Staringgebouw en het ICW, die een bijdrage geleverd hebben aan de uitvoering van het onderzoek, van harte bedanken.

Jacques Peerboom,
december, 1989.

SAMENVATTING

In het kader van het onderzoek naar de optimalisering van het peilbeheer in de provincie Gelderland is door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in samenwerking met het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, van juni 1987 t/m december 1988 een onderzoek uitgevoerd naar de bedrijfsschades op grasland ten gevolge van het waterbeheer.

Het onderzoek had als doel om de in de loop der jaren opgebouwde kennis omtrent waterhuishouding, grasgroei en graslandgebruik die op het ICW en het PR aanwezig was, te integreren. Deze integratie heeft geleid tot een koppeling van bestaande en nieuw ontwikkelde computerprogramma's.

Het eindresultaat van de koppeling is een uitgebreid computerprogramma dat het arbeidsinkomen op een standaard melkveebedrijf berekent op basis van informatie over de hydrologie, het gewas en een aantal bedrijfskenmerken. De waterhuishouding, de grasgroei en het graslandgebruik worden in de opzet volledig geïntegreerd.

In de gevolgde opzet wordt het graslandgebruik op een fictief standaard melkveebedrijf gesimuleerd. Het standaardbedrijf wordt gekarakteriseerd door uniforme percelen die afhankelijk van de situatie beweid worden of worden gebruikt voor de voedervoorziening. De draagkracht van de bodem en de gewasverdamping worden gesimuleerd met het model SWATRE. De gewasverdamping wordt vervolgens met het model CROPR omgezet in grasproductie. In het ontwikkelde model GRAMAN wordt de berekende grasproductie beweid of voor de voedervoorziening gemaaid, rekening houdend met verschillende verliesposten die kunnen optreden afhankelijk van de actuele bodemomstandigheden. Het aldus berekende beweidings-schema wordt met het model MLKVEE omgezet in melkproductie en benodigde voeraankopen. Deze gegevens worden uiteindelijk met het programma BBPR verwerkt tot bedrijfsopbrengsten.

De modelresultaten zijn geverifieerd aan de hand van de HELP-tabel (Werkgroep HELP-tabel, 1987) en aan de hand van de resultaten uit de beregeningsstudie voor Gelderland (Mandersloot, 1984). In beide gevallen was er sprake van overeenkomstige resultaten. Het voordeel van deze berekeningsmethode is echter dat relatief eenvoudig en snel het effect van uiteenlopende waterhuishoudkundige ingrepen op de bedrijfsopbrengsten gekwantificeerd kan worden.

De ontwikkelde modelopzet is gebruikt om waterhuishoudkundige schadefuncties te formuleren voor het operationele waterbeheer. Deze schadefuncties geven per periode in het jaar de gemiddelde te verwachten bedrijfsschade onder verschillende bodem- en drainageomstandigheden. De belangrijkste ingang voor de schadefuncties is het grondwaterstandsverloop gedurende uiteenlopende

karacteristieke weerjaren. Voor het onderzoek zijn voor een beperkt aantal bodemeenheden, drainage-eigenschappen en bedrijfsomstandigheden schadefuncties ontworpen voor vier perioden in het jaar.

Alhoewel de resultaten met de modellen acceptabel zijn, zal in een mogelijk vervolg van de studie de aandacht gericht moeten worden op enige aspecten van de gebruikte modelconcepten. Vooral de modellering van de stikstofafhankelijke groei en de simulatie van de beweidingsstrategie zijn voor verbetering vatbaar. Daarnaast zal in een mogelijk vervolgonderzoek het nu nog beperkte instrumentarium voor het waterbeheer uitgebreid moeten worden door uitbreiding van de standaardberekeningssituaties of door aanpassingen aan de programmatuur, waardoor deze direct in het waterbeheer toegepast kan worden.

1 INLEIDING EN PROBLEEMDEFINITIE

Het operationele waterbeheer staat in het teken van het afstemmen van de aan- en/of afvoer van water voor het vervullen van behoeften van de landbouw, de natuur, de recreatie enz. Bij deze afstemming wordt vaak een optimalisering nagestreefd om een zo gunstig mogelijke kosten-baten-ratio te bereiken. In tegenstelling tot functies als natuur, recreatie e.d., kan voor de landbouw een dergelijk afwegingsprobleem niet alleen voor de kosten kwantitatief goed ondersteund worden, maar ook voor de baten. Vooral de baten voortvloeiend uit wateraanvoer tijdens de zomerperiode om transpiratietekorten van gewassen op te heffen, zijn betrekkelijk duidelijk te localiseren, aangezien transpiratie en produktie in veel gevallen direct gekoppeld zijn (Van Boheemen, 1981). Het kwantificeren van baten die voortvloeien uit een verbetering van de waterafvoer is minder eenvoudig, aangezien naast de directe invloed van de waterhuishouding op de groei, ook de bedrijfsvoering een rol speelt. Voor bouwland is deze problematiek uitgewerkt in Van Wijk en Feddes (1986) en Van Wijk et al. (1988). Bij het berekenen van produkties van grasland zijn de relaties tussen waterhuishouding en produktie nog complexer, in het bijzonder bij wateroverlast. Deze complexiteit komt voornamelijk voort uit het feit dat de landbouwkundige produktie op een indirecte manier te gelde gemaakt wordt via de produktie van melk onder verschillende produktiesystemen. De economische opbrengst is dan geen eenduidige lineaire functie van de fysische opbrengst, maar een complexe functie met tal van terugkoppelingen.

In het verleden is veel onderzoek gedaan naar de verschillende aspecten die de produktie van grasland beïnvloeden. De verliezen tijdens het maaien zijn onderzocht door Luten (1983) en Overvest (1977). Schothorst (1980) behandelt het effect van ontwatering op de groei in het voorjaar. Beuving et al. (1989) geeft relaties voor de vertrapping door koeien en de daarmee samenhangende verliezen. Het effect van watertekorten op de groei voor gras wordt beschreven door Van Boheemen (1981). Righolt (1988) gaat in op de bedrijfseconomische en bedrijfstechnische aspecten bij de relatie tussen waterbeheer en graslandproduktie. Om een totaalbeeld te krijgen van de verliezen op grasland ten gevolge van het waterbeheer moeten de genoemde deelaspecten geïntegreerd worden. In eerdere onderzoeken heeft deze integratie al voor een deel gestalte gekregen zoals in de HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987), waarin per grondsoort en ontwateringstoestand een gemiddeld schadepercentage gegeven wordt met meerdere aspecten. In Mandersloot (1984) wordt de rendabiliteit voor beregening berekend met behulp van een geïntegreerd model waarin grasgroei en graslandgebruik beschouwd worden in relatie met de economische opbrengst. De ontwikkeling van simulatiemodellen voor het beschrijven van (waterafhankelijke) groei (Feddes et al., 1978; Penning de Vries en Van Laar, 1983) en het beschikbaar komen van

data om deze modellen voor gras te ijken (groeioproeven op R.O.C. Heino), maken het mogelijk om de integratie van de verschillende aspecten nog verder door te voeren dan tot nu toe mogelijk was. Ook de snelle ontwikkeling van krachtige computers heeft de mogelijkheden voor verdergaande integratie verruimd. Naast deze verruimde mogelijkheden om graslandproducties te berekenen, vroeg de specifieke vraagstelling van de provincie Gelderland om een nieuwe aanpak.

De provincie Gelderland streeft naar een optimalisering van het peilbeheer m.b.v. schadefuncties die een verband weergeven tussen de waterhuishouding en economische produktie, waardoor een waterhuishoudkundige maatregel direct gerelateerd kan worden aan een economische opbrengst. Aangezien het grootste deel van de landbouwgronden in de provincie Gelderland bestaat uit grasland, heeft de optimalisering van het waterbeheer voor een groot deel hierop betrekking. Reeds bestaande relaties tussen waterhuishouding en produktie, zoals beschreven in Werkgroep HELP-tabel (1987) en Van Wijk et al. (1988) zijn bedoeld om structurele (landinrichtings)ingrepen te evalueren en zijn in het algemeen minder geschikt voor gebruik bij het waterbeheer, omdat schades berekend worden als jaartotalen, terwijl in het waterbeheer behoefte is aan deelpercentages gedurende het jaar. Voor grasland zijn deze schadepercentages bovendien minder goed toepasbaar, omdat deze meestal betrekking hebben op fysische produkties en niet de verbinding leggen met financiële bedrijfsopbrengsten. Schadefuncties voor grasland in droge omstandigheden zijn door de provincie reeds zelf ontwikkeld met het waterbalansmodel MUST. Schadefuncties voor natte omstandigheden vragen echter naast inzicht in de waterhuishouding, specifieke inzichten in graslandproductiesystemen, bewerkbaarheid, specifieke economische aspecten enz. In dit rapport zal de gevolgde methode bij het berekenen van schadefuncties met de nadruk op natte omstandigheden beschreven worden, tevens zullen de uiteindelijk verkregen rekenresultaten gepresenteerd worden. Een gedetailleerde beschrijving van het groeiemodel SWACROP voor grasproduktie wordt gegeven in De Jong, Kabat en Peerboom (1989) en in De Jong en Kabat (1988). In dit rapport wordt volstaan met het uiteenzetten van de basisprincipes en enige calibratieresultaten van de gehanteerde modellen.

Hoofdstuk 2. Basisrelaties in graslandproduktie

Ingegaan wordt op enkele factoren die de groei van gewassen in het algemeen en de groei van gras in het bijzonder betreffen. Allereerst worden groeifactoren onderscheiden zoals nutriëntenvoorziening, watervoorziening, temperatuur, straling, graslandgebruik en ziekten. Enkele factoren vertonen sterke onderlinge interacties, veelal in combinatie met de watervoorziening. Vervolgens worden de verliezen bij gebruik van grasland behandeld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen verliezen bij beweiding en verliezen bij de voederwinning. Hierna worden de groei- en verliesfactoren nader beschouwd in relatie met de waterhuishouding.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte factoren. De belangrijkste directe factor is de invloed van een teveel of tekort aan water in de wortelzone op de transpiratie. De indirecte factoren treden vaak op bij natte omstandigheden. De belangrijkste zijn de invloed van de draagkracht op de beweiding gerelateerd aan de waterhuishouding, denitrificatie en uitspoeling van nitraat en de vertragende invloed van natte omstandigheden op de start van de groei. Tenslotte worden globale eisen geformuleerd waaraan een modelopzet moet voldoen.

Hoofdstuk 3. Conceptuele aanpak

De keuze en de motivatie van het gebruikte modelconcept worden nader toegelicht. Globaal worden drie mogelijke concepten beschouwd. Het eenvoudigste concept gaat uit van separate berekeningen van de gewasgroei. Op de berekende opbrengsten worden reducties toegepast via een eenvoudig model voor verschillende gebruiksalternatieven. Het tweede concept gaat ook uit van vooraf berekende groeicurven afhankelijk van de fysische omstandigheden. De groeicurven worden echter daarna in een complex model ingevoerd, waarmee een gebruiksschema van grasland gecreëerd wordt. Dit gebruiksschema berekent een geoptimaliseerd gebruiksschema van grasland en graslandopbrengst onder de gegeven groeioverstandigheden. Het laatste concept gaat uit van een volledig geïntegreerde aanpak, waarbij groei en gebruik simultaan berekend worden. Het berekende graslandgebruik is niet zoals in het tweede concept, een geoptimaliseerd gebruik, maar min of meer "ad hoc" gegenereerd. De drie alternatieven zijn getoetst op fysische consistentie, toevalsinvloeden, rekentijd enz. Uiteindelijk is gekozen voor het derde concept, waarbij vooral de fysische consistentie en de rekentijd de doorslag gaven.

Hoofdstuk 4. Simulatiemodellen

De separate computermodellen voor de berekeningen worden nader toegelicht. Tevens wordt de synthese van het geïntegreerde model beschreven. Van het model SWATRE voor de beschrijving van de waterhuishouding van de onverzadigde zone en het model CROPR voor de simulatie van de gewasgroei worden de basisprincipes besproken en wordt de calibratie beschreven op de proefveldgegevens van de proeven op R.O.C.-Heino. Hierna wordt het model GRAMAN voor de simulatie van het graslandgebruik behandeld. In de discussie wordt de praktische waarde van het model nader beschouwd en worden enige restricties behandeld. Vervolgens wordt enige aandacht besteed aan de simulatie van de stikstofinvloeden op de gewasgroei en de bedrijfsvoering. Vooral de simulatie van de stikstofprocessen afhankelijk van water laten zich moeilijk in een geïntegreerd model modelleren. Het model voor de simulatie van de dierlijke produktie en consumptie MLKVEE wordt slechts op hoofdpunten toegelicht. Het programma voor de vertaling van de fysische opbrengsten verkregen uit de simulatiemodellen naar economische waarde, BBPR, wordt behandeld aan de hand van de belangrijkste in- en uitvoer.

Tenslotte wordt via stroomdiagrammen het uiteindelijk geconstrueerde, geïntegreerde model toegelicht.

Hoofdstuk 5. Verificatie en gevoeligheidsanalyse

Berekeningsresultaten met het geïntegreerde model worden behandeld. Het doel hiervan is om enige verificatie met elders uitgevoerde berekeningen te verkrijgen, en om de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor bepaalde invoerfactoren te toetsen. Ter verificatie zijn de natheidsschades uit de HELP-tabel voor enkele natte grondwatertrappen vergeleken met modeluitkomsten met vergelijkbare Gt-verlopen over een 18-jaar lange jaarreeks. Daarnaast is de opbrengstvermeerdering in relatie tot het opgeheven vochttekort vergeleken met een soortgelijke relatie uit de "Beregeningsstudie Gelderland". In beide gevallen is er sprake van overeenkomstige resultaten. De gevoeligheid van de berekende schades is getoetst op variaties in betreedbaarheidsgrenzen, veebezetting, wijze van ruwvoerwinnning en de voerprijzen. De belangrijkste conclusies uit deze berekeningen zijn dat uitkomsten redelijk in de pas lopen met eerdere studies, maar dat de gevoeligheden voor zowel fysische, bedrijfsmatige en economische parameters aanzienlijk zijn.

Hoofdstuk 6. Constructie van schadefuncties

De constructie van schadefuncties op grasland voor het operationele waterbeheer wordt algemeen beschreven. Er wordt een pakket van eisen gepresenteerd en becommentarieerd waaraan de schadefuncties moeten voldoen. Allereerst worden het uiteindelijke doel en de toekomstige werkwijze uiteengezet die de provincie Gelderland voor ogen heeft met de schadefuncties. Hierna volgt een bespreking van de voornaamste aspecten waarmee bij de constructie van de functies rekening gehouden moet worden. Deze aspecten zijn de start en het eind van de periode waarover schades berekend moeten worden, de meteorologische reeksen die beschouwd worden, de variaties in grondwaterstandsverlopen, de variaties in bodemeenheden, bedrijfsmatige en hydrologische uitgangssituaties en de bedrijfseconomische omstandigheden. Uiteindelijk wordt een concept geformuleerd van zogenaamde voortschrijdende schadefuncties die gekoppeld zijn aan grondwaterstandsverlopen overeenkomend met de bestaande Gt-classificatie. De schadefuncties worden gemiddeld over een representatieve reeks van hydrologische jaren.

Hoofdstuk 7. Schadefuncties

De globaal beschreven schadefuncties in hoofdstuk 6 worden nader gespecificeerd. Hierbij zijn concessies gedaan ten opzichte van de geformuleerde eisen. Dit was noodzakelijk als gevolg van de grenzen aan de rekentijd, het vereiste gebruiksgemak en de geconstateerde gevoeligheden. Uiteindelijk zijn voor twee bodemeenheden en acht drainagekarakteristieken verschillende schadefuncties opgesteld gemiddeld over een jaarreeks van 18 weerjaren.

Er is uitgegaan van één veebezetting (2,5 melkkoe/ha) en één prijsniveau (1988). Vooral wijzigingen in het prijsniveau kunnen achteraf eenvoudig doorgevoerd worden. De berekende schades worden gepresenteerd als fysische en als economische schades. De ingang voor de schadefuncties wordt gevormd door een aantal berekende standaard grondwaterstandsverlopen voor een aantal karakteristieke jaren onder een bepaalde drainagekarakteristiek. Uiteindelijk worden de gepresenteerde schadefuncties toegelicht met behulp van een praktijkvoorbeeld.

Hoofdstuk 8. Conclusies en aanbevelingen

Geconcludeerd wordt dat het onderzoek een raamwerk heeft opgeleverd, waarbinnen hydrologie, grasgroei, graslandgebruik en bedrijfseconomische factoren geïntegreerd kunnen worden tot één systeem. Hiermee kunnen in principe waterhuishoudkundige bedrijfsschades op grasland bepaald worden. Daarnaast is zowel ondersteuning als nuancering geleverd voor resultaten uit het verleden op het gebied van graslandschades. Het onderzoek kan echter nog niet als afgesloten beschouwd worden. De gebruikte modellen dienen op een aantal punten verder ontwikkeld te worden. Bovendien moet het aantal berekende situaties uitgebreid en geanalyseerd worden en moet de voorgestelde aanpak in de praktijk getoetst worden.

2 BASISRELATIES IN GRASLANDPRODUKTIE

Grasland is voor de rundveehouderij de belangrijkste bron van ruwvoer. 's Zomers wordt het geproduceerde gras meestal door weidende koeien benut, 's winters levert het grasland in de vorm van voordroogkuil een belangrijke bijdrage aan het rantsoen. De hoeveelheid gras die geproduceerd wordt, is van factoren afhankelijk die deels wel en deels niet beïnvloed kunnen worden. De benutting van het geproduceerde gras verloopt via beweiding en voederwinning. Voor de beweiding zijn een aantal systemen mogelijk:

- dag en nacht (onbeperkt) weiden: O-systeem;
- overdag weiden en 's nachts opstallen al of niet met bijvoeding van geconserveerd ruwvoer: B+x-systeem;
- zomerstalvoeding (vers gras op stal) al of niet met bijvoeding van geconserveerd ruwvoer: Z-systeem.

Al het gras dat niet via beweiding of zomerstalvoeding benut kan worden, wordt gemaaid voor de voederwinning. Ook hierbij zijn verschillende varianten mogelijk. Tijdens beweiding en voederwinning wordt niet al het gras benut; er treden verliezen op, afhankelijk van het gekozen beweidingssysteem en voederwinnings-systeem. De waterhuishouding speelt een belangrijke rol bij het graslandgebruik. Enerzijds beïnvloedt het de groei van het gras, anderzijds beïnvloedt het ook de verliezen tijdens benutting van het gras.

In dit hoofdstuk zal eerst een overzicht gegeven worden van de factoren die van invloed zijn op de grasgroei. Vervolgens zullen de verliezen besproken worden die optreden tijdens benutting van het gras. Daarna wordt de rol van de waterhuishouding toegelicht. Tenslotte zullen de eisen behandeld worden die aan het modelconcept gesteld moeten worden.

2.1 Grasgroei

Grasgroei is net als de groei van andere gewassen afhankelijk van (vaak te manipuleren) omgevingsfactoren, menselijke factoren en soortgebonden factoren die al dan niet met elkaar in verband staan. Als voornaamste groeifactoren kunnen hier genoemd worden:

watervoorziening	: grondsoort, drainage, meteorologie;
nutriëntenvoorziening	: grondsoort, bemesting, waterhuishouding;
(gewas)temperatuur	: meteorologie, waterhuishouding;
zonnestraling	: meteorologie;
graslandgebruik	: groei, bedrijfsstructuur, economie, waterhuishouding, enz.;
ziekten	: persistentie, gebruik, meteorologie.

Watervoorziening

De watervoorziening van het gewas bepaalt de grootte van de gewasverdamping. De verdamping zorgt voor koeling van het gewas (voelbare warmte wordt omgezet in latente warmte) door het openen van de huidmondjes. Door de opening van de huidmondjes is tevens diffusie van CO₂ mogelijk, van belang bij de fotosynthese. Bij een tekort of een groot overschot aan water wordt de potentiële verdamping gereduceerd. Hierdoor zullen de huidmondjes zich meer sluiten, waardoor ook minder CO₂-diffusie en dus fotosynthese mogelijk is. Tevens warmt het gewas bij dit proces op, waardoor de fotosynthese- en respiratiesnelheid beïnvloed worden. De watervoorziening wordt bepaald door het vochthoudend vermogen van de grond, de drainage-eigenschappen van het gebied en door de weersgesteldheid. De weersgesteldheid bepaalt behalve de vochttoelevering in de vorm van neerslag, ook de verdampingsvraag van de atmosfeer.

Nutriëntenvoorziening

De nutriëntenvoorziening (in het bijzonder N, P en K) van gras bepaalt in hoge mate de opbrengst. Een tekort aan nutriënten leidt tot gebreksverschijnselen bij het gewas. Extra giften van met name N leiden tot extra opbrengst. Een teveel aan nutriënten kan zorgen voor verbrandingsverschijnselen. In het algemeen wordt niet alleen de droge-stofopbrengst door nutriëntenvoorziening beïnvloed, maar ook de voerkwaliteit van het gras, de voederwaarde. Deze voederwaarde wordt gegeven als voedereenheid melk ofwel de VEM-waarde, en is een maat voor de energie-inhoud van het voer. Naast directe opbrengstbeïnvloeding heeft de nutriëntenvoorziening invloed op de morfologie van het gewas. Zo is bekend dat de dichtheid van de grasstoppel negatief beïnvloed wordt door hoge N-giften met nadelige gevolgen voor de hergroei van het gewas in het voorjaar. De nutriëntenvoorziening is direct afhankelijk van de (kunst)mestgift en de mineralisatieprocessen in de bodem. Vooral de beschikbaarheid van stikstof wordt beïnvloed door de vochtuithouding van de bodem; voortdurend anaërobe omstandigheden remmen de mineralisatie en bevorderen denitrificatie; intensieve beregening bevordert uitspoeling van nitraat naar diepere onbereikbare lagen.

(Gewas)Temperatuur

De gewastemperatuur bepaalt direct de respiratie van het gewas; een hogere temperatuur betekent een hogere respiratie. Hierbij worden de assimilaten die gevormd zijn door de plant voor een deel afgebroken. De gewastemperatuur bepaalt ook de fotosynthesesnelheid, in het algemeen neemt deze snelheid toe naarmate de temperatuur hoger wordt. Bij extreme temperaturen neemt deze snelheid echter af met de temperatuur. De gewastemperatuur is direct afhankelijk van de meteorologische omstandigheden (globale straling, windsnelheid), maar ook van de gewasverdamping (zie Watervoorziening).

De buitentemperatuur in het voorjaar tenslotte bepaalt voor een groot deel de datum waarop de groei van het gras start.

Zonnestraling

De directe kortgolvlige straling fungeert als energiebron voor het gewas. Deze energie wordt door de plant vastgelegd in de vorm van koolhydraten (CH_2O), die vervolgens afgebroken worden (respiratie), of gebruikt worden om structureel plantmateriaal te vormen. De kortgolvlige straling is afhankelijk van de meteorologische omstandigheden, zoals de potentiële zonnestraling (afhankelijk van datum en breedtegraad), bewolgingsgraad enz.

Graslandgebruik

Het graslandgebruik bepaalt de tijdstippen waarop het gras geoogst wordt. Bij beweiden ligt dit tijdstip doorgaans eerder dan bij maaien. De groeisnelheid van het gewas is afhankelijk van het groeistadium, waardoor het oogsttijdstip de gewasopbrengst beïnvloedt; oogsten bij lage opbrengst betekent dat er een relatief lage groeisnelheid geldt. Naarmate er meer gras aanwezig is, stijgt de groeisnelheid. Oogsten bij relatief hoge opbrengsten kan ook nadelig uitwerken, omdat een deel van de aanwezige stoppel dan afsterft. Daarnaast beïnvloedt het graslandgebruik de mogelijke hergroeiverliezen. De absolute grootte van de hergroeiverliezen wordt beïnvloed door het tijdstip en de fysische omstandigheden van het gewas, en de omgeving bij de oogst. Het graslandgebruik wordt door veel factoren bepaald. Primair bepaalt de opbrengst van het gewas wanneer geoogst wordt; er is dus een wederzijdse terugkoppeling tussen groei en gebruik. Daarnaast zijn bedrijfsstructuur, veestapelkenmerken en economische motieven bepalend voor het gebruik.

Ziekten

Mogelijke ziekten in het gewas beïnvloeden de groeisnelheid vanzelfsprekend negatief. De uitwerking van deze ziekten kan divers van aard en grootte zijn. De oorzaak van ziekten kan ook zeer verschillend zijn. Veel is afhankelijk van de persistentie van het gewas, vochtomstandigheden enz. Ook een specifiek graslandgebruik kan ziekten beïnvloeden.

2.2 Grasverliezen

De actuele fysische opbrengst van het gras wordt tijdens de groei gereduceerd door oogstverliezen afhankelijk van de oogstmethode. Deze verliezen zijn voor een deel inherent aan de oogstmethode (maaien resp. beweiden), voor een ander deel worden de verliezen veroorzaakt door de fysische omstandigheden in combinatie met een bepaald gebruik.

2.2.1 Verliezen tijdens beweiding

Bij beweiding van grasland onder optimale omstandigheden (zoals een goede draagkracht van de bodem) treden verliezen op die inherent zijn aan het beweiden. Deze verliezen bestaan uit:

Beweidingsverliezen

Deze worden veroorzaakt doordat de koeien een deel van het gras kapot trappen tijdens de beweiding en doordat een deel van het gras bedekt wordt met mest en urine. Deze verliezen zijn sterk afhankelijk van de hoeveelheid gras die aangeboden wordt, de vreethoogte enz. Dit verlies is tijdens de beweidingsperiode niet constant; bij de start van de beweiding op een perceel zal het verlies groter zijn dan aan het eind. Algemeen wordt uitgegaan van een verlies van 20% van de totaal aangeboden droge-stofproductie tijdens een beweidingsperiode van 4 dagen onbeperkt (dag en nacht) weiden, en van 14% bij 4 dagen beperkt (alleen overdag) weiden (Wieling, 1977). Bij dit verlies worden ook die vertrappingsverliezen gerekend die niet afhankelijk zijn van de bodemvochtsituatie.

Betredingsverliezen

Deze worden veroorzaakt doordat de koeien een deel van het gras plat (echter niet kapot) trappen. Deze hoeveelheid is tijdens de huidige beweiding niet meer beschikbaar, maar zal bij de volgende snede weer oogstbaar zijn, weliswaar als minder smakelijk "oud gras".

Bijgroeverliezen

Tijdens de beweiding zal het gras minder snel groeien dan buiten de weideperiode, vanwege betreding door koeien. Deze bijgroeverliezen worden grofweg geschat op 50% van de dagelijkse ongestoorde bijgroei. Na de beweiding groeit het gras in principe normaal door.

Naast deze verliezen die altijd bij beweiding optreden, treedt er ook verlies op als het gras benut wordt bij onvoldoende draagkracht. Deze verliezen zijn te splitsen in:

Vertrappingsverliezen

Deze verliezen worden veroorzaakt door de vertrapping van de zode door koeien bij een lage draagkracht. Dit verlies heeft alleen betrekking op de hoeveelheid oogstbaar gras die door de vertrapping niet meer beschikbaar is voor de veestapel. Dit verlies is een functie van de vertrapping tijdens de beweiding en de aangeboden hoeveelheid gras. De vertrapping is een functie van de draagkracht die weer een functie is van de drukhoogte in de bovenste centimeters van de bodem. Het vertrappingsverlies hangt nauw samen met het betredingsverlies.

Hergroei-vertraging

Nadat de zode vertrappt is, treedt er na beweiding een zekere hergroei-vertraging op tijdens de herstelfase van de graszode. Dit uit zich in een langere groei-periode voor de volgende snede. Deze hergroei-vertraging is, evenals de directe vertrappingsverliezen, een functie van de opgetreden vertrapping tijdens de beweiding en de hoeveelheid gras die in de volgende snede aangeboden wordt. De periode die de zode nodig heeft om weer te herstellen wordt meestal gesteld op de periode tussen de beide sneden, maar kan ook variëren afhankelijk van de grondsoort.

Structuurschade

Als de graszode dusdanig beschadigd is dat natuurlijk herstel lange tijd vergt of helemaal niet meer mogelijk is, is er sprake van structuurschade. Alleen bij kleigronden lijdt met name vertrapping vaak tot aanmerkelijke structuurschade (versmering).

2.2.2 Verliezen tijdens voederwinning en conservering

Tijdens de voederwinning en conservering treden verliezen op die meestal van een andere aard zijn dan de verliezen tijdens beweiding:

Berijdingsverliezen

Indien het gras gemaaid, geschud en binnengehaald wordt, treedt enige schade op aan de overblijvende graszode, die het gevolg is van het berijden. Deze schade is voor een deel afhankelijk van de actuele draagkracht tijdens de oogst en van de te oogsten massa en is vergelijkbaar met de beweiding- en vertrappingsschade tijdens de beweiding.

Verliezen tijdens veldperiode

Na het maaien blijft het gras enige tijd op het veld liggen (1-5 dagen), de zgn. veldperiode, waarin het gras het gewenste drogestofgehalte voor inkuilen moet krijgen. Er treden dan diverse verliezen op, zowel in de droge stof maar ook in de kwaliteit.

Deze verliezen zijn samengevat in Teenstra (1988):

- mechanische verliezen ofwel brokkelverliezen;
- ademhalingsverliezen;
- microbiële verliezen;
- uitlogingsverliezen.

De veldverliezen zijn voornamelijk afhankelijk van de lengte van de veldperiode en de te oogsten massa, daarnaast speelt de gegeven stikstofgift een belangrijke rol.

Hergroei-verliezen

Tijdens de veldperiode is de overblijvende stoppel bedekt met gemaaid gras, waardoor de groei voor de volgende snede vertraagd

zal inzetten. Algemeen start na afloop van de veldperiode de groei pas. Daarnaast zal de overblijvende stoppel naarmate de oogst zwaarder is geweest minder snel optimaal gaan produceren, aangezien sommige vitale delen van het gras bij een zware oogst gemaaid worden. Relatief weinig groene delen blijven over voor de hergroei. De hergroei van het gras wordt ook vertraagd als gemaaid wordt bij een te lage draagkracht.

Conserveringsverliezen

Tijdens en na het inkuilen treden zgn. conserveringsverliezen op. Deze verliezen zijn een gevolg van ademhaling, fermentatie e.d. Deze verliezen betreffen evenals de verliezen tijdens de veldperiode, zowel de droge-stofopbrengst als de voederkwaliteit.

Vervoederingsverliezen

Tijdens het verstrekken van het kuilvoer aan het vee treden zgn. vervoederingsverliezen op. Algemeen geldt een verlies van 5% "tussen kuil en koe".

2.3 Waterhuishoudkundige relaties

Aangezien het doel van deze studie is om landbouwkundige schade te schatten in relatie tot de waterhuishouding, is het van belang om die groei- en verliesfactoren te onderzoeken die direct of indirect van de waterhuishouding afhankelijk zijn.

Als enige groeifactor die direct aan de waterhuishouding gerelateerd is, geldt de transpiratie. Zowel onder droge als onder extreem natte omstandigheden wordt de groei verminderd door een reductie van de transpiratie. Onder droge omstandigheden is meestal ook de gewastemperatuur hoog, die de groeireductie nog groter maakt en zelfs de bestaande droge-stofmassa kan reduceren. Maatregelen voor peilbeheer betreffen veelal het opheffen van vooral vochttekorten door wateraanvoer voor beregening en infiltratie om de transpiratie en daarmee de opbrengst te verhogen. Ook het afvoeren van water om een goede luchthoudding van de wortelzone te waarborgen is onderwerp van het peilbeheer. De groeireducties verminderen vooral de hoeveelheid ruwvoer die van het eigen bedrijf gewonnen kan worden. Als de groeireducties in kritieke perioden vallen, waarin normaal niet gemaaid wordt (vooral bij hoge veebezettingen), dan zal tijdelijk meer bijgevoerd moeten worden, omdat het geplande grasaanbod niet overeenkomt met de aangeboden hoeveelheid. Praktisch betekent dit dat bij een O-systeem tijdelijk overgegaan moet worden op een B-systeem, waarbij de veestapel 's nachts opgesteld en bijgevoerd wordt met extra kracht- en ruwvoer. In extreem droge omstandigheden komt het zelfs voor dat de veestapel de hele periode opgesteld wordt.

Vooraf onder natte omstandigheden beïnvloeden indirecte effecten de opbrengst. Peilmaatregelen hebben dan als voornaamste doel deze effecten tegen te gaan via extra drainage. De voornaamste factor is de draagkracht van de grond; in natte omstandigheden neemt de draagkracht van de grond af. Vanaf een indringingsweerstand $< 0,7$ MPa (grenswaarde) is de draagkracht zo laag, dat betreden gepaard gaat met directe vertrapingsverliezen en latere hergroeiverliezen. Als de draagkracht verder zakt tot een indringingsweerstand $< 0,6$ MPa, kan het veld meestal in het geheel niet betreden worden voor beweiding of bewerking. In het eerste geval treden direct droge-stofverliezen op die bij voldoende draagkracht niet voorkomen. In het tweede geval moet de veestapel opgesteld worden en worden het maaien en verdere bewerkingen bemoeilijkt en vaak uitgesteld. Dan moet de veestapel op stal gevoerd worden uit de kuilvoorraad of moet voer aangekocht worden. Verder zullen abrupte overgangen van de stal naar de weide v.v. de melkproductie beïnvloeden. Tenslotte zal het uitstellen van het maaien en/of inkuilen vaak met name de voederkwaliteit negatief beïnvloeden, hetgeen de verkoopprijs van het voer negatief beïnvloedt en (bij eigen consumptie) de krachtvoerbehoefte verhoogt. Directe groeiverliezen treden bij opstallen van de veestapel slechts op door eventuele verdampingsreducties.

Een tweede belangrijk indirect effect van de waterhuishouding op de bedrijfsopbrengst is de reductie van de hoeveelheid beschikbare nutriënten in de wortelzone. Zeker de hoeveelheid beschikbare stikstof is sterk afhankelijk van de waterhuishouding. Bij overvloedige neerslag of beregening zal een deel van de stikstof uitspoelen naar diepere lagen. In andere gevallen bij langdurige anaërobie in de wortelzone door hoge grondwaterstanden of anderszins hoge vochtgehalten, zal een deel van de beschikbare stikstof in de vorm van nitraat, denitrificeren. Daarnaast zal minder stikstof uit de grond beschikbaar komen door een verminderde mineralisatie. Het effect op bedrijfsniveau zal dan groeistoornissen zijn door het stikstofdeficiet of extra kosten door additionele bemesting om de stikstofvoorraad aan te vullen.

Een laatste indirect effect van de waterhuishouding op de opbrengst wordt gevormd door de invloed van de vocht- en bodemtemperatuur op de bodemtemperatuur. Dit is vooral merkbaar in het voorjaar bij de start van de groei van het gewas. Algemeen start de grasgroei in het voorjaar bij het bereiken van een temperatuursom van 200 zogenaamde graaddagen. Bij het bepalen van het aantal graaddagen wordt de gemiddelde dagtemperatuur vanaf 1 januari opgeteld (mits $> 0^{\circ}\text{C}$). Door vochtige omstandigheden in de bodem in het voorjaar wordt het benodigde aantal graaddagen voor de start van de groei groter. Dit effect wordt in ICW (1981) geschat op 1-2 graaddagen per dag waarop de grondwaterstand hoger 50 cm - mv. is, volgens een curve in fig. 1.

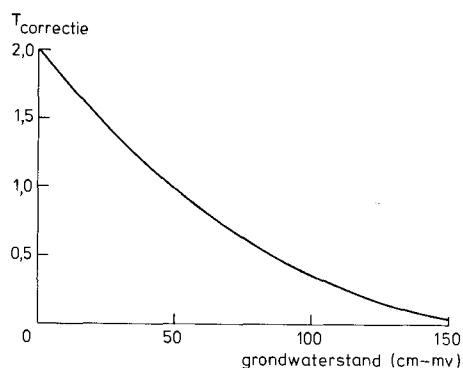


Fig. 1 Reductie van het aantal graaddagen door hoge grondwaterstanden.

2.4 Modelaanpak

Het voorspellen van opbrengstreducties onder verschillende waterhuishoudkundige condities is een complex van fysiologische, bedrijfsmatige en economische factoren die slechts integraal beschouwd kunnen worden. Een snelle en flexibele manier om deze complexe problemen op te lossen is via computersimulatie. Hierbij worden de separate processen en de belangrijkste interacties in mathematische functies beschreven. Het aldus verkregen model vertaalt een fysische input in de vorm van hydrologische, bedrijfsmatige en economische parameters naar bedrijfsopbrengsten.

Uit het bovenstaande volgt dat in een bruikbaar model de volgende aspecten verwerkt moeten worden:

- waterhuishouding;
- grasgroei;
- graslandgebruik;
- stikstofhuishouding;
- bedrijfseconomie;

Aangezien het ontwerpen en testen van modellen een tijdrovende zaak is, zijn zoveel mogelijk bestaande modellen gebruikt, die onderling gekoppeld werden. In de hoofdstukken 3 en 4 zal de gehanteerde synthese van deelmodellen gemotiveerd en beschreven worden.

3 CONCEPTUELE AANPAK

3.1 Alternatieve modelaanpakken

Er zijn veel manieren denkbaar om te komen tot een model met de waterhuishouding als hoofdinvoer en de arbeidsopbrengst als uitvoer. De mate van detail en het integratieniveau van het model zijn afhankelijk van het gestelde doel, in dit geval het berekenen van schadefuncties voor uiteenlopende waterhuishoudkundige situaties. Gedurende het onderzoek werd duidelijk dat het graslandgebruik de belangrijkste verbindende schakel vormt tussen de verschillende groeifactoren. De modelkeuze spitst zich dan ook toe op het kiezen van de wijze van simulatie van het graslandgebruik en de inbreng van de verschillende groeifactoren daarbij. Tijdens het onderzoek zijn drie mogelijke alternatieve modelaanpakken overwogen:

1. separate benadering van groei en gebruik;
2. integrale benadering van groei en geoptimaliseerd gebruik;
3. integrale benadering van groei en niet-geoptimaliseerd gebruik.

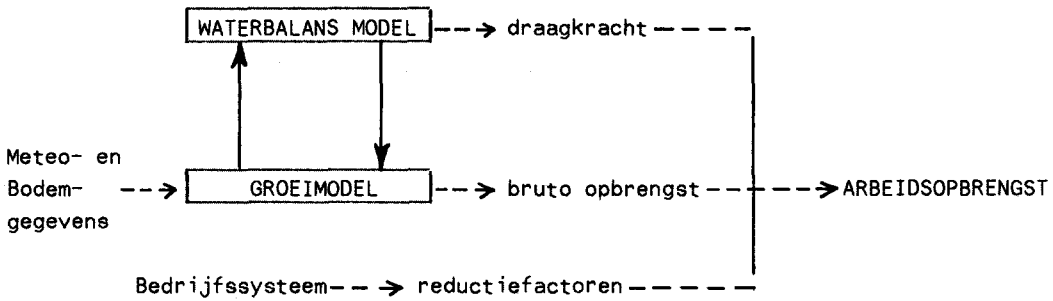
De verschillende varianten zijn in fig. 2 schematisch weergegeven.

Separate benadering van groei en gebruik

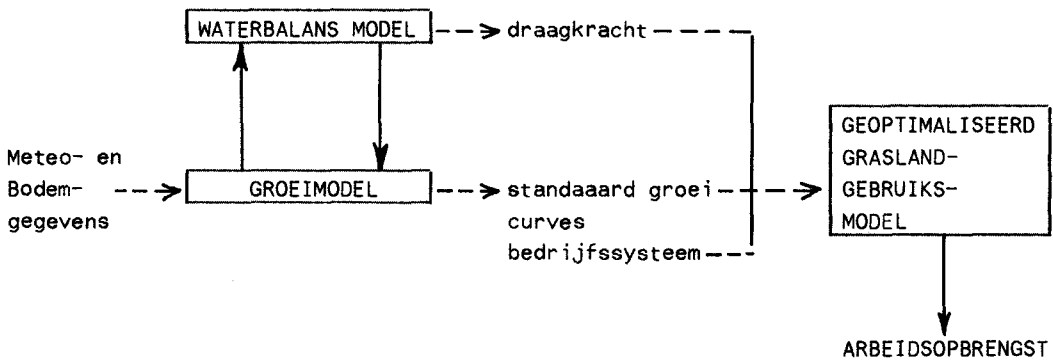
In dit concept wordt de groei in eerste instantie onafhankelijk gesteld van het gebruik, m.a.w. de groei wordt gesimuleerd door een geïntegreerd waterbalans-/groeimodel op basis van een aantal maaisneden gedurende het seizoen. Tevens worden de "werkbare dagen" (waarop de draagkracht voldoende is voor gebruik) geregistreerd. De produktie die hiermee berekend wordt dient als referentieproduktie waarop latere reducties toegepast worden. Om de bedrijfsvariabelen te verwerken worden empirisch vastgestelde verliesrelaties gebruikt die achteraf op de maximale produktie in mindering gebracht worden, zoals de effecten van het aantal werkbare dagen, hogere veebezettingen, verschillende beweidingssystemen enz. Enkele benodigde basisrelaties zijn uitgewerkt in Righolt (1988). Het voordeel van deze benadering is dat voor iedere weers- en ontwateringssituatie slechts één groeiberekening uitgevoerd hoeft te worden, nl. die van het referentieperceel, waarna de reducties op bedrijfsniveau voor de verschillende bedrijfsvarianten separaat (in een eenvoudig model) bepaald worden. De benodigde rekentijd blijft daarbij tot een minimum beperkt. Een nadeel echter is dat de interacties tussen gebruik en groei als "zwarte doos" behandeld worden, waarvan de inhoud moeilijk te bepalen is. Toepassing van een dergelijke modelopzet vereist vooraf gedegen kennis over de integrale processen die de opbrengst beïnvloeden, welke vervolgens in eenvoudige relaties weergegeven kunnen worden.

Het is daarbij nog de vraag of het graslandgebruik zonder meer via de genoemde eenvoudige relaties op een adequate manier verdisconteerd kan worden.

Alternatief 1



Alternatief 2



Alternatief 3

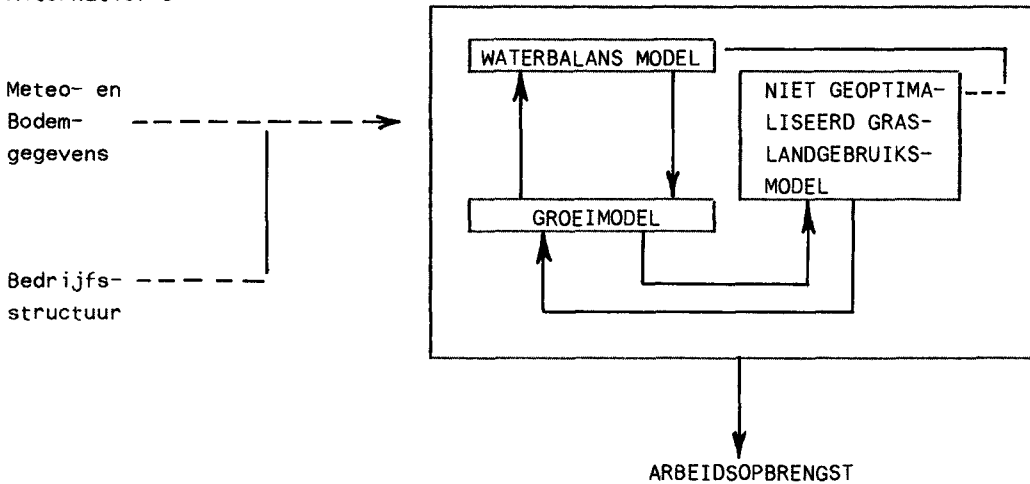


Fig. 2 Schematische weergave van drie verschillende opties om de arbeidsopbrengst op grasland te berekenen afhankelijk van de waterhuishouding.

Integrale benadering van groei en geoptimaliseerd gebruik

In dit concept worden grasgroei, bodemgesteldheid en graslandgebruik in een geïntegreerd model verwerkt. Op basis van actueel gesimuleerde groeicijfers (afhankelijk van bodem, meteorologie enz.) worden gemiddelde groeicurves bepaald voor verschillende perioden van het jaar. Het doel van dit model is dat het effect van management (beweiding, bemesting, veebezettingen e.d.) op de voederverzorging wordt berekend onder gemiddelde omstandigheden. Met deze gemiddelde groeicurven en fysische en bedrijfsmatige randvoorwaarden wordt het gebruik van de verschillende percelen op een bedrijf gesimuleerd, waarbij er zeer veel mogelijkheden zijn om beweiding en voederwinning uit te voeren, met andere woorden welk perceel wanneer beweid of gemaaid wordt.

Belangrijkste uitgangspunt daarbij is dat voederwinning in dienst staat van de beweiding. Het gras dat niet nodig is voor beweiding kan worden gemaaid. Het model "ziet" wanneer een perceel nodig is voor beweiding en kan bij een groot tijdsinterval tussen twee beweidingen dan een maaisnede plannen; het model zoekt de optimale maai-weide-combinaties. In deze benadering worden in principe alle mogelijke bedrijfsplannen doorgerekend. In enkele studies van het Proefstation voor de Rundveehouderij is bij deze aanpak de optimale opbrengst gekozen; in de huidige opzet wordt het gemiddelde van alle mogelijkheden gekozen. De standaardafwijking van de droge-stofopbrengst rond het gemiddelde bedraagt ca. 120-150 kg ds/ha.jr. Het optimale en gemiddelde plan liggen dus waarschijnlijk wat droge-stofopbrengst betreft, dicht bij elkaar. Het effect van het graslandgebruik op de groei wordt ingebracht voorzover het betrekking heeft op het gewas. Schade door vertrapping e.d. wordt in rekening gebracht als extra beweidingsverliezen. Een voorbeeld van de praktische toepassing van het concept wordt gegeven in Mandersloot (1984), waarin het effect van droogteschade op de arbeidsopbrengst wordt berekend. Een nadeel van het concept is dat de berekeningen veel rekentijd vergen. Daarnaast zou het concept uitgerust moeten worden met een groot aantal "noodsituaties" in het beweidingsschema om ook natte omstandigheden goed te kunnen doorrekenen. Dit laatste zou de rekentijd nog eens verder opvoeren. Een ander nadeel is dat de grasgroei in relatie met de waterhuishouding vooraf berekend wordt. Interactie tussen grasgroei, graslandgebruik en waterhuishouding is dus niet volledig geïntegreerd. Het grote voordeel van dit concept is dat de berekende opbrengsten voor iedere situatie een vaste betekenis hebben: de maximale of gemiddelde opbrengst onder de gegeven groeiomstandigheden. Toevalsfactoren (zie volgende concept) zijn in principe uitgesloten.

Integrale benadering van groei en niet-geoptimaliseerd gebruik

In dit concept worden grasgroei, bodemgesteldheid en graslandgebruik ook in een geïntegreerd model verwerkt. Het graslandgebruik wordt nu in tegenstelling tot het vorige concept, alleen gebaseerd op de actuele groei aangevuld met enige statistische kennis over te verwachten groeiverloop en gangbare gebruiksregels.

In feite wordt het graslandgebruik iedere dag op "ad-hoc"-basis bepaald. Afstemming van maaisnedes en weidesnedes vindt niet over lange tijdsintervallen plaats. Zo wordt het definitieve groeiverloop simultaan met het graslandgebruik bepaald, interacties tussen gebruik en groei van het gras kunnen dan ook volledig (d.w.z. tweezijdig) ingebracht worden. Een ander groot voordeel van dit concept is dat de rekentijd in vergelijking met het vorige concept beperkt blijft voor het graslandgebruik. Er wordt maar één graslandgebruiksstrategie bepaald in tegenstelling tot het vorige concept waarin vaak miljoenen mogelijkheden werden geëvalueerd. Hierdoor kunnen in de actuele situatie achteraf gezien "foute" beslissingen genomen worden die primair een gevolg zijn van de onvoorspelbaarheid van de fysische situatie (meteorologische en groeiomstandigheden). De mate van het ad-hoc-karakter in het model is echter arbitrair. Een groot nadeel, inherent aan het concept, is dat de berekende uitkomsten waarschijnlijk een aanzienlijke toevalscomponent bevatten. In de praktijk vertonen de uitkomsten een relatief grote spreiding. Deze spreiding zal om uiteenlopende redenen veel groter zijn dan de genoemde spreiding bij het vorige concept. Deze spreiding zal in de praktijk van het graslandgebruik echter ook optreden. Voor een consistente uitspraak is het wel noodzakelijk om zicht te hebben op de grootte van het door toeval bepaalde deel van de uitkomst. Is deze invloed groot, dan moet het gemiddelde effect vastgesteld worden door meer berekeningen van vergelijkbare situaties.

3.2 Modelkeuze

Bij de keuze van de modelaanpak zijn vijf aspecten van bijzonder belang:

- fysische consistentie.

Dit betekent dat het gehanteerde model de belangrijke fysische processen en hun interacties voldoende in detail beschrijft, in dit geval vooral het verband tussen groei en fysische omstandigheden en het gebruik.

- realiteitswaarde.

Dit betreft vooral het niet-fysische systeem: het graslandgebruik, en wordt bepaald door de mate waarin het model aansluit bij de gangbare praktijk.

- toevalsinvloed.

Dit betreft de variatie in de uitkomsten veroorzaakt door toeval (in het graslandgebruik). De grootte van de toevalscomponent wordt voor een belangrijk deel bepaald door de aard van de graslandgebruikssimulatie.

- controleerbaarheid.

Dit betreft de totale modelstructuur en wordt bepaald door de mate waarin modeluitkomsten intern getoetst kunnen worden met tussenuitkomsten.

- rekentijd.

Dit heeft betrekking op de totale modelstructuur en wordt bepaald door de hoeveelheid rekenacties die het model moet uitvoeren om het resultaat voor één situatie te geven.

In tabel 1 zijn deze diverse aspecten per alternatief globaal gerubriceerd.

Tabel 1 Vergelijking van enkele aspecten van de voorgestelde modelaanpakken om de bedrijfsinkomsten op grasland te berekenen afhankelijk van de waterhuishouding.

Alternatieve mogelijkheid	1	2	3
Fysische consistentie	+/-	+	++
Realiteitswaarde	+/-	+	+
Toevalseffecten	++	+	+/-
Controleerbaarheid	++	+/-	+/-
Rekentijd/situatie jaar	5 min.	10 uur	20 min.

+/- = matig/twijfelachtig
 + = redelijk
 ++ = goed

Uit de tabel blijkt dat de keuze van de uiteindelijke aanpak een afweging inhoudt tussen de kwaliteit (consistentie, realiteitswaarde) en de werkbaarheid (toevalseffect, controleerbaarheid en rekentijd). De rekentijd die het tweede alternatief (integrale benadering met geoptimaliseerd gebruik) vraagt, is in het kader van het project zonder meer onaanvaardbaar gezien het grote aantal alternatieven dat doorgerekend moet worden (zie hoofdstuk 6), alle andere kwaliteiten ten spijt. Toepassing van het eerste alternatief (separate benadering van groei en gebruik) lijkt aantrekkelijk, gezien de praktische voordelen bij het gebruik, vooral de beperkte rekentijd en de goede controleerbaarheid. De benodigde relaties zijn echter nauwelijks bekend, met name een aantal integrale effecten. Een dergelijke opzet met de nu bekende relaties in dit project zou niets wezenlijk nieuws opleveren. In wezen worden verschillende opbrengsteffecten associatief geacht, eventuele afwijkingen hiervan worden geschat. Het derde alternatief (integrale benadering met niet-geoptimaliseerd gebruik) zou in tegenstelling tot het eerste alternatief wel iets nieuws leveren; door combinatie van min of meer bekende separate processen (grasgroei, grasgebruik enz.) kan kennis gegenereerd worden over het integrale proces. De rekentijd met deze opzet is aanzienlijk, maar acceptabel.

3.3 Uiteindelijke aanpak

Uiteindelijk is gekozen voor een aanpak, waarbij de grasgroei en het graslandgebruik integraal gesimuleerd worden zonder optimalisatie van het gebruik. In fig. 3 is deze uiteindelijke aanpak schematisch weergegeven met enkele centrale begrippen.

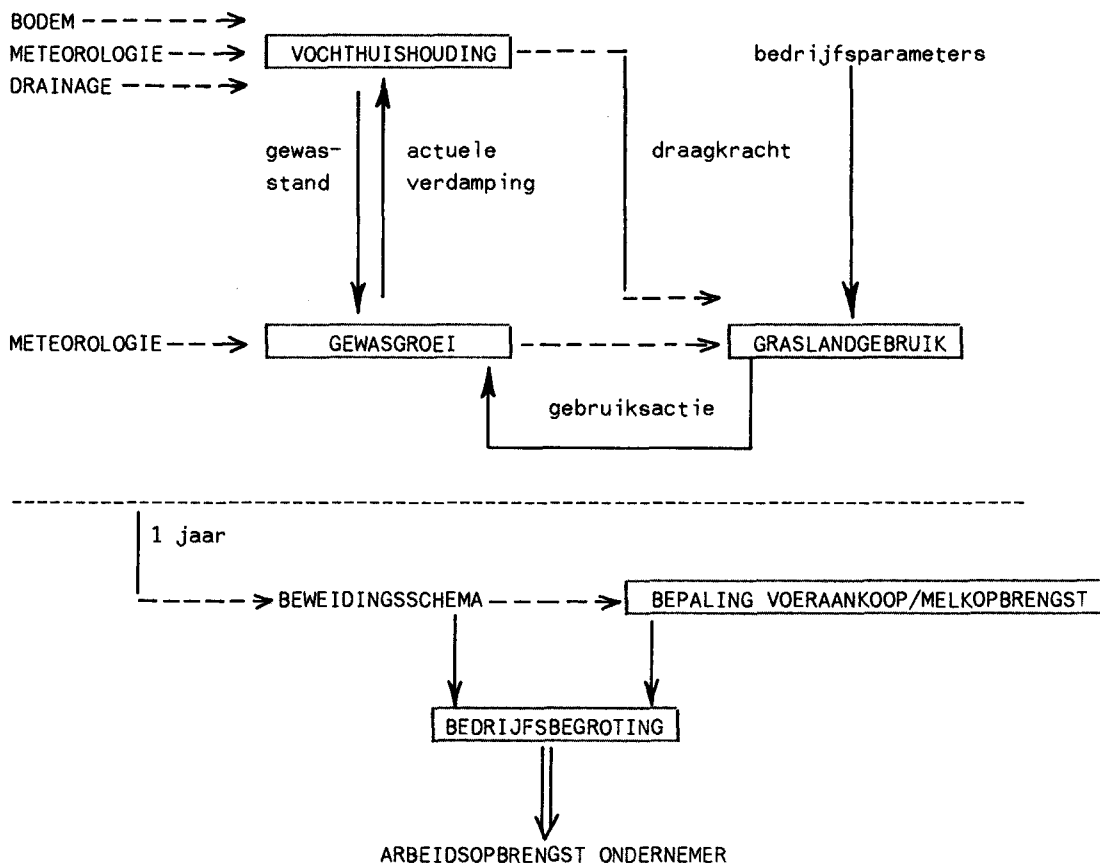


Fig. 3 Schema van het uiteindelijke modelconcept om de arbeidsopbrengst op grasland te berekenen met enkele belangrijke acties.

Bij de keuze van de verschillende deelmodellen is zoveel mogelijk uitgegaan van bestaande concepten, zoals op het ICW-Wageningen en het PR-Lelystad beschikbaar waren.

De volgende deelmodellen zijn bij de synthese gehanteerd:

-CROPR - CROp PROduction (Feddes et al., 1978; Feddes, 1986).

Dit deelmodel simuleert de gewasgroei afhankelijk van de waterhuishouding en de inkomende straling, waarbij alle andere groeifactoren optimaal verondersteld zijn. Dit model is aangepast voor gras met de groeiproeven op R.O.C.-Heino 1982-1984 (Van Boheemen en Humbert, 1983).

- SWATRE - Soil Water Actual TRanspiration Extended (Feddes et al., 1978; Belmans et al., 1983).
Dit deelmodel simuleert de waterhuishouding in de onverzadigde zone van de bodem, waarop al dan niet gewasverdamping plaatsvindt. De voornaamste uitvoer zijn de grondwaterstand en de actuele verdampingstermen.

- GRAMAN/GRADEC - GRASSland MANagement/GRASSland DECision.
Dit deelmodel werd tijdens het onderzoek ontwikkeld op basis van bestaande PR-modellen en waterhuishoudkundige inzichten, en bepaalt uitgaande van de actuele situatie het actuele graslandgebruik (GRADEC) en voert dit gebruik uit (GRAMAN), waarbij de verschillende verliesposten berekend worden.

- MLKVEE - simulatie MeLKVEE (Hijink en Meyer, 1987).
Dit deelmodel berekent de fysische melkproduktie en de voerbehoeftte van een melkveestapel met een bepaald graslandgebruik en voerstrategie als uitgangspunt.

- BBPR - BedrijfsBegroting PR (Meerveld et al., 1986).
Dit programma vertaalt de uiteindelijk verkregen fysische bedrijfsresultaten (kuilvoorraad, melk enz.) naar economische waarde door het opstellen van een begroting, waarin alle kosten en baten meegenomen zijn. Één uitvoervariabele is de arbeidsopbrengst van de ondernemer.

4 SIMULATIEMODELLEN

4.1 Simulatie van de bodemvochtoestand (SWATRE)

Het model SWATRE (Feddes et al., 1978; Belmans et al., 1983) beschrijft de waterbeweging in de onverzadigde zone van de bodem, onder invloed van meteorologische, bodemfysische en drainageprocessen in de bodem. De voornaamste uitvoer van het model bestaat uit alle waterbalanst termen (verdamping/infiltratie, kwel/wegzijing, berging enz.), drukhoogte- en vochtprofielen, en de grondwaterstand.

4.1.1 Basisconcept

Voor het berekenen van de waterbeweging in de onverzadigde bodem moet een differentiaalvergelijking opgelost worden die samengesteld is uit een flux- en een massabalansvergelijking: de Wet van Darcy en de Continuïteitsvergelijking. Combinatie van beide vergelijkingen levert formule (1):

$$\frac{\delta h}{\delta t} = \frac{1}{C(h)} \cdot \frac{\delta}{\delta z} \{K(h) \cdot \left(\frac{\delta h}{\delta t} + 1\right)\} - \frac{S(h)}{C(h)} \quad (1)$$

h : drukhoogte [m]

t : tijd [d]

z : diepte [m]

K(h) : onverzadigde doorlatendheid [m/d]

C(h) : differentiële vochtcapaciteit [1/m]

S(h) : wateronttrekking door plantewortels [m/m.d]

Vergelijking (1) wordt in SWATRE numeriek opgelost volgens de eindige differentiemethode, waarin plaats en tijd gediscrètiseerd worden. Hierbij wordt een impliciet rekenschema toegepast waarbij gebruik gemaakt wordt van expliciete linearisatie (Belmans et al., 1983). Het bodemprofiel wordt daartoe opgedeeld in discrete gelijkvormige compartimenten, waarvan de middelpunten als knooppunten dienen, waar stromingsprocessen aangrijpen. Voor de berekening is het noodzakelijk om een zgn. bovenrandvoorwaarde en een onder randvoorwaarde te specificeren. De bovenrandvoorwaarde bestaat altijd uit een in- of uitkomende flux (infiltratie en verdamping); de onderrandvoorwaarde kan als flux (kwel/wegzijing) of als potentiaal (drukhoogte, grondwaterstand) gespecificeerd worden. Ook is een relatie tussen beide te gebruiken als onderrandvoorwaarde. In fig. 4 zijn deze discretisatie en de bijbehorende randvoorwaarden schematisch weergegeven.

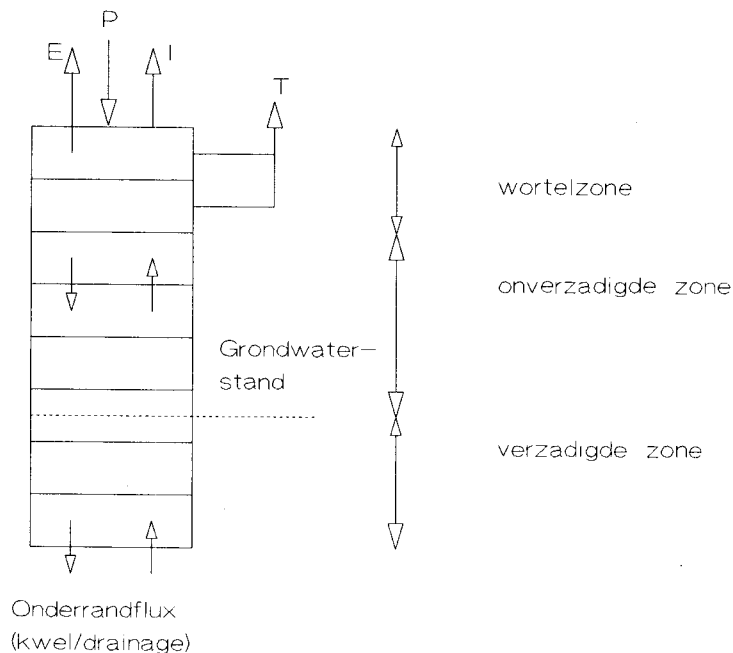


Fig. 4 Schematische weergave van de discretisatie die in SWATRE toegepast wordt op het bodemprofiel en de bijbehorende randvoorwaarden.

Voor ieder compartiment dient vergelijking (1) opgelost te worden. Aan de bovenkant van het bodemprofiel infiltreert water als neerslag en verdwijnt water als evapotranspiratie. Deze evapotranspiratie is samengesteld uit drie termen:

1. transpiratie; de verdamping die door diffusie van waterdamp uit de huidmondjes van de plant verdwijnt. Dit water wordt door de plant uit de wortelzone onttrokken.
2. evaporatie; de verdamping die direct plaatsvindt vanaf de bovenkant van de bodem.
3. interceptieverdamping; de verdamping die plaatsvindt vanaf het bladoppervlak van de begroeiing. Dit water verdampt nog voordat het de bodem bereikt heeft.

De potentiële evapotranspiratie wordt berekend voor de dagelijkse meteorologische condities volgens de methode van Penman, Makkink, Priestly-Taylor of volgens de methode van Monteith-Rijtema. Het scheiden van de afzonderlijke potentiële verdampingstermen vindt plaats met de actuele bodembedekking of de bebladeringsindex (LAI). De potentiële transpiratie wordt gereduceerd afhankelijk van de bodemvochtcondities. Hiertoe wordt een zgn. dimensieloze "sink-term" of onttrekkingsfactor gedefinieerd die de reductie van de transpiratie realiseert volgens formule (2):

$$T_a = \alpha \cdot T_p \quad (2)$$

T_a : actuele transpiratie [cm/dag]
 T_p : potentiële transpiratie [cm/dag]
 α : dimensieloze "sink-term" [-]

De reductie vindt plaats voor ieder bodemcompartiment van de wortelzone, waarbij de transpiratie volgens een vast patroon verdeeld is. De sink-term is afhankelijk van de drukhoogte van het bodemvocht per compartiment in de wortelzone. Het verloop van de sink-term is weergegeven in fig. 5.

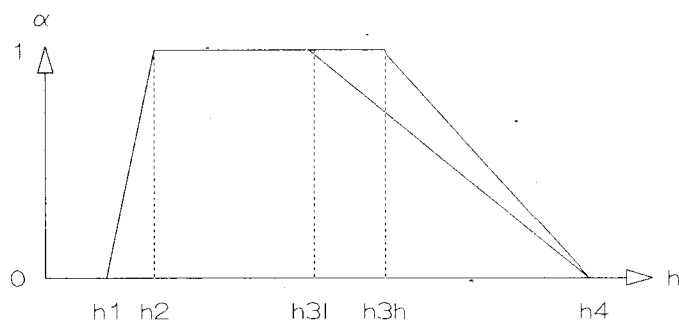


Fig. 5 Het verloop van de dimensieloze "sink-term" voor de reductie van de potentiële transpiratie.

Zoals uit fig. 5 blijkt wordt de transpiratie gereduceerd tot 0, indien de drukhoogte groter is dan h_1 (zeer vochtig) of lager dan h_4 (verwelkingspunt). Tussen de waarden h_2 en h_3 is de actuele transpiratie gelijk aan de potentiële. De drukhoogte van waaraf de transpiratie gereduceerd wordt door te droge omstandigheden varieert afhankelijk van de verdampingsvraag van de atmosfeer.

4.1.2 In- en uitvoer

De invoer die het model vraagt bestaat uit de randvoorwaarden en toestandsvariabelen.

De voornaamste toestandsvariabelen zijn:

- bodemfysische parameters in de vorm van pF-curves en K-h-relaties van alle betrokken bodemlagen in het bodemprofiel;
- gewasparameters voor de verdampingsberekeningen, afhankelijk van de gekozen verdampingsmethode (gewasfactor, gewasweerstand enz.);
- gewasontwikkeling in de vorm van dagelijkse LAI, bodembedekking en grashoogtecijfers en een beschrijving van de worteldiepte;
- specificatie van de "sink-term"-grafiek.

De voornaamste te specificeren randvoorwaarden zijn:

- meteorologische gegevens, afhankelijk van de gekozen verdampingsmethode maar in ieder geval dagelijkse neerslag en stralingscijfers;

- afvoer- of stijghoogtegegevens aan de onderkant van het profiel, afhankelijk van de gekozen onderrandoptie.
Enkele mogelijkheden zijn: relatie tussen flux en grondwaterstand, grondwaterstandsdata, afvoerdata enz.

De uitvoer bestaat uit alle dagelijkse waterbalanstermen en de dagelijkse toestand van bodemvocht en grondwaterstand.

De dagelijkse uitvoer betreft onder meer:

- evapotranspiratietermen;
- kwel-/wegzijgingshoeveelheden;
- bergings toe- of afname;
- infiltratiehoeveelheden;
- grondwaterstand;
- drukhoogteprofielen;
- vochtprofielen.

4.1.3 Calibratie

SWATRE is voor de toepassing op gras reeds vaker met succes beproefd (De Graaf en Feddes, 1984; Peerboom, 1987).

In combinatie met de calibratie van het groeimodel CROPR (zie 4.2) is ook een calibratie van SWATRE uitgevoerd op de grasgroei-proeven die gedurende 1982-1984 uitgevoerd zijn op het R.O.C. Heino (meer details in 4.2). De calibratie is uitgevoerd op het verloop van de "sink-term"-grafiek, de vorm van het wortelonttrekkingspatroon en de worteldiepte. Verder zijn lichte aanpassingen aangebracht in het verloop van de gemeten pF-curven en K-h-relaties (Wösten, 1983).

Uit de calibratie zijn de volgende parameters vastgesteld:

- worteldiepte = 30 cm;
- onttrekkingspatroon gelijkmatig verdeeld over de wortelzone;
- "sink-term"-grafiek (fig. 5):

h_1	= -10 cm	pF_1	= 1,0
h_2	= -25 cm	pF_2	= 1,4
h_{3l}	= -200 cm	pF_{3l}	= 2,3
h_{3h}	= -800 cm	pF_{3h}	= 2,9
h_4	= -8000 cm	pF_4	= 3,9
- parabolisch verloop "sink-term"-grafiek vanaf h_{3l}/h_{3h} naar h_4 .

In aanhangsel 2 zijn enige resultaten van de calibraties op de vochthuishouding samengevat weergegeven.

4.1.4 Discussie

SWATRE blijkt weinig gevoelig te zijn voor de kleine wijzigingen in de "sink-term"-grafiek (vooral h_3 en h_4), worteldiepte en het onttrekkingspatroon. In de meeste gevallen beïnvloeden deze factoren voornamelijk het tijdstip van de vochttekorten en niet zozeer de hoeveelheid vochttekort.

Vochttekorten treden uiteindelijk op, omdat de absolute hoeveelheid vocht die beschikbaar is, op raakt; als de grens van de reductie van de transpiratie verhoogd wordt, vindt onttrekking iets langer plaats maar zal korte tijd daarna ook gereduceerd worden door het vrij snel bereiken van de nieuwe grens ("op=op"). Het systeem wordt als het ware van binnenuit gestabiliseerd. Veranderingen in de pF-curven en K-h-relaties zijn daarentegen wel van grote invloed op het absolute verdampingsniveau. De combinatie van drukhoogten en overeenkomstige doorlatendheden bij een bepaald vochtgehalte bepalen de mate, waarin water capillair kan opstijgen naar de wortelzone, dan wel de mate waarin water van de wortelzone onttrokken wordt; door beïnvloeding van de bodemfysische parameters wordt voor een deel de toelevering van vocht naar de wortelzone direct beïnvloed. Bovenstaande geldt in het bijzonder voor situaties met vochttekort, waarin het bodem-plant systeem zelf zorg draagt voor stabilisering naar een bepaalde vochttoestand; reductie van de transpiratie voorkomt voor een groot deel dat de vochtvoorraad niet verder afneemt. Is er een overschot aan water, dan vindt een minder gestabiliseerd proces plaats; door een overschot aan vocht in de wortelzone wordt de transpiratie geremd, waardoor het vochtoverschot nog groter wordt. De situatie kan niet meer door regulering van de transpiratie gestabiliseerd worden, maar moet door een externe ingreep (drainage) gereguleerd worden.

Bij de calibratie van SWATRE (waarin voornamelijk droge omstandigheden een rol speelden) konden de "sink-term"-variabelen in het droge traject (h_3 en h_4) redelijk gecalibreerd worden. De variabelen in het natte traject (h_1 en h_2) konden nauwelijks gecalibreerd worden omdat extreem natte omstandigheden ontbraken. Het is daarbij overigens nog maar de vraag of deze twee factoren daadwerkelijk een betekenis hebben. Het is onduidelijk of groei-reducties onder natte omstandigheden veroorzaakt worden door transpiratiereducties dan wel door stikstoftekorten door de denitrificatiereacties die bij natte omstandigheden vaak optreden (J.W. Bakker, pers. med.).

Door het ontbreken van gedetailleerde proeven bij natte omstandigheden is ook calibratie van deze parameters niet mogelijk gebleken op andere proefresultaten. De waarden van -10 en -25 cm voor h_1 en h_2 , zijn dan ook minder calibratieresultaten dan wel algemeen geaccepteerde en gebruikte waarden.

4.2 Simulatie van de grasgroei (CROPR)

Het model CROPR (Feddes et al., 1978; Feddes, 1986) berekent de gewasproductie afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid licht en water, andere groeifactoren worden optimaal verondersteld. Het algemene model CROPR is aangepast voor de berekening van grasproducties. Naast het inbrengen van processen die specifiek voor de grasgroei gelden, is het oorspronkelijke basisconcept deels aangepast voor de behandeling van de onderhoudsrespiratie.

Het model is gecalibreerd met de grasgroeioproeven op het R.O.C. Heino. De proeflocatie bevond zich op een zeer droge zwarte enkeerdgrond (Gt VII*). De belangrijkste invoer van het model bestaat uit transpiratie, lichtinterceptie en temperatuur, de uitvoer bestaat uit de actueel geproduceerde hoeveelheid droge stof.

4.2.1 Basisconcept

In CROPR wordt gewasgroei voorgesteld als het verschil tussen assimilatie en respiratie. Assimilatie (P) is het proces waarbij onder invloed van straling energie vastgelegd wordt in de vorm van koolhydraten met fotosynthese-reacties. Respiratie (χ) is het proces waarbij energie uit de aangemaakte koolhydraten wordt gebruikt om chemische evenwichten in de plant te onderhouden, de zgn. onderhoudsrespiratie (χ_m), en om structureel plantmateriaal uit de overblijvende koolhydraten te vormen, de zgn. groeirespiratie (χ_g). In formule:

$$q = P - \chi_m - \chi_g = P - \chi_m - c \cdot (P - \chi_m) = c' \cdot (P - \chi_m) \quad (3)$$

q = groei [kg/ha d.s.]
 P = assimilatie [kg/ha CH₂O]
 χ_m = onderhoudsrespiratie [kg/ha CH₂O]
 χ_g = groeirespiratie [kg/ha CH₂O]
 c = factor voor conversie produktie CH₂O - d.s. [-] (= 0,7)

Aangezien de groeirespiratie χ_g feitelijk het efficiëntieverlies weergeeft, waarmee koolhydraten in structureel materiaal omgezet worden, kan χ_g vervangen worden door een factor c, zoals in formule (3). CROPR beschouwt dit groeiproces afhankelijk van lichtinterceptie, transpiratie en temperatuur. De lichtinterceptie bepaalt de hoeveelheid energie die de plant kan opslaan in de vorm van koolhydraten. De transpiratie is gekoppeld aan de CO₂-opname door de plant uit de atmosfeer die nodig is om de aangeboden energie vast te leggen. De temperatuur bepaalt zowel de assimilatie-efficiëntie als de respiratiebehoefte.

Als de transpiratie geen beperkende factor is, waarbij de CO₂-opname voor de fotosynthese door de plant onbeperkt is, wordt de assimilatie volkomen afhankelijk van de hoeveelheid opgevangen licht. De assimilatie P_1 wordt voorgesteld als:

$$P_1 = P_{st} \cdot \alpha \cdot (1 - \exp(-\gamma \cdot LAI)) \quad (4)$$

P_1 = assimilatie als licht beperkend is [kg/ha CH₂O]
 P_{st} = assimilatie van een standaardgewas [kg/ha CH₂O]

α = temperatuurafhankelijke reductiefactor [-]
 γ = extinctiefactor [-]
 LAI = bebladeringsindex [m^2/m^2]

Als de transpiratie wel een beperkende factor vormt, als CO_2 -opname gelimiteerd is en de hoeveelheid licht niet, wordt de assimilatie P_t voorgesteld als:

$$P_t = A \cdot (T/\Delta e) \quad (5)$$

P_t = assimilatie als transpiratie beperkend is [$kg/ha CH_2O$]
 A = watergebruiksefficiëntiefactor [$kg/ha \cdot cm \cdot mbar CH_2O$]
 T = transpiratie [cm]
 Δe = dampdrukdeficiet van de atmosfeer [$mbar$]

Aangezien meestal zowel de hoeveelheid licht als de hoeveelheid transpiratie als beperkende factoren kunnen optreden, wordt in CROPR formule (4) en (5) gecombineerd, uitgaande van de minimalisering van de relatieve beperking van de twee factoren (Visser, 1969; Feddes et al., 1978). Dit resulteert in vergelijking (6), die een impliciet hyperbolisch verband beschrijft, waarmee de actuele assimilatie kan worden berekend met formule (4) en (5):

$$\left(1 - \frac{P_a}{P_t}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_a}{P_l}\right) = \xi \quad (6)$$

P_a = actuele assimilatie [$kg/ha CH_2O$]
 ξ = mathematische flexibiliteitsconstante [-]

De onderhoudsrespiratie is afhankelijk van de "te onderhouden massa" die op het veld staat en de heersende temperatuur waaronder de plant in stand gehouden moet worden:

$$X_m = c \cdot Q \cdot e^{((t - 25)/10)} \quad (7)$$

c = factor afhankelijk van plantorgaan [-]
 Q = hoeveelheid droge stof op het veld [$kg \text{ d.s./ha}$]
 t = temperatuur [$^{\circ}C$]

Deze X_m is voor gras verschillend voor wortel, stoppel en de oogstbare massa boven de stoppel, uitgedrukt in de waarde c (resp. 0,01, 0,02, 0,03).

Invoer van de berekende assimilatie en respiratie uit formule (6) en (7) in formule (3), geeft tenslotte de nettogroei van het gewas, q . In fig. 6 is het verloop van X_m , X_g , P_a en q_a grafische

weergegeven afhankelijk van de transpiratie. Uit de figuur is duidelijk dat bij lage transpiratieniveaus de groei negatief kan zijn. In dat geval is dus de respiratiebehoefte van de plant groter dan het assimilatieaanbod.

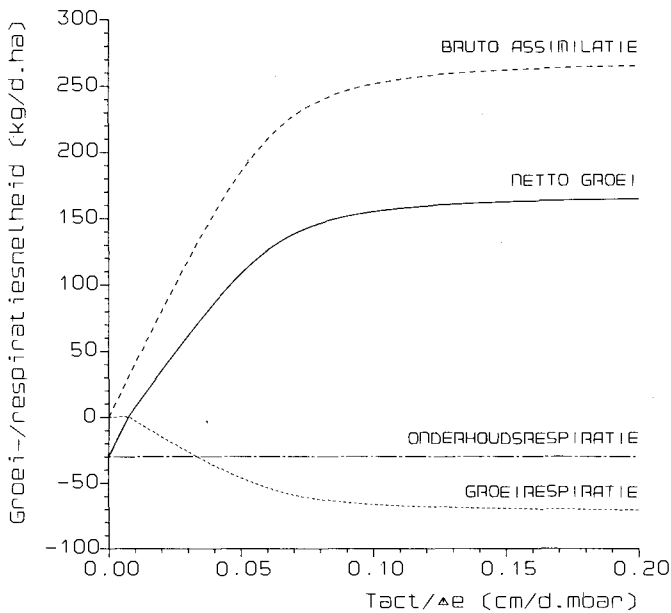


Fig. 6 Het verloop van de assimilatie (P_a), respiratie (X_m en X_g) en netto groei afhankelijk van de transpiratie, volgens het CROPR-concept.

Voordat het mechanisme van respiratie en assimilatie start, moeten eerst in het voorjaar 200 zgn. graaddagen bereikt zijn; hierbij wordt het dagelijks aantal graden boven nul vanaf 1 januari opgeteld. Als de grondwaterstand tijdens deze periode hoger komt dan 200 cm - mv., worden 0,5 graaddag bij 150 cm - mv. tot 2 graaddagen bij 0 cm - mv. van het totaal afgetrokken, zoals in fig. 1 is afgebeeld (ICW, 1981).

4.2.2 In- en uitvoer

De belangrijkste gewasafhankelijke parameter die het model als invoer vraagt, is de watergebruiksefficiëntiefactor A . Deze kan uit gewasdiffusieweerstanden berekend worden (Feddes et al., 1978), maar wordt veelal vastgesteld als calibratieconstante. Daarnaast vraagt het model dagelijkse meteorologische gegevens: de actuele verdamping (uit SWATRE), de inkomende kortgolvlige (globale) straling, het dampdrukdeficiet in de atmosfeer en de temperatuur. Als uitvoer bij de simulatie van grasgroei worden dagelijkse waarden gegeven van de bijgroei of afname van de verschillende plantorganen. Daarnaast worden enkele relevante data uitgevoerd die nodig zijn voor verdampingsberekeningen nl. waarden voor de LAI, de bodembedekking en de gewashoogte.

4.2.3 Calibratie

Het model is gecalibreerd op de grasgroei-proeven die gedurende het tijdvak 1982-1984 uitgevoerd zijn op het R.O.C.-Heino. Deze proeven werden uitgevoerd op een zgn. zwarte enkeerdgrond waar de grondwaterstand nooit hoger dan 200 cm - mv. komt. Bij de proeven werden verschillende beregenings- en stikstofniveaus aangelegd op veldjes met permanent grasland (Van Boheemen en Humbert, 1983; 1984). De bemestingsniveaus betroffen 0, 200, 400 en 600 kg ha/N. Op een derde van de veldjes werd niet beregend, op een derde werd beregend bij het bereiken van een pF van 2,7 in de wortelzone en de rest van de veldjes werd reeds beregend bij een pF van 2,3. Tijdens de proeven werd doorgaans gras gemaaid bij een oogst van 3000 kg/ha. Van de oogst werden de droge-stofopbrengst en de stikstofgehalten bepaald. Voorts werden periodiek bodemvochtgehalten en drukhoogten gemeten, evenals de bodembedekking door het gewas, de gewashoogte en incidenteel de gewastemperatuur en het bewortelingspatroon.

De belangrijkste parameters die werden gecalibreerd waren de watergebruiksefficiëntiefactor A en factoren samenhangend met de waterbalanssimulatie (zie 4.1). Voorts werden voor zover mogelijk de relaties voor de gewashoogte, de bodembedekking en de bebladeringsindex geijkt. Aangezien het model CROPR ervan uitgaat dat alle groeifactoren in overvloed aanwezig zijn, uitgezonderd water en licht, zijn alleen de proeven bij een stikstofniveau van 400 en 600 kg/ha N bij de calibratie betrokken. Bij deze proeven is voldoende stikstof aanwezig om niet beperkend te werken. De feitelijke calibratie is uitgevoerd op de resultaten over 1982 en 1983, de proeven uit 1984 zijn achteraf gebruikt ter verificatie van het model.

Uit de calibratie is een watergebruiksefficiëntie variërend van 3000 to 3500 kg/ha.cm.mbar bepaald, afhankelijk van het tijdstip gedurende het jaar. De relaties voor de bodembedekking, de bebladeringsindex en de gewashoogte zijn bepaald als functie van de oogstbare droge-stofmassa op het veld. De invloed van de zwaarte van de vorige snede op de bebladeringsindex is afgeleid uit praktijkgegevens (Vellinga, pers. med.). Uit de veldgegevens is gebleken dat er een verband bestaat tussen de stoppelmassa en de bodembedekking en bebladeringsindex vooral in tijden van waterstress. Dit verband is aan de veldproeven geschat. De relaties zijn grafisch weergegeven in aanhangsel 3.1. De uiteindelijk verkregen calibratieresultaten betreffende de maaiopbrengsten zijn weergegeven in aanhangsel 3.2.

In aanhangsel 3.3 zijn de verificatieresultaten van het model op de gegevens van R.O.C.-Heino voor 1984 weergegeven.

nauwkeurige pF-curven en K-h-relaties, metingen of schattigen van de ontwikkeling van bodembedekking en/of bebladeringsindex, neerslag- en beregeningscijfers, bodemvochtgehalten en drukhoogten in het bodemprofiel enz. Vanwege deze eisen komen de proeven van R.O.C.-Heino als vrijwel enige in aanmerking.

4.3 Simulatie van het graslandgebruik (GRAMAN)

Voor de simulatie van het graslandgebruik zijn geen alternatieve, bestaande modellen beschikbaar. Derhalve is in het kader van dit onderzoek een eenvoudig graslandgebruiksmodel geconstrueerd GRAMAN (GRAssland MANagement), gebaseerd op ervaringen die met deze problematiek opgedaan zijn op het ICW en PR. GRAMAN genereert het graslandgebruik op een bedrijf met een bepaalde bedrijfsgrootte, conceptuele perceelsindeling, aantal koeien enz. als vaste invoer en actuele grasgroeidata als dagelijkse invoer. De belangrijkste uitvoer bestaat uit de gewonnen hoeveelheid kuilvoer, aantal weidedagen en de hoeveelheid bijvoeding tijdens het weideseizoen.

4.3.1 Basisconcept

GRAMAN genereert in principe iedere dag acties op het ingevoerde bedrijf, zoals beweiden, maaien, beregenen, bemesten enz. Bij alle bedrijfsbeslissingen wordt in principe uitgegaan van de actuele situatie; er wordt vrijwel niet "vooruit" gekeken. Dit betekent dat het model ieder keer het grasaanbod op alle percelen vergelijkt en op grond van deze vergelijking en enige praktische gebruiksregels, het graslandgebruik bepaalt. In het navolgende wordt steeds uitgegaan van een O4-beweidingsstelsel. Andere systemen zoals B4 zijn echter ook mogelijk.

Het graslandgebruik begint met het verdelen van verschillende stikstofgiften voor de 1e snede over de beschikbare percelen. Deze verschillen zijn nodig om bij de start van het weideseizoen over een gevarieerd grasaanbod te beschikken; door de verschillende N-giften worden zogenaamde groeitrappen gegenereerd, omdat minder stikstof in principe minder groei betekent.

Het weideseizoen begint als op één van de percelen een vastgesteld grasaanbod beschikbaar is voor consumptie (700 kg/ha). Er wordt steeds gestart met een zogenaamde overgangperiode, waarin het melkvee van de stal naar de weide gaat. In deze periode wordt tijdelijk een B4-systeem gehanteerd met een aflopende hoeveelheid bijvoeding om de overgang gelijkmatig te laten plaatsvinden. Na het beweiden van het eerste perceel (het grasaanbod is dan uiteindelijk 0 op dat perceel), wordt het volgende weideperceel gezocht (doorgaans na 4 dagen beweiden). Dit volgende perceel heeft een grasaanbod dat het meest in overeenstemming is met de gevraagde hoeveelheid onder het heersende bijvoedingspatroon.

Na een vaste overgangperiode (14 dagen) wordt in principe overgestapt op een O4-systeem zonder bijvoeding. De roulatie over de percelen vindt op dezelfde manier plaats, alleen het gevraagde grasaanbod is nu hoger (doorgaans 1700 kg/ha). Aan het eind van het seizoen, als het grasaanbod een bepaalde bodemwaarde bereikt heeft of na een bepaalde datum (14 oktober) wordt een tweede overgangperiode ingesteld. Deze overgang vindt in omgekeerde richting plaats als aan het begin van het seizoen, dus met oplopende bijvoeding en B4-systeem. Na een bepaalde datum (1 november) stopt het weideseizoen. Als het grasaanbod op geen van de percelen voldoende is voor een 4-daagse omweidingsperiode, dan zal eerst getracht worden om perioden van 3 dagen te beweiden. Is dat ook niet mogelijk, dan wordt tijdelijk overgestapt op een B4-systeem met variabele bijvoeding om het grasaanbod te drukken. Is ook dat niet mogelijk, dan wordt het melkvee tijdelijk opgestald, totdat het aanbod van gras weer voldoende is. Opstallen gebeurt ook als de draagkracht op de percelen te laag is om normaal te kunnen beweiden (0,6 MPa). Als het grasaanbod een bepaalde waarde (2400 kg/ha) overschrijdt, dan is beweiding in principe niet meer mogelijk en wordt het perceel bestemd als maaiperceel. Na het bereiken van een opgegeven opbrengst (2500-3500 kg/ha) wordt het perceel bij voldoende draagkracht gemaaid, bij onvoldoende draagkracht wordt de oogst uitgesteld. Na het maaien volgt een opgegeven veldperiode (3 dagen), waarin het gras op het veld te drogen ligt en er geen nieuw gras meer groeit. De veldperiode wordt verlengd als na 3 dagen de draagkracht niet voldoende is om de oogst in te kuilen. Kunstmesttoediening wordt na de eerste snede (waarvan de toediening vooraf opgegeven is) door het model gegenereerd in afnemende hoeveelheid afhankelijk van het opgegeven N-niveau. Berekening vindt plaats bij het bereiken van een bepaalde opgegeven pF-waarde in de wortelzone, rekening houdend met de beschikbare beregeningscapaciteit op het bedrijf en met een maximale opgegeven frequentie per perceel.

Behalve het vaststellen van graslandgebruik, berekent GRAMAN ook het effect van de acties op het actuele grasbestand en de uiteindelijke oogst. Tijdens de beweiding worden beweidings-, vertrapings-, bijgroei- en hergroeiverliezen in rekening gebracht. Verder wordt de voederwaarde van het geconsumeerde verse gras berekend. De uiteindelijke netto geconsumeerde hoeveelheid droge stof en kVEM zijn het eindresultaat. Tijdens en na maaien worden veld-, hergroei- en conserveringsverliezen in rekening gebracht. Daarnaast vindt een berekening plaats van de voederwaarde van het ingekuilde voer (VEM). Het uiteindelijke resultaat is de netto hoeveelheid droge stof en kVEM die tijdens de stalperiode voor de veestapel beschikbaar is.

4.3.2 In- en uitvoer

De belangrijkste dagelijkse invoer van GRAMAN wordt gegenereerd door de modellen CROPR en SWATRE, nl. de dagelijkse bijgroei van

het gras op de percelen en de dagelijkse draagkracht afhankelijk van de vochttoestand van de bodem. Naast deze dagelijkse gegevens vraagt het model veel vaste parameters die alle betrekking hebben op de te simuleren bedrijfssituatie. Deze parameters betreffen:

- bedrijfsopzet, zoals het aantal percelen, de perceelsgrootte, het aantal koeien, het bemestingsniveau enz.;
- beweiding- en maaimethode, zoals het beweidingssysteem (B4/04), de reguliere hoeveelheid bijvoeding, uiterste grenzen voor beweiden en maaien, droge-stofmassa bij maaien, uiterste data begin en eind overgangsperioden, (arbitraire) beslissingsfactoren voor beweiding, veldperiode bij maaien enz.;
- initialisatie, zoals de stikstoftrappen, aan te leggen aan het begin van het seizoen, de bestemming van de eerste snede per perceel, droge-stofaanbod bij start weideseizoen enz.;
- berekening, zoals een pF-waarde voor de start van berekening, specificaties betreffende berekening, maximale berekeningsfrequentie enz.;

De uitvoer bestaat in principe uit een beweidingsschema voor het hele bedrijf. Hieruit kunnen een aantal parameters afgeleid worden voor de economische berekening. Het betreft hier o.a. de volgende parameters:

- maaiopbrengst, gespecificeerd in netto en bruto droge-stofopbrengsten en voederwaarde (VEM) in de kuil;
- beweidingsoopbrengst, gespecificeerd in netto en bruto geconsumeerde droge-stofconsumptie en de voederkwaliteit van het geconsumeerde gras (VEM);
- bijvoeding, in de vorm van de bijgevoerde hoeveelheid snijmaïs gedurende het weideseizoen;
- aantal staldagen, gespecificeerd als het aantal dagen dat de veestapel in de winter op stal staat en het aantal dagen dat de veestapel tijdens het weideseizoen volledig op stal staat door een slechte draagkracht of een tekort aan gras;
- toedieningen, zoals de toegediende hoeveelheid kunstmest en de hoeveelheid beregeningswater.

In aanhangsel 4 zijn twee voorbeelden gegeven van de uitvoer van GRAMAN voor een betrekkelijk natte situatie en een betrekkelijk droge situatie. Gepresenteerd worden het beweidingsschema, het verloop van de pF-waarde in de wortelzone, het verloop van de draagkracht en van de grondwaterstand.

4.3.3 Discussie

Vanwege de aard van het proces dat GRAMAN beschrijft, is het niet mogelijk om het concept te calibreren of te verifiëren op proefgegevens. De benodigde parameters en processen zijn beschreven aan de hand van ervaringsregels uit de praktijk (in het bijzonder onderzoek van het PR). Of het model een reëel beeld geeft van de gangbare praktijk is niet zeker. In de praktijk vindt veelal een

planning plaats; bij het bestemmen van een perceel voor beweiding of maaien zal vaak gekeken worden naar de andere percelen, zodat een onderlinge afstemming kan plaatsvinden naar een verwachting van de toekomstige gewasontwikkeling. De periode die "vooruit" gekeken wordt is echter bijzonder arbitrair. Nog onzekerder zijn de criteria voor de planning; enerzijds zal een zekere produktieoptimalisering deel uitmaken van de criteria, anderzijds zal echter ook risicominimalisering een belangrijke rol spelen. Ook is het afstemmen van de arbeidsbehoefte op het arbeidsaanbod van belang. Produktieoptimalisering zal inhouden dat de veestapel zoveel mogelijk ingeschaard is bij een produktie die precies de behoefte dekt en dat gemaaid wordt bij een opbrengst, waarbij de droge-stofverliezen beperkt blijven en de voederkwaliteit zo hoog mogelijk is. Risicominimalisering betekent dat ingeschaard en gemaaid wordt bij minder optimale produktieniveaus, om zo het risico te verkleinen dat de beweiding gestopt moet worden of dat afgeweken moet worden van het gehanteerde beweidingssysteem door optredende grastekorten. Het afstemmen van de arbeidsbehoefte heeft vaak betrekking op het maaien en inkuilen van het gras. Om de benodigde arbeid zoveel mogelijk in blokken te bundelen (uit efficiëncy-overwegingen) zullen vaak meerdere percelen tegelijkertijd geoogst worden, waarvan sommige te laat en andere percelen te vroeg gemaaid zullen worden.

In het model GRAMAN is slechts de bundeling van sommige werkzaamheden onderwerp van een planning. Risicominimalisatie en produktieoptimalisatie vindt zonder planning plaats op ad-hoc-basis. Met name in tijden van groeireducties door droogte kan een risicominimalisatie er voor zorgen dat perioden met grastekorten redelijk overbrugd worden. Bij wateroverlast op het bedrijf kan ook planning vaak niet verhinderen dat discontinuïteiten in het beweidingsschema optreden bij plotselinge natte omstandigheden. Indien de beschikbare percelen sterk verschillen in drainage-eigenschappen is planning wel van grote invloed. Het simuleren van een uitgebreide planning zou echter veel extra beslag leggen op de rekentijd en een grote programmeerinspanning vergen. Het toeval in de uitkomsten door geen uitgebreide planning toe te passen kan echter voor een groot deel opgevangen worden door bijv. uitkomsten van praktisch gelijke situaties maar verschillend beweidingsschema te middelen. Toevallige, extreem gunstige en extreem ongunstige beweidingsschema's worden dan naar verwachting uitgemiddeld.

4.4 Overige simulaties

4.4.1 Stikstofhuishouding

De stikstofhuishouding speelt een belangrijke rol bij de produktie van grasland op bedrijfsniveau. De stikstofhuishouding is vooral van belang voor:

- het beweidingssysteem.
Tijdens het op gang brengen van de roulatie van de veestapel over de verschillende bedrijfspercelen worden stikstoftrappen op de percelen aangelegd om een gevarieerd grasaanbod te bewerkstelligen.
- de kosten.
Als er meer sneden geoogst kunnen worden, levert dat meer gras op, maar dat brengt ook meer kosten met zich mee voor bemesting, aangezien na iedere snede opnieuw bemest wordt.
- de schade.
Bij hoge grondwaterstanden wordt de mineralisatie geremd en de denitrificatie van nitraat bevorderd zodat er minder stikstof beschikbaar komt voor het gewas. Bij natte weersomstandigheden en/of beregening kan uitspoeling van nitraat uit de wortelzone plaatsvinden. In beide gevallen betekent dit ofwel lagere gewasopbrengsten danwel hogere extra bemestingskosten.

Het model CROPR berekent de grasproductie bij optimale nutriëntenvoorziening. Voor het berekenen van de gewasproductie afhankelijk van watervoorziening en stikstofvoorziening zou een geïntegreerd model gebruikt moeten worden waarin naast de gewasgroei, de waterhuishouding en de stikstofhuishouding gesimuleerd worden. Het beschikbare stikstofmodel ANIMO (Kroes, 1988; Berghuijs-van Dijk et al., 1985) berekent de stikstofhuishouding afhankelijk van de waterhuishouding. Processen als mineralisatie en denitrificatie worden gesimuleerd afhankelijk van de vochthuishouding, gewasonttrekking, temperatuur enz. De gewasopname en het effect van deze opname op het groeiproces zijn echter te globaal gedefinieerd voor gebruik in een geïntegreerde aanpak zoals deze. Het formuleren van een nieuw concept stuit op bezwaren van calibreerbaarheid en verifieerbaarheid; voor validatie zijn uitgebreide grasgroei-proeven noodzakelijk, zoals de beschreven proeven in Heino, echter aangevuld met gedetailleerde metingen van stikstof in het gewas en in de wortelzone, met kleinere tijdstappen dan in de proeven van 1981-1984. Deze proeven zijn vooralsnog niet beschikbaar.

Om aan beweidingssysteem en kosten recht te doen is een praktische oplossing gekozen, waarbij gebruik gemaakt wordt van de stikstofafhankelijke standaardgroei-curves zoals in Rempelberg et al. (1984). De grasproductie die door CROPR berekend wordt, geldt voor optimale stikstofcondities. Tijdens de calibratie is uitgegaan van een optimaal stikstofniveau van 440-660 kg/ha N. Globaal corresponderen de opbrengsten uit CROPR met de opbrengsten per snede met een stikstofgift zoals in Heino. Om de opbrengst onder andere stikstofgiften te genereren wordt met de standaardgroei-curves een correctiefactor bepaald volgens (8):

$$q_a(N_a) = \frac{q_s(N_a)}{q_s(N_h)} \cdot q_c(N_h) \quad (8)$$

q_a : actuele opbrengst [kg/ha]
 q_s : opbrengst volgens standaardcurven [kg/ha]
 q_c : opbrengst volgens CROPR (optimale nutr. voorziening) [kg/ha]
 N_a : actuele N-gift [kg/ha]
 N_h : N-gift op calibratiepercelen Heino [kg/ha]

Complexe interacties tussen waterafhankelijke en stikstofafhankelijke groei kunnen met dit concept niet gesimuleerd worden.

De schades door denitrificatie, verminderde mineralisatie en uitspoeling van nitraat worden in bovengenoemd concept ook niet behandeld, hetgeen problemen lijkt op te leveren bij het berekenen van een deel van de natheidsschade. Schothorst (1982) geeft enige effecten van wateroverlast op de gewasopname van stikstof op veengronden. Tabel 2 geeft een indruk van de resultaten:

Tabel 2 Toename van de produktie van grasland afhankelijk van het slootpeil en de stikstofgift op veengrond, naar Schothorst (1982).

Lokatie	Gem. slootpeil (cm - mv.)	Produktie bij stikstofgift (kg/ha.jaar N)		
		0	150	300
Hoenkoop	40	10600	12600	13600
	100	13300	14700	15000
Bleskensgraaf	40	9600	12000	12800
	100	13900	15000	15100
Zegvelderbroek	20	10100	12400	13200
	80	12700	13600	13800

Uit tabel 2 blijkt dat in de slecht ontwaterde objecten een extra stikstofgift van 150-250 kg/ha nodig is om de effecten van denitrificatie en verminderde mineralisatie teniet te doen. Voor de kosten betekent dit op een bedrijf van 20 ha bij de huidige kunstmestkosten (f 1,20/kg), een schadepost van rond de f 5000,- per bedrijf als extra stikstof gegeven moet worden ter compensatie. Bij zandgronden zal het effect van de verminderde mineralisatie sterk gereduceerd worden (tabel 2), voornamelijk door de lage te mineraliseren organische-stofgehalten op zand. De effecten in tabel 2 worden echter voor een ander deel veroorzaakt door denitrificatie van o.a. kunstmestgiften. Deze denitrificatie vindt in principe in gelijke mate plaats op zand- en veengrond. Dit effect treedt vooral in het voorjaar aan de dag, terwijl verminderde mineralisatie in het hele groeiseizoen van belang kan zijn (Steenvoorden, pers. med.).

Samenvattend worden te lage schades berekend door verwaarlozing van stikstofomzettingen bij hoge grondwaterstanden, vooral door

in het voorjaar niet de denitrificatieverliezen toe te rekenen. In de rest van het seizoen is de fout gering. De absolute fout is voor zand echter kleiner (naar schatting f 1000,- tot f 2000,-/ jr.bedrijf) dan voor veen.

4.4.2 Dierlijke produktie en consumptie (MLKVEE)

Een groot deel van de uiteindelijke opbrengst van het gras wordt verkregen via de melkwinning en de verkoop van gewonnen ruwvoer. Een groot deel van de kosten wordt veroorzaakt door de melkveestapel, vooral door de bij- en krachtvoeding. Om de effecten van verschillende graslandgebruiksschema's op de opbrengsten en kosten van de melkveestapel te berekenen, wordt het MLKVEE-model ingeschakeld. Dit model is een verder ontwikkelde versie van het KOE-model (Hijink en Meijer, 1987). Het MLKVEE-model berekent melkgift, melkqualiteit en voerbehoefte van een gedifferentieerde melkveestapel met als invoer de opbouw van de veestapel, de kwaliteit van het ruwvoer en het vers te consumeren gras, in- en uitschaardata enz. De veestapel kalft in het voorjaar af en bestaat uit koeien met een gedifferentieerde leeftijdsopbouw.

Het MLKVEE-model wordt in deze studie op twee manieren gebruikt, allereerst om de grasbehoefte van de veestapel te schatten bij verschillende bijvoeding. Hiervoor wordt het model gerund met een standaard graslandgebruik en verschillende beweidingssystemen, zoals O4, B4+2kg, B4+4kg en B4+6kg. De uitkomst is dan de grasopname gedurende het jaar bij die verschillende beweidingssystemen. Deze schattingen worden in het GRAMAN-model gebruikt om de opname van gras te berekenen in het beweidingsschema. Hierbij kan gedurende het seizoen, afhankelijk van het aanbod, gewisseld worden van een systeem waarbij veel gras vereist is (O4) naar een systeem waarbij minder gras benodigd is (B4+x). Naast deze schattingen (die slechts één keer plaatsvinden), wordt het MLKVEE-model na de run met het bedrijfsmodel gebruikt om de definitieve melkopbrengst en de definitieve ruwvoer- en krachtvoeropname te berekenen. De extra invoer vanuit het bedrijfsmodel betreft dan de kwaliteit van het geconsumeerde gras en de gewonnen kuilvoorraad, de actuele in- en uitschaardata en de verstrekte ruwvoerhoeveelheden. Bij de berekening van opbrengstreductie vooral door te natte omstandigheden, worden niet alleen de effecten van verminderde voederwaarde en wisselingen in beweidingssysteem verdisconteerd, ook wordt rekening gehouden met een reductie van de melkgift door het in- en uitscharen gedurende het seizoen vanwege de draagkracht van de bodem.

Aangezien de melkveeproblematiek slechts indirect in verband staat met de hydrologische condities, zal niet verder in detail ingegaan worden op de werking van het model. Voor meer technische details wordt verwezen naar Hijink et al. (1987) en Mandersloot (1988b).

4.5 Bedrijfseconomische evaluatie (BBPR)

Om de opbrengst van verschillende ontwateringssituaties met elkaar te vergelijken is het noodzakelijk de verkregen data van het graslandgebruiksmodel en het melkveemodel (aantal staldagen, bijvoeding, maaiopbrengst enz.) onder één noemer te brengen. De fysische opbrengsten worden vertaald naar financiële opbrengsten met het programma BBPR (Meerveld et al., 1986). BBPR stelt een begroting op voor de uitvoer van het MLKVEE-model en het graslandgebruiksmodel GRAMAN. Begrotingsposten die niet afhankelijk zijn van de waterhuishouding, zijn gebaseerd op standaardwaarden. De uitvoer bestaat uit de kosten en de opbrengsten van het bedrijf met als belangrijkste gegeven de jaarlijkse arbeidsopbrengst van de ondernemer.

4.5.1 In- en uitvoer

De invoer voor BBPR wordt voor een deel gegenereerd door de modellen GRAMAN en MLKVEE. Een ander deel van de invoer wordt voor iedere situatie standaard ingevoerd.

De voornaamste invoer afkomstig uit GRAMAN bestaat uit:

- bedrijfsvariabelen (aantal percelen, perceelsgrootte, beweidingssysteem enz.);
- totale stikstof en beregeningsgift;
- totale hoeveelheid bijvoeding en het aantal staldagen;
- totale netto droge stof en kVEM-maaiopbrengst;
- maaipercentage.

De voornaamste invoer uit het MLKVEE-model bestaat uit:

- ruwvoeropname tijdens winter en bijvoedingsperioden;
- krachtvoeropname gedurende het jaar;
- geproduceerde melkhoeveelheid en vet- en eiwitgehalte.

De standaardinvoer bestaat voornamelijk uit variabelen die niet door de waterhuishouding of het bedrijfssysteem beïnvloed worden, zoals in- en verkoopprijzen, machineparkspecificaties, rentepercentages, enz.

De belangrijkste bedrijfskengetallen die BBPR als uitvoer geeft zijn:

- opbrengsten, w.o. melkopbrengst en ruwvoerverkoop;
- toegerekende kosten, w.o. ruw- en krachtvoerkosten, bemestingskosten, energiekosten en loonwerkkosten;
- niet toegerekende kosten, w.o. rente, afschrijvingen en onderhoud;
- saldo per ondernemer, ha, melkkoe, enz.;
- arbeidsopbrengst van de ondernemer.

Het belangrijkste verschil tussen de standaardtoepassing van het BBPR-programma en toepassing in het geïntegreerde modelconcept,

is de invoer van een set extra gegevens. Deze set betreft de berekende gegevens uit GRAMAN en MLKVEE. In de standaardtoepassing worden gegevens over melkgift, voeding, stikstof enz. afgeleid uit de "Normen voor de voedervoorziening" (Rompelberg et al., 1984).

4.5.2 Discussie

Het programma BBPR berekent alleen opbrengsten en kosten van een standaardsituatie die slechts beïnvloed wordt door kosten en inkomsten door hogere grasopbrengsten, voerbenodigheden en melkgiften. De prijzen in verschillende jaren zijn altijd constant, evenals andere parameters. In de praktijk zijn ook economisch diverse terugkoppelingen denkbaar.

Door vooral meteorologische omstandigheden kan de behoefte aan ruwvoer veranderen in de hele bedrijfstak. Bij hevige droogte zoals in 1976, zullen de meeste bedrijven te maken hebben met een lagere grasproductie, waardoor de vraag naar en de prijs van ruwvoer zal stijgen. Dan is de droogteschade op bedrijfsniveau in werkelijkheid groter dan berekend met een gemiddelde ruwvoerprijs. De prijzen worden ook sterk beïnvloed door het aanbod dat van andere parameters afhankelijk is, zodat een sluitend concept moeilijk te geven is.

In BBPR wordt niet gerekend met de factor arbeid. Wanneer grote droogte optreedt, zal de produktie afnemen. Door berekening kan een deel van de schade voorkomen worden. BBPR berekent een beregeningsrendement afhankelijk van de meeropbrengsten en de beregeningskosten als vaste onderhouds- en brandstofkosten. Voor berekening en het oogsten van de meeropbrengst is extra arbeid nodig die niet direct in het programma tot uiting komt. Ook met extra arbeid door de ondernemer is een situatie met en zonder berekening nog niet met elkaar te vergelijken.

Een mogelijkheid om gedeeltelijk aan het bezwaar tegemoet te komen, is het inzetten van loonwerkers voor extra arbeid op het bedrijf. Vooral oogstwerkzaamheden kunnen door loonwerkers uitgevoerd worden, aangezien extra opbrengsten veelal in hogere maaipercentsages tot uiting komen. Extra opbrengsten worden hierdoor gedrukt door extra loonwerkkosten. Daar staan echter lagere machinekosten tegenover.

4.6 Modelsynthese

De behandelde modellen zijn voor het construeren van schadefuncties geïntegreerd tot één modelconcept, waarin uiteindelijk de waterhuishoudkundige en bedrijfsmatige/economische randvoorwaarden als invoer dienen, en de arbeidsopbrengst als uitvoer.

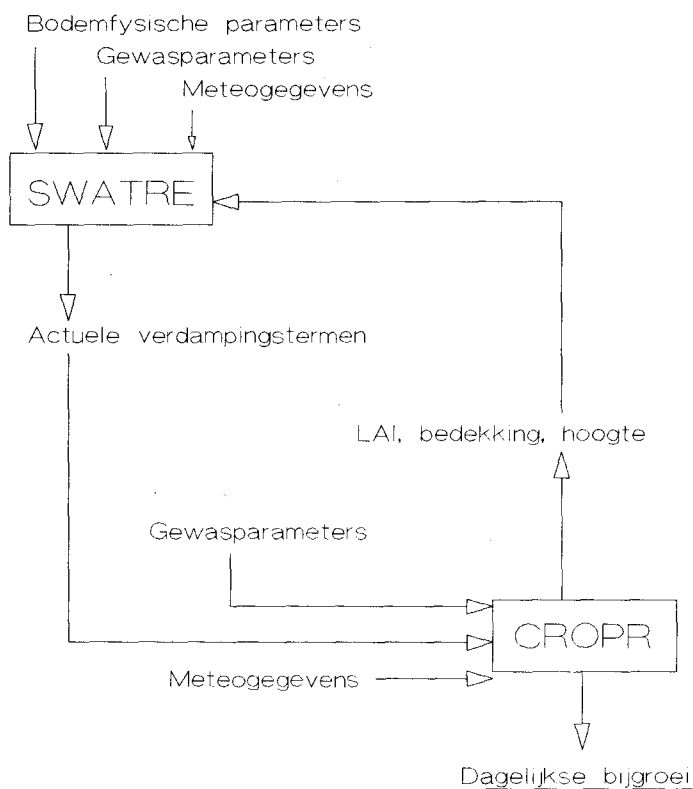


Fig. 7 Koppeling van het waterbalansmodel SWATRE met het groeimodel CROPR tot het model SWACROP.

In figuur 7 is de koppeling van het waterbalansmodel SWATRE met het groeimodel CROPR schematisch weergegeven, waarbij SWATRE de transpiratie levert als invoer voor CROPR, die vervolgens de gewasstand levert als invoer van SWATRE enz.

In figuur 8 is de implementatie van SWACROP weergegeven binnen het zogenaamde bedrijfsmodel, waar SWACROP de dagelijkse bijgroei levert, GRADEC naar aanleiding hiervan een dagelijks graslandgebruik genereert dat door de module GRAMAN uiteindelijk uitgevoerd wordt.

In figuur 9 staat de uiteindelijke synthese van het overall-model met de belangrijkste in- en uitvoer. Het bedrijfsmodel berekent uit bedrijfsvariabelen en een geschatte hoeveelheid grasopname voor verschillende beweidingssystemen het graslandgebruik. Uit relevante uitvoervariabelen van het bedrijfsmodel wordt door het MLKVEE-model de uiteindelijke melkgift en voerbehoefte berekend voor een gespecificeerde veestapel. Uit de uitvoervariabelen van het bedrijfsmodel en het MLKVEE-model wordt uiteindelijk het ondernemersinkomen berekend met BBPR.

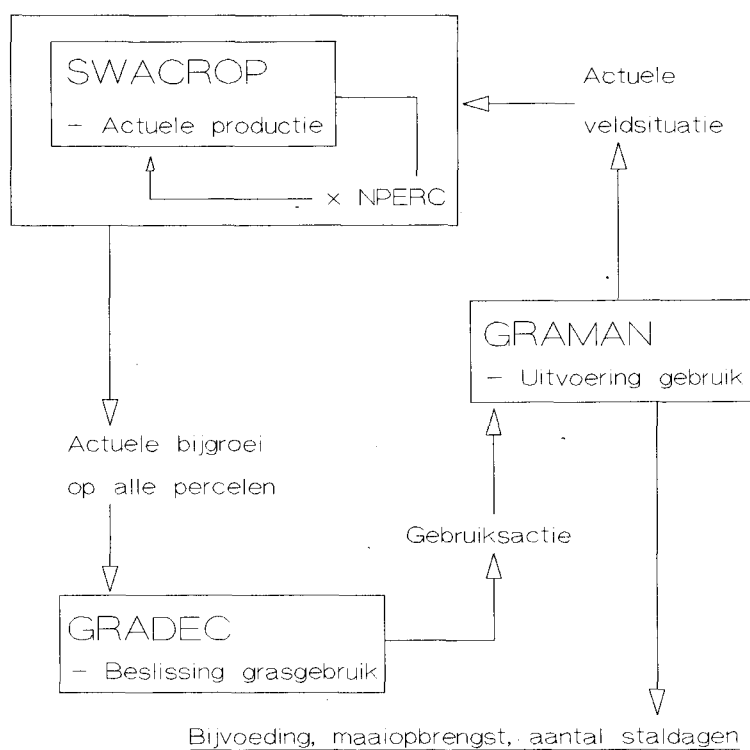


Fig. 8 Implementatie van SWACROP binnen het bedrijfsmodel.

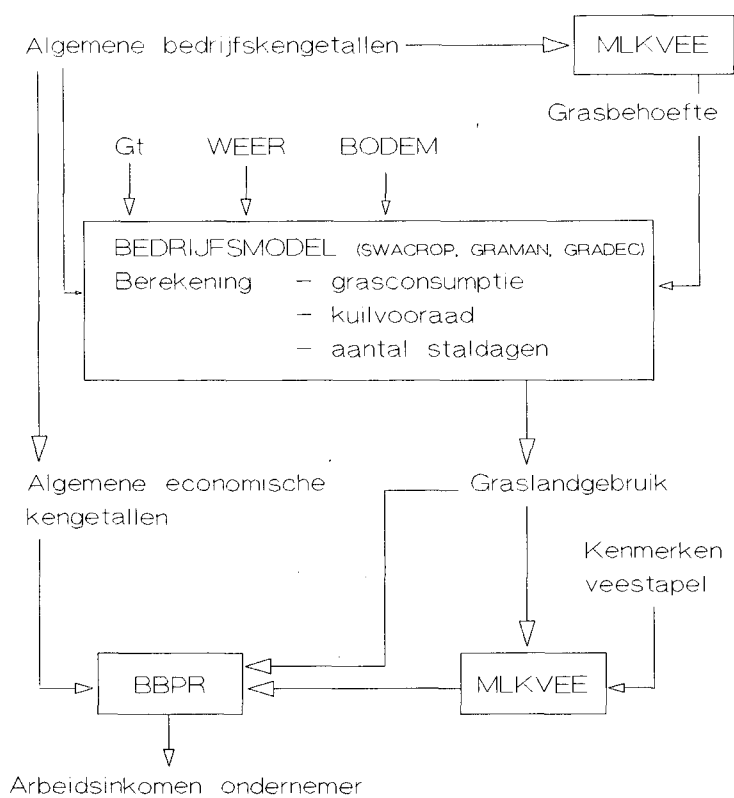


Fig. 9 Synthese van het overall-model om waterafhankelijke bedrijfsuitkomsten op grasland te genereren.

5 VERIFICATIE EN GEVOELIGHEIDSANALYSE*

Het geïntegreerde modelconcept is getoetst op gevoeligheid voor de verschillende invoerparameters. Daarnaast zijn twee vergelijkingen uitgevoerd met eerdere onderzoeken naar waterafhankelijke schade op grasland. De berekeningen zijn alle uitgevoerd (indien niet anders vermeld) op basis van invoerparameters en rekenmethoden zoals in hoofdstuk 7. Het betreft invoer van bodemsoorten ("Staring-reeks"-bouwstenen B3/03 en B1/01), Q-h-relaties bij Gt-verlopen, meteorologische jaarreeksen en bedrijfseconomische invoerparameters.

5.1 Verificatie

Het is nauwelijks mogelijk het graslandgebruikgedeelte van het geïntegreerde concept te verifiëren. Het totale concept kan dan ook niet nauwkeurig vergeleken worden met reële bedrijfsuitkomsten. De enige methode om het model op zijn waarde te kunnen schatten, is door de gevonden modeluitkomsten te vergelijken met uitkomsten uit eerdere onderzoeken waarover consensus bestaat. Hierna worden twee verificaties beschreven. De eerste betreft de berekende natheidsschade zoals bij de HELP-procedure. De tweede verificatie handelt over het berekenen van droogteschades op bedrijfsniveau, zoals in de "Beregeningsstudie Gelderland".

5.1.1 HELP-tabel

In Werkgroep HELP-Tabel (1987) worden voor grondsoorten een groot aantal opbrengstdepressies gegeven voor te natte en te droge omstandigheden. Per grondsoort wordt voor iedere grondwatertrap een schadepercentage gegeven voor droogte- en natheidsschade. De gepresenteerde percentages zijn tot stand gekomen op basis van modelberekeningen, bestaand veldonderzoek en inzichten van de auteurs. De schadepercentages betreffen met name de netto-productie. Schades door een bemoeilijkte bedrijfsvoering zijn slechts met zgn. "restschades" verwerkt. Schades als gevolg van veranderingen in de stikstofhuishouding (verminderde mineralisatie, denitrificatie) zijn, net zo min als in deze studie, in het geheel niet beschouwd.

5.1.1.1 Berekeningsmethode

Om het geïntegreerde modelconcept te verifiëren is gekozen voor een verificatie van de natheidsschade. Deze schadepost is minder afhankelijk van de gehanteerde bodemfysische parameters

* zie ook erratum blz. 179

(pF-curve, K-h-relatie) maar meer van de geldende drainagekarakteristieken. De bodemfysische karakteristieken bepalen weliswaar het verloop van de draagkracht, maar zorgen niet voor een terugkoppeling bij te natte omstandigheden, waardoor de natte toestand weer opgeheven wordt; het omgekeerde geldt meestal (verdampingsreductie, waardoor de toestand nog natter wordt). De stabilisatie wordt bij te natte omstandigheden bepaald door de snelheid waarmee het teveel aan water afgevoerd wordt via de ontwateringsmiddelen. Droogteschade is daarentegen zeer afhankelijk van zowel de drainage-eigenschappen als van de bodemfysische karakteristieken. Bij een tekort aan water bepalen o.a. de bodemfysische eigenschappen hoeveel water er nog capillair nageleverd kan worden uit het grondwater en dus tot hoever de bodem kan uitdrogen. Verificatie met HELP-tabel voor droogteschade kan sterk vertekend worden door (subtiële) verschillen tussen de ingevoerde bodemfysische parameters en de parameters in de HELP-tabel. Natheidsschade is in het geïntegreerde model vooral een functie van de draagkracht-drukhoogte-relatie en het natte deel van de "sink-term"-grafiek, waarover overeenstemming heerst.

Met het geïntegreerde model is een reeks van 18 jaren doorgerekend (1965-1966, 1971-1986, zie voor motivatie volgende hoofdstuk) voor drainagekarakteristieken die over een lange reeks van jaren een grondwaterstandsverloop vertonen, behorende bij een Gt die ook in de HELP-tabellen gegeven is. Hier zijn grondwatertrappen gekozen die gevoelig zijn voor natheidsschade: Gt II, II*, III, III* en V. Om eventuele droogteschades te elimineren kon in het model berekend worden zonder bijkomende kosten bij het bereiken van een pF-waarde van 2,3 in de bovengrond. Deze berekening heeft geen consequenties voor de bewerkbaarheid van de grond. Naast deze reële situaties zijn de genoemde jaren doorgerekend in de situatie zonder waterafhankelijke schade (optimale situatie). De schadepersentages zijn berekend als de produktieafname t.o.v. de optimale situatie, gedeeld door de produktie bij de optimale situatie.

Er worden drie produkties vergeleken:

- de fysische maaiproduktie berekend met SWACROP.
Deze produktie is verkregen met alleen het groeimodel SWACROP, waarbij het gras bij een bepaalde droge-stofproduktie wordt gemaaid. Verliezen zijn dus alleen een gevolg van groeistoornissen.
- de fysische bedrijfsproduktie berekend met het bedrijfsmodel.
Deze produktie is verkregen met het bedrijfsmodel, waarbij het gras zowel gemaaid als beweid kan worden; er worden ook specifieke gebruiksverliezen berekend. De totale produktie wordt berekend als de som van de netto consumptie en de netto maaiproduktie.
- bedrijfseconomische produktie berekend met het geïntegreerde model.
Deze produktie is ook verkregen met het bedrijfsmodel; de uitkomsten zijn echter vertaald naar ondernemersinkomen.

De fysische bedrijfsproduktie is het beste vergelijkbaar met de data uit de HELP-tabel. De fysische maaiproduktie en de bedrijfs-economische produktie zijn slechts ter illustratie opgenomen.

De bodemsoort voor de verificatie werd samengesteld uit de Staring-reeks-bouwstenen B3 (0-50 cm - mv.) en O3 (> 50 cm - mv.) die (voor zand) als relatief natschade-gevoelig geldt (matig fijn, sterk lemig, matig humeus zand), globaal overeenkomend met eenheid cZ1b uit de HELP-tabel. Deze bodemsoort werd met name gekozen, omdat deze ook betrokken is bij de bepaling van de schadefuncties (zie laatste hoofdstuk).

5.1.1.2 Resultaten

De resultaten van de verificatie zijn weergegeven in tabel 3 en figuur 10. De resultaten betreffen alle gemiddelde schadepercentages over de genoemde jaarreeks in procenten van de maximale fysische of economische produktie. De fysische schade in kilogrammen droge stof is gerelateerd aan de maximale opbrengst in kilogrammen droge stof, en de bedrijfseconomische schade in guldens is gerelateerd aan de maximale opbrengst in guldens.

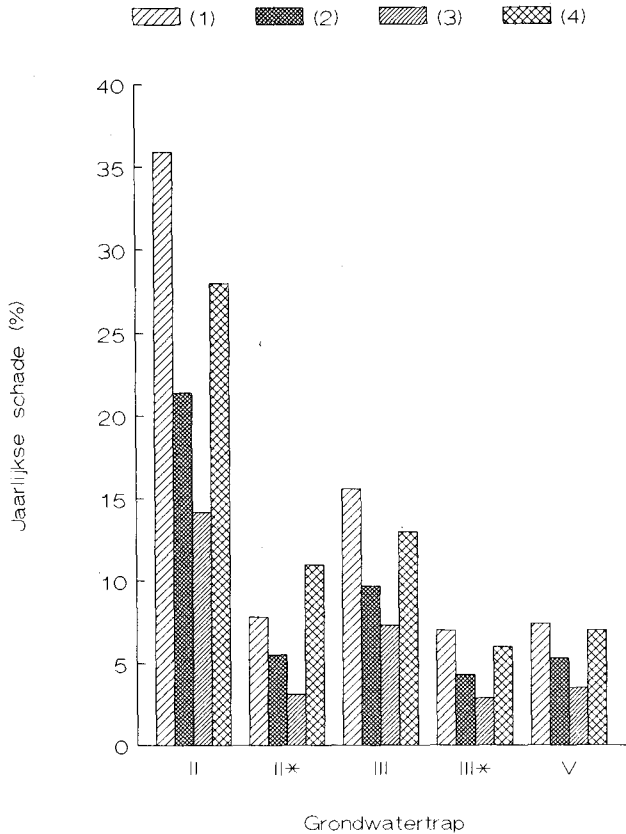
Tabel 3 Vergelijking tussen de berekeningen met het geïntegreerde model en de HELP-tabel voor enkele grondwatertrappen, voor de reeks 1965-1966, 1971-1986 op bodemsoort B3/O3, betreffende natheidsschade.

Gt	Modelberekeningen			HELP-tabel				
	<u>GHG</u> (cm - mv.)	<u>GLG</u>	<u>Schade (%)</u>	<u>GHG</u> (cm - mv.)	<u>GLG</u>	<u>Schade</u> (%)		
			(1)	(2)	(3)			
II	4	80	35,9	21,4	14,2	5	70	28
II*	32	86	7,8	5,5	3,1	25	75	11
III	14	103	15,6	9,7	7,3	15	105	13
III*	30	124	7,0	4,3	2,9	30	110	6
V	27	151	7,4	5,3	3,5	25	140	7

(1) bedrijfseconomische schade met bedrijfsmodel (GRAMAN/BBPR)

(2) fysische schade met bedrijfsmodel (GRAMAN)

(3) fysische schade naar aantal maaibeurten (SWACROP)



- (1) bedrijfseconomische schade met bedrijfsmodel (GRAMAN/BBPR)
- (2) fysische schade met bedrijfsmodel (GRAMAN)
- (3) fysische schade naar maaibeurten (SWACROP)
- (4) fysische natheidsschade volgens HELP-tabel (bodem cZ1b)

Fig. 10 Vergelijking tussen de berekeningen met het geïntegreerde model en de HELP-tabel voor enkele grondwatertrappen voor de reeks 1965-1966, 1971-1986 op bodemsoort B3/03, betreffende natheidsschade.

5.1.1.3 Discussie

De gegenereerde Gt-verlopen wijken vooral voor wat de GLG betreft ca. 10 cm af van de HELP-tabel-waarden. Dit houdt verband met de bodemfysische parameters, vooral de stijghoogte-karakteristiek die voor deze grond relatief "gunstig" is. Deze afwijkingen hebben echter nauwelijks effect op de natheidsschade. Voor de natheidsschade is vooral de GHG van belang die redelijk overeenkomt met de HELP-tabel-waarden. Alleen bij de GHG van de gegenereerde Gt II* treedt een relatief grote afwijking op (32 cm - mv. i.p.v. 25 cm - mv.). Uit figuur 10 en tabel 3 blijkt een redelijke overeenkomst tussen de fysische bedrijfsschade met het geïntegreerde model (2) en de schades in de HELP-tabel (4).

Vooral de berekende waarde voor Gt II* wijkt relatief veel af, voornamelijk door de afwijking in GHG die voor een groot deel de natheidsschade bepaalt. Voor het overige vertonen beide reeksen een redelijk gelijke trend. In figuur 10 en tabel 3 is tevens de fysische schade per Gt gegeven; deze is berekend met het model SWACROP over dezelfde jaarreeks op basis van maaien bij een droge-stofproduktie van 3000 kg/ha. Hierbij zijn geen maai- of weide-verliezen berekend, ook is geen rekening gehouden met bedrijfsomstandigheden. De berekende verliezen geven dus het effect van een late groeistart door hoge grondwaterstanden, en transpiratiereducties door te natte omstandigheden. Uit de figuur blijkt dat natheidsschades slechts berekend kunnen worden als het bedrijfssysteem mee in beschouwing genomen wordt. Verder is in de figuur en de tabel de bedrijfseconomische schade weergegeven. Deze is verkregen door de uitkomst van het bedrijfsmodel te verwerken met het programma BBPR. De bedrijfseconomische schade (1) is 30 - 40% hoger dan de berekende schade in droge-stofproduktie (2). Dit komt overigens niet alleen omdat de absolute schade in droge stof anders uitpakt dan in geld, maar ook omdat het maximale niveau waaraan de schade gerelateerd wordt, afwijkend is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het niet zonder meer mogelijk is HELP-tabel-schades (in principe droge-stofschades in bedrijfsverband) naar bedrijfseconomische schades te vertalen.

5.1.2 Droogteschade

In Mandersloot (1984) worden berekeningseffecten op grasland geschat voor de Gelderse situatie door middel van modelsimulatie. Bij deze studie werd niet alleen gekeken naar de toename van de droge-stofproduktie, maar ook naar het uiteindelijke resultaat op bedrijfsniveau. Het effect van berekening op de verdamping werd bepaald door Van Boheemen en Reuling (1980). Droogte-effecten werden naar aanleiding hiervan uitgedrukt in standaard-groei-curve voor verschillende droogtesituaties. Deze standaard-groei-curve dienden als hoofdinvoer van een graslandgebruiksmodel, zoals beschreven in hoofdstuk 3 onder alternatief 2. Met de standaard-groei-curve werd een geoptimaliseerd gebruiksplan berekend. Net als in het geïntegreerde model werden de graslandgebruiksdata ingevoerd in het programma BBPR voor de economische vertaling van de fysische opbrengsten. Naast een analyse van de opbrengsten staat in het rapport ook een uitgebreide analyse van de kosten verbonden aan berekening. Vanwege de drastisch gewijzigde prijzen (ruw- en krachtvoer, meststoffen, melk, brandstof) sinds 1984, is de studie in 1988 voor het economische gedeelte, gedeeltelijk herzien op basis van het prijspeil 1988 (zie CAD-RSP, 1988; Mandersloot, 1988a). Deze nieuwe berekeningen dienen als uitgangspunt voor de vergelijking in 5.1.2.1.

5.1.2.1 Berekeningsmethode

In Mandersloot (1984, 1988a) wordt een relatie gepresenteerd tussen opgeheven vochttekort en inkomensverbetering. Deze relatie maakt het mogelijk de uitkomsten te vergelijken met die van het geïntegreerde model zonder dat afwijkingen in de bodemfysische karakteristieken het beeld verstoren, aangezien de relatie opgebouwd is uit willekeurig verdeelde vochttekorten.

Voor de vergelijking zijn de bodemkarakteristieken in het model behorende bij de Staringreeks bouwstenen B1 (0-50 cm - mv.) en O1 (> 50 cm - mv.) ingevoerd, die bekend staat als redelijk droogtegevoelige zandgrond (leemarm, weinig humeus, matig fijn tot grof zand). Voor de berekingen is de meteorologische jaarreeks 1971-1986 gebruikt met nogal wat droge jaren. De drainagekarakteristieken bij grondwaterstandsverlopen voor redelijk tot extreem droogtegevoelige grondwatertrappen dienden als onderrandvoorwaarde, Gt V*, VI, VII en VII* (hangwaterprofiel). Voor ieder weerjaar en voor iedere Gt is een run uitgevoerd zonder berekening en met berekening bij een pF-waarde van 2,7 in de wortelzone. Er is uitgegaan van een 9 percelen-plan met een veebezetting van 3 mk/ha en een bedrijfsoppervlakte van 16,2 ha. Deze bezetting is gekozen vanwege de vergelijkbare situatie in Mandersloot (1984, 1988a), met bedrijven van 20 ha, waarvan 4 ha wordt gebruikt voor het jongvee. De veldkkavel van 4 ha wordt niet berekend, en heeft dus geen invloed op de verschillen tussen berekend en onberekend. In het geïntegreerde model wordt in het geheel geen jongvee bij de beschouwing betrokken. Ter vergelijking is ook een run uitgevoerd met een veebezetting van 2,5 mk/ha. Voor de vergelijking van de uitkomsten is geen rekening gehouden met de kosten van berekening.

5.1.2.2 Resultaten

In figuur 11 zijn de uitkomsten van de berekeningen voor de verschillende situaties bijeengebracht.

Voor iedere twee runs (berekend en niet-berekend) wordt het verschil in ondernemersinkomen uitgezet tegen het opgeheven vochttekort tussen niet-berekend en berekend. Iedere situatie gekarakteriseerd door een Gt en een weerjaar, levert aldus een punt in de grafiek op. Door de afzonderlijke punten is de "kleinste-kwadrate"-lijn getrokken.

5.1.2.3 Discussie

Figuur 11 laat een redelijke overeenkomst zien tussen de resultaten uit Mandersloot (1988a) en de berekeningsresultaten.

Karakteristiek voor de rekenmethode is de puntenwolk die het resultaat van de berekeningen weergeeft; ieder verkregen resultaat is voor een deel het gevolg van de fysische omstandigheden (droogte), maar voor een ander deel ook van toeval door het beweidingsschema. Het bijeenbrengen van veel resultaten en het bepalen van een rechte of een kromme hierdoorheen zoals in figuur 11, filtert het toevalseffect van de uitkomsten grotendeels uit. Dit wordt ondersteund doordat de rechte in figuur 11 nagenoeg door de oorsprong loopt (immers berekening bij geen vochttekort levert geen extra opbrengst op). De spreiding van de punten lijkt overigens wel aan de hoge kant. De berekeningen in Mandersloot (1984, 1988a) vertonen geen puntenwolk, omdat de toevalscomponent in het beweidingsschema grotendeels in de berekeningen per situatie weggefilterd wordt door de toegepaste optimalisatie.

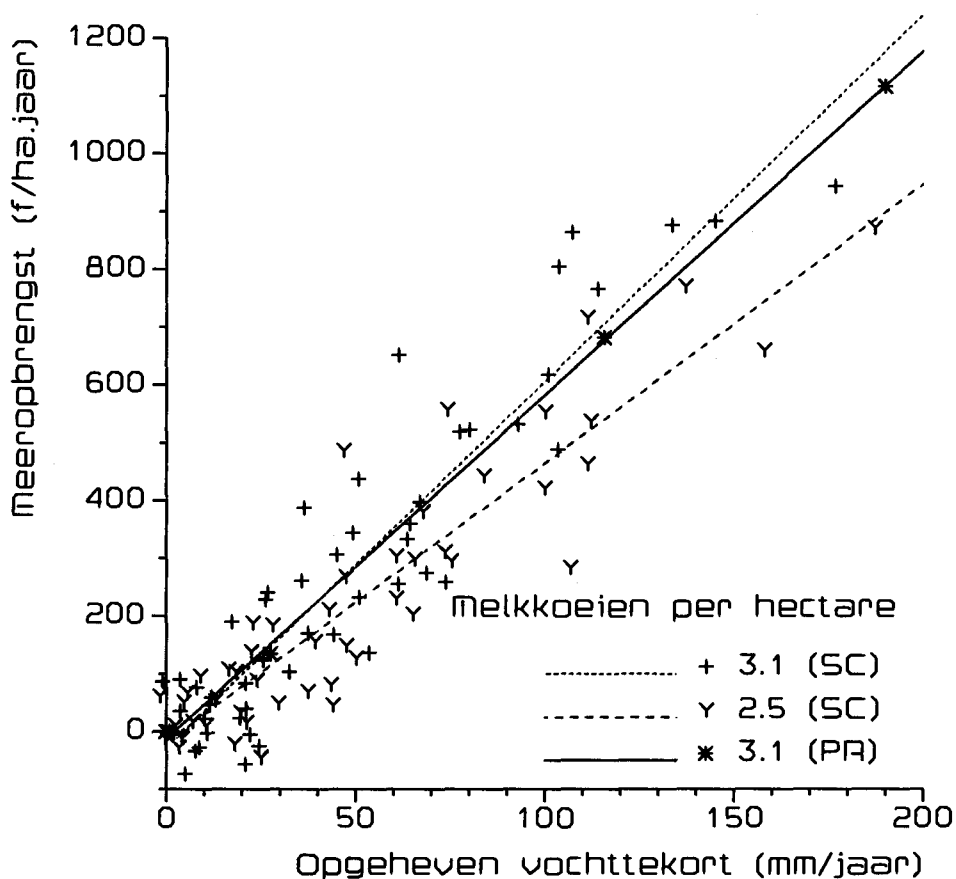


Fig. 11 Opgeheven vochttekort en toename van het ondernemersinkomen door berekening voor uiteenlopende situaties zonder kosten van berekening (vergelijking tussen resultaten uit Mandersloot (1988a) en het geïntegreerde model voor droogteschade).

De inkomenstoename bij een lagere veebezetting is lager dan bij de hoge bezetting, grotendeels doordat bij de lage veebezetting een te grote hoeveelheid kuilvoorraad geproduceerd wordt. Door berekening wordt deze voorraad nog groter. Het teveel aan kuilvoorraad wordt in het model verkocht tegen relatief lage prijzen, zodat het financiële effect kleiner is. Bij een hoge veebezetting wordt door berekening voor een deel voorkomen dat relatief duur ruwvoer van buiten het eigen bedrijf aangekocht moet worden, waardoor het financiële effect groot kan zijn. Daarnaast is bij een hoge veebezetting door berekening het beweidingsschema minder gevoelig voor calamiteiten. Er zullen dan minder doelmatigheidsverliezen optreden. Bij een lage veebezetting zijn er al voldoende "ontsnappingsmogelijkheden" in het beweidingsschema tijdens extreme situaties: meer grasaanbod betekent meer keuzevrijheid.

In Mandersloot (1984, 1988a), wordt de verhoging van de evapotranspiratie tussen beregend en onberegend als parameter gebruikt. In het geïntegreerde model zijn daartoe bodemverdamping, interceptieverdamping en transpiratie bij elkaar opgeteld. In werkelijkheid is de produktie primair afhankelijk van de transpiratie en de interceptieverdamping (die in het concept als "produktief" beschouwd wordt), en slechts secundair van de bodemverdamping die alleen effect op de groei heeft middels verhoging van de gewastemperatuur bij bodemverdampingstekorten. In aanhangsel 5 zijn daarom dezelfde figuren afgebeeld als in figuur 11, maar dan met resp. de transpiratie en de transpiratie + interceptie op de x-as. Uit de verschillen kan geconcludeerd worden dat bij het gebruik van dit soort curves, eerst bedacht moet worden met welke afhankelijke variabele gerekend wordt.

De kosten van beregenen zijn bij deze vergelijking niet betrokken. In principe kunnen deze wel met het model berekend worden, waarbij een actuele berekeningsefficiëntie bepaald wordt afhankelijk van de bodemkarakteristieken, waaruit per situatie de bruto beregeningsgift berekend kan worden. De verwachting is echter dat dit geen schokkende verschillen oplevert.

5.1.3 Conclusies

Uit de vergelijking met de HELP-tabel en de resultaten uit de beregeningsstudie Gelderland blijkt dat de rekenresultaten met het geïntegreerde model op jaarbasis goede overeenkomsten vertonen met eerdere ervaringen. Afwijkingen kunnen verklaard worden door afwijkende randvoorwaarden dan wel door het gebruik van een uitgebreider modelconcept. Daarenboven biedt het geïntegreerde model meer mogelijkheden dan de vergeleken concepten. In vergelijking met de HELP-tabel kunnen nu ook schadepercentages berekend worden voor verschillende perioden in het jaar, kan de schade nader gespecificeerd worden en is het mogelijk de berekende fysische schade bedrijfseconomisch te vertalen.

In vergelijking met de beregeningsstudie kunnen veel verschillende situaties gemakkelijk doorgerekend worden en kan de grasgroei direct in verband gebracht worden met fysieke omstandigheden zonder tussenstappen zoals met vooraf berekende standaard groei-curven. Bovendien is de rekentijd beperkt.

Vooruitlopend op par. 5.2 blijken uitkomsten uit het model nogal gevoelig te zijn voor bepaalde invoerparameters. De geconstateerde overeenkomsten moeten dan ook vooral niet al te absoluut geïnterpreteerd worden, maar meer gezien worden als indicaties.

5.2 Gevoeligheidsanalyse

Naast verificatie is gevoeligheidsanalyse voor de belangrijke parameters een middel om zicht te krijgen op de uiteindelijke werking van het model. Hierna worden enkele resultaten van gevoeligheidsanalyses beschreven voor fysieke (draagkrachtgrenzen), bedrijfsmatige (veebezetting) en economische (ruwvoerprijs, loonwerkkosten) invoerparameters. Alle uitgangssituaties gaan in principe uit van de situatie voor bodemsoort B3/O3, tenzij anders vermeld. Voor iedere Gt-situatie is altijd de reeks 1965-1966, 1971-1986 gebruikt; de uitkomsten zijn steeds gemiddeld.

5.2.1 Draagkrachtgrenzen

Tijdens alle runs is een draagkracht van 0,6 MPa aangehouden als grens waarop het veld niet meer betreedbaar is. Wordt de waarde bereikt, dan wordt eerst enige dagen doorgeweid. Blijft de draagkracht onverminderd laag, dan wordt het vee uitgeschaard. Voordat de waarde van 0,6 MPa bereikt wordt, zijn er vanaf een grens van 0,7 MPa (Beuving et al., 1989) extra vertrappings- en hergroeiverliezen. Hoewel de waarde van 0,6 MPa over het algemeen wordt geadviseerd (Van Wijk, Vellinga, pers. med.), is enige twijfel gerechtvaardigd; het traject met extra vertrappingsverliezen is vrij smal, nl. tussen 0,7 en 0,6 MPa, bovendien is binnen dit traject de vertrapping vrij beperkt, grote vertrappingsverliezen treden pas op na 0,6 MPa. Bij een grens van 0,6 MPa treden vrijwel geen vertrappingsverliezen op, aangezien de veestapel al op stal staat bij het bereiken van een schadelijke draagkracht. Daarom zijn runs uitgevoerd, waarbij de uitschaargrens verplaatst is van 0,6 naar 0,5 MPa. Het resultaat is gepresenteerd in fig. 12.

Uit de figuur blijkt dat de schades bij de grens van 0,5 MPa lager zijn dan bij 0,6 MPa. Weliswaar zijn bij het eerste geval de vertrappingsverliezen veel groter, aangezien het veld bij lagere draagkracht nog betreden wordt. Het veelvuldig in- en uitscharen in het tweede geval levert echter meer schade op in de vorm van melkproductieverlies, voerkosten e.d.

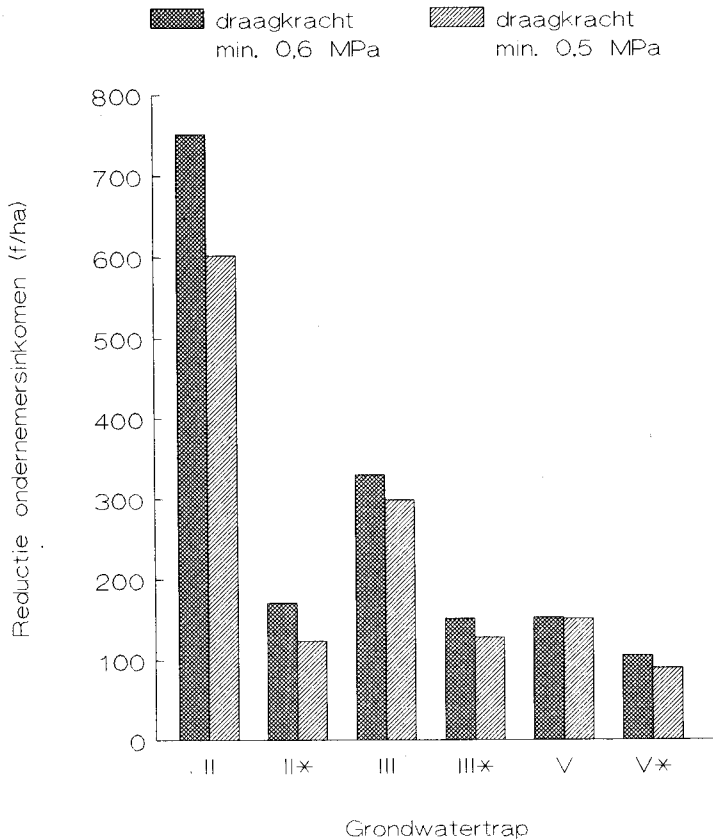


Fig. 12 Vergelijking tussen verliezen op jaarbasis bij een draagkrachtgrens van 0,6 en 0,5 MPa voor enkele gevoelige grondwatertrappen voor natheidsschade.

Overigens kan de balans bij andere grondsoorten naar de andere kant uitslaan als gevolg van andere draagkracht-drukhoogte-relaties. Alhoewel de berekening vraagtekens zet bij de gehanteerde grens van 0,6 MPa, is deze toch aangehouden. Door het hanteren van een grens van 0,6 MPa is de relatie voor de vertrappingsschade minder belangrijk, aangezien slechts binnen een klein traject vertrappingsschade optreedt (0,6-0,7 MPa). De meeste schade treedt op onafhankelijk van de relatie tussen vertrapping en schade (Beuving et al., 1989), omdat de veestapel uitgeschaard wordt bij een draagkracht waar nog weinig vertrappingsschade aangericht kan worden. Hiermee wordt enigszins tegemoet gekomen aan het bezwaar dat de genoemde relatie afgeleid is voor veengrond, en dus op (weliswaar humeuze) zandgrond met enige voorbehoud toegepast moet worden.

5.2.2 Veebezetting

De veebezetting (het aantal melkkoeien per ha) is een belangrijk uitgangspunt bij het berekenen van schadepercentages.

Aangezien de perceelsgrootte afgestemd is op de grootte van de veestapel en het beoogde aantal weidedagen per omweidingsperiode, wordt de veebezetting meestal bepaald door het aantal percelen dat de veestapel in principe tot de beschikking heeft. Voor een lage veebezetting zijn in principe veel meer percelen beschikbaar, dan voor beweiding nodig is. Het overschot wordt door maaien geoogst en ingekuild als wintervoer. Bij schades door wateroverlast of watertekort, is de veebezetting om twee redenen erg belangrijk. Op de eerste plaats bepaalt de veebezetting de hoeveelheid zelf gewonnen, en dus meestal goedkoop, ruwvoer. Door schades in de vorm van extra staldagen of extra bijvoeding kan bij lage veebezettingen meer geput worden uit eigen voorraad, er hoeft minder voer aangekocht te worden dan bij hoge veebezettingen. Een tweede invloed betreft het beweidingsschema; bij schade hebben meestal minder percelen een zodanig grasaanbod dat voor de gewenste omweidingsduur ingeschaard kan worden. Als een lage veebezetting geldt, zijn meer percelen geschikt dan bij een hoge veebezetting, er hoeft dus minder snel uitgeschaard of extra bijgevoerd worden. Daarnaast biedt een lage veebezetting meer mogelijkheden om een eenmaal verstoord beweidingsschema weer te stabiliseren.

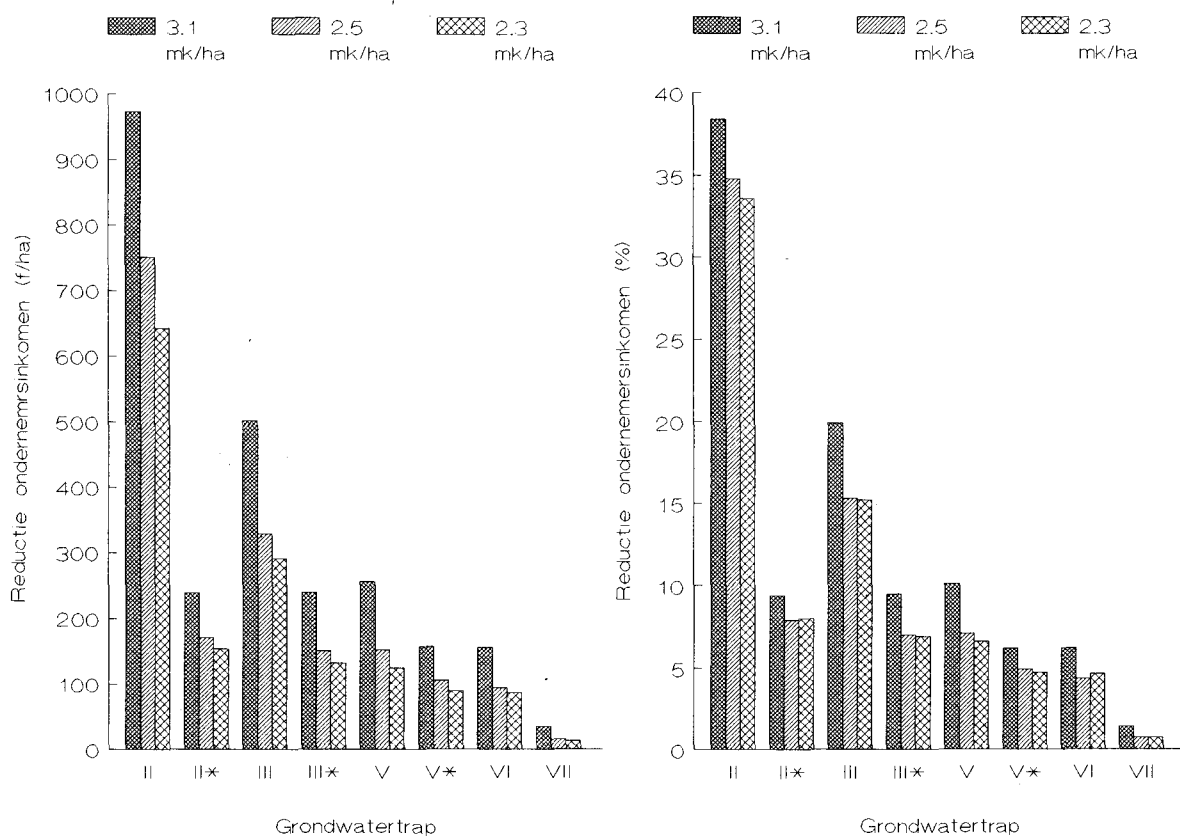


Fig. 13 Vergelijking tussen verliezen op jaarbasis bij verschillende grondwatertrappen en veebezettingen (resp. 3,1, 2,5 en 2,3 mk/ha).
 a. verliezen in guldens per ha per jaar
 b. verliezen in procenten van het jaarinkomen

In figuur 13 zijn de berekende gemiddelde schades over de jaarreeks van 18 jaar voor verschillende grondwatertrappen uitgezet voor verschillende veebezettingen. Deze veebezettingen zijn 3,1, 2,5 en 2,3 melkkoeien/ha, die gecreëerd zijn door resp. 9, 11 en 12 percelen van 1,8 ha op een bedrijf met 50 melkkoeien te simuleren.

Uit figuur 13a blijkt dat het verschil in schade tussen de hoogste en laagste veebezetting bij de meeste grondwatertrappen rond 40% is. Vergelijken we echter de relatieve inkomstderving (actuele derving/maximale inkomen), dan zijn de verschillen aanzienlijk minder in het oog springend, doordat bij een hoge veebezetting niet alleen de schade, maar ook het maximale inkomen per ha veel hoger ligt dan bij een lage veebezetting.

5.2.3 Economische invoer

5.2.3.1 Voerprijzen

De waterafhankelijke schade op graslandbedrijven wordt voor een groot deel bepaald door hogere kosten die gemaakt moeten worden om de veestapel bij te voeren; fysische produktiederving betekent meer opstallen en/of beweiden met extra bijvoeding en minder zelf gewonnen ruwvoer. Daarnaast treedt schade op aan de opbrengstkant: verminderde melkproduktie door een onregelmatig beweidingschema en kwalitatief minder ruwvoer.

De hogere kosten die gemaakt moeten worden bij schade zullen naar verwachting sterk toenemen bij hogere ruw- en krachtvoerprijzen. De toename is afhankelijk van het aandeel dat de hoeveelheid extra aan te kopen voer heeft in de totale schade; als de schade in het geheel veroorzaakt wordt door extra voeraankopen, zal de schade navenant stijgen met de voerprijsverhoging.

Om de gevoeligheid van de schade voor de voerprijsverhoging zichtbaar te maken, is in figuur 14 de absolute schade vergeleken bij het voerprijsniveau van 1988 (CAD-RSP, 1988) en een niveau dat 25% hoger ligt, bij een hoge (3,1 mk/ha) en een lage veebezetting (2,3 mk/ha). De prijsverhogingen zijn doorgerekend voor de aankoop van ruw- en krachtvoer en voor de verkoop van zelf gewonnen ruwvoer.

Uit de figuur blijkt dat bij de lage veebezetting de absolute schade bij hogere voerprijzen relatief meer toeneemt dan bij de hogere veebezetting. De voornaamste oorzaak hiervan is, dat in de optimale situatie (waarmee de reële situatie vergeleken wordt) bij een lage veebezetting vaker ruwvoer verkocht kan worden dan bij een hoge veebezetting. Aangezien naast de aankoop ook de verkoopprijs stijgt, levert bij de lage veebezetting de prijsverhoging ook extra baten. Deze extra baten vallen bij de actuele situatie vaak weg door fysische gewasschade, waardoor geen voer

verkocht kan worden. Het verschil tussen optimale en actuele produktie wordt dan groter. Ondanks dit vertroebelend effect, beïnvloeden de voerprijsverhogingen de absolute schade nagenoeg navenant; veruit de meeste schade wordt veroorzaakt door extra voeraankopen. De consequentie voor de relatieve schade is zelfs nog ingrijpender, aangezien de schadepercentages gevormd worden door het quotiënt van de absolute schade en de optimale opbrengst. De teller wordt snel kleiner door de prijsverhoging, aangezien veel schade tot uitdrukking komt in extra voeraankopen, terwijl de noemer aanzienlijk minder heftig reageert, omdat bij de optimale produktie relatief weinig voer aangekocht hoeft te worden. In figuur 15 zijn voor de twee veebezettingen de relatieve schadepercentages vergeleken.

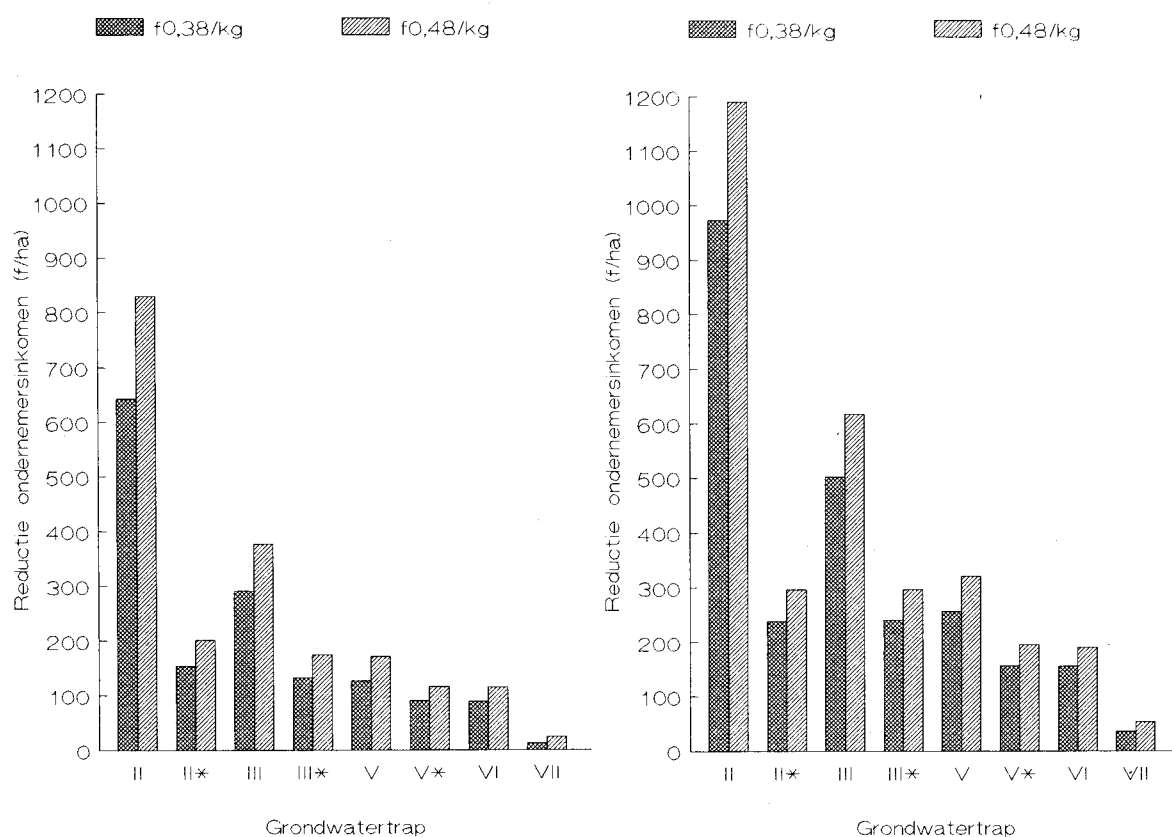


Fig. 14 Vergelijking tussen absolute verliezen op jaarbasis bij verschillende prijsniveaus; niveau 1988 (f 0,38/kg) en niveau 1988 (f 0,48/kg) verhoogd met 25%.

a. veebezetting 2,3 mk/ha

b. veebezetting 3,1 mk/ha

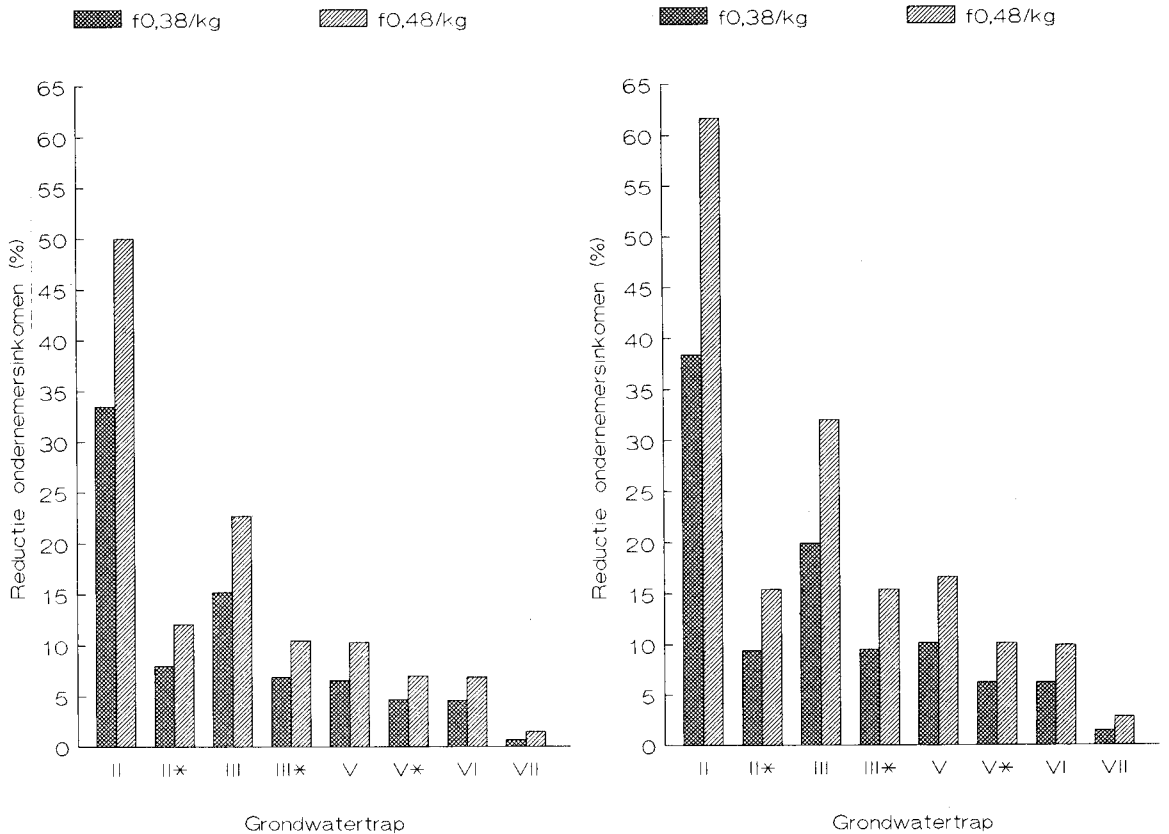


Fig. 15 Vergelijking tussen relatieve verliezen op jaarbasis bij verschillende prijsniveaus; niveau 1988 (f 0,38/kg) en niveau 1988 verhoogd met 25% (f 0,48/kg).
 a. veebezetting 2,3 mk/ha
 b. veebezetting 3,1 mk/ha

5.2.3.2 Loonwerkkosten

Voor de winning en/of opslag van ruwvoer zijn in het algemeen twee mogelijkheden, ofwel met loonwerk (vooral de inkuilwerkzaamheden) ofwel zonder inschakeling van loonwerk. In het eerste geval zijn de kosten voor de winning van eigen ruwvoer voor een groot deel variabel, in het tweede geval zijn de kosten bijna volledig vast door de extra aan te schaffen mechanisatie. Als alles in loonwerk plaatsvindt, wordt de extra opbrengst van de ruwvoerwinning continu gedrukt door loonwerkkosten; de schades kunnen dan ook minder hoog oplopen. Vindt ook een deel in eigen beheer plaats, dan neemt de opbrengst meer toe naarmate het maaipercentage hoger is. Om het effect op de berekende schadebedragen zichtbaar te maken, is de reeks van 18 jaar voor verschillende grondwatertrappen doorgerekend, waarbij in het ene geval alle inkuilwerkzaamheden in loonwerk plaatsvinden en in het andere geval slechts voor het winnen van de eerste snede.

Voor de vergelijking zijn geen extra mechanisatiekosten in rekening gebracht. Figuur 16 geeft een samenvatting van de resultaten.

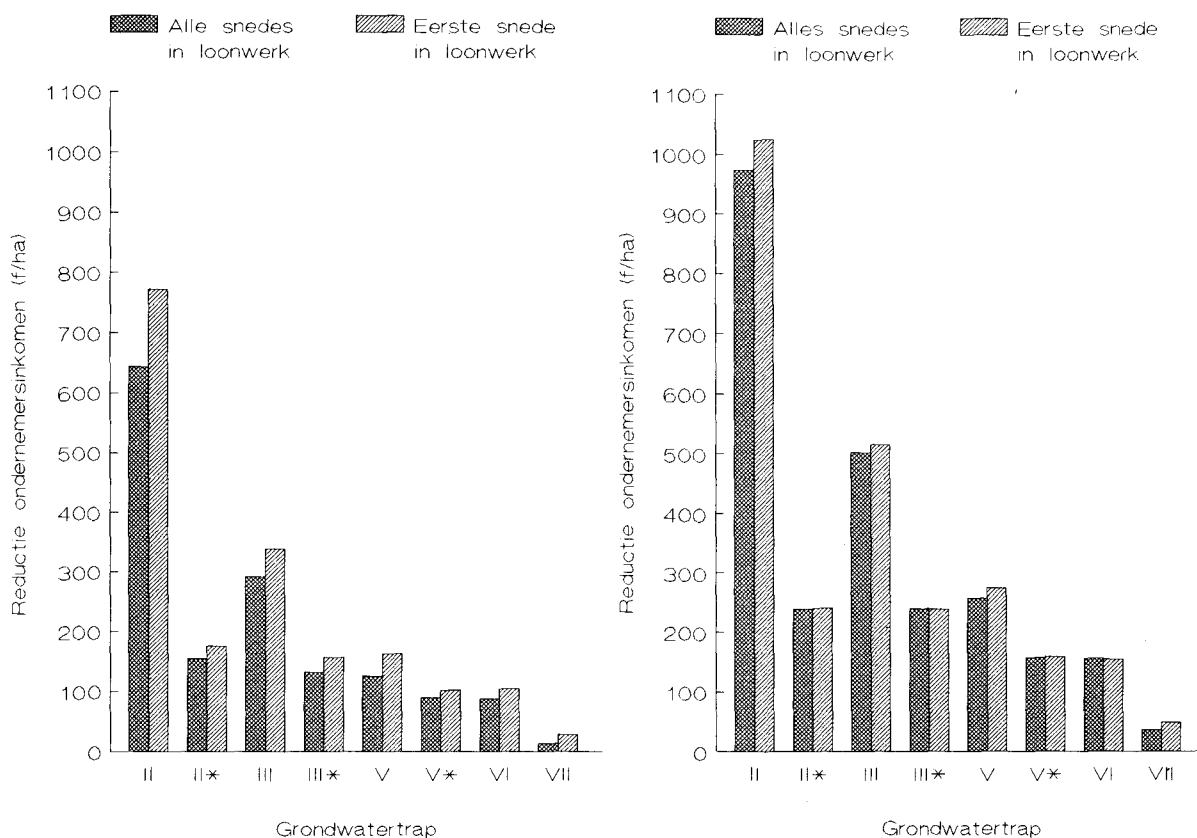


Fig. 16 Vergelijking tussen de schades bij het geheel of slechts gedeeltelijk (alleen eerste snede) uitvoeren van inkuilwerkzaamheden door de loonwerker.

a. veebezetting = 2,3 mk/ha

b. veebezetting = 3,1 mk/ha

Uit figuur 16 blijkt dat vooral bij lagere veebezettingen relatief grote verschillen optreden voornamelijk door de hoge maaipercen- tages bij deze variant, waardoor veel loonwerk gebruikt wordt ook buiten de eerste snede. De extra opbrengst onder optimale omstan- digheden wordt dan gedrukt door de extra loonwerkkosten, waardoor de te veroorzaken schade ook minder wordt onder reële omstandig- heden. Met name bij de natte situaties (Gt II) is het verschil groot, onder meer doordat dan hoge maaipercen- tages binnen de eerste snede optreden (door gedwongen te laat inscharen in het voorjaar), waarvoor ook in de tweede variant loonwerk aangewend wordt. Onder optimale omstandigheden zou een deel van de maai- opbrengst buiten de eerste snede gehaald worden, met als gevolg geen extra loonwerkkosten.

5.2.4 Conclusies

Uit de uitgevoerde berekeningen is duidelijk dat de grootheid "bedrijfseconomische schade" een ruim begrip is. Vooral de voerprijs en de bedrijfsstructuur hebben ingrijpende gevolgen voor de berekende schades. De vergelijking met de HELP-tabel is achteraf een hachelijke zaak geweest, aangezien bedrijfsfactoren niet alleen de economische opbrengst beïnvloeden maar ook de fysische droge-stofopbrengst (waarop de HELP-tabel betrekking heeft). Uitvoeren van de vergelijking van de HELP-tabel met de berekeningen (par. 5.1.1.2) onder een andere veebezetting, zou andere resultaten tot gevolg hebben.

De berekeningen ondersteunen de gedachte dat schades het beste gegeven kunnen worden in schadepercentages op fysische balansposten, zoals gewonnen ruwvoer, aan te kopen ruwvoer, melkproductie, enz. Met deze fysische schades kan vervolgens separaat onder de geldende prijsniveaus, de economische schade berekend worden. Hiermee wordt in ieder geval de invloed van de voerprijzen geëlimineerd, die de bron van de grootste variaties is.