

32/uub(bu.u)2^e ex.

Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van vegetaties

Stikstof- en fosfaathuishouding

G. Zuidema

Rapport 64.4

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990



1759157

26 OKT. 1990

USN 521970*

REFERAAT

Zuidema, G., 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties; stikstof- en fosfaathuishouding. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.4. 59 blz.; 15 fig.; 5 tab.; 1 aanhangsel

Met het complexe numerieke simulatiemodel ECONUM zijn de effecten van waterbeheer op de groei van de vegetatie en op de stikstof- en fosfaathuishouding in de bodem berekend. Hiertoe zijn zeven standplaatstypen onderscheiden op basis van bodemkundige, hydrologische en vegetatiekundige criteria. Van elke standplaats zijn berekeningen uitgevoerd voor een hydrologisch optimale situatie. Vervolgens zijn van zes verschillende scenario's voor waterbeheer de effecten van optredende grondwaterstandsverlaging op de standplaatstypen berekend. De resultaten zijn gepresenteerd in de vorm van figuren van 30-jarige rekenreeksen. De verschillen in reactie tussen de standplaatstypen hangen samen met de bodemeenheid. Naarmate de hoeveelheid organische stof groter is, is het effect van de ingreep groter. De verschillen tussen de verschillende typen ingrepen bij dezelfde standplaats zijn gering.

Trefwoorden: simulatiemodel, vegetatie, bodem, hydrologie, standplaats, waterbeheer, stikstofmineralisatie, decompositie.

ISSN 0924-3070

Tevens verschenen als Rapport 1p van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap

©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 verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Project 138.02

[disk/64.4]

INHOUD

Blz.

WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
1.1 Effecten van waterbeheer op de vegetatie	11
1.2 Keuze van de standplaatstypen	12
1.3 Gebruik van de verschillende modellen	13
1.4 Effecten van waterbeheer in het model ECONUM	14
1.5 Gebruik van de staalkaarten in de praktijk	14
1.6 Opbouw van het rapport	15
2 WERKWIJZE	17
2.1 Modelopbouw ECONUM	17
2.2 Invoergegevens	18
2.3 Calibratie	22
2.4 Onzekerheden in invoer en aannamen	23
2.5 Beschrijving van de ingrepen	25
2.6 Uitvoergegevens	26
3 RESULTATEN	29
3.1 Veldpodzolgronden	30
3.2 Gooreerdgronden	33
3.3 Beekeerdgronden	36
3.4 Madeveengronden	42
3.5 Koopveengronden	44
3.6 Vlierveengronden	47
3.7 Vlietveengronden	50
4 CONCLUSIES	53
4.1 Effecten van de ingrepen	53
4.2 Realiteitswaarde	54
4.3 Aanbevelingen	55
LITERATUUR	57
AANHANGSEL	
Overzicht van de waarden van de gebruikte constante factoren in het model ECONUM	61
FIGUREN	
1 Globaal stroomschema van het model ECONUM	16
2 Effecten van verschillende doses grondwaterwinning in een veldpodzolgrond	32
3 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage in een gooreerdgrond	34
4 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage en peilbeheer in een gooreerdgrond	35

5 Effecten van verschillende doses van interne waterconservering in een gooreerdgrond	37
6 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage en peilbeheer in een beekeerdgrond	38
7 Effecten van verschillende doses grondwaterwinning in een beekeerdgrond	40
8 Effecten van verschillende doses interne waterconservering in een beekeerdgrond	41
9 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage in een madeveengrond	43
10 Effecten van verschillende doses van interne waterconservering in een madeveengrond	45
11 Effecten van verschillende doses van grondwaterwinning in een koopveengrond	46
12 Effecten van verschillende doses interne waterconservering in een koopveengrond	48
13 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage in een vlierveengrond	49
14 Effecten van verschillende doses interne waterconservering in een vlierveengrond	51
15 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage in een vlietveengrond	52

TABELLEN

1 Overzicht van de zeven standplaatstypen op basis van bodem, hydrologie en vegetatie	12
2 Bronnen van invoergegevens in ECONUM voor de vegetatie per standplaatstype	20
3 Overzicht van de waarden van belangrijke invoergegevens in de wortelzone	21
4 Weergegevens van de vijf droogste en de vijf natste jaren uit de simulatieperiode	29
5 De standplaatstypen met de doorgerekende scenario's	30

WOORD VOORAF

Dit rapport maakt deel uit van de verslaglegging van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap (SWNBL). De SWNBL is op 7 oktober 1982 ingesteld door de minister van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk in overeenstemming met zijn ambtsgenoten van Verkeer en Waterstaat en Landbouw en Visserij.

De SWNBL heeft de opdracht een studie te verrichten naar de betekenis van het water, waterhuishouding en het waterbeheer voor natuur, bos en landschap in relatie tot de waterhuishouding. De duur van de gehele studie is bepaald op vijf jaar, ingaande 1 januari 1983.

Het studieveld van de SWNBL is breed en geschakeerd. De studie is daarom verdeeld in onderwerpen, die als afzonderlijke projecten worden uitgevoerd in opdracht van of in samenwerking met de commissie. De studie wordt uitgevoerd in fasen, waarin steeds een samenhangend pakket van projecten behandeld wordt. Deelrapporten leggen verslag van de afzonderlijke projecten. De verantwoordelijkheid voor de inhoud van deze rapporten berust bij de uitvoerende instanties.

Iedere fase van de studie wordt afgesloten met een interimrapport van de commissie, waarin de resultaten worden samengevat, de lijnen voor het vervolg van de studie worden uitgezet en voor zover nodig de volgende fase van de studie wordt geprogrammeerd. De commissie is verantwoordelijk voor de tussentijdse rapportages, de interimrapporten en voor het eindrapport van de totale studie.

Op 27 november 1988 heeft de studietoelichting besloten de studie nog twee jaar voort te zetten om de resultaten van de vorige fasen voor toepassing in de praktijk geschikt te maken.

Voor het thema natuur heeft deze voortzetting geleid tot het "stalenproject". Hierin zijn de effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van een aantal geselecteerde standplaatstypen berekend.

Dit deelrapport vormt het vierde in een serie van zes delen en geeft de resultaten van berekeningen van de effecten van waterbeheer op de stikstof- en fosfaathuishouding. De resultaten zijn gepresenteerd in de vorm van figuren waarin de groei van de vegetatie, de decompositie van organische stof en de mineralisatie van stikstof zijn weergegeven.

De berekeningen zijn uitgevoerd door ir. G. Zuidema. De projectleiding berustte bij drs. R.H. Kemmers.

SAMENVATTING

Bij het beleid en de praktijk van het natuurbeheer bestaat een dringende behoefte om de effecten van regionaal waterbeheer op (half)natuurlijke vegetatie te kunnen evalueren en voorspellen. Hiervoor zijn prototypen van complexe modellen beschikbaar, waarmee de invloed van het waterbeheer op standplaatsfactoren kan worden gesimuleerd. De schematisatie van invoergegevens en de interpretatie van de resultaten vragen, door de grote complexiteit van de modellen, veel deskundigheid. Hierdoor zijn de modellen nog niet geschikt als beleidsinstrument.

Om de verzamelde kennis en inzichten toch toepasbaar te maken voor de praktijk is de stalenmethode ontwikkeld (Kemmers, 1990). Deze methode is gebaseerd op het berekenen van dosis-effect-relaties met complexe modellen. De effecten van waterbeheer op de stikstof- en fosfaathuishouding worden in dit deelrapport behandeld. De effecten op de stikstofmineralisatie worden gepresenteerd in figuren.

Het centrale concept bij de stalenmethoden is de standplaats. Dit is een homogene eenheid die bestaat uit een representatieve combinatie van bodem, vegetatie en waterhuishouding. Er zijn zeven standplaatstypen onderscheiden die representatief worden geacht voor de bodemkundige gradiënt die samenhangt met de hydrologische variatie in het landschap. De standplaatstypen zijn genoemd naar de bodemeenheid en worden beschreven in deel 2 (Van Herwaarden, 1990). Hieraan gekoppeld zijn een grondwatertrap en een vegetatietype die representatief zijn voor een hydrologisch optimale situatie. Voor de simulatie van het waterbeheer zijn zes scenario's gedefinieerd die in overeenstemming zijn met reële waterbeheerssituaties. De resultaten van de hydrologische simulatie zijn weergegeven in deel 3 (Groenendijk, 1990). De effecten van de hydrologische scenario's op de stikstof- en fosfaathuishouding komen in dit rapport aan de orde. De nadruk ligt daarbij op de stikstofhuishouding. De invloed van de scenario's op de zuurhuishouding worden in deel 5 besproken (Groenendijk en Van der Bolt, 1990). Als afronding is een toepassing van de stalenmethode beschreven in deel 6 (Herwaarden et al., 1990).

Voor de berekeningen van stikstof- en fosfaatmineralisatie is het model ECONUM gecalibreerd aan de hand van literatuur en veldgegevens. Hierbij zijn gegevens over vegetatie, biomassa en groei, C/N- en C/P-quotiënten van bodem, vegetatie, mineralisatie en decompositiegegevens gebruikt. De calibratieprocedure is voor elke standplaats uitgevoerd. De met behulp van de gedefinieerde scenario's berekende effecten van waterbeheer dienen vervolgens als variabele invoer voor ECONUM. De verkregen resultaten zijn gepresenteerd als figuren, waarbij zowel de vegetatiegroei als de decompositie van organische stof in de bodem zijn weergegeven.

De reactie van de standplaats op de ingreep neemt toe in de volgorde veldpodzolgronden (ongevoelig), gooreerd-, beek-eerd-, madeveen-, koopveen-, vlierveen- en vlietveengronden (zeer gevoelig). Verlaging van de grondwaterstand door versterkte drainage of grondwaterwinning geeft de grootste toename van de mineralisatie te zien (tenzij een groot vochttekort optreedt, dan neemt de mineralisatie af). Bij compensatie van grondwaterstandsverlaging door aanvoer van gebiedsvreemd water wordt dit effect afhankelijk van de mate van infiltratie enigszins afgezwakt. Compensatie van grondwaterstandsverlaging door peilbeheer heeft alleen bij beek-eerdgronden een gunstiger effect dan wateraanvoer. De mineralisatie neemt minder toe in vergelijking met de uitgangssituatie. Berekening uit grondwater leidt tot een slechts geringe toename van de mineralisatie. Bij de van nature drogere bodemeenheden treedt geen effect op. Interne waterconservering heeft in alle gevallen een afname van de mineralisatie tot gevolg.

De resultaten geven een goede indicatie van effecten als gevolg van het toegepaste waterbeheer. Het is door schematisatie en onzekerheden in processen en procesgrootheden echter niet mogelijk om op een gedetailleerde schaal absolute betekenis toe te kennen aan de waarden van de mineralisatie. Nader onderzoek aan processen en verzameling van veldgegevens blijft noodzakelijk.

1 INLEIDING

1.1 Effecten van waterbeheer op de vegetatie

Bij het opstellen van richtlijnen voor het waterbeheer ten behoeve van natuurgebieden blijken aanzienlijke leemten te bestaan in de kennis van de effecten van waterbeheer op natuur. Om de kennisachterstand op het gebied van de relatie tussen het grondwater en terrestrisch milieu, bos en landschap op te heffen, is in 1982 de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap (SWNBL) in het leven geroepen (SWNBL, 1988). Gezien de breedte van het studieveld is een verdeling in onderwerpen gemaakt die als afzonderlijke projecten worden uitgevoerd in opdracht van of in samenwerking met de commissie. In één van deze projecten werd het model ECONUM ontwikkeld, waarmee de effecten van waterbeheer op de stikstof- en fosfaathuishouding van vochtige en natte standplaatsen met half-natuurlijke begroeiingen kunnen worden voorspeld (Mankor en Kemmers, 1987).

Daarnaast zijn modellen ontwikkeld, waarmee de effecten op de vochtvoorziening (Berghuijs-van Dijk, 1985) en op de waterkwaliteit berekend worden (Groenendijk, 1987). De berekeningen van de vochtvoorziening vormen een noodzakelijk onderdeel voor zowel de berekeningen betreffende de waterkwaliteit als ook voor de berekeningen betreffende de stikstof- en fosfaathuishouding. De resultaten van al deze berekeningen vormen vervolgens de ingang voor het natuurtechnisch model (Gremmen, 1987a; 1987b), waarmee de gevolgen van de waterbeheersmaatregelen op de natuurwaarde kunnen worden voorspeld. In het zogenaamde stalenproject is gedurende de laatste fase van de SWNBL begonnen met het operationeel maken van de ontwikkelde modellen om beleidsvragen te beantwoorden. Hiertoe zijn de modellen gekoppeld aan het standplaatsconcept. Een standplaats is in dit verband een fysische eenheid met hydrologisch, bodemkundig en vegetatiekundig samenhangende eigenschappen (Kemmers, 1990). Met de modellen zijn voor zeven standplaatstypen de effecten van zes waterbeheersmaatregelen berekend.

Uiteindelijk leveren al deze berekeningen de zogenaamde staalkaarten op. Een staalkaart geeft de effecten van een in intensiteit toenemende waterbeheersmaatregel op een standplaats weer, uitgedrukt in een verandering in de natuurwaarden. Als tussentappen worden de effecten op de verschillende standplaatsfactoren op een staalkaart aangegeven. Parallel aan deze modelberekeningen zijn deskundigen geraadpleegd (Hochstenbach en Gremmen, 1989). De resultaten van deze deskundige raadpleging dienen na afloop als vergelijkingsmateriaal voor de resultaten van de modellenberekeningen. Deze vergelijking is noodzakelijk, omdat geschikte veldgegevens of experimentele gegevens ter toetsing van de berekeningen nagenoeg ontbreken.

In dit rapport worden de berekeningswijze en de resultaten van de berekeningen met het model ECONUM voor de verschillende standplaatstypen gepresenteerd.

Aangezien ECONUM een complex model is en pas in 1986 en 1987 is ontwikkeld, is er nog geen tijd geweest om het model uitvoerig te testen. De berekeningen die in het kader van het stalenproject zijn uitgevoerd, moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden bekeken. Weliswaar zijn door Mankor en Kemmers (1987) voor een tweetal proefgebieden berekeningen uitgevoerd, maar gezien de complexiteit van het model, kan dit niet als een voldoende testfase worden beschouwd. Tijdens de berekeningen in het kader van het stalenproject zijn dan ook wijzigingen in het model aangebracht. Verder leverde een gering aantal berekeningen, waarbij fosfaat sterk beperkend was voor de groei, zeer onwaarschijnlijke resultaten op. Tot op heden was nog geen tijd beschikbaar om de berekeningen te controleren en het model eventueel aan te passen. Uiteraard worden de betreffende berekeningen niet meegenomen in de effectstudies van de stalen. In het licht van het hier geschetste kunnen de berekeningen in het kader van het stalenproject mede gezien worden als een test van het model ECONUM zelf.

Tot slot is het mogelijk om met de opgedane ervaring en de kennis van de modelformulering en gedragingen een idee te krijgen van de mogelijkheden van het model, en zodoende een geldigheidsgebied te beschrijven.

1.2 Keuze van de standplaatstypen

Aangezien het in deze studie ging om de effecten op de natuur, ligt het voor de hand standplaatstypen te kiezen die vaak in natuurgebieden voorkomen.

Tabel 1 Overzicht van de zeven standplaatstypen op basis van bodem, hydrologie en vegetatie.

Bodemeenheid	Grondwatertrap (Gt)	Vegetatietype
Veldpodzolgronden	III	<i>Ericetum tetralicis</i> (Dopheide associatie)
Gooreerdgronden	III	<i>Nardo-Gentianetum pneumonanthes</i> (Borstelgras-klokjesgentiaan associatie)
Beekeerdgronden	II/III	<i>Cirsio-Molinietum</i> (Spaanse ruiter-pijpestrootje associatie)
Madeveengronden	II	<i>Crepido-Juncetum acutiflori</i> (Veldrus associatie)
Koobveengronden	I/II	<i>Cirsio-Molinietum</i> (Spaanse ruiter-pijpestrootje associatie)
Vlierveengronden	I	<i>Caricetum curto-echinatae</i> (Associatie van zomp- en sterzegge)
Vlietveengronden	I	<i>Pallavicinio-Sphagnetum</i> (Veenmos-riet associatie)

Dit leverde in het begin negen natte of vochtige standplaatstypen op met de daarbij behorende vegetatietypen. Uiteindelijk zijn er hiervan zeven overgebleven. Tabel 1 geeft een overzicht van deze zeven standplaatstypen met achtereenvolgens bodemeenheid grondwatertrap en vegetatietype.

Een verantwoording van de keuze van de stalen en een beschrijving van de standplaatstypen wordt gegeven in Van Herwaarden (1990). Hochstenbach en Gremmen (1989) geven een beschrijving van de bijbehorende vegetatietypen.

1.3 Gebruik van de verschillende modellen

Voor de berekeningen van de vochtvoorziening is het model WATBAL (Berghuijs-van Dijk, 1985) gebruikt. Dit is een één-dimensionaal waterbalansmodel met twee lagen: de wortelzone en de ondergrond. Met de weergegeven als invoer berekent dit model de evapotranspiratie, het vochtgehalte van de bodem, en de infiltratie en waterafvoer naar drainagemiddelen. De resultaten van deze berekeningen zijn beschreven in deel 3 van deze serie (Groenendijk, 1990).

Bij de berekening van de waterkwaliteit is het model EPIDIM (Groenendijk, 1987) gebruikt. Dit chemisch evenwichtsmodel berekent de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen op de waterkwaliteit. Hierbij worden voor het watertransport de resultaten van het model WATBAL gebruikt, en voor de zuurhuishouding het model ANIMO (Berghuis-van Dijk et al., 1985; Kroes, 1988). De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in deel 5 (Groenendijk en Van der Bolt, 1990).

De resultaten van de berekeningen met WATBAL worden ook gebruikt voor de berekeningen met het model ECONUM. Daartoe worden de resultaten van WATBAL, met behulp van de subroutine BALANCE uit het model ANIMO, omgerekend voor een meer-lagen-systeem. De uitkomsten hiervan worden vervolgens gebruikt om een temperatuurprofiel te berekenen. Zowel de waterbalans als de temperatuurgegevens worden vervolgens gebruikt in ECONUM. Dit model simuleert de plantengroei en de decompositie van organisch materiaal en berekent de hieruit voortvloeiende beschikbaarheid van stikstof en fosfaat. Hierbij wordt rekening gehouden met het transport door de bodem, wat wordt gesimuleerd met één-dimensionale transportvergelijkingen.

De resultaten van de berekeningen met WATBAL, EPIDIM en ECONUM dienen vervolgens als invoer voor het natuurtechnisch model (Gremmen, 1987a; 1987b). Dit is een op beslisregels gebaseerd model, dat de effecten van de gepleegde ingreep weergeeft als verandering in de natuurwaarde. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Gremmen (1990).

1.4 Effecten van waterbeheer in het model ECONUM

Bij het simuleren van processen in een standplaats en de erbij behorende vegetatie komen deelproblemen duidelijk naar voren. Centraal in het concept staat de bodem die in het model vastgelegd wordt door een aantal fysische en chemische parameters. Deze komen in hoofdstuk 2 nader aan de orde. Afhankelijk van de bodemeenheid zullen weinig (zandgrond) of veel poriën (veengrond) aanwezig zijn. De aanwezige hoeveelheid water die beïnvloed wordt door het gevoerde waterbeheer, bepaalt samen met het poriënvolume hoeveel lucht in de bodem aanwezig is. De verdeling van water en lucht over de poriën heeft grote invloed op belangrijke processen. De hoeveelheid water heeft grote invloed op de warmtecapaciteit en daardoor op de temperatuur van de bodem. De bodemtemperatuur beïnvloedt de snelheid, waarmee bijvoorbeeld decompositieprocessen verlopen. Als het overgrote deel van de poriën met water is gevuld, zal de hoeveelheid zuurstof die voornamelijk wordt aangevoerd door de met lucht gevulde poriën, snel uitgeput raken. Dit leidt tot een sterke reductie van de snelheid, waarmee decompositieprocessen verlopen. Het gevolg is dat er minder nutriënten beschikbaar komen, wat weer van invloed kan zijn op de groeisnelheid van de vegetatie. Daarnaast beïnvloedt ook hier de temperatuur de snelheid waarmee het proces verloopt.

Het waterbeheer heeft dus een directe invloed op de groei van de vegetatie en op de decompositie, doordat het de beschikbare hoeveelheid water en daarmee ook de beschikbare hoeveelheid zuurstof bepaalt. Behalve de directe invloed is ook een indirecte invloed via de verlopende processen op de beschikbaarheid van nutriënten.

1.5 Gebruik van de staalkaarten in de praktijk

De staalkaarten, zoals die uiteindelijk voortkomen uit de verschillende deelonderzoeken, kunnen gebruikt worden om de gevolgen van het toegepaste waterbeheer op een gebied in te schatten. Hiertoe moet de beginsituatie, zoals die zich in het veld voordoet, ingepast kunnen worden in een bepaalde staalkaart. Daarna is eenvoudig af te lezen wat de verwachte verandering in natuurwaarde voor het betreffende gebied zal zijn.

Anderzijds is het mogelijk om uit de staalkaart af te leiden welke herstelmaatregelen voor de waterhuishouding nodig zijn om een gewenste situatie vanuit de bestaande situatie mogelijk te maken. Zowel vanuit beleidsoogpunt als vanuit beheersoogpunt zijn de staalkaarten te gebruiken.

De staalkaarten geven een gemiddeld beeld weer. Om een bepaalde situatie precies te kennen, zullen de modellen zelf gebruikt moeten worden. Het zal duidelijk zijn, dat dan zeer veel detailinformatie over het betreffende gebied voorhanden moet zijn.

1.6 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van de gevolgde werkwijze. Hierin wordt vermeld hoe het model is opgebouwd en welke gegevens nodig zijn om het model te kunnen gebruiken. Verder wordt beschreven hoe het model gecalibreerd is en wat de waarde van de uitkomsten inhoudt. Aan het eind van het hoofdstuk volgt een overzicht van de uitvoergegevens.

Hoofdstuk 3 bevat de resultaten zoals die voor elke staal zijn berekend. Hierbij volgen per staal een beschrijving van de ideale uitgangssituatie en vervolgens van de situatie die zou ontstaan als gevolg van een bepaalde ingreep in de waterhuishouding. Daarna volgt een interpretatie van de verkregen resultaten. Aan het einde van het hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillen tussen de diverse stalen en de betekenis van deze verschillen.

Hoofdstuk 4 geeft de conclusies van de berekeningen weer, waarbij achtereenvolgens wordt ingegaan op de effecten van de ingrepen op de verschillende stalen en de betekenis van het model zelf voor de verkregen uitkomsten. Zijn de gevonden resultaten een reële weergave van de werkelijkheid, of is de schematisatie te ver doorgevoerd, waardoor de werkelijkheid geweld wordt aangedaan. Tot slot worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Welke gegevens zouden nader moeten worden bekeken om een grotere betrouwbaarheid van de resultaten te verkrijgen. Ook worden aanbevelingen gedaan om de modelformulering te verbeteren.

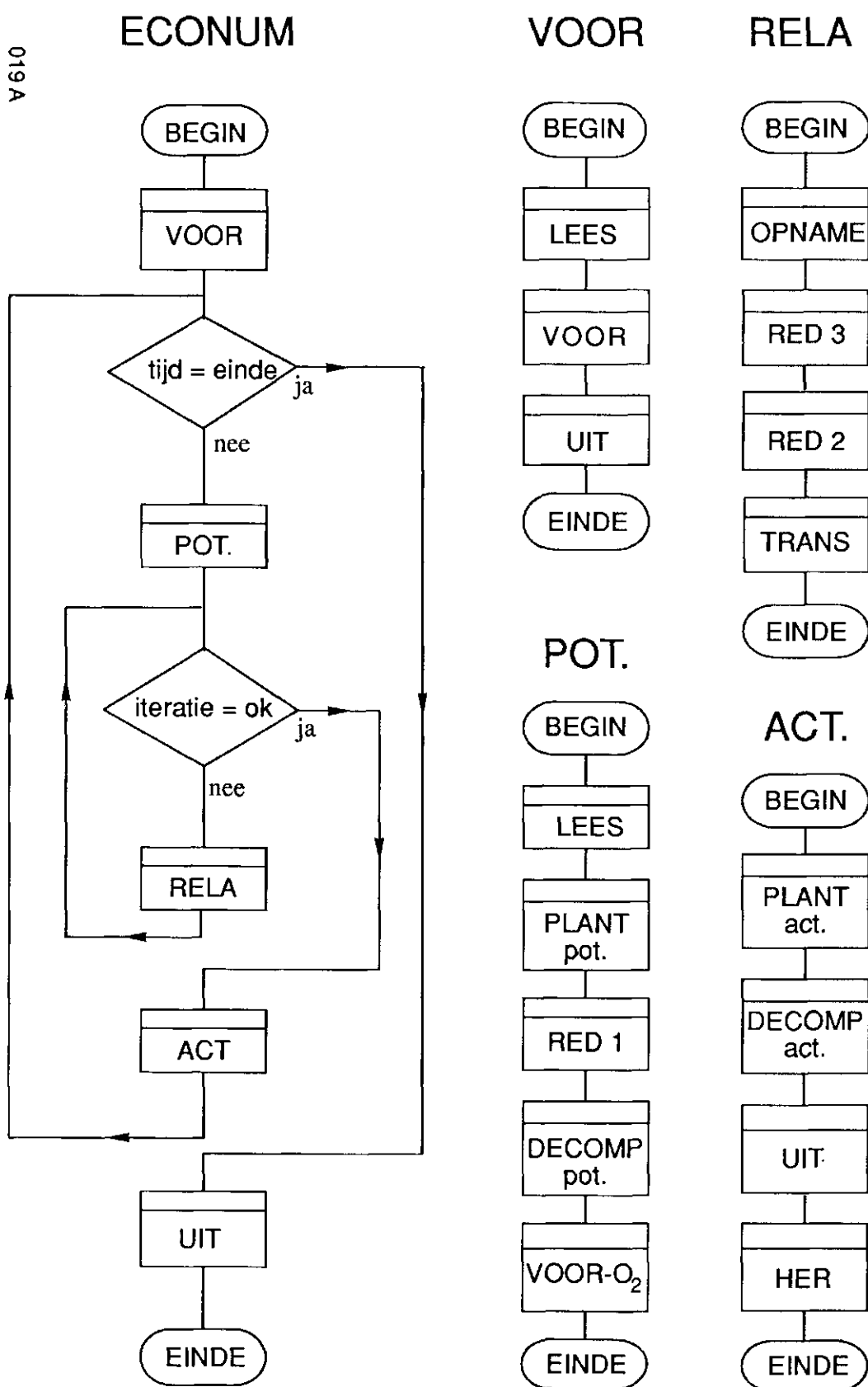


Fig. 1 Globaal stroomschema van het model ECONUM.

2 WERKWIJZE

2.1 Modelopbouw ECONUM

Om een inzicht te krijgen in de effecten van waterbeheer op de nutriëntenvoorziening van met name stikstof en fosfor is het model ECONUM (Mankor en Kemmers, 1987) gebruikt. Dit numerieke model simuleert de groei van de vegetatie en de decompositie van organische stof in de bodem. Zowel de groei als de decompositie worden beïnvloed door de vocht- en nutriëntenvoorziening. Bij de decompositie kunnen nutriënten worden vrijgemaakt of vastgelegd. Vrijgemaakte nutriënten kunnen vervolgens bij de groei worden gebruikt en komen bij het afsterven van de vegetatie als organische stof weer in de bodem terecht. Zo beïnvloedt de groei de decompositie en de decompositie de groei.

In fig. 1 is een stroomschema van het model weergegeven. Het linker gedeelte van de figuur geeft een overzicht van de verschillende fasen in het simulatieproces. Hieruit blijkt dat na een aantal voorberekeningen (VOOR) de potentiële groei en decompositie worden berekend (POT.). Daarna vinden berekeningen plaats, waarbij de verschillende processen met elkaar worden verbonden (RELA) zoals opname en transport. Als dit iteratieve deel in evenwicht is, kunnen de actuele decompositie en groei worden berekend (ACT) en wordt eventueel het hele proces herhaald in de volgende tijdstap. In deze fase vindt ook tijdstap afhankelijke uitvoer plaats. Als aan de tijdsperiode waarover gerekend moet worden, voldaan is, vindt nog een laatste uitvoer plaats (UIT), waarna de simulatie wordt beëindigd.

Het rechter gedeelte van de figuur geeft een verdere opdeling van de verschillende fasen. In de eerste fase (VOOR) worden alle tijdstap onafhankelijke invoergegevens ingelezen (LEES). Als eerste zijn dat de gegevens waarmee het model wordt bestuurd (bijv. simulatieperiode, tijdstaplengte, laagindeling en oplosingsmethode voor differentiaalvergelijkingen). Daarna volgen gegevens die de bodem beschrijven (bijv. korrelgrootteverdeling en pF-curve) en decompositiegegevens (bijv. percentage organische stof en afbraaksnelheidsconstanten). Daarna worden gegevens ingelezen die de groei van de vegetatie beschrijven (bijv. biomassa, maximale groeisnelheid en optimale stikstof- en fosfaatgehalten). Met een aantal gegevens worden voorberekeningen gedaan (VOOR) om het model van initiële waarden te kunnen voorzien. Als laatste stap van de eerste fase worden de uitvoerbestanden aangemaakt en voorzien van de informatie over de inhoud.

In de tweede fase (POT.) worden de tijdstapafhankelijke variabelen ingelezen zoals bodemtemperatuur, vochtgehalte en evapotranspiratieflux (LEES). Hiermee worden dan de plantengroei en de potentiële stikstof- en fosfaatopname (PLANT pot.) in de tijdstap berekend.

Voordat ditzelfde kan worden gedaan voor de decompositie (DECOMP pot.) wordt eerst een reductiefactor bepaald voor suboptimale omstandigheden van pH, bodemtemperatuur en vochtgehalte (RED 1). Als laatste stap in de tweede fase worden voorberekeningen uitgevoerd voor zuurstof- en watertransport (VOOR-02).

In de derde fase (RELA) worden de verschillende processen aan elkaar gerelateerd. Als eerste wordt de opnamesnelheid van nutriënten door de vegetatie berekend (OPNAME). Met de voorheen berekende potentiële decompositie en de beschikbare hoeveelheid zuurstof wordt een reductiefactor berekend, als er niet voldoende zuurstof aanwezig is (RED 3). Ditzelfde wordt gedaan voor stikstof en fosfaat (RED 2). De laatste stap is het berekenen van de actuele opname, waarbij rekening wordt gehouden met mogelijke transportprocessen (TRANS).

In de vierde fase (ACT.) wordt de nieuwe nutriëntensamenstelling van de vegetatie bepaald aan de hand van actuele opname van stikstof en fosfaat (PLANT act.). Vervolgens wordt de actuele decompositie berekend en de daaruit voortvloeiende hoeveelheid organische stof in de bodem (DECOMP act.). Daarna vindt de uitvoer van de gegevens plaats naar de verschillende uitvoerbestanden. Als laatste stap in deze fase worden de concentraties van de verschillende stoffen in de bodem berekend om deze te gebruiken als uitgangspunt bij de volgende tijdstap (HER).

Als de gehele simulatieperiode is doorlopen vindt nog een laatste uitvoer plaats van gegevens over de verdeling van de organische stof over het bodemprofiel (UIT).

2.2 Invoergegevens

De standplaatstypen worden in het model vastgelegd door veel invoergegevens die per bodemlaag kunnen worden gespecificeerd. Deze zijn opgeslagen in verschillende invoerbestanden, waarbij een onderscheid is gemaakt naar functionaliteit zoals een bestand met gegevens over de vegetatie, de vaste fase van de bodem, de nutriëntenconcentratie, de decompositie, de diffusie- en opnamesnelheden, de temperatuur en een bestand dat dient voor de besturing van het model.

Het bestand om het model te besturen bevat parameters die de gebruiker kiest, afhankelijk van het beoogde doel. Hier wordt het aantal bodemlagen in wortelzone en ondergrond vastgelegd. Verder worden de tijdstapgrootte en het totale aantal tijdstappen gekozen, alsmede de oplossingsmethode voor differentiaalvergelijkingen.

Van de benodigde invoergegevens voor het model is een groot aantal afkomstig uit literatuur zoals standaard natuurkundige en chemische handboeken en studies over produkties van uiteenlopende vegetatietypen.

De bodemafhankelijke invoergegevens zijn afkomstig uit het Bodemkundig Informatie Systeem van het Staring Centrum. Een beschrijving van de gegevens en hun herkomst worden gegeven door Van Herwaarden (1990).

Deze gegevens zijn, voor zover mogelijk, aangevuld met meetgegevens uit natuurterreinen (Kemmers, ongepubliceerd). De vochtgegevens worden berekend met WATBAL (Groenendijk, 1990), waarbij dezelfde bodemafhankelijke gegevens worden gebruikt. De gegevens uit WATBAL worden voor ECONUM eerst omgezet naar een meerlagensysteem en met deze gegevens wordt vervolgens voor dezelfde lagen de bodemtemperatuur berekend. Hierbij worden neerslag-, verdampings- en temperatuurgegevens op decadebasis van het KNMI in De Bilt gebruikt.

De gegevens voor het beschrijven van de bodem zijn verdeeld over vier verschillende invoerbestanden. Het bestand voor de vaste fase-gegevens bevat waarden voor bulkdichtheid, percentage lutum, gehalte organische stof en adsorptie van ammonium en fosfaat. Gezien het grote belang van de decompositie van organische stof voor de nutriëntenkringloop zijn de benodigde gegevens hierover opgenomen in een apart bestand. Het bevat gegevens over de verdeling van de organische stof over vijf verschillende fracties, snelheidsconstanten voor de afbraak en nutriëntenstatus, in C/N- en C/P-quotiënten, van deze fracties. Het derde bodembestand bevat gegevens over de waterverdeling in het profiel in pF-curves voor wortelzone en ondergrond. Het laatste bestand bevat gegevens over de initiële concentraties van nutriënten in het bodemvocht. De belangrijkste hiervan is de initiële fosfaatconcentratie, omdat deze mede bepaalt wat de bezettingsgraad van het adsorptiecomplex is. De overige initiële concentraties zijn van minder belang, omdat het model snel naar een evenwicht toerekent. Wel van belang zijn de boven- en onderrand-voorwaarde (laag 0 en laag N+1). De eerste geeft de concentratie van het betreffende nutriënt in de neerslag weer, en de laatste de concentratie in het grondwater. Deze gegevens blijven in de loop van de simulatie ongewijzigd.

In het invoerbestand voor temperatuurgegevens kan gekozen worden of de bodemtemperatuur aan de hand van een opgelegde sinusfunctie wordt berekend of dat deze wordt afgeleid van een gemeten luchttemperatuur per tijdstap.

Afhankelijk van de keuze moet de sinusfunctie of, per tijdstap, de luchttemperatuur worden opgegeven.

In een volgend bestand worden coëfficiënten en snelheden voor diffusie en opname van nutriënten en zuurstof gegeven. Literatuurgegevens hierover zijn zeer schaars zodat een aantal waarden moest worden verkregen door calibratie. Gezien de geringe kennis omtrent de absolute waarde van deze gegevens zijn bij alle standplaatsen dezelfde waarden gebruikt. Een overzicht van de gebruikte waarden wordt gegeven in het aanhangsel.

In het bestand met de gegevens voor de vegetatie, moeten biomassagegevens voor spruiten en wortels worden gegeven. Hier wordt ook de maximale groeisnelheid en de verdeling van de groei over de spruiten en wortels opgegeven. Daarnaast staan in dit bestand gegevens over de nutriëntenstatus van de vegetatie in de vorm van C/N- en C/P-quotiënten. Als laatste kan hier worden gekozen voor het al of niet maaien van de vegetatie.

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de herkomst van gegevens die betrekking hebben op de vegetatie.

Tabel 2 Bronnen van invoergegevens in ECONUM voor de vegetatie per standplaatstype.

Bron	Invoergegevens per standplaatstype						
	goor- eerd- gronden	pod- zol- gronden	beek- eerd- gronden	koop- veen- gronden	made veen- gronden	vlier- veen- gronden	vliet- veen- gronden
Berendse et al.	1989	C/N C/P					
Bink	1978		Biomassa	Biomassa			
Bradburry en Grace	1983				Biomassa	Biomassa	Biomassa
Egloff	1986		C/N C/P	C/N C/P			
Gimingham et al.	1979	Biomassa					
Grootjans	1985				N-min. Biomassa		
Koerselman	1989					C/N C/P	C/N C/P
Perkins et al.	1978	C/N C/P Biomassa					
Vermeer	1985					C/N C/P Biomassa	C/N C/P Biomassa
Verhoeven et al.	1983				C/N C/P		

In tabel 3 zijn voor elke staal de waarden van belangrijke invoergegevens weergegeven, zoals die bij de berekeningen zijn gebruikt. Hierbij geven verd. fr1 tot en met verd. fr5 de verdeling over de vijf organische stoffracties weer. De eerste twee fracties zijn afkomstig van de plant en stellen makkelijk en moeilijk afbreekbare verse organische stof voor (alle afgestorven plantedelen komen dus in deze twee fracties terecht; verd. fr1 + verd. fr2 = 1,0). Deze worden omgezet in drie fracties bodemorganische stof, waarbij 79,5% verdwijnt als CO₂.

Tabel 3 Overzicht van de waarden van belangrijke invoergegevens in ECONUM in de wortelzone voor de zeven standplaatstypen.

Invoergegevens	Standplaatstype						
	goor- eerd- gronden	pod- zol- gronden	beek- eerd- gronden	koop- veen- gronden	made veen- gronden	vlier- veen- gronden	vliet- veen- gronden
BODEM VASTE FASE							
capil. opstijging (cm)	70	70	80	40	70	75	70
dikte wortelzone (cm)	30	30	40	20	30	20	20
bulkdichtheid (g/cm ³)	1,4	1,4	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1
perc. lutum (%)	3	3	6	54	10	20	50
perc. org. stof (%)	4,5	3,3	3	26	46	60	85
por. vol. (%)	46	46	43	72	83	80	89
buf. cap. P (mmol/kg)	16	1,2	17	20	25	4	22
BODEM ORGANISCHE STOF							
verd. fr1 (-)	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6
verd. fr2 (-)	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
verd. fr3 (-)	,05	,022	,05	,08	,085	,075	,05
verd. fr4 (-)	,103	,14	106	,092	,119	,09	,103
verd. fr5 (-)	,052	,0425	049	,033	,001	,04	,052
hoev. fr1 (mol/m ³ C)	7,3	13	10	212	170	160	22
hoev. fr2 (mol/m ³ C)	78	148	183	1198	959	146	237
hoev. fr3 (mol/m ³ C)	11,4	5,4	16	351	253	160	32
hoev. fr4 (mol/m ³ C)	566	859	1071	2726	1194	1476	1826
hoev. fr5 (mol/m ³ C)	1977	898	718	3571	3515	3362	1992
C/N fr1 (mol C/mol N)	28	83	33	32	52	44	66
C/N fr2 (mol C/mol N)	29	83	33	33	54	43	62
C/N fr3 (mol C/mol N)	10	12	10	8	8	12	10
C/N fr4 (mol C/mol N)	16	25	14	12	12	20	16
C/N fr5 (mol C/mol N)	25	62,5	25	20	20	28	20
C/P fr1 (mol C/mol P)	4000	8333	4000	1111	1766	10000	6250
C/P fr2 (mol C/mol P)	4166	8333	9000	1351	1785	10000	5000
C/P fr3 (mol C/mol P)	961	588	1298	300	300	2380	2500
C/P fr4 (mol C/mol P)	1587	1163	1852	469	469	3704	4761
C/P fr5 (mol C/mol P)	2380	2857	3448	752	752	5263	7143
VEGETATIE							
biom. spruit (g/m ² C)	139	1014	181	232	271	416	449
biom. wortel (g/m ² C)	209	1824	181	232	271	623	998
spruit/wortel (-)	0,6	0,5	1,0	1,0	1,0	0,6	0,5
eff. watergebruik (mol/m ³ C)	81	100	144	108	125	115	123
C/N (mol C/mol N)	26	43	25	25	27	33	33
C/P (mol C/mol P)	1786	3333	3333	1000	769	5263	2941
maaifractie (-)	0,8	(0,15)	0,8	0,75	0,75	0,75	0,75

Deze fracties worden op hun beurt ook weer omgezet, waarbij wederom 79,5% verdwijnt als CO₂ (verd. fr3 + verd. fr4 + verd. fr5 + 0,795 = 1,0).

Hoefv. geeft de hoeveelheid van een bepaalde fractie aan, zoals die bij het begin van de simulatie aanwezig is. Bij de vegetatiegegevens geeft eff. watergebruik de maximale groei in mol C groei per m³ water die door de vegetatie onder optimale omstandigheden verdampt wordt.

Voor het vegetatiekundig beheer onderscheidt het model maaien met of zonder afvoer van het gemaaide gedeelte. De maaifractie geeft de fractie aan die bij het maaien van de vegetatie wordt afgesneden. Bij de veldpodzolgronden staat het getal tussen haakjes, omdat hier niet gemaaid wordt. Het getal geeft hier de fractie aan die in de herfst afsterft en zo op de bodem terecht komt.

2.3 Calibratie

Na het verzamelen van de benodigde invoergegevens blijven nog invoerparameters onbekend. De initiële concentratie van de bodemoplossing is hiervan al genoemd. Meestal zijn hiervan geen directe meetgegevens voorhanden, zodat ze geschat moeten worden. Met uitzondering van fosfaat is de beginschatting echter niet erg kritisch, aangezien het model zelf snel naar een evenwichtssituatie toerekent. Een aantal jaren doorrekenen met een willekeurige beginschatting levert een evenwicht op dat dan als initiële schatting voor de concentratie kan dienen. Voor fosfaat bepaalt de beginschatting echter indirect de voorraad fosfaat aan het complex en daarmee ook de mogelijkheden van buffering van de fosfaatconcentratie.

Aangezien metingen van fosfaatvoorraden in de relevante standplaatstypen voor dit onderzoek niet voorhanden zijn, is getracht deze te schatten door uit te gaan van de vegetatie. De fosforgehalten van de vegetaties zijn meestal nog wel uit de literatuur te halen. Door een simulatie te maken met een willekeurige fosfaatconcentratie in de bodem wordt snel duidelijk of het fosfaatgehalte in de vegetatie verandert. Bij een te kleine fosfaatvoorraad in de bodem zal het gehalte in de vegetatie snel teruglopen. Bij een te grote fosfaatvoorraad vindt ophoping in de vegetatie plaats. Impliciet wordt hierbij verondersteld dat de fosfaatconcentratie in het bodemvocht wordt gecontroleerd door het adsorptie-evenwicht. Herhaaldelijk aanpassen van de beginconcentratie in de bodem en het model de gegevens enige jaren laten doorrekenen, levert uiteindelijk een redelijke schatting voor de beginconcentratie in de bodem op.

Een tweede onbekende is de verdeling van de organische stof over de verschillende fracties. Wel is de totale hoeveelheid organische stof in de bodem bekend en het C/N-quotiënt. De fracties kennen een verschillende afbraaksnelheid die omgekeerd evenredig is met het specifieke C/N-quotiënt voor die fractie. De C/N-quotiënten van de fracties drie en vier zijn overgenomen uit Jenkinson en Rayner (1977) en het C/N-quotiënt van de fracties 1 en 2 is afgeleid uit het C/N-quotiënt van de vegetatie. Het C/N-quotiënt van

fractie 5 is bij de veldpodzolgronden gelijk aan fractie 5 uit Jenkinson en Rayner. Bij de overige bodemeenheden hebben we te maken met systemen die veel meer stikstof bevatten dan het systeem van Jenkinson en Rayner. Om toch met de 5 fracties te kunnen voldoen aan het gemeten totale C/N-quotiënt van de bodem is hier fractie 5 vervangen door fractie 4 en is een intermediaire fractie toegevoegd. Deze ligt dus voor C/N-quotiënt en afbraaksnelheid tussen de fractie 3 en 4 in van Jenkinson en Rayner. Het is nu mogelijk om met de verdeling van de af te breken organische stof over de verschillende fracties en de initiële hoeveelheden van de fracties een zodanige instelling te verkrijgen, dat deze voldoet aan de gemeten waarden van het organische stofpercentage en het C/N-quotiënt van de bodem.

Vervolgens kan met gegevens over de potentiële groei, de verdeling van de groei en de afsterfsnelheid over spruiten en wortels, een zodanige instelling worden verkregen, dat een stabiel systeem ontstaat. Daarbij wordt gecalibreerd op de bekende waarden voor de biomassa, de hoeveelheid organische stof en het C/N-quotiënt in de bodem. Hierbij moet het systeem, waar de gemeten waarden aan ontleend zijn, ook in evenwicht verkeren. Het C/N-quotiënt dat de vegetatie, dat door het model wordt aangepast aan de hand van opname en groei, mag hierbij niet te veel gaan afwijken van het uit de literatuur bekende C/N-quotiënt voor de betreffende vegetatie.

2.4 Onzekerheden in invoer en aannamen

Bij het modelleren van complexe systemen, zoals het bodem-water-vegetatiesysteem moeten bij de schematisatie aannamen worden gedaan. Daarnaast is meestal een aantal processen niet afdoende of niet onder alle omstandigheden voldoende bekend, zodat schattingen moeten worden gemaakt, die niet geverifieerd kunnen worden. Dit heeft onzekerheden tot gevolg. Hoe groot de invloed van deze onzekerheden is, kan pas na een uitgebreide gevoeligheidsanalyse van alle betreffende parameters worden aangegeven. Wegens tijdgebrek is zo'n gevoeligheidsanalyse nog niet uitgevoerd. Om een indruk te geven van de omvang van het probleem worden betreffende parameters hierna kort besproken.

De diffusiecoëfficiënt van fosfaat is afgeleid uit Olson en Watanabe (1963) en Nye en Tinker (1977) die laboratoriumexperimenten hebben gedaan om het gedrag van P-opname te kunnen beschrijven. De gevonden resultaten verschillen echter aanzienlijk en worden beïnvloed door vochtgehalte en percentage lutum.

De opnamesnelheden van ammonium, nitraat, sulfaat, fosfaat en zuurstof door planten en micro-organismen zijn afgeleid door calibratie op gegevens uit twee proefgebieden: Empese en Tondense Heide en Veerstalblok (Mankor en Kemmers, 1987). Ditzelfde geldt voor denitrificatie-, nitrificatie- en oxydatiesnelheid. Veldmetingen of laboratoriumexperimenten om de waarden van deze para-

meters onder verschillende omstandigheden te bepalen zullen in de toekomst moeten worden uitgevoerd. Ook hier zal een uitgebreide gevoeligheidsanalyse een beter inzicht kunnen geven in de invloed van de verschillende parameters op de uiteindelijke resultaten van de berekeningen. Hierbij is de uitgangssituatie van zeer veel belang voor de te verwachten resultaten. Zo zal de invloed van de denitrificatiesnelheid onder droge omstandigheden te verwaarlozen zijn, terwijl deze onder natte omstandigheden juist zeer veel invloed zal hebben.

Bij het beschrijven van de groei van de vegetatie wordt gebruik gemaakt van de efficiëntie van watergebruik. Met deze parameter wordt de maximale groei bij een gegeven watergebruik ingesteld. Deze groei wordt over spruiten en wortels verdeeld volgens een verdeelfunctie (Rijtema, 1980) die gebaseerd is op gegevens van Rose et al. (1972) over de groei van tropisch grasland. Bij de berekeningen voor dit onderzoek bleek dat de gebruikte parameters danig aangepast moesten worden om aan de geldende groei van de betreffende vegetatietypen te kunnen voldoen. Deze groei is de resultante van de aangegroeide en afgestorven hoeveelheid materiaal. De afsterfsnelheid is zodanig gekozen, dat de hoeveelheid organische stof in de bodem ongeveer constant blijft, mede afhankelijk van de afbraaksnelheid van de organische stof. Verandering van één van deze parameters heeft meteen gevolgen voor alle andere. Andere parameters, zoals wortelstraal en de snelheidsconstante voor de vorming van exudaten zijn niet uit experimenten of literatuur bekend, terwijl ook hun precieze invloed op het model nog niet bekend is. Zij zijn dan ook voor alle berekeningen op dezelfde waarde gehandhaafd. De groei van de vegetatie kan, behalve door vochtgebrek, ook worden geremd door stikstof- of fosfaatgebrek. Het traject in deze reductie is voor een aantal vegetatietypen afgeleid uit gegevens van Verhoeven et al. (1983) en Berendse et al. (1989). Boven een bepaalde waarde van het C/N- of C/P-quotiënt van de vegetatie treedt reductie van de groei op als gevolg van stikstof- of fosfaatgebrek. Voor de overige typen moest een schatting worden gebruikt.

Zoals al vermeld, is de organische stof in de bodem onderverdeeld in vijf verschillende fracties. Over de hoogte van C/N-quotiënten van verschillende fracties bodemorganisch materiaal is weinig met elkaar overeenstemmende literatuur te vinden. Ook de afbraaksnelheden van de verschillende fracties zijn uitsluitend gebaseerd op de publicatie van Jenkinson en Rayner (1977), die betrekking hebben op langlopende proeven met graangewassen. Waarschijnlijk gelden in natuurterreinen andere condities. De invloed hiervan is echter onbekend. Van de fractie organische stof in oplossing en de fixatiesnelheid van lucht/stikstof zijn geen bruikbare experimentele gegevens voorhanden. Ook hiervoor zijn schattingen gemaakt die zoveel mogelijk in alle berekeningen dezelfde zijn gebleven.

De veengronden vormen een apart probleem bij de mineralisatie van organische stof. Bij de omzetting van organische stof verdwijnt het grootste gedeelte als CO_2 naar de atmosfeer. Bij minerale gronden die meestal niet meer dan 10% organische stof bevatten, blijft na oxydatie het minerale deel van de bodem over. Aangezien dit bij veengronden ontbreekt, of slechts een zeer gering gedeelte van de bodem inneemt, zal bij oxydatie van een veengrond de hele bodem verdwijnen. Dit kan met het model niet gesimuleerd worden. In het model neemt de hoeveelheid organische stof af, terwijl de laagdikte constant blijft. In werkelijkheid is dit juist andersom. De laagdikte neemt af, terwijl het gehalte aan organische stof niet erg zal veranderen. Naarmate meer oxydatie optreedt, zal het model verder van de werkelijke situatie afwijken. Dit kan aanleiding geven tot onderschatting van de werkelijke oxydatie en mineralisatie als gevolg van ontwatering van veengronden.

2.5 Beschrijving van de ingrepen

Als het model voor een bepaalde standplaats gecalibreerd is, kan begonnen worden met het berekenen van de effecten van verandering in de grondwaterstand van de standplaats. Hoe deze veranderingen tot stand komen, is beschreven in deel 1 uit deze reeks (Kemmers, 1990). In deze studie zijn zes verschillende ingrepen onderscheiden, scenario's genoemd, die hieronder in het kort zullen worden beschreven. De naamgeving van de scenario's heeft geen absolute betekenis. De ingreep versterkte drainage kan als gevolg van een verschil in geohydrologische omgeving in de ene regio een heel ander effect hebben op de grondwaterstand in de standplaats dan in een andere regio.

1. Versterkte drainage

Versterkte drainage heeft een verlaging van de grondwaterstand tot gevolg met het grootste effect in het voorjaar.

2. Versterkte drainage en peilbeheer

De verlaging van de grondwaterstand als gevolg van versterkte drainage wordt in het voorjaar beperkt door het opzetten van het waterpeil in de sloten met stuwen. De daling van de grondwaterstand in de zomer is vergelijkbaar met die in scenario 1, maar treedt pas later op.

3. Versterkte drainage en wateraanvoer

De verlaging van de grondwaterstand als gevolg van versterkte drainage wordt in de zomer opgeheven door het aanvoeren van gebiedsvreemd water. De voorjaarsgrondwaterstand is vergelijkbaar met die van scenario 1, maar de zomergrondwaterstand blijft vergelijkbaar met de uitgangssituatie.

4. Grondwaterwinning

Grondwaterwinning vindt het gehele jaar door plaats, waardoor de voorjaars- en de zomergrondwaterstand in gelijke mate zullen dalen.

5. Beregening uit grondwater voor landbouw

Beregening vindt voornamelijk plaats in de zomer. Bij dit scenario zal dus alleen de zomergrondwaterstand dalen.

6. Interne waterconservering

Door waterconservering binnen de standplaats kan de grondwaterstand in het voorjaar iets stijgen. De zomergrondwaterstand zal weinig afwijken van de uitgangssituatie.

Zoals al vermeld worden de effecten van de ingrepen op de vochtvoorziening berekend met het model WATBAL. Hoe de verschillende ingrepen in WATBAL zijn gedefinieerd wordt beschreven in deel 3 (Groenendijk, 1990). De uitkomsten van de berekeningen met WATBAL kunnen direct door ECONUM worden ingelezen, zodat de verschillende ingrepen met ECONUM doorgerekend kunnen worden door het ene uitvoerbestand van WATBAL door het andere te vervangen. Afhankelijk van het scenario zal een ingreep vooral de voorjaarsgrondwaterstand of de zomergrondwaterstand beïnvloeden. Ook kunnen de voorjaars- en zomergrondwaterstand in gelijke mate worden beïnvloed. Het effect van de ingreep op de grondwaterstand komt in orde van grootte neer op een verlaging van ca. 10 cm (geringe dosis), 20 cm (matige dosis) en 40 cm (sterke dosis).

2.6 Uitvoergegevens

Als gevolg van alle berekeningen ontstaat een grote hoeveelheid uitvoer die kan worden verdeeld in bodem- en vegetatiegegevens. De bodemgegevens kunnen worden onderverdeeld in concentratiegegevens, organische-stofgegevens en mineralisatiegegevens. De vegetatiegegevens kunnen worden onderverdeeld in gehaltegegevens, groeigegevens en biomassagegegevens. Van al deze uitvoergegevens is voor de presentatie in dit rapport een keuze gemaakt. Aangezien het bij dit onderzoek ging om de relatie tussen waterbeheer en nutriëntenbeschikbaarheid, worden in hoofdstuk 3 alleen gegevens gepresenteerd die hier direct betrekking op hebben. Dit zijn de biomassa van de vegetatie, de organische-stofvoorraad en het C/N-quotiënt van de bodem en de stikstofmineralisatie. De overige gegevens zijn als gevolg van de beschikbare ruimte niet weergegeven, hoewel ze bij de calibratie veelal wel gebruikt zullen zijn.

Om toch een idee te geven van de uitvoer van het model volgt een korte beschrijving van de verschillende uitvoergegevens. Als eerste zijn er gegevens die betrekking hebben op de bodem. Aan het eind van elke tijdstap wordt voor elke laag de concentratie van ammonium, nitraat, fosfaat en zuurstof gegeven. Dit levert voor elke stof een apart uitvoerbestand op. Voor de gegevens die

betrekking hebben op de decompositie is een bestand met daarin per tijdstap de verdeling van de organische stof over de verschillende fracties in de wortelzone, alsmede de totale hoeveelheid koolstof in de wortelzone met het bijbehorende C/N- en C/P-quotiënt. Als laatste worden in dit bestand de verschillende reductiefactoren van de onderste wortellaag gegeven die de decompositie beïnvloeden. Aan het einde van de simulatieperiode wordt een bestand gemaakt met een overzicht van de verdeling van de vijf fracties organische stof over de verschillende lagen en de C/N- en C/P-quotiënten van fractie één en twee. Voor de gegevens over de vegetatie is één uitvoerbestand voldoende. Hierin zijn achtereenvolgens opgenomen de biomassa van de spruiten, de biomassa van de wortels, de totale biomassa (spruiten en wortels), het C/N- en C/P-quotiënt van de vegetatie, de reductiefactor als gevolg van een te laag stikstof- of fosfaatgehalte, de hoeveelheid afgestorven vegetatie, de worteldichtheid in de bovenste laag, de hoeveelheid bijgegroeide vegetatie en de netto groei.

Om een overzicht te houden over de verschillende processen is in een ander uitvoerbestand de hoeveelheid stikstof, fosfaat en zuurstof tijdens de tijdstap door de planten opgenomen weergegeven. Verder worden de door de afbraak van organische stof vrijgekomen hoeveelheid stikstof en fosfaat en de daarbij verbruikte hoeveelheid zuurstof vermeld. Als laatste in dit bestand staat de hoeveelheid stikstof die bij denitrificatie of bij nitrificatie is omgezet. Dezelfde gegevens maar dan gesommeerd over een jaar zijn opgenomen in een apart bestand. Hierin zijn ook de hoeveelheden stikstof en fosfaat weergegeven die aan het eind van het jaar in het systeem aanwezig zijn. Deze hoeveelheden zijn gespecificeerd in een mineraal deel, een organisch deel en een deel aanwezig in de vegetatie.

3 RESULTATEN

Aan de hand van fig. 2 t/m 15 worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd. Zoals in paragraaf 2.6 al is aangegeven gaat het hierbij om een selectie van de uitvoergegevens. Zelfs na deze selectie is de hoeveelheid gegevens nog enorm. Presentatie in de vorm van tabellen is dan ook achterwege gelaten. In de figuren wordt het moeilijker om precieze waarden af te lezen, maar gezien de onzekerheden in berekeningen en aannamen wordt dit bezwaar van gering belang geacht. Veel belangrijker is het om inzicht te krijgen in de richting waarin veranderingen zich voltrekken. Voor dit doel zijn deze figuren zeer geschikt. Elke figuur heeft betrekking op een bepaald scenario. Vergelijking van de figuren onderling geeft inzicht in de verschillen tussen de scenario's.

Zoals in par. 2.2 al is vermeld, zijn voor de simulatie van het weer neerslag-, verdampings- en temperatuurgegevens van het KNMI in De Bilt gebruikt. Het betreft gegevens op decadebasis over een 30-jarige periode van 1952 tot en met 1981. Bij de berekeningen is deze periode meestal een keer herhaald, zodat in totaal 60 jaren zijn doorgerekend. De eerste vijf jaren van de rekenperiode zijn nodig om een zekere stabiliteit te bereiken en worden bij de bespreking van de resultaten buiten beschouwing gelaten. Het eerste jaar in de figuur valt daardoor samen met het reële weerjaar 1957. Jaar 25 valt dan samen met het reële weerjaar 1981 en daarna begint weer het reële weerjaar 1952. In totaal wordt een periode van 30 jaar gepresenteerd, zodat het laatste jaar samenvalt met het reële jaar 1956. In tabel 4 zijn de gegevens van de vijf droogste en de vijf natste jaren weergegeven, omdat die een belangrijke rol spelen bij de interpretatie van de resultaten.

Tabel 4 Weergegevens van de vijf droogste en de vijf natste jaren uit de simulatieperiode.

Reële jaar	Simulatie jaar	Neerslag (mm)	Referentie verdamping (mm)	Neerslag overschot (mm)	Temperatuur som (°C)
1959	3	536	841	-306	3654
1976	20	536	832	-296	3657
1971	15	562	743	-179	3477
1975	19	635	776	-141	3598
1953	27	597	726	-129	3635
1961	5	925	698	227	3559
1974	18	993	733	260	3544
1960	4	929	654	275	3504
1965	9	1152	677	475	3125
1966	10	1148	664	484	3436

De gepresenteerde fig. 2 t/m 15 zijn steeds op dezelfde wijze opgebouwd. Elke figuur bestaat uit vijf deelfiguren (a t/m e) en in elke deelfiguur komen drie of vier lijnen voor. De doorgetrokken lijn geeft in elke figuur de uitgangssituatie weer (dosis 0). Binnen een bodemeenheid zijn de doorgetrokken lijnen in dezelfde deelfiguren dus identiek. De gestippelde lijnen geven het effect van de verschillende doses van het betreffende scenario weer. Hierbij is 1 steeds de geringste en 3 de grootste dosis. De geringste dosis betreft een verlaging van de grondwaterstand met ca. 10 cm. Een matige dosis en een grote dosis hebben een verlaging van de grondwaterstand van ca. 20 cm respectievelijk ca. 40 cm tot gevolg. De deelfiguren hebben achtereenvolgens betrekking op de biomassa van de spruiten (a) en de wortels (b), de hoeveelheid organische stof in de wortelzone (c), het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone (d) en de stikstofmineralisatie (e).

Zoals al in par. 2.5 is vermeld zijn zes verschillende scenario's onderscheiden. Deze zes scenario's zijn echter niet voor alle standplaatsen relevant, waardoor voor een aantal standplaatsen maar drie of vier scenario's zijn doorgerekend. Tabel 5 geeft voor elke standplaatstype aan welke scenario's relevant zijn geacht.

Tabel 5 De standplaatstypen met de doorgerekende scenario's.

Standplaats	Doorgerekend scenario					
	1	2	3	4	5	6
Goorendgronden	wel	wel	wel	wel	wel	wel
Veldpodzolgronden	wel	wel	wel	wel	wel	wel
Beekeendgronden	wel	wel	wel	wel	wel	wel
Koopveengronden	wel	niet	wel	wel	niet	wel
Madeveengronden	wel	niet	niet	wel	niet	wel
Vlierveengronden	wel	niet	niet	wel	niet	wel
Vlietveengronden	wel	niet	niet	wel	niet	wel

In een aantal gevallen geven verschillende scenario's vergelijkbare resultaten. In die gevallen is slechts één van de scenario's als figuur gepresenteerd en wordt in de tekst gerefereerd naar de andere scenario's.

3.1 Veldpodzolgronden

Voor de veldpodzolgronden wordt slechts één van de zes relevante scenario's gepresenteerd. Zowel scenario 3, drainage + wateraanvoer, als scenario 6, interne waterconservering, geven geen reactie te zien op de gepleegde ingreep: de doses-lijnen vallen samen met de doorgetrokken lijn (het nul-scenario). Deze scenario's zijn dan ook niet als figuur weergegeven. De overige scenario's

(1, 2, 4 en 5) geven onderling een ongeveer gelijke reactie te zien, zodat kan worden volstaan met het presenteren van één figuur.

In fig. 2 zijn de resultaten van de berekeningen voor scenario 4, grondwaterwinning, weergegeven. Voor de duidelijkheid van de figuur zijn slechts de eerste twee van de drie berekende doses weergegeven. De derde dosis geeft een iets grotere reactie dan dosis twee volgens hetzelfde patroon. In fig. 2a is te zien dat de biomassa van de spruiten als gevolg van de ingreep enigszins afneemt. Deze reactie is in de drogere jaren groter dan in de normale of natte jaren. De biomassa van de wortels die in fig. 2b wordt weergegeven, laat een grotere reactie zien. De herstelperiode na een droog jaar is beduidend groter dan bij de spruiten. Bij dosis 2 is de schade zelfs van blijvende aard en komt de wortelbiomassa op een lager niveau terecht, zowel door de geringe groeisnelheid van de wortels als door het hoge niveau van wortelbiomassa en de daarmee samenhangende heftige reactie op een verstoring van het spruit/wortel-evenwicht. In fig. 2c is te zien dat de hoeveelheid organische stof in de bodem continu toeneemt. Dit is het gevolg van het samenvoegen van gegevens uit verschillende literatuurbronnen en veldgegevens tot één standplaats. Er is dan geen evenwicht tussen de vegetatie en de bodem. De biomassa van de vegetatie ligt op een hoger niveau dan volgens de gegevens over de organische stof in de wortelzone mogelijk zou zijn. Door de lage omzettingssnelheid van organische stof duurt het erg lang voor een nieuw evenwicht is bereikt. De fig. d en e laten weinig reactie zien op de opgelegde ingrepen. Blijkbaar zijn de effecten van de verminderde vochtbeschikbaarheid te gering om een blijvende invloed te hebben op de stikstofkringloop.

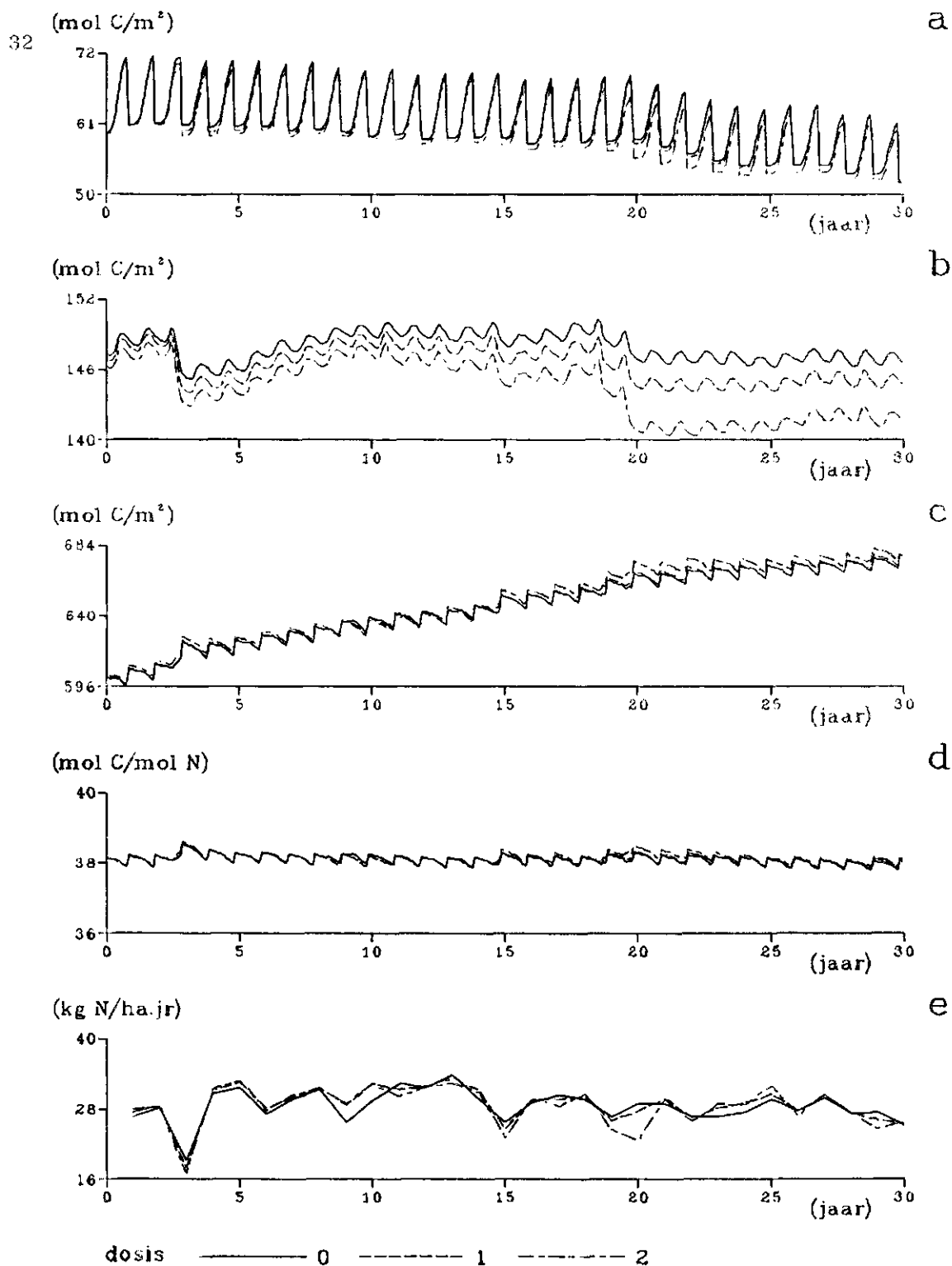


Fig. 2 Effecten van verschillende doses grondwaterwinning op het verloop in een veldpodzolgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

3.2 Gooreerdgronden

Voor de gooreerdgronden worden drie van de zes relevante scenario's gepresenteerd. Fig. 3 geeft de resultaten van de berekeningen volgens scenario 1, versterkte drainage, weer. Van dit scenario zijn alleen dosis 1 en 3 weergegeven. Dosis 2 geeft resultaten die tussen de resultaten van dosis 1 en 3 liggen en is voor de duidelijkheid van de figuur weggelaten. De resultaten van de berekeningen volgens de scenario's 3, 4 en 5 geven soortgelijke uitkomsten en zijn daarom niet als aparte figuren in de tekst opgenomen. In fig. 3a is te zien dat de lijnen vrijwel samen-vallen. Slechts in enkele jaren blijkt een gering effect van de ingreep op de biomassa van de spruiten op te treden. Dit is het duidelijkst te zien in de winterperiode als de curve nog een vlak verloop heeft. Bij het maaien wordt een percentage van de staande biomassa verwijderd. Als in de zomer de vegetatie minder groeit als gevolg van vochttekort zal er na het maaien ook minder over-blijven. Daardoor zal in de winter die volgt op een droge zomer het effect van een vochttekort het duidelijkst zichtbaar zijn. In fig. 3b liggen de lijnen duidelijk verder uitelkaar door de sterke reactie van de wortelbiomassa op een verstoring van het spruit/wortelevenwicht en een geringere effectieve groeisnelheid van de wortels. Naast een groter effect van de ingreep op de biomassa is ook de herstelperiode langer. Als gevolg van de gro-tere sterfte van de wortels neemt de hoeveelheid organische stof in de wortelzone geleidelijk iets toe, zoals te zien is in fig. 3c. Net als bij de veldpodzolgrond geldt ook hier dat er geen evenwicht is tussen de biomassa van de vegetatie en de orga-nische stof in de bodem. In dit geval is er echter te veel orga-nische stof in de bodem aanwezig ten opzichte van de biomassa, zodat deze geleidelijk afneemt. In de volgende deelfiguur is het effect van de ingreep op de C/N-verhouding in de wortelzone weergegeven, die verwaarloosbaar klein is. Als laatste is het effect op de stikstofmineralisatie weergegeven. Deze neemt in geringe mate af door een geringere beschikbaarheid van vocht wat een negatieve invloed heeft op de mineralisatiesnelheid.

Fig. 4 geeft de resultaten van de berekeningen volgens scenario 2, versterkte drainage + peilbeheer, weer. Van dit scenario zijn slechts 2 doses berekend. Wederom vallen de lijnen in deelfiguur 4a vrijwel samen. In fig. 4b liggen de doseslijnen over elkaar, maar hoger dan de lijn van de uitgangssituatie. Als gevolg van het peilbeheer is in het voorjaar meer water beschikbaar. Hierdoor treedt een geringe verbetering van de groei op. Daarnaast wordt het effect van enkele droge jaren, met name jaar 15 en 19, opgeheven, waardoor de wortels zich niet hoeven te herstellen van een droge periode. In fig. 4c is te zien dat het effect op de hoeveelheid organische stof in de wortelzone te ver-waarlozen is. Ditzelfde geldt voor het effect op de C/N-verhouding in fig. 4d. In de laatste figuur is het effect op de stikstof-mineralisatie weergegeven.

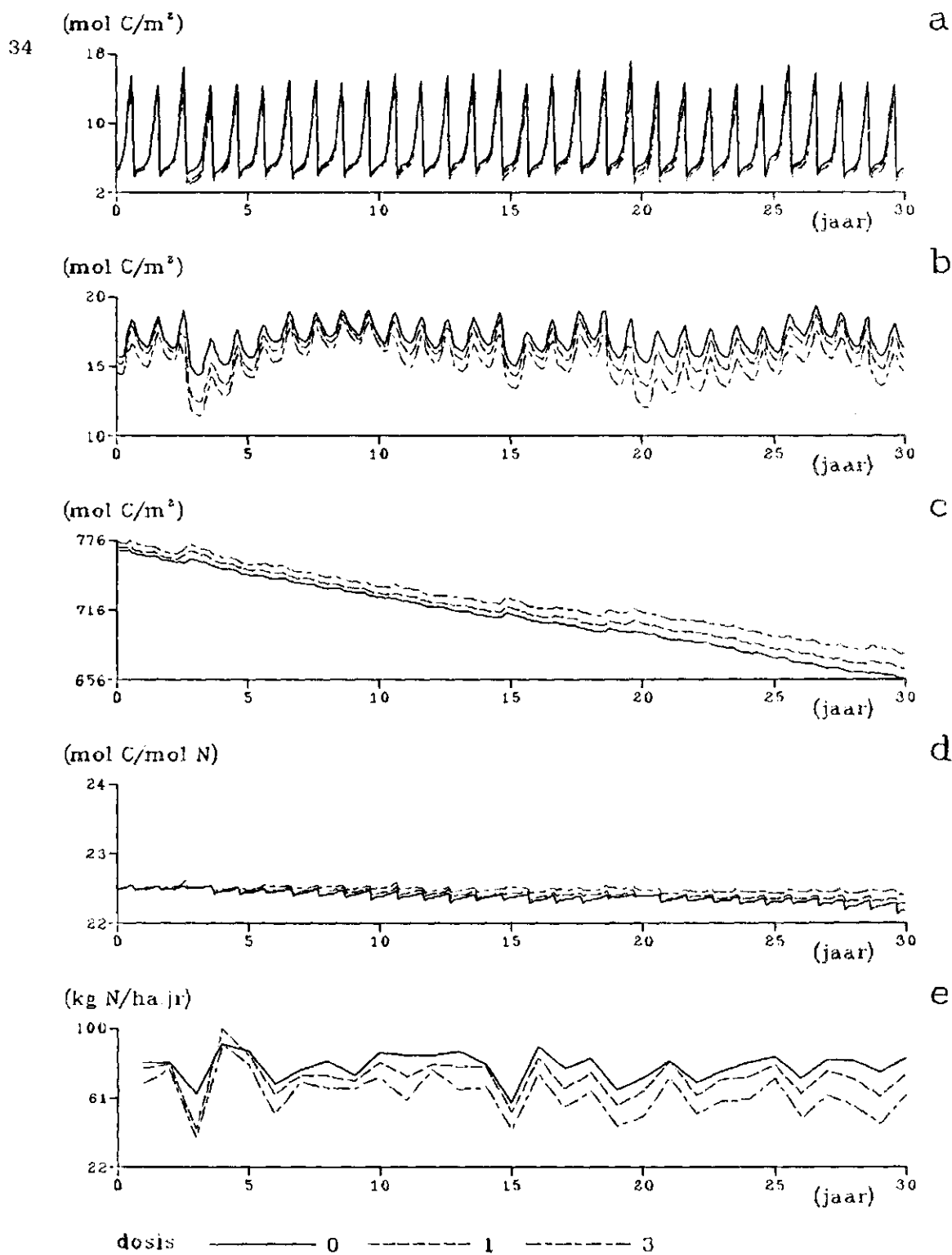


Fig. 3 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage op het verloop in een gooreerdgrond van van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

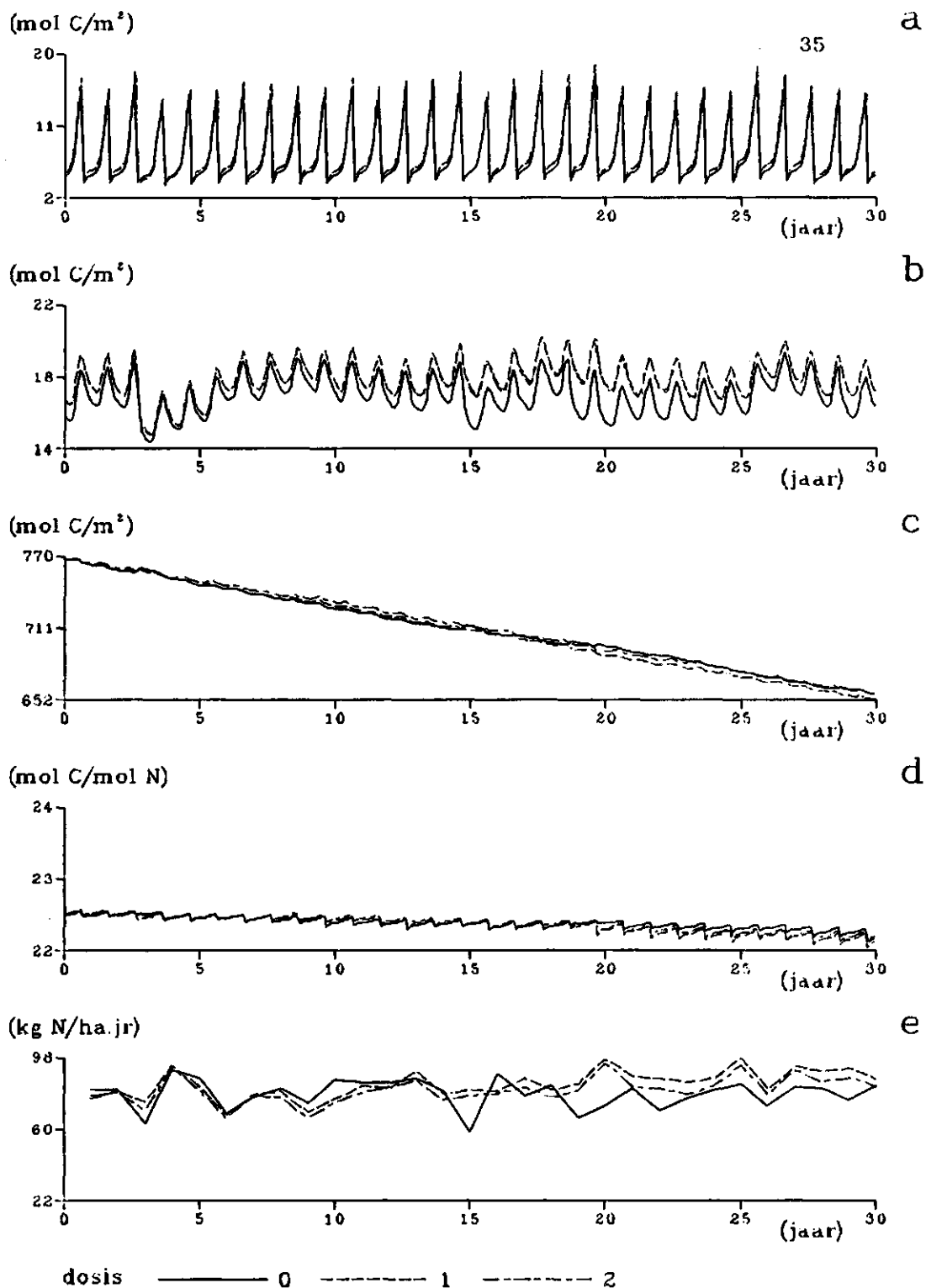


Fig. 4 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage en peilbeheer op het verloop in een gooreerdgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstof-mineralisatie in de wortelzone.

In eerste instantie is er weinig verschil met de uitgangssituatie. Rondom jaar 10 treedt een geringe afname van de mineralisatie op. Door de grotere vochtinhoud van de bodem neemt de beschikbaarheid van zuurstof af. Afhankelijk van de vraag naar zuurstof bij de decompositie kan bij een optredend tekort reductie van de decompositie optreden met als gevolg een verminderde mineralisatie van stikstof. De vermindering van de mineralisatie in de uitgangssituatie in jaar 15 is door het peilbeheer opgeheven, doordat er nu wel voldoende vocht beschikbaar is. Ook in de periode hierna treedt een iets hogere mineralisatie op door een verbeterde vochtbeschikbaarheid. De beperking door zuurstofgebrek treedt nu waarschijnlijk niet meer op, doordat er in totaal minder organische stof beschikbaar is voor decompositie (zie ook fig. 4c).

De resultaten van de berekeningen volgens scenario 6, interne waterconservering, zijn weergegeven in fig. 5. Ook van dit scenario zijn maar twee doses berekend. De effecten van dit scenario op de groei van de vegetatie zijn minimaal. De verschillende lijnen in de deelfiguren a en b vallen dan ook vrijwel samen. Door het opzetten van het waterpeil in het natuurgebied neemt de beschikbaarheid van zuurstof in het profiel af. Hierdoor wordt de decompositie afgeremd en blijft in het profiel meer organische stof over, zoals ook in fig. 5c te zien is. Als gevolg hiervan neemt ook de mineralisatie van stikstof enigszins af (fig. 5e). Het effect op het C/N quotiënt van de organische stof in de wortelzone blijft echter beperkt. Blijkbaar is er ondanks de verminderde mineralisatie nog voldoende stikstof beschikbaar.

3.3 Bekeerdgronden

Evenals bij de gooreerdgronden worden ook hier drie van de zes scenario's als figuur gepresenteerd. De resultaten van de berekeningen volgens scenario 2, versterkte drainage + peilbeheer, zijn weergegeven in fig. 6. De resultaten van berekeningen volgens scenario 5, berekening uit grondwater, geven gelijksoortige reacties te zien, zodat deze niet apart als figuur is weergegeven. Hierbij merken we op dat dosis 1 van scenario 5 ongeveer samenvalt met het uitgangsscenario en dat de uitkomsten van dosis 2 en 3 van scenario 5 vergelijkbaar zijn met dosis 1 en 2 van scenario 2. De fig. 6a en 6b geven alleen een reactie te zien in de droge jaren, wanneer de groei van de spruiten en de wortels geremd wordt door een vochttekort. In andere jaren vallen de lijnen precies samen. fig. 6c laat een gering effect zien op de decompositie van de organische stof in de wortelzone. Doordat in het begin van de zomer het waterpeil hoger is dan in de uitgangssituatie is de beschikbaarheid van zuurstof dan minder. Het gevolg is dat de decompositie iets achterblijft. Het effect is echter niet groot, zodat ook de mineralisatie van stikstof niet erg achteruit gaat. Het C/N-quotiënt van de organische stof in de bodem blijft hierdoor op hetzelfde peil gehandhaafd.

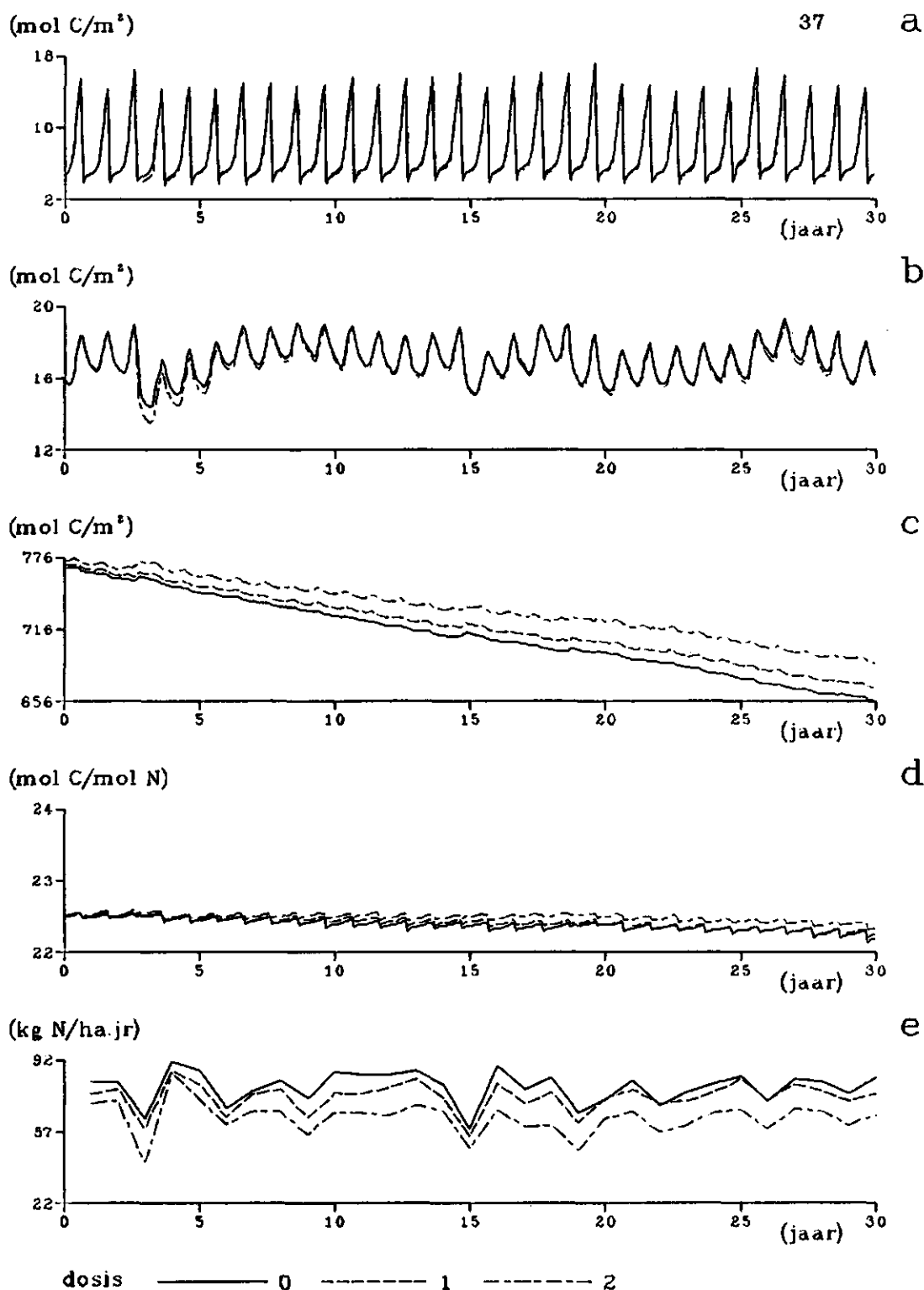


Fig. 5 Effecten van verschillende doses van interne waterconservering op het verloop in een gooreerdgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

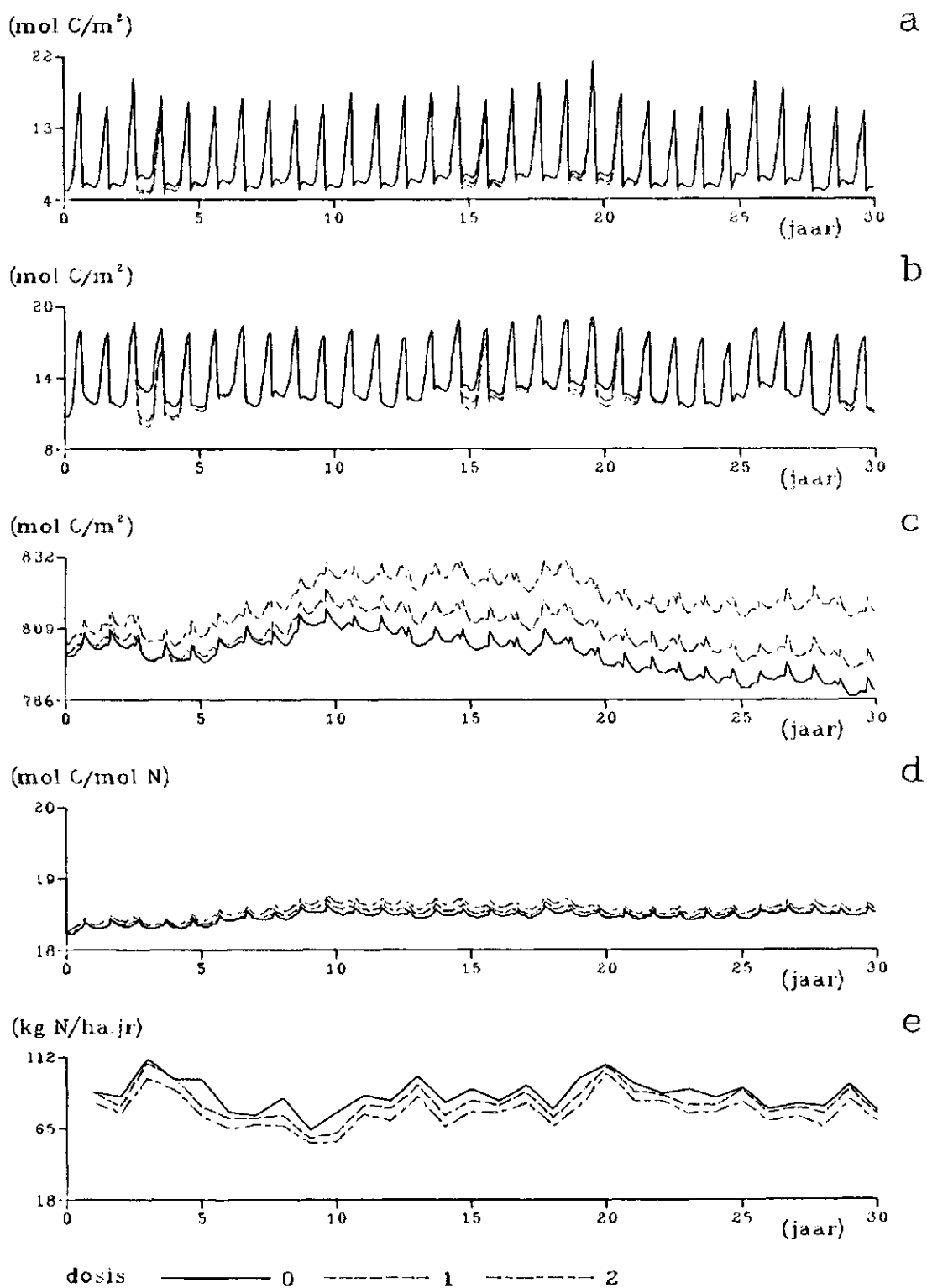


Fig. 6 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage en peilbeheer op het verloop in een beekerdgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

In fig. 7 zijn de resultaten van berekeningen volgens scenario 4 grondwaterwinning, weergegeven. Aangezien dosis 3 maar een iets grotere invloed heeft dan dosis 2 is dosis 3 voor de duidelijkheid van de figuur hieruit weggelaten. De scenario's 1, versterkte drainage, en 3, versterkte drainage + wateraanvoer, geven ongeveer gelijke resultaten zodat deze niet in een aparte figuur zijn weergegeven. De fig. 7a en 7b laten evenals bij scenario 2 weer een geringe invloed van de ingreep op de groei van de vegetatie zien. Alleen in de droge jaren treedt een afname van de groei op door het vochttekort in de zomer. In fig. 7c is te zien dat de hoeveelheid organische stof in de wortelzone als gevolg van de ingreep afneemt. Door de verbeterde ontwatering wordt de reductie als gevolg van zuurstoftekort opgeheven, waardoor een grotere decompositie optreedt. Als gevolg hiervan neemt de mineralisatie van stikstof in geringe mate toe (fig. 7e). De gevolgen voor het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone zijn echter verwaarloosbaar zoals in fig. 7d te zien is.

De resultaten van berekeningen volgens scenario 6, interne waterconservering, zijn weergegeven in fig. 8. De invloed van de ingreep op de groei van de vegetatie is nihil, zodat de doseslijnen in de fig. 8a en 8b samenvallen met de lijnen van het uitgangsscenario. De invloed van de ingreep op de decompositie is beduidend groter zoals te zien is in fig. 8c. Opvallend is de knik in de lijn die hoort bij de resultaten van dosis 2 in de buurt van jaar 18. Uit analyse van de uitvoerbestanden is gebleken, dat de decompositie hier grotendeels stil valt doordat de reductiefactor voor fosfaatgebrek nadert naar nul (dit betekent geen decompositie meer.) De oorzaak hiervan is tot nu toe nog niet precies bekend, maar wel is duidelijk dat dit niet in overeenstemming is met een reële situatie. Het model zal hierop in de toekomst nog moeten worden aangepast. De resultaten van deze dosis (2) zullen verder buiten beschouwing worden gelaten. Dosis 1 geeft een toename van de hoeveelheid organische stof te zien als gevolg van een afname van de decompositie. Door de interne waterconservering is er in het profiel minder zuurstof, wat een reductie van de decompositie tot gevolg heeft. Door de afnemende decompositie neemt ook de mineralisatie van stikstof af, waardoor het C/N-quotiënt van de bodem enigszins verhoogd wordt.

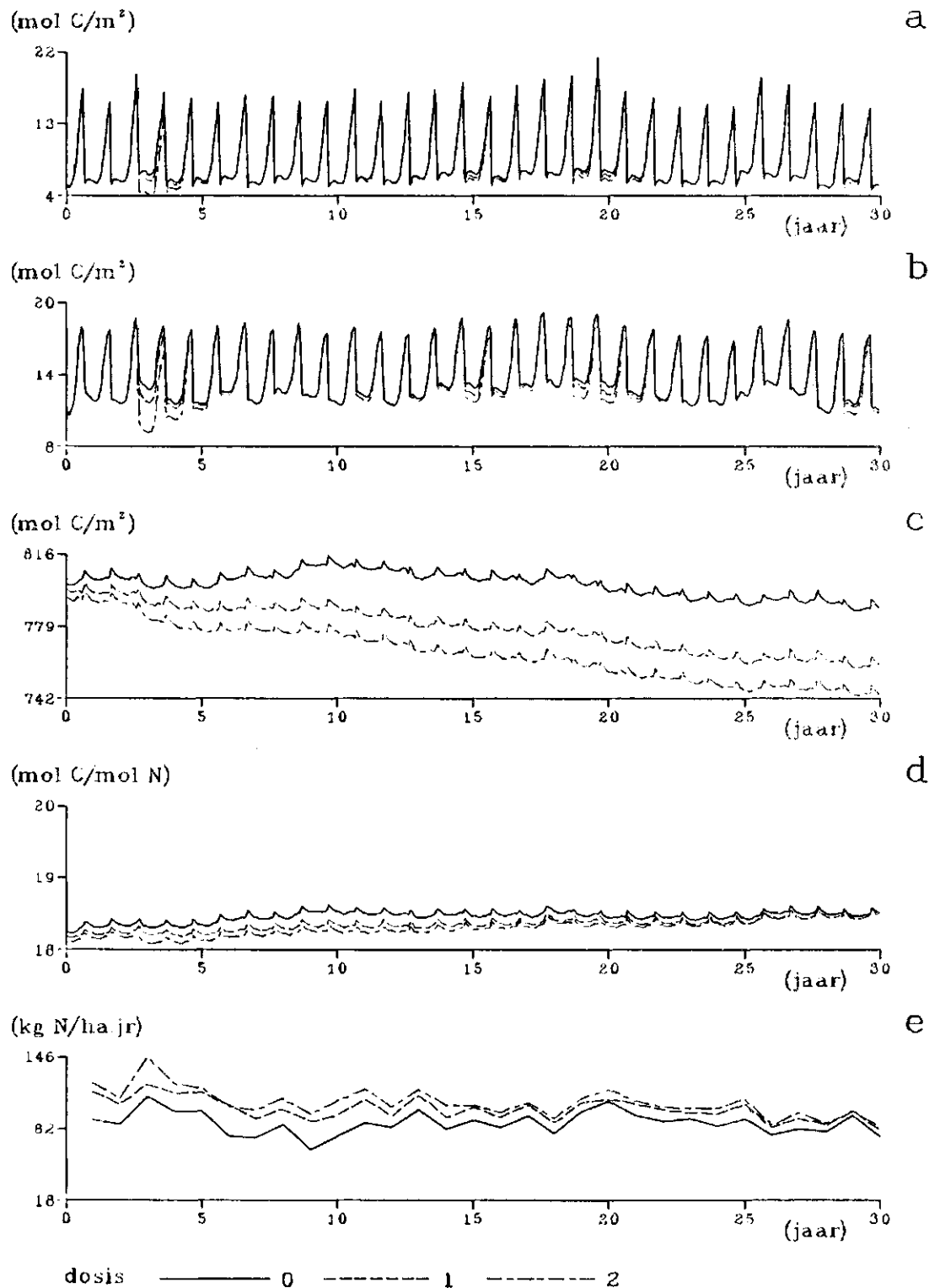


Fig. 7 Effecten van verschillende doses grondwaterwinning op het verloop in een beekerdgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

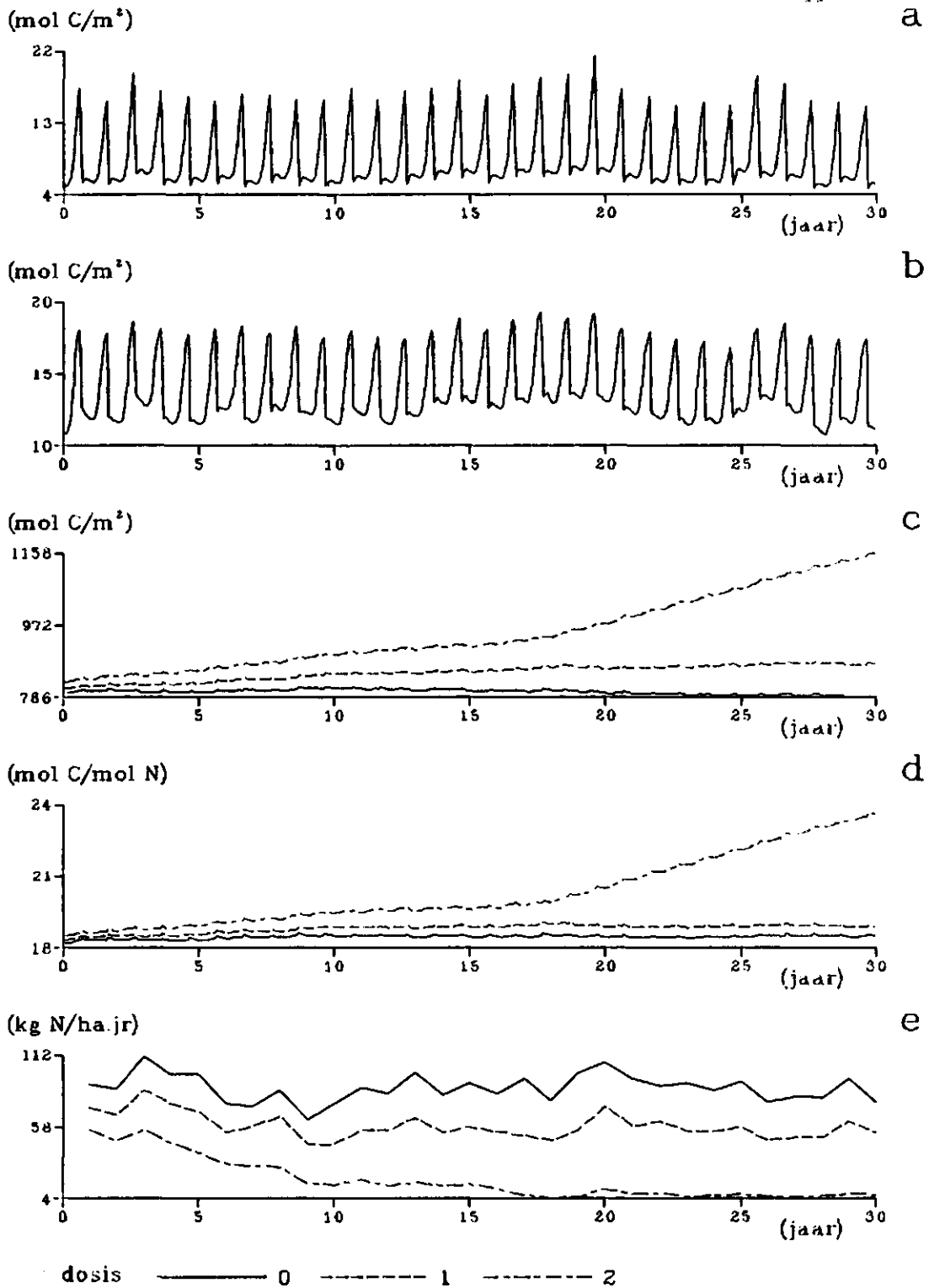


Fig. 8 Effecten van verschillende doses interne waterconservering op het verloop in een beekerdgrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

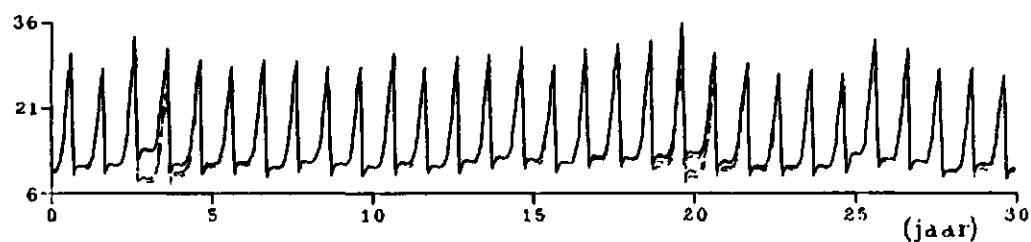
3.4 Madeveengronden

Voor de madeveengronden zijn slechts drie van de zes scenario's relevant geacht (tabel 5). Scenario 1, versterkte drainage, en scenario 4, grondwaterwinning, leveren vergelijkbare resultaten op, zodat kan worden volstaan met één figuur voor beide scenario's. In fig. 9 zijn de resultaten van de berekeningen volgens scenario 1 weergegeven. De reactie van biomassa van de spruiten op de gepleegde ingreep beperkt zich tot de droge jaren zoals in fig. 9a is te zien. De biomassa van de wortels (fig. 9b) laat een sterkere reactie zien. Echter, als gevolg van een andere schaalverhouding van de Y-as, is een directe vergelijking tussen de figuren bedrieglijk. De verschillen zijn dus minder groot dan ze op het eerste gezicht lijken. Doordat de wortelbiomassa sterk reageert op een verstoring van de spruit/wortelverhouding, treedt in de droge jaren een duidelijke val in de biomassa van de wortels op. Als gevolg van een lagere groeisnelheid van de wortels ten opzichte van de spruiten duurt het langer voor de wortels zich van een droog jaar hebben hersteld. Hierdoor is de wortelbiomassa ook in de jaren volgend op een droog jaar lager dan normaal, maar bij de spruiten niet meer. Verder heeft de eerste dosis bijna geen effect op de biomassa en hebben dosis twee en drie een bijna even groot effect. Dit komt doordat bij doses twee en drie de grondwaterstand zo diep wegzakt, dat in de zomer geen capillaire opstijging vanuit het grondwater tot in de wortelzone meer plaatsvindt, maar bij dosis één wel. Door de daling van de grondwaterstand als gevolg van de ingreep wordt bij de eerste dosis de beschikbaarheid van zuurstof vergroot, waardoor een sterkere decompositie mogelijk wordt. In fig. 9c is dit te zien aan de afname van de hoeveelheid organische stof in de wortelzone. Vergroting van de dosis heeft geen verdere vergroting van de decompositie tot gevolg, zoals dosis twee in de figuur laat zien. Er treedt zelfs een geringe afname van de decompositie op in vergelijking met dosis één. Niet de hoeveelheid beschikbare zuurstof is dan limiterend, maar de hoeveelheid beschikbaar water. Verdere vergroting van de dosis heeft een verdere afname van de decompositie tot gevolg. Door de grotere decompositie bij dosis één komt er meer stikstof beschikbaar, wat resulteert in een afname van het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone (fig. 9d). In fig. 9e is de mineralisatie van stikstof weergegeven. Als gevolg van dosis één neemt de mineralisatie toe. Bij vergelijking van de lijn van dosis één met die van dosis twee valt op, dat in de droge jaren dosis twee een veel lagere mineralisatie oplevert dan dosis één. In de natte jaren daarentegen treedt bij dosis één nog een geringe reductie op als gevolg van zuurstoftekort en in de droge jaren treedt bij dosis twee een reductie op door vochttekort. Verdere verlaging van de grondwaterstand zoals bij dosis drie, geeft in alle jaren aanleiding tot reductie van de mineralisatie door een vochttekort.

(mol C/m²)

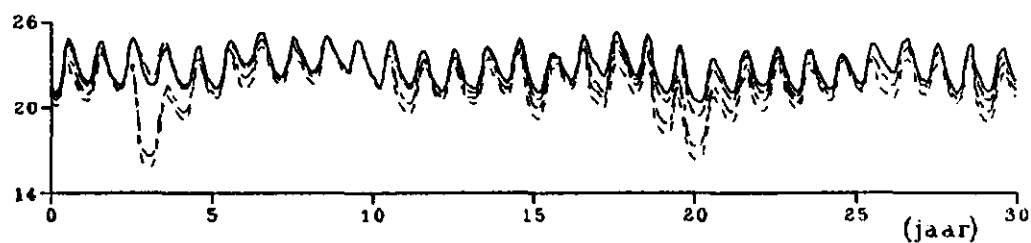
43

a



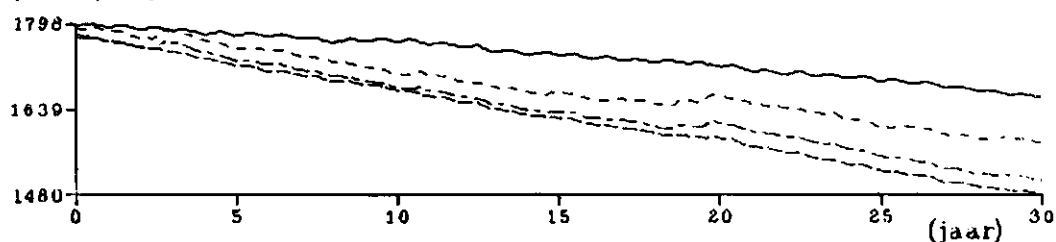
(mol C/m²)

b



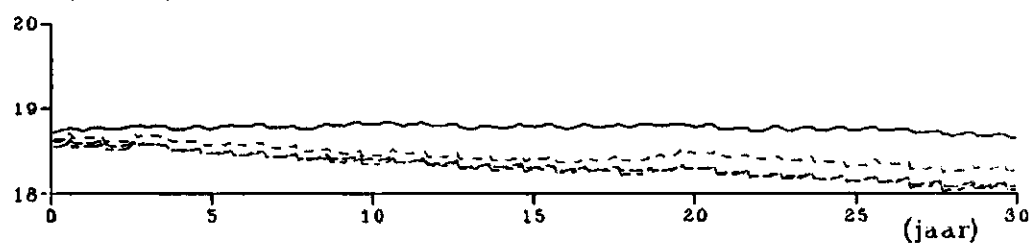
(mol C/m²)

c



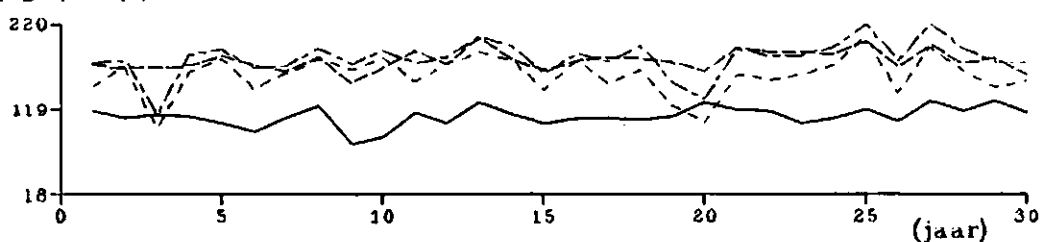
(mol C/mol N)

d



(kg N/ha.jr)

e



dosis — 0 - - - 1 - - - 2 - - - 3

Fig. 9 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage op het verloop in een madeveengrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

De resultaten van de berekeningen volgens scenario 6, interne waterconservering, zijn weergegeven in fig. 10. Van dit scenario zijn alleen dosis één en twee weergegeven. Dosis drie geeft ongeveer dezelfde resultaten als dosis twee en is daarom voor de duidelijkheid van de figuur weggelaten. In de fig. 10a en 10b is te zien, dat de invloed van de ingreep op de biomassa van de vegetatie gering is. Bij dosis twee treedt na jaar tien een geringe afname van de biomassa op. Door de hogere grondwaterstand neemt de beschikbaarheid van fosfaat af, waardoor een geringe reductie van de plantengroei als gevolg van een suboptimale fosfaatvoorziening optreedt. De geringere beschikbaarheid van fosfaat is het gevolg van een geringere mineralisatie van fosfaat door een afnemende decompositie van organische stof. Dit is te zien in fig. 10c: de hoeveelheid organische stof in de wortelzone neemt als gevolg van de ingreep behoorlijk toe. Dit is het gevolg van de verminderde beschikbaarheid van zuurstof, waardoor de decompositie afneemt. In fig. 10e is te zien, dat hierdoor ook de mineralisatie van stikstof afneemt. Dit resulteert in fig. 10d in een hogere C/N-verhouding van de organische stof in de wortelzone.

3.5 Koopveengronden

Bij de koopveengronden zijn vier van de zes scenario's doorgerekend (zie tabel 5). De resultaten van de scenario's 1, versterkte drainage, 3, versterkte drainage + wateraanvoer, en 4, grondwaterwinning, geven ruwweg dezelfde uitkomsten te zien, zodat weer volstaan kan worden met één figuur. Fig. 11 geeft de resultaten van de berekeningen volgens scenario 4 weer. Wederom zijn voor de duidelijkheid van de figuur slecht twee van de drie berekende doses weergegeven. De ontbrekende dosis, dosis drie, geeft nog iets grotere effecten te zien dan dosis twee, maar geeft wel hetzelfde beeld weer. In de fig. 11a en 11b is te zien dat de invloed van de ingreep op de biomassa beperkt blijft tot de droogste jaren. In die jaren treedt een zodanig vochttekort op dat de groei van de vegetatie wordt gereduceerd door een verminderde transpiratie. Door de vergrote beschikbaarheid van zuurstof neemt de decompositie toe, zoals in fig. 11c te zien is aan de afnemende hoeveelheid organische stof in de wortelzone. Door de grotere mineralisatie van stikstof (fig. 11e) neemt het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone af (fig. 11d).

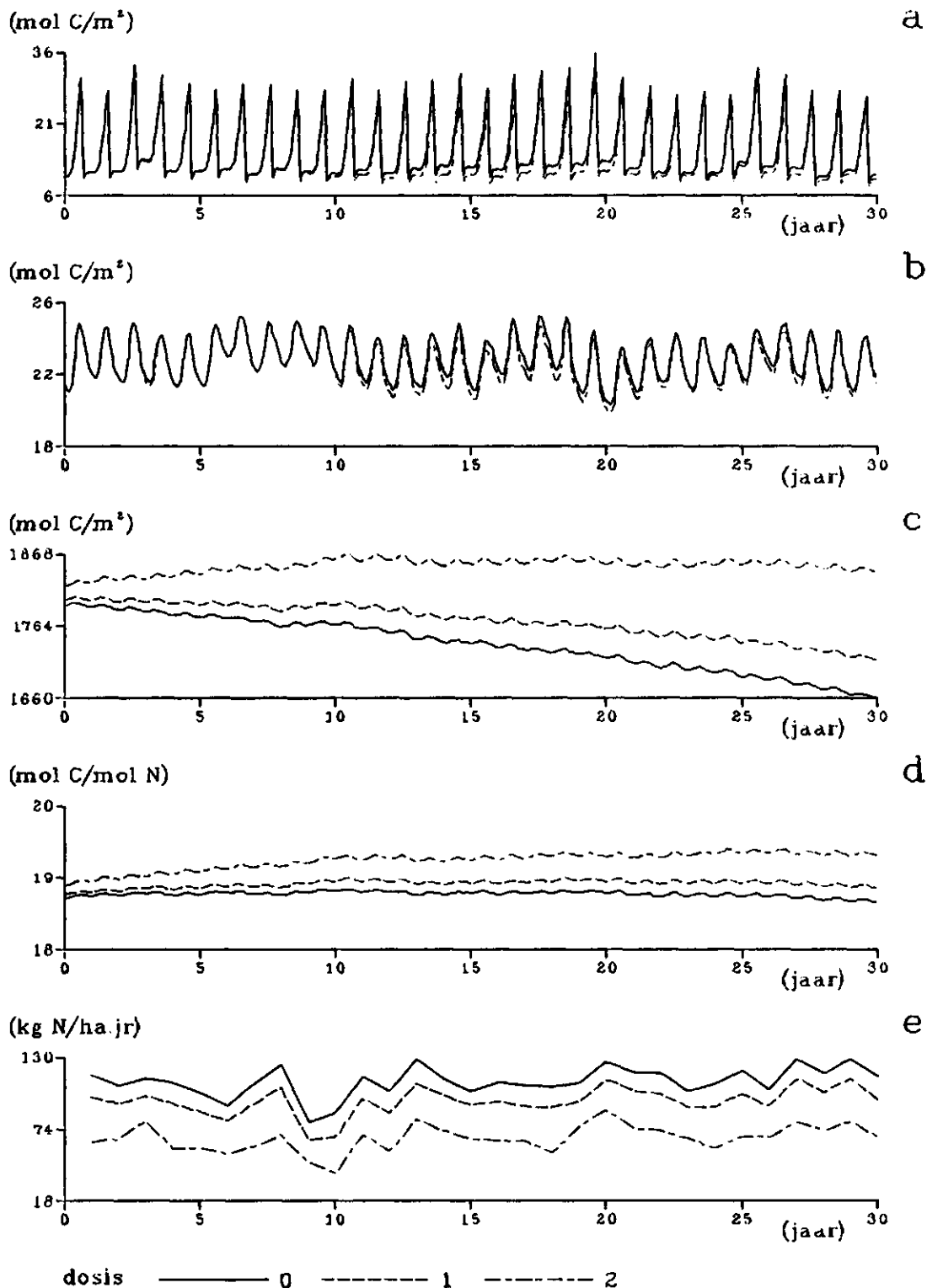


Fig. 10 Effecten van verschillende doses van interne waterconservering op het verloop in een madeveengrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

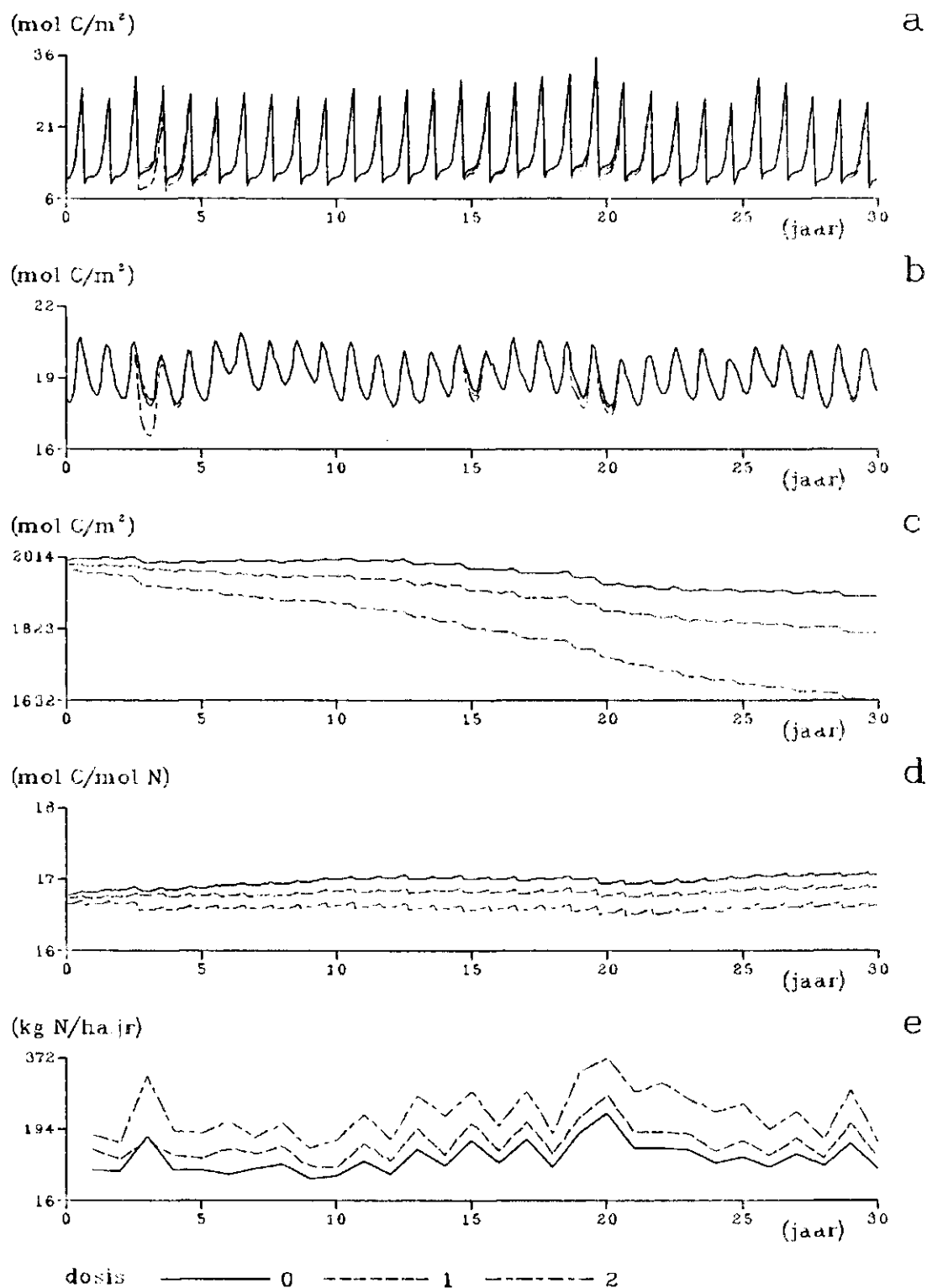


Fig. 11 Effecten van verschillende doses van grondwaterwinning op het verloop in een koopveen-grond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

De resultaten van de berekeningen volgens scenario 6, interne waterconservering, zijn weergegeven in fig. 12. De invloed van de ingreep op de biomassa van de vegetatie is verwaarloosbaar zoals in de fig. 12a en 12b is te zien. De doseslijnen vallen samen met de lijnen van de uitgangssituatie. De vermindering van beschikbare zuurstof door de ingreep heeft tot gevolg dat de decompositie van de organische stof in de wortelzone wordt gereduceerd. Dit is in fig. 12c te zien aan het stijgen van de hoeveelheid organische stof in de wortelzone. Door de verminderde decompositie neemt ook de mineralisatie van stikstof af, waardoor het C/N-quotiënt in de bodem iets toeneemt (fig. 12e en 12d).

3.6 Vlierveengronden

Voor de vlierveengronden zijn slechts drie van de zes scenario's relevant geacht (zie tabel 4). Vanwege de hoge grondwaterstand bij deze standplaats en de grote vochtinhoud van het profiel is de tijdstaplenkte bij de berekeningen teruggebracht tot één dag om stabiliteitsproblemen tijdens de berekeningen te voorkomen. Scenario 1, versterkte drainage, en scenario 4, grondwaterwinning, leveren vergelijkbare resultaten op, zodat kan worden volstaan met één figuur voor beide scenario's. In fig. 13 zijn de resultaten van de berekeningen volgens scenario 1, weergegeven. Aangezien dosis 2 en dosis 3 een bijna identieke reactie te zien geven, is alleen dosis 3 opgenomen in de figuur. De reactie van biomassa van de spruiten op de ingreep beperkt zich tot de droge jaren zoals in fig. 13a is te zien. De biomassa van de wortels (fig. 13b) laat een sterkere reactie zien. Doordat de wortelbiomassa sterk reageert op een verstoring van de spruit/wortelverhouding, treedt in de droge jaren een duidelijke val in de biomassa van de wortels op. Als gevolg van een lagere groeisnelheid van de wortels ten opzichte van de spruiten duurt het langer voor de wortels zich van een droog jaar hebben hersteld. Hierdoor is de wortelbiomassa ook in de jaren volgend op een droog jaar lager dan normaal, terwijl dit bij de spruiten niet meer het geval is. In fig. 13c is aan de afname van de hoeveelheid organische stof in de wortelzone te zien dat de decompositie van de organische stof als gevolg van de ingreep toeneemt. Door de grotere decompositie komt er ook meer stikstof beschikbaar door mineralisatie (fig. 13e) wat resulteert in een afname van het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone (fig. 13d). De toename van het C/N-quotiënt met name bij dosis 3, halverwege de simulatieperiode, is het gevolg van verschuivingen in de verhoudingen tussen de verschillende organische stoffracties in de wortelzone en staat los van de beschikbaarheid van stikstof.

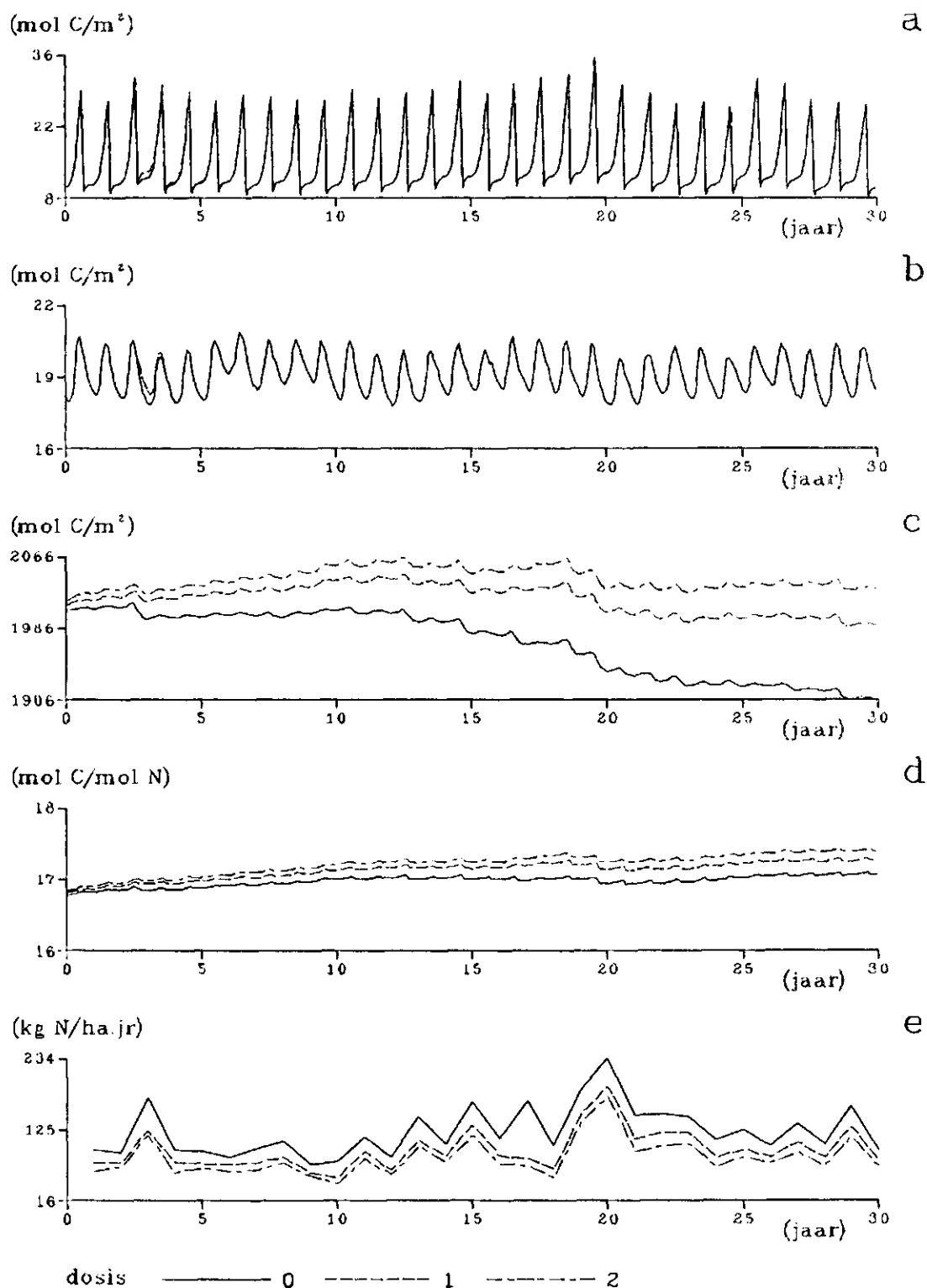


Fig. 12 Effecten van verschillende doses interne waterconservering op het verloop in een koopveengrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

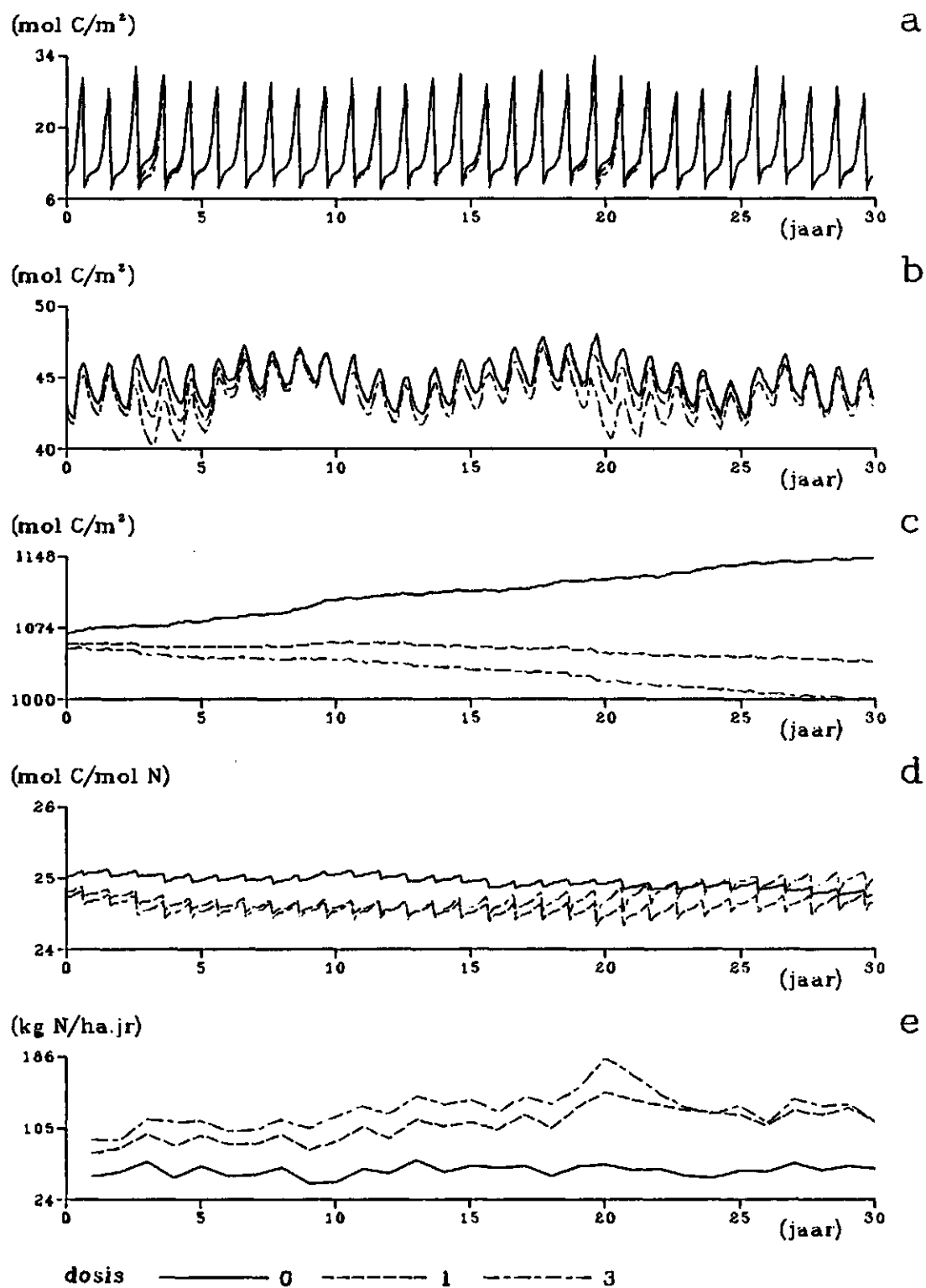


Fig. 13 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage op het verloop in een vlierveengrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

De resultaten van de berekeningen volgens scenario 6, interne waterconservering, zijn weergegeven in fig. 14. In de figuur zijn alleen dosis 1 en dosis 3 weergegeven, omdat dosis 2 nagenoeg samenvalt met dosis 1. De ingreep heeft geen invloed op de biomassa van de vegetatie zoals in de fig. 14a en 14b is te zien. De doseslijnen vallen samen met de lijnen van de Ausgangssituatie. Door de stijgende grondwaterstand als gevolg van de ingreep neemt de beschikbaarheid van zuurstof af, met als gevolg een afname van de decompositie van de organische stof in de wortelzone. Dit is in fig. 14c te zien aan het stijgen van de hoeveelheid organische stof in de wortelzone. Door de verminderde decompositie neemt ook de mineralisatie van stikstof af, waardoor het C/N-quotiënt van de organische stof in de bodem fors toeneemt (fig. 14e en 14d).

3.7 Vlietveengronden

Ook voor de vlietveengronden zijn slechts drie van de zes scenario's relevant geacht (zie tabel 5). Vanwege de hoge grondwaterstand die van nature al in dit profiel voorkomt, ontstonden bij de simulatie stabiliteitsproblemen door grote veranderingen van vochtinhoud binnen één tijdstap en één laag. Hierdoor is het niet gelukt om alle scenario's te berekenen. Alleen scenario 1, versterkte drainage, heeft nog enigszins betrouwbare resultaten opgeleverd. In fig. 15 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven. Aangezien dosis 2 en dosis 3 een bijna identieke reactie te zien geven, is alleen dosis 3 opgenomen in de figuur. De reactie van biomassa van de spruiten op de ingreep beperkt zich tot de droge jaren zoals in fig. 15a is te zien. De biomassa van de wortels (fig. 15b) laat een sterkere reactie zien. Hier valt bovenal het lange naijlingseffect op door de lage spruit/wortelverhouding (0,5) en de manier waarop in het model de groei verdeeld wordt over de spruiten en de wortels. In fig. 15c is aan de afname van de hoeveelheid organische stof in de wortelzone te zien dat de decompositie als gevolg van de ingreep toeneemt. Door de grotere decompositie komt er ook meer stikstof beschikbaar door mineralisatie (fig. 15e) wat resulteert in een afname van het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone (fig. 15d).

Bij deze standplaats moeten de resultaten met de nodige extra voorzichtigheid worden bekeken. Door de grote veranderingen in vocht- en zuurstofvoorraad in een bepaalde laag binnen een tijdstap, hoewel de tijdstaplengte voor deze standplaats is teruggebracht tot 1 dag, kunnen vooral voor de Ausgangssituatie onstabiliteiten in de berekeningen voor onbetrouwbare resultaten zorgen. De decompositie en daardoor de stikstofmineralisatie nadert daar na een aantal jaren simuleren tot nul als gevolg van overmatige reductie door zuurstoftekort. Dit kan niet als een realistische situatie worden beschouwd.

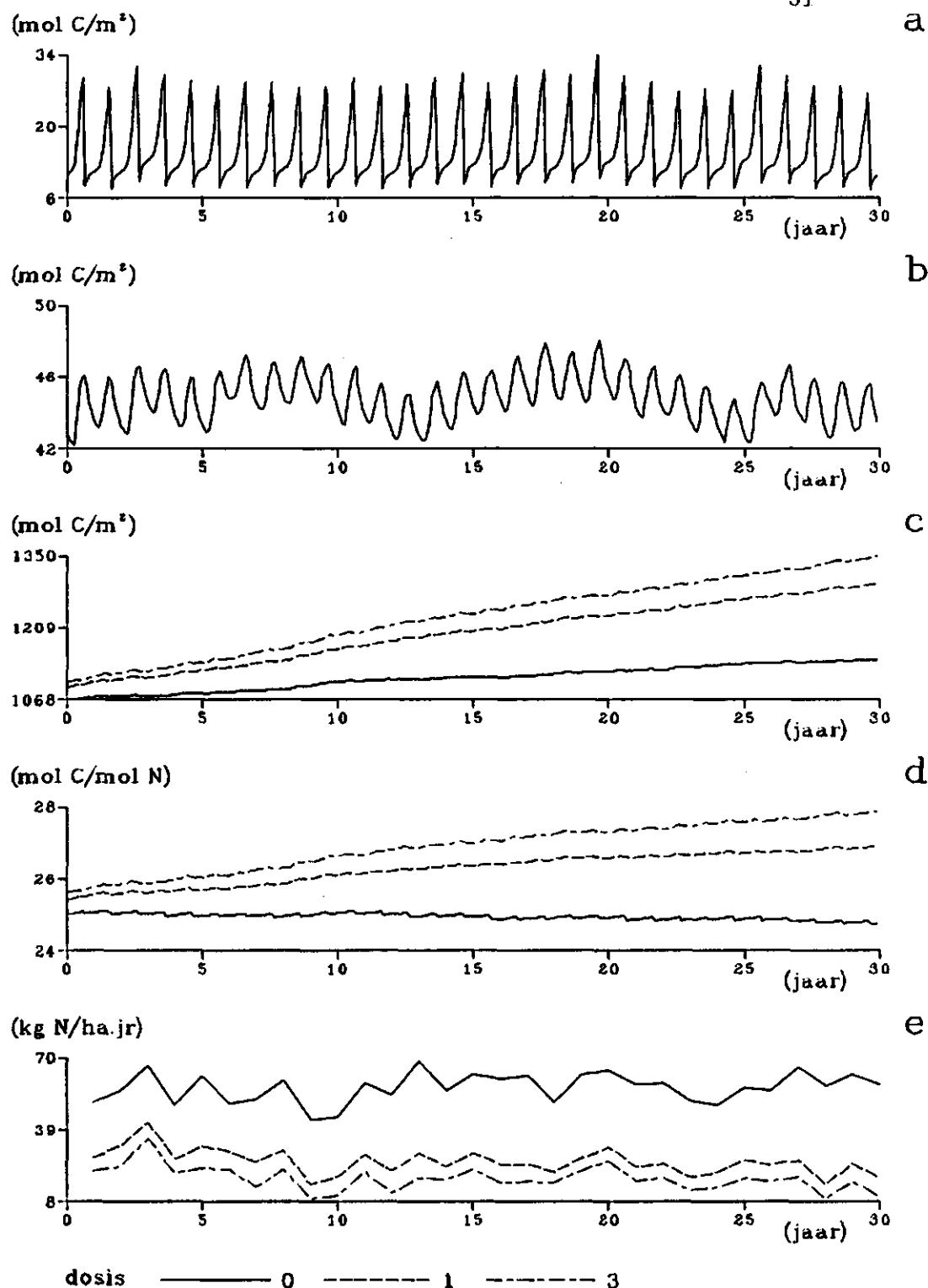


Fig. 14 Effecten van verschillende doses interne waterconservering op het verloop in een vlierveengrond van op (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

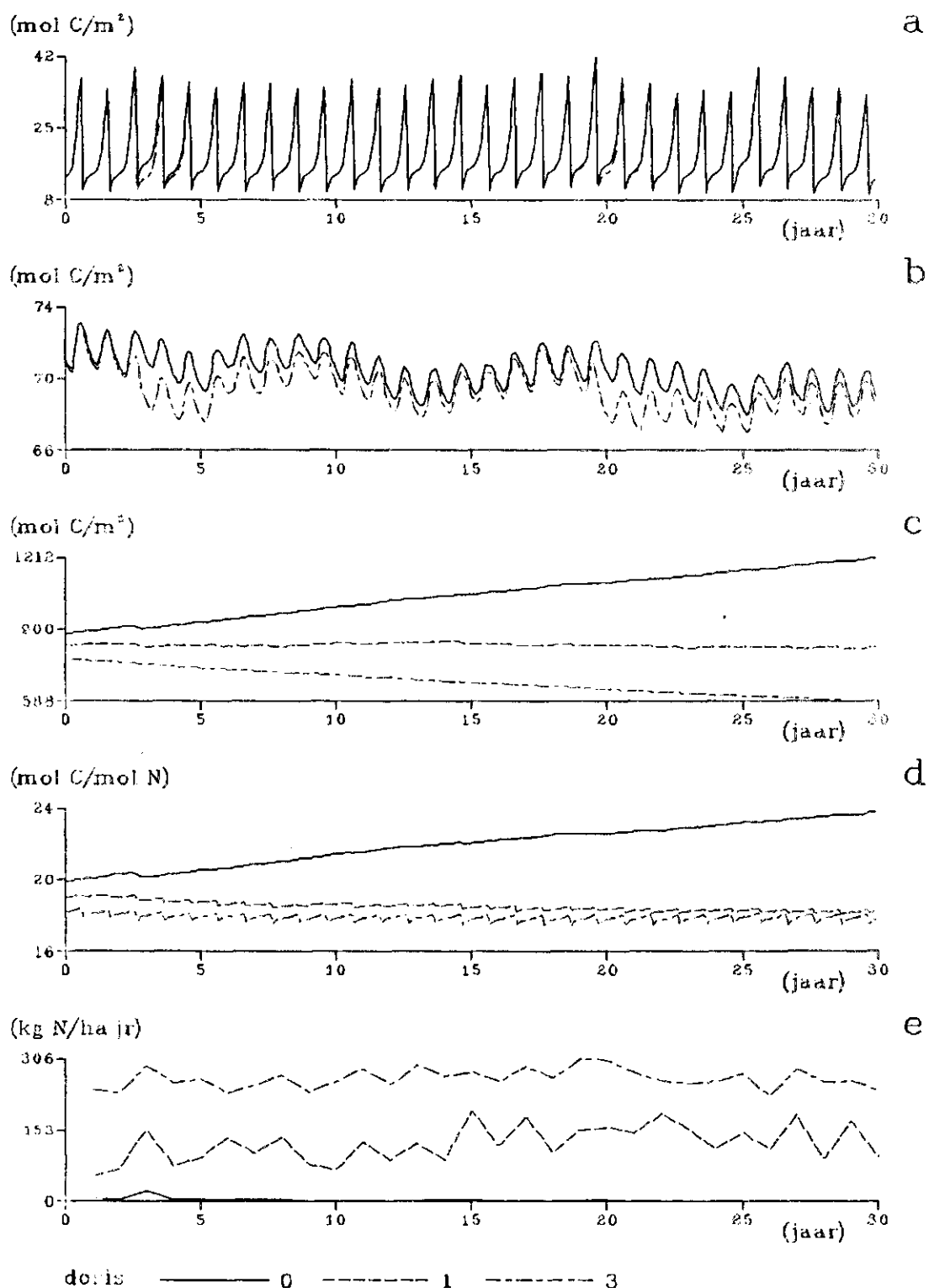


Fig. 15 Effecten van verschillende doses van versterkte drainage op het verloop in een vlietveengrond van (a) de biomassa van de spruiten; (b) de biomassa van de wortels; (c) de totale hoeveelheid organische stof in de wortelzone; (d) het C/N-quotiënt van de organische stof in de wortelzone en (e) de stikstofmineralisatie in de wortelzone.

4 CONCLUSIES

In dit hoofdstuk worden de resultaten per standplaats kort samengevat. Vervolgens worden de ingrepen gerelateerd aan de aannamen, zodat een indruk kan worden verkregen van de realiteitswaarde van de resultaten. Tot slot worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Het gaat hierbij zowel om het verzamelen van veldgegevens ter ondersteuning van het model, als om onderzoek van het model zelf.

4.1 Effecten van de ingrepen

Uit hoofdstuk 3 blijkt dat niet alle standplaatsen op dezelfde manier op de ingrepen reageren.

Veldpodzolgrond reageren nauwelijks op enige ingreep. Enerzijds is dit misschien te wijten aan het modelconcept. Capillaire nalevering vanuit het grondwater treedt bijvoorbeeld pas op als er binnen een tijdstap een vochttekort ontstaat. Anderzijds is dit misschien te wijten aan de grootte van de ingreep of de manier waarop de standplaats door de invoergegevens wordt vastgelegd.

De gooreerdgronden reageren op gelijke wijze op de ingrepen versterkte drainage, versterkte drainage + wateraanvoer, en grondwaterwinning. Door de afname van de hoeveelheid water in het profiel neemt de decompositie van de organische stof iets af. De reactie van de biomassa van de vegetatie op de ingreep blijft beperkt tot de droge jaren. Het vochttekort heeft dan een negatief effect op de groei, wat resulteert in een lage biomassa aan het eind van het groeiseizoen.

De overige standplaatsen reageren op gelijke wijze op de ingrepen versterkte drainage, versterkte drainage + wateraanvoer, en grondwaterwinning. De verschillen tussen deze ingrepen bij dezelfde standplaats zijn altijd gering. De verschillen tussen de standplaatsen onderling zijn veel groter en hangen duidelijk samen met de bodemeenheid. Hoe groter de hoeveelheid organische stof is, des te groter het effect van de gepleegde ingreep is. Door de afname van de hoeveelheid water in het profiel en de daarmee samenhangende toename van de hoeveelheid zuurstof neemt de decompositie van de organische stof toe. De reactie van de biomassa van de vegetatie op de ingreep blijft beperkt tot de droge jaren. Het vochttekort heeft dan een negatief effect op de groei wat resulteert in een lage biomassa aan het eind van het groeiseizoen.

De effecten van de interne waterconservering hebben voor alle standplaatsen hetzelfde effect. De biomassa vertoont over het algemeen geen reactie. De decompositie van de organische stof daarentegen neemt af, doordat door de ingreep minder zuurstof in het profiel aanwezig is, waardoor de afbraak van de organische stof wordt geremd.

De effecten van de ingreep beregening uit grondwater voor landbouw hebben zowel bij de gooreerdgronden, als bij de beekeerdgronden hetzelfde effect. Er is sprake van een geringe toename in de stikstofmineralisatie. De invloed op de groei van de vegetatie blijft weer beperkt tot de droge jaren, wanneer een geringe afname van de groei te constateren valt.

De effecten van versterkte drainage + peilbeheer hebben bij de gooreerdgronden een geringe toename van decompositie en vegetatie groei tot gevolg en bij de beekeerdgronden juist een geringe afname. Bij de gooreerdgronden heeft de ingreep een beperking van het vochttekort tot gevolg zonder dat daarbij de zuurstofhuishouding in het gedrang komt. Bij de beekeerdgronden wordt de zuurstofvoorziening de beperkende factor voor decompositie, zodat hier een geringe afname optreedt.

4.2 Realiteitswaarde

Zoals in par. 2.4 al bleek, zijn van een aantal invoerparameters de precieze waarden onbekend. Ook de invloed van een aantal parameters op de modeluitkomsten is niet goed bekend, zodat het niet mogelijk is een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van de uitkomsten van de berekeningen. De orde van grootte en de reactie naar aanleiding van een ingreep, komen echter goed overeen met wat bekend is uit onderzoeksgegevens van veel onderzoekers. De uitkomsten zijn dus wel geschikt om een uitspraak te doen over de effecten van de verschillende ingrepen. De precieze grootte van deze effecten kan echter niet worden aangegeven.

Over het gebruik van de resultaten in de praktijk kan worden opgemerkt dat bij de simulatie van bodem- en vegetatieprocessen steeds is uitgegaan van gemiddelden. In de praktijk is het goed mogelijk dat de effecten, zoals in dit rapport nauwelijks of juist versterkt optreden als gevolg van verschillen in bodem of vegetatie. Tijdens het onderzoek is gebleken dat met name de dikte van de wortelzone en de capillaire stijghoogte belangrijke parameters zijn in de simulatie van het vochtgehalte. Geringe afwijkingen in uitgangssituatie kunnen dan aanleiding zijn tot grote verschillen. Toepassingen in de praktijk kunnen in dit stadium dan ook alleen met de nodige deskundigheid worden uitgevoerd.

4.3 Aanbevelingen

De aanbevelingen voor verder onderzoek vallen uiteen in twee groepen. De eerste groep betreft onderzoek aan het model zelf: hoe gevoelig is het model voor de invoergegevens en waar zouden verbeteringen in het model kunnen worden aangebracht. De tweede groep betreft veldonderzoek naar belangrijke invoergegevens. Het gaat hierbij in de eerste plaats om gegevens waaraan tot nu toe nog weinig onderzoek is verricht of waar relevante gedeelten uit ontbreken.

Bij het berekenen van de effecten van ingrepen of doses van ingrepen konden geen bevredigende resultaten worden verkregen. Het betrof hier steeds situaties waarbij een bij de decompositie benodigde component, meestal fosfaat, niet voldoende voorhanden was. Dit resulteerde in een sterke reductie van het decompositieproces, in vele gevallen zelfs tot het volledig stilvallen van de decompositie. Dit is een onrealistische situatie. Blijkbaar is de manier waarop de reductiefactor voor fosfaat wordt berekend niet helemaal goed geprogrammeerd. Enig onderzoek naar de gedragingen van het model onder minimum-condities zal moeten uitwijzen, waar de fout precies zit. Tot nu toe ontbrak de hiervoor benodigde tijd echter. Ten tweede is een goede gevoeligheidsanalyse noodzakelijk. Hieruit zal moeten blijken welke invoerparameters belangrijk zijn, zodat eventueel aanvullend veldonderzoek kan worden verricht.

Bij het verzamelen van literatuurgegevens bleek over een aantal invoerparameters weinig tot niets bekend te zijn. Aanvullend veldonderzoek naar fosfaathuishouding in natuurgebieden, zowel in bodem als in vegetatie is noodzakelijk. Daarnaast is er nog weinig bekend over de groei, verdeling en samenstelling van het ondergrondse gedeelte van de vegetatie door het jaar heen. Gegevens over opnamesnelheden en diffusiecoëfficiënten onder veldomstandigheden ontbreken tot nu toe, zodat ook hieraan nog onderzoek zou moeten worden gedaan. Het beste zou zijn dit onderzoek aan bodem en vegetatie op dezelfde locatie uit te voeren, zodat een goede dataset ontstaat voor het model. Gegevens uit veel verschillende bronnen zijn nu eenmaal onderling niet met elkaar in evenwicht.

LITERATUUR

Berendse, F., R. Bobbink and G. Rouwenhorst, 1989. A comparative study on nutrient cycling in wet heathland ecosystems. II. Litter decomposition and nutrient mineralisation. *Oecologia* 78: 338-348.

Berghuijs-van Dijk, J.T., P.E. Rijtema and C.W.J. Roest, 1985. ANIMO, Agricultural nitrogen model. Wageningen, Institute for Land and Water Management Research. Nota 1671.

Berghuijs-van Dijk, J.T., 1985. WATBAL A simple water balance model for an unsaturated/saturated soil profile. Wageningen, Institute for Land and Water Management Research. Nota 1670.

Bink, F.A., 1978. Voorlopige richtlijnen voor het beheer van blauwgraslandreservaten. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

Bradburry, J.K. and J. Grace., 1983. Primary production in wetlands. In: A.J.P Gore (ed.). *Ecosystems of the world*, 4A. Elsevier, Amsterdam: 285-306.

Egloff, T.B., 1986. Auswirkungen und Beseitigung von Düngungseinflüssen auf Streuwiesen. Eutrophierungssimulation und Regenerationsexperimente im nordlichen Schweizer Mittelland. Zürich, Geobotanischen Institut der ETH, 89 Heft.

Gimingham, C.H., S.B. Chapman and N.R. Webb, 1979. European Heathlands. (Ch. 14). In: Specht, R.L. (ed.). *Ecosystems of the world* 9A. Heathlands and related shrublands, descriptive studies. Elsevier, Amsterdam.

Gremmen, N.J.M., 1987a. Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van effecten van veranderingen in waterregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehoudsstandpunt, I: Uitgangspunten en modelconcept. Utrecht. Studiecommissie waterbeheer natuur, bos en landschap. Rapport 1e.

Gremmen, N.J.M., 1987b. Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van effecten van veranderingen in waterregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehoudsstandpunt, II: Operationalisatie. Utrecht. Studiecommissie waterbeheer natuur, bos en landschap. Rapport 1f.

Gremmen, N.J.M., 1990. Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van effecten van veranderingen in waterregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehoudsoogpunt. IV: Herziening en verificatie van het model. Utrecht, Studiecommissie waterbeheer, natuur, bos en landschap. Rapport i.v.

Groenendijk, P., 1987. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 3: EPIDIM, een chemisch evenwichtsmodel met adsorptie, verwerking en neerslag van calciëet. Wageningen, ICW. Nota 1774.

Groenendijk, P., 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. Grondwaterstand en vochtleverantie. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.3.

Groenendijk, P. en F.J.M. van der Bolt, 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. Deel 5. Waterkwaliteit en zuurhuishouding. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.5.

Grootjans, A.P., 1985. Changes of groundwater regime in wet meadows. Groningen. Rijksuniversiteit. Dissertatie.

Herwaarden, G.J. van, 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. Fysisch-chemische beschrijving van de standplaatsen. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.2.

Herwaarden, G.J. van, P.W.F.M. Hommel en J. Vrieling, 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. Toepassing van de stalenmethode in het herinrichtingsgebied Noorderpark. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.6.

Hochstenbach, S.M.H. en N.J.M. Gremmen, 1989. Effecten van ingrepen in de waterhuishouding op vegetatie en standplaats. Resultaten van een deskundigen raadpleging. Leersum. Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Rapport i.v.

Jenkinson, D.S. and J.H. Rayner, 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Science, Vol. 123 no. 5: 298-305.

Kemmers, R.H., 1990. Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. De stalenmethode. Wageningen, Staring Centrum rapport 64.1.

Koerselman, W., 1989. Hydrology and nutrient budgets of fens in an agricultural landscape. Utrecht. Rijksuniversiteit. Dissertatie.

Kroes, J.G., 1988. ANIMO version 1. User's guide. Wageningen, ICW. Nota 1848.

Mankor, J. en R.H. Kemmers, 1987. ECONUM: een model voor de simulatie van de stikstof- en fosfaathuishouding op standplaatsen met half-natuurlijke vegetaties onder invloed van grondwater. Utrecht. Studiecommissie waterbeheer natuur, bos en landschap. Rapport 8c.

Nye, P.H. and P.B. Tinker, 1977. Solute movement in the soil-root system. Studies in Ecology Volume 4. London, Blackwell Scientific Publications.

Olson, S.R. and F.S. Watanabe, 1963. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 648-653.

Perkins, D.F., V. Jones, R.O. Millar and P. Neep, 1978. Primary production, mineral nutrients and litter decomposition in the grassland ecosystem. In: O.W. Heal and D.F. Perkins (Eds). Production ecology of british moors and montane grasslands: 304-331.

Rijtema, P.E., 1980. Nitrogen emission from grassland farms - a model approach. Proc. int. symp. Eur. Grassland Fed. On the role of nitrogen in intensive grassland production: 137-147.

Rose, C.W., J.E. Begg, G.F. Byrne, B.W.R. Torrsell and J.H. Goncz, 1972. A simulation model of growth-field relationships for Townsville stylo (*Stylosanthes humilis* H.B.K.) pasture. Agricultural Meteorology 10: 161-183.

SWNBL, 1988. Water boven water. Utrecht, Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap.

Verhoeven, J.T.A., S. van Beek, M. Dekker and W. Storm, 1983. Nutrient dynamics in small mesotrophic fens surrounded by cultivated land. I. Productivity and nutrient uptake by vegetation in relation to the flow of eutrophicated groundwater. Oecologia 60: 25-33.

Vermeer, J.G., 1985. Effects of nutrient availability and ground-water level on shoot biomass and species composition of mesotrophic plant communities. Utrecht, Rijksuniversiteit. Dissertatie.

AANHANGSEL

Overzicht van de waarden van de gebruikte constante factoren in het model ECONUM

Constance factor	Waarde	Dimensie
Diffusiecoëfficiënt ammonium	$5.0 \cdot 10^{-5}$	$m^2 \cdot d^{-1}$
nitraat	$5.0 \cdot 10^{-5}$	$m^2 \cdot d^{-1}$
fosfaat	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$m^2 \cdot d^{-1}$
zuurstof (in water 20°C)	$1.81 \cdot 10^{-4}$	$m^2 \cdot d^{-1}$
zuurstof (in lucht 20°C)	1.74	$m^2 \cdot d^{-1}$
koolzuur (in water 20°C)	$1.53 \cdot 10^{-4}$	$m^2 \cdot d^{-1}$
koolzuur (in lucht 20°C)	1.37	$m^2 \cdot d^{-1}$
Opnamesnelheid ammonium door planten	$9.0 \cdot 10^{-4}$	d^{-1}
nitraat door planten	$1.0 \cdot 10^{-4}$	d^{-1}
fosfaat door planten	$7.0 \cdot 10^{-4}$	d^{-1}
zuurstof door planten	$5.0 \cdot 10^{-2}$	d^{-1}
ammonium door micro-organismen	$5.0 \cdot 10^{-2}$	d^{-1}
nitraat door micro-organismen	$2.0 \cdot 10^{-3}$	d^{-1}
fosfaat door micro-organismen	$5.0 \cdot 10^{-4}$	d^{-1}
sulfaat door micro-organismen	$5.0 \cdot 10^{-4}$	d^{-1}
Denitrificatie-snelheid	$5.0 \cdot 10^{-2}$	d^{-1}
Nitrificatie-snelheid	$5.0 \cdot 10^{-2}$	d^{-1}
Oxydatie-snelheid	$6.0 \cdot 10^{-2}$	d^{-1}
Oplosbaarheid zuurstof in water	$3.33 \cdot 10^{-2}$	$m^3 \cdot m^{-3}$
Oplosbaarheid koolzuur in water	0.94	$m^3 \cdot m^{-3}$