

NOTA 1526

mei 1984

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

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

HET MODELLEREN VAN DE STIKSTOFKRINGLOOP IN DE BODEM

ten behoeve van het voorspellen van de
effecten van alternatieven in de land-
inrichting op de nitraatuitspoeling

ir. J.T. Berghuijs-van Dijk

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

SAMENVATTING, BESLISPUNTEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

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

Doelstellingen

Het project 'stikstofhuishouding in de bodem in relatie met de zuurstof-, water- en warmtehuishouding', geïnitieerd door de Werkgroep Water, Bodem en Lucht van de LD heeft als belangrijkste doelstellingen:

1. Beschrijving van de invloed van omgevingsfactoren (vocht, temperatuur, aeratie, pH) op de processen in de N-huishouding.
2. Voor willekeurig Nederlandse situaties voorspellingen kunnen doen met betrekking tot de uitspoeling op langere termijn (tientallen jaren) onder invloed van alternatieven op het gebied van bemesting, waterhuishouding en bouwplan.

Beide doelstellingen zijn slechts met elkaar in overeenstemming te brengen door aan te nemen dat er een model te construeren is, bestaande uit deelmodellen die de diverse processen apart beschrijven (doelstelling 1) - empirisch of meer fundamenteel -, maar niet te gedetailleerd, zodat nog redelijk efficiënt met computertijd wordt omgesprongen, ook al worden lange perioden gesimuleerd. Deze mogelijkheid is verder onderzocht.

Eisen aan model

Het model moet kunnen beschrijven de invloed op de N-uitspoeling van:

- grondsoort
- grondgebruik (bouwland/grasland/tuinbouw)
- bemestingsregime
- omgevingsfactoren (vochthuishouding, temperatuur e.d.)

In verband met de eis van ruime toepasbaarheid moet het model tevens voldoen aan:

- invoergegevens moeten gemakkelijk te verkrijgen zijn
- resultaten moeten betrouwbaar zijn op lange termijn
- het model moet niet te duur zijn in gebruik (computertijd)

Terreinafbakening

Door de volgende beperkingen wordt het werkterrein afgebakend:

1. Beschikbare kennis moet uit de literatuur komen; geen eigen veldonderzoek.
2. Berekeningen voor diverse uniform gedefinieerde, en niet gemiddeld over een gebied opgenomen, situaties.
3. Nadruk op processen in de onverzadigde zone die voor uitspoeling naar de verzadigde zone van belang zijn; 1-dimensionaal model.
4. Specifieke inbreng van het ICW ligt op waterhuishoudkundig terrein.

Deelmodellen aanpak

Bestudeerde bestaande modellen van het deelmodellen type bleken geen van alle aan alle eisen te voldoen. Ze zijn vooral situatiespecifiek en vaak wetenschappelijk georiënteerd: gericht op beter begrip in plaats van op voorspelling. De belangrijkste tekortkomingen zijn:

- de mogelijkheid om diverse waterhuishoudkundige situaties te beschrijven ontbreekt vaak;
- de modellen zijn ongeschikt voor lange termijn simulaties (modeltechnisch en vanwege het kostenaspect);
- het ontbreken van modellering van enkele voor de Nederlandse situatie relevante deelprocessen en omgevingsfactoren.

Vervolgens is aandacht besteed aan de diverse aspecten van modellering op basis van deelmodellen.

Het niveau van detaillering in de verschillende deelmodellen moet in overeenstemming zijn met:

1. Kennis om het proces in kwantitatieve relaties uit te drukken.
2. Belang van het proces met betrekking tot gevolgen voor de uitspoeling.
3. Kennis omtrent andere processen van gelijk belang.
4. Snelheid van het proces in verhouding tot de tijdstap.
5. De eis dat invoerparameters niet te moeilijk te verkrijgen moeten zijn.

Bij de modellering van N-opname door het gewas zijn 2 niveaus te onderscheiden:

1. De N-opname is een functie van de $N_{\min}$ -concentratie in de bodem- en wortelverdeling, en is al dan niet mede bepaald door de vocht-opname.
2. De N-opname is bovendien een functie van de N-concentratie in de wortel of de N-behoefte van het gehele gewas. Deze benadering vereist mee-modellieren van de totale gewasgroei. Hier is aansluiting bij SWACRO mogelijk; dit model is alleen voor aardappelen en granen operabel.

De beïnvloedende factoren pH, temperatuur en vochtspanning op de diverse processen worden in het algemeen met behulp van reductie-factoren op processnelheden gemodelleerd.

De warmtehuishouding kan met behulp van een eenvoudig sinusmodel worden gesimuleerd. De invloed van C/N-huishouding kan alleen beschreven worden wanneer de C-huishouding mee gemodelleerd wordt, hetgeen zinnig lijkt. De invloed van aeratie wordt zelden beschreven en dit lijkt ook niet zinvol (zie denitrificatie).

De gezamenlijke invloed van verschillende omgevingsfactoren op één proces wordt bij gebrek aan informatie meestal gemodelleerd door vermenigvuldiging van reductiefactoren.

Een numerieke aanpak van de simultane beschrijving van transport en omzettingen van stoffen in de N-kringloop vereist oplossing van een stelsel 2e orde differentiaalvergelijkingen. Bij loskoppeling van water- en N-huishouding kan reductie plaatsvinden tot een stelsel van 1e-orde differentiaalvergelijkingen per compartiment (discretisering naar plaats). Oplossen hiervan is mogelijk met onder andere Runge-Kutta methoden. Rectilineaire integratie is onder bepaalde voorwaarden geoorloofd en werkt dan het meest efficiënt met betrekking tot computertijd.

Modelleer-ervaringen

Simulatie van proefveldgegevens uit Ruurlo (grasland-bemestingsproefveld) met behulp van een dagbasis N-model volgens concepten van VAN HUET (1983) met een verbeterde waterhuishouding door gebruikmaking van SWATRE en enkele andere wijzigingen gaf weinig verbetering in resultaten ten opzichte van de eerdere simulaties. Een concept-model

De dynamiek van de organische stofhuishouding wordt in principe bepaald door de groei en afsterving van micro-organismen, maar detaillering in deze richting is niet haalbaar. In sommige modellen wordt de microflora verondersteld deel uit te maken van een van de fracties waarin het organisch materiaal is opgesplitst. Het bepalen van de initiële fractieverdeling in een bodem en bijbehorende mineralisatiesnelheden is moeilijk. Bij het werken op deelmodellenbasis is aparte beschrijving van zowel mineralisatie als van immobilisatie nodig. De organische C-huishouding speelt een belangrijke rol bij mineralisatie, immobilisatie en denitrificatie. Verandering in aard en hoeveelheid organische stof is een proces dat op lange termijn werkt. In de bestaande modellen, werkend met perioden van < 1 jaar, worden vele modelleringswijzen aangetroffen, die alle blijken te voldoen wanneer niet te grote veranderingen voorspeld worden. Veranderingen in organisch stofgehalte binnen 1 jaar in de bodem zijn nauwelijks meetbaar.

Nitrificatie wordt algemeen als eerste-orde proces beschreven.

Denitrificatie wordt óf als eerste-orde proces beschreven óf meer nauwkeurig, rekening houdend met het ontstaan van partiële anaerobie in de onverzadigde zone. De voor laatstgenoemde methode vereiste gedetailleerde beschrijving van de O_2 -huishouding op microschaal is nog niet ver genoeg ontwikkeld en zou bovendien te ver voeren voor het gestelde doel.

Voor vervluchtiging van NH_3 en oppervlakkige N-afspoeling geldt dat deze processen sterk weersafhankelijk zijn en zeer snel kunnen verlopen. Ze zijn bij gebruikmaking van een tijdstap van 1 dag niet nauwkeurig te beschrijven, en ook wegens gebrek aan kwantitatieve kennis moet met (grove) schattingen gewerkt worden.

Voor de beschrijving van de waterhuishouding is gebruikmaking van bestaande ICW-modellen als SWATRE gunstig. Dit model werkt met tijdstappen van < 1 dag. Het kan vele waterhuishoudkundige situaties op diverse grondsoorten doorrekenen; het vereist wel dagelijkse invoergegevens met betrekking tot neerslag, globale straling, luchttemperatuur en -vochtigheid, fractie bodembedekking en worteldiepte. Gebruik makend van dagelijkse uitvoergegevens over vochtgehalten, transpiratie, evaporatie en (uit de waterbalans berekend) netto vochttransporten tussen compartimenten kan een N-model met berekeningen op dagbasis gesuperponeerd worden op SWATRE.

Naar aanleiding van de opgedane ervaringen moet worden beslist over de hieronder vermelde punten.

1. Keuze voor modellering op dagbasis of voor de meer globale aanpak. Modellering op dagbasis is mogelijk maar op dit moment nog niet haalbaar gelet op de beschikbare man (vrouw-) kracht en ten aanzien van betrouwbaarheid van lange-termijn-voorspellingen voor uiteenlopende situaties. Bestaande modellen van dit type zijn niet bedoeld voor lange-termijn situaties en vereisen gedetailleerde input; met betrekking tot een aantal processen en parameters staat de beschikbare kennis niet in verhouding tot de gebruikte detaillering. In gesprekken met Van Keulen (CABO) en Lantinga (Landbouwplantenteelt LH), die zeiden veel aandacht te hebben aan de N-huishouding, ook op modelmatig gebied, kwam naar voren dat:

- de modellen altijd vele onzekere aannamen bevatten;
- met name de organische stof-huishouding een moeilijk gripbaar geheel is, waarbij de rol van de microflora centraal staat;
- ook bij gedetailleerd modelleren bij toetsing onverklaarbare afwijkingen optreden.

Aanbevolen wordt de meer globale aanpak. De kansen om tot een werkbaar model/modellen te komen zijn groter. Ideeën over de werkwijze zijn echter nog niet ver ontwikkeld. Gedacht wordt aan aansluiting bij/combinatie van bestaande modellen waarbij het specifieke werkterrein van het ICW kan bestaan in het beschrijven van de invloed van bijvoorbeeld beregening, drainage en drijfmestinjectie op de uitspoeling.

Bij de keuze voor modellering op dagbasis moeten specificaties worden gegeven met betrekking tot het kostenaspect. De mogelijkheid om aan beide benaderingen te werken - met hoofdaandacht voor de globale aanpak - kan worden overwogen.

2. Moet het model gericht zijn op het berekenen van uitspoeling in nieuw in te stellen evenwichtssituaties tengevolge van diverse alternatieven in landgebruik onder gemiddelde weersomstandigheden óf gaat de voorkeur uit naar nadruk op kennis van mogelijke gebeurtenissen in extreme jaren?

op dagbasis, gebaseerd op een totaal andere beschrijving van de org.
N-huishouding is nog niet in detail uitgewerkt.

Alternatieven

Alternatieven voor de deelmodellen-aanpak kenmerken zich vooral door grotere tijdstappen (vaak 1 jaar) en minder detaillering met betrekking tot bodemlagen, soorten N, beïnvloedende factoren en weersgegevens. Doelstelling 1 krijgt daardoor minder prioriteit. Bij deze globalere aanpak kan gedacht worden aan verfijning van bestaande modellen of combinatie van zoveel mogelijk aspecten uit diverse modellen tot één model.

VOORWOORD

Dit rapport vormt de evaluatie van literatuurstudie en eigen ervaringen op het gebied van de modellering van stikstofprocessen in de bodem in het kader van een door de Werkgroep Water, Bodem, Lucht van de LD geïnitieerd project 'Stikstofhuishouding in de bodem in relatie met de zuurstof-, water- en warmtehuishouding'.

Het geeft een overzicht van mogelijkheden en een inschatting van de haalbaarheid van verschillende wijzen van modellering aan de hand van geformuleerde eisen ten aanzien van praktische bruikbaarheid. Het rapport is bedoeld om als achtergrondinformatie te dienen bij het maken van een weloverwogen keuze voor een manier van aanpak die tot de gewenste resultaten moet leiden ten aanzien van dit project. Wellicht geeft het ook voor hen die met een ander doel aan stikstofmodellering werken enige nuttige overwegingen.

Om het geheel overzichtelijk en vlot leesbaar te houden is afgezien van het gebruik van formules en het vermelden van getalswaarden voor parameters. Hiervoor zij verwezen naar de in de tekst genoemde literatuur.

I N H O U D

	blz.
SAMENVATTING, CONCLUSIES, BESLISPUNTEN EN AANBEVELINGEN	
VOORWOORD	
INHOUDSOPGAVE	
1. INLEIDING	1
1.1. Doelstellingen	1
1.2. Eisen aan model	1
1.3. Terrein-afbakening	2
2. EVALUATIE BESTAANDE MODELLEN MET BETREKKING TOT EISEN	3
3. ASPECTEN VAN HET WERKEN OP DEELMODELLEN-BASIS	6
3.1. Algemeen	6
3.2. De deelprocessen en beïnvloedende factoren	7
3.2.1. De organische stofhuishouding	7
3.2.2. Nitrificatie	9
3.2.3. Denitrificatie	9
3.2.4. Vervluchtiging en oppervlakkige afspoeling	10
3.2.5. Waterhuishouding en N-transport	11
3.2.6. Gewasgroei en N-opname door het gewas	15
3.2.7. Stikstofbinding	21
3.2.8. Beïnvloedende factoren	21
3.3. Numerieke structuren van modellen	23
3.4. Concept-model op dagbasis	26
3.5. Conclusies	29
4. MODELLEER-ERVARINGEN EN RESULTATEN BIJ SIMULATIE VAN PROEFVELDGEGEVENS RUURLO	31

	b1z.
5. ENKELE ASPECTEN VAN ALTERNATIEVEN VOOR DE DEELMODELLEN- AANPAK	33
5.1. Bestaande modellen	33
5.2. Mogelijkheden	35
5.3. Conclusies	35
6. BESLISPUNTEN EN AANBEVELINGEN	36
LITERATUUR	37

1. INLEIDING

1.1. D o e l s t e l l i n g e n

Als belangrijkste doelstellingen in de projectomschrijving komen naar voren:

- beschrijving van de invloed van omgevingsfactoren (vocht, temperatuur, aeratie, pH) op de processen in de N-huishouding
- voor willekeurige Nederlandse situaties voorspellingen kunnen doen met betrekking tot de uitspoeling op langere termijn (tientallen jaren) onder invloed van alternatieven op het gebied van bemesting, waterhuishouding en bouwplan.

Omdat gewerkt wordt ten behoeve van evaluatie van landinrichtingsplannen en milieu-effect-rapportage moet het laatstgenoemde punt einddoel zijn, en kan het eerstgenoemde gezien worden als voorgeschreven middel.

Tussen beide doelstellingen bevindt zich een spanningsveld. De eerste wijst namelijk in de richting van een gedetailleerde samenhangende beschrijving van alle relevante deelprocessen in de N-kringloop, de tweede impliceert een globalere aanpak. In eerste instantie is getracht beide doelstellingen met elkaar in overeenstemming te brengen door aan te nemen, dat er een model te construeren is, bestaande uit deelmodellen die de diverse processen apart beschrijven - empirisch of meer fundamenteel -, maar niet te gedetailleerd, zodat nog redelijk efficiënt met computertijd wordt omgesprongen, ook al worden perioden van tientallen jaren gesimuleerd.

1.2. E i s e n a a n m o d e l

Het model moet kunnen beschrijven de invloed op de N-uitspoeling van:

- grondsoort
- grondgebruik (bouwland (div. gewassen (-rotaties), grasland (maaien/weiden), tuinbouw)
- bemestingsregime (hoeveelheid, aard en wijze van toediening van mest)
- omgevingsfactoren (bodemtemperatuur, vochthuishouding e.d.).

In verband met de eis tot ruime toepasbaarheid moet het model tevens voldoen aan de volgende punten:

- invoergegevens moeten betrekkelijk gemakkelijk kunnen worden verkregen
- resultaten moeten betrouwbaar zijn op lange termijn
- programma mag niet te duur zijn in gebruik (computertijd).

1.3. T e r r e i n - a f b a k e n i n g

Met het definiëren van de volgende beperkingen kan het werkterrein nader worden omschreven:

1. Het model moet geconstrueerd worden met behulp van beschikbare kennis. Er zal in beginsel geen eigen veldonderzoek binnen dit project gedaan worden; hoogstens kunnen aanzetten tot onderzoek worden gegeven.
2. Diverse alternatieven in landgebruik moeten per situatie beschreven kunnen worden. Het model zal daarom uitgaan van uniforme, en niet van gemiddelde, situaties.
3. De nadruk ligt op uitspoeling. Daarom zal de aandacht uitgaan naar de processen in de onverzadigde zone, welke voor de uitspoeling naar de verzadigde zone van groot belang zijn. Een model als NIMWAG (RIJTEMA & HOELJMAKERS, 1984), dat het lot van de uitspoelde N via verzadigde zone en aquifer naar een pompstation beschrijft, sluit hier op aan. Omdat in de onverzadigde zone de stroming voornamelijk in verticale richting plaatsvindt, zal het model op 1-dimensionale schaal opereren.
4. Op andere instituten in Nederland wordt ook aan N-onderzoek en -modellering gewerkt, waarbij de aandacht op specifieke deelontwerpen is gericht. Onder andere:
 - IB : humusvorming, mineralisatie organische N; relatie bemesting-opbrengst
 - CABO: N-opname door de plant; verdeling C en N over plantendelen

ITAL: microbiële processen in de N-kringloop van de bodem.

Van de op deze instituten aanwezige kennis kan gebruik worden gemaakt. Het ICW zal vooral kennis moeten leveren op het gebied van het modelleren van de invloeden van de waterhuishouding op de stikstofhuishouding.

5. In een voorgaande studie (VAN HUET, 1983) is gewezen op het belang van modellering op dagbasis. Vanuit het ICW zou deze keuze vooral wenselijk zijn wanneer hiermee een betere kwantificering van denitrificatie- en vervluchtigingsprocessen verkregen zou kunnen worden.

Een deelmodellen-aanpak zoals in 1.1 geschetst leidt in ieder geval tot een modellering op kleinere tijdschaal dan een jaar. Voor de simultane beschrijving van deelprocessen wordt de tijdstap in principe bepaald door het snelst verlopende deelproces. Hier zal in 3.3 op terug worden gekomen. In eerste instantie is gekozen voor een modellering op dagbasis. Een vaste tijdstap van 1 dag komt ook in de literatuur wel voor (o.a. SELIGMAN & VAN KEULEN, 1981). Ook wordt wel met kleinere tijdstappen gewerkt, maar dit leek niet zinvol voor lange-termijn-voorspellingen. Met tijdstappen groter dan 1 dag wordt bij de beschrijving op basis van deelmodellen niet gewerkt.

2. EVALUATIE BESTAANDE MODELLEN MET BETREKKING TOT EISEN

Uit het ruime aanbod aan literatuur op het gebied van stikstof zijn vooral publikaties op modelmatig gebied bestudeerd. Het workshop-boek over N-modellering (ed. by FRISSEL & VAN VEEN, 1981) is een goede informatiebron. Het concept-model STYX, op het ICW ontwikkeld (VAN HUET, 1983) is uitgebreid bestudeerd en verder uitgewerkt (zie ook hoofdstuk 4).

In tabel 1 wordt een aantal bestaande modellen dat op basis van deelmodellen opereert, geëvalueerd ten opzichte van de in 1.2 gestelde eisen. Hieruit blijkt dat geen van de modellen aan alle eisen voldoet. Wel zal blijken, dat onderdelen ervan goed bruikbaar zijn voor modellering op dagbasis.

Tabel 1. Evaluatie van bestaande modellen

Bron	Div. grond- soor- ten + lagen	Div. moge- lijk- heden t.a.v. water- beheer- sing	Bouw- land + gewas- soort	Grasland		Bemesting		Omgevingsfactoren					Een- voud input	Toet- sing lange ter- mijn	Goed- koop (cpu)
				maaien	weiden	orga- nisch	kunst	versch. toe- die- nings wijzen	θ	temp.	pH	C/N	O ₂		
TANJI e.a., 1981	+	?	graan ⁺	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
WAGENET, 1981	+	+	graan ⁺	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
RAO e.a., 1981	+	-	graan ⁺	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+
SELIM en ISKANDAR 1981	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-
KRUH en SEGAL, 1981	-	-	katoen ⁺	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-
VAN VEEN en FRISSEL, 1981	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-
McGILL e.a., 1981	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-
SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981	-	-	graan ⁺	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+
VAN HUET, 1983	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-
DAVIDSON e.a., 1978 a*	-	-	graan ⁺	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-
DAVONDSOON e.a. 1978 b*	-	-	graan ⁺	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+
BHAT e.a., 1981	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	?
REUSS en INNIS, 1978	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	?	?

*a = research model
*b = management model } samen in 1 publikatie

De belangrijkste tekortkomingen van de modellen ten opzichte van de gestelde eisen liggen in het algemeen op het gebied van:

1. Beschrijving van de waterhuishouding. Deze is over het algemeen gesproken niet zodanig dat verschillende waterbeheersingsregimes kunnen worden gesimuleerd. Veel wordt gewerkt met eenvoudige infiltratieschema's: regenval en/of irrigatiewater wordt zodanig verdeeld over het profiel dat aanvulling tot veldcapaciteit vanaf de bovenzijde plaats heeft; eventueel overig water stroomt naar een volgende laag. Ook wel wordt gewerkt met een gefixeerde randvoorwaarde aan de onderzijde, zoals een vaste grondwaterspiegel. Soms wordt uitgegaan van een homogene grond met betrekking tot waterhuishoudkundige eigenschappen.
2. Variatie in grondgebruik. De meeste bestudeerde modellen gelden voor bouwland en dan voornamelijk voor graan. Modelleren van de gewasontwikkeling is echter in de meeste gevallen dusdanig dat vervanging door een ander gewas (indien gegevens over wortelgroei aanwezig zijn) eenvoudig is.
3. Toetsing op lange termijn. Geen van de modellen is ontworpen voor of getoetst aan de hand van gegevens voor perioden van langer dan 1 jaar, meestal zelfs niet voor perioden langer dan 1 groeiseizoen. Voor de uitspoeling van nitraat is juist de winterperiode van belang.
4. Verwaarlozing van deelprocessen. Voor een aantal situaties zijn bepaalde deelprocessen niet van belang, zoals denitrificatie in semi-aride gebieden (SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981), of NH_4 -vervluchtiging wanneer slechts kunstmest wordt gegeven (o.a. SELIM en ISKANDAR, 1981).
5. Verwaarlozing van omgevingsfactoren. Lang niet altijd wordt de invloed van alle omgevingsfactoren gemodelleerd, terwijl voor de gesimuleerde situaties toch vaak redelijke uitkomsten worden verkregen. Aan vochtgehalte en temperatuur wordt de meeste aandacht besteed; de C/N verhouding speelt op zeer verschillende niveaus van detaillering een rol; de pH wordt in het algemeen per situatie optimaal verondersteld, en de invloed van de O_2 -huishouding wordt meestal niet beschreven.
6. Kosten. Deze hangen sterk af van het gebruikte computersysteem en de toegepaste taal, maar zijn bij dergelijke gedetailleerde modellen nooit laag.

Zeer gunstige uitschieters vormen RAO e.a. (1981): 0,18 min. per groeiseizoen (FORTRAN) en SELIGMAN en VAN KEULEN (1981): 10 sec. per groeiseizoen (CSMP). Naast rekentijd (computer-seconden) telt echter ook het geheugengebruik in de kosten mee. Dit is bijvoorbeeld vooral bij CSMP van belang.

FRISSEL en VAN VEEN (1982) concluderen eveneens dat een algemeen toepasbaar model nog niet bestaat, maar slechts modellen, ontwikkeld naar aanleiding van specifiek onderzoek (zgn. wetenschappelijke modellen) waarmee pogingen zijn gedaan ze door uitbreiding meer algemeen te maken.

3. ASPECTEN VAN HET WERKEN OP DEELMODELLEN-BASIS

3.1. A l g e m e e n

Het modelleren op dagbasis ten behoeve van lange-termijn-voorspellingen betreffende uitspoeling vereist dat het niveau van detailering in de verschillende deelmodellen in overeenstemming is met:

1. k e n n i s omtrent het proces, uit te drukken in kwantitatieve relaties, zodanig nauwkeurig, dat ook op lange termijn geen excessen ontstaan;
2. b e l a n g van het proces (direct of indirect) met betrekking tot de uitspoeling en de verandering in uitspoeling bij verandering van landgebruik;
3. niveau van k e n n i s van a n d e r e d e e l p r o c e s s e n van gelijk belang (de zwakste schakel bepaalt de sterkte van de keten);
4. s n e l h e i d waarmee het proces plaatsvindt in verhouding tot de lengte van de tijdstap. Wanneer met een vaste tijdstap van 1 dag gewerkt wordt, kunnen processen zoals NH_3 -vervluchtiging niet gedetailleerd beschreven worden omdat de tijdconstante (zie 3.3) veel kleiner is dan 1 dag;
5. de eis dat de i n v o e r p a r a m e t e r s met niet te veel moeite te bepalen moeten zijn.

Evaluatie van beschikbare kennis met betrekking tot deelprocessen zal zoveel mogelijk aan de hand van deze criteria plaatshebben.

3.2. De deelprocessen en beïnvloedende factoren

3.2.1. De organische stofhuishouding

Het gedrag van de organische stof in de bodem is van groot belang voor de N-huishouding door de directe invloed van mineralisatie/immobilisatie op de netto vrijkomende hoeveelheid mineraal N die in principe beschikbaar is voor opname door de plant en voor uitspoeling.

De hoeveelheid organisch N in de bodem is in vele gevallen tientallen malen groter dan de hoeveelheid mineraal N en de jaarlijks toegediende hoeveelheid N uit (kunst)mest.

Voor beschouwingen op korte termijn (≤ 1 jaar) wordt in sommige gevallen deze hoeveelheid constant beschouwd en niet in de N-dynamiek betrokken (SELIM en ISKANDAR, 1981). Soms wordt netto mineralisatie eenvoudig beschreven als een functie van de tijd (ADDISCOTT, 1981) en geen aandacht besteed aan aard en hoeveelheid organisch materiaal in de bodem. Wanneer echter langere perioden in beschouwing worden genomen moet wel degelijk rekening worden gehouden met veranderend organisch stofgehalte in relatie met gebruik van het land (RUSSEL, 1981).

Bij gelijke behandeling van de bodem gedurende een aantal jaren stelt zich een evenwicht in en geldt: hoeveelheid aanvoer = hoeveelheid mineralisatie, en kan het jaarlijks mineralisatieverloop geschat worden (KORTLEVEN, 1963). De evenwichtsinstelling heeft echter tientallen tot honderden jaren nodig. Voor het in dit project gestelde doel, evaluatie van alternatieven, is het de vraag of moet uitgegaan worden van de per alternatief te bereiken evenwichtssituatie, of dat tevens nauwkeurig aandacht moet worden besteed aan de processen 'onderweg'.

De dynamiek van de organische stofhuishouding wordt in principe bepaald door de groei en afsterving van micro-organismen. FRISSEL en VAN VEEN (1982) noemen de beschrijving van microbiologische activiteit in modellen, bedoeld voor simulatie van perioden ≤ 1 jaar onontkoombaar; voor modellen die perioden tot 100 jaar moeten doorrekenen kan deze beschrijving impliciet opgenomen zijn in de snelheidsvergelijkingen voor organisch-materiaal-omzettingen. Ook VAN KEULEN (1984) en LANTINGA (1984) geven een centrale plaats aan de expliciete beschrijving van de microbiële biomassa in modellen die opereren op dagbasis.

De relevante microbiologische parameter-waarden, te gebruiken in geïntegreerd model berusten echter meestal op (grote) schattingen (LANTINGA, 1984) of op resultaten van zeer situatiespecifiek onderzoek, zoals in het model van FRISSEL en VAN VEEN (1981). Voor gebruik in lange termijnvoorspellingen lijkt detaillering in deze richting, indien al noodzakelijk, nog niet haalbaar. Er zijn ook modellen die met tijdstappen van ≤ 1 dag rekenen zonder expliciete beschrijving van de microflora, en daarbij toch goede resultaten boeken, onder andere DAVIDSON e.a. (1978).

In de meeste modellen met genuanceerde beschrijving van de organische stofhuishouding wordt het organisch materiaal opgesplitst in fracties met verschillende omzettingssnelheden, hetzij naar chemische samenstelling (b.v. eiwitten/(hemi)cellulosen/ligninen), hetzij in minder specifiek omschreven 'rekentechnische' fracties (bijvoorbeeld wel/niet aantastbaar bodem-org.mat.; diverse fracties in toegevoegd org. mat.) in allerlei gradaties van verfijning. Opsplitsing naar chemische samenstelling gaat meestal samen met een expliciete beschrijving van de microflora.

Bij opsplitsing in rekentechnische fracties wordt in het algemeen verondersteld, dat de microflora deel uitmaakt van één dezer fracties. In alle gevallen doet zich de noodzaak voor om de gevraagde beginfractieverdeling in een profiel en in het toe te voeren organisch materiaal in samenhang met snelheidsconstanten voor omzetting vast te stellen. Mogelijkheden hiertoe zijn beperkt.

Beschrijving van immobilisatie (mineralisatie vindt veelal plaats met ofwel eerste-orde- ofwel monod-kinetiek, waarbij voor de eerstgenoemde wijze de parameters gemakkelijker verkrijgbaar zijn en de tweede wijze als voordeel heeft dat de biologische capaciteit van de microflora als beperkende factor beschreven kan worden (BOSATTA e.a., 1981).

De sterke samenhang tussen C- en N-huishouding is algemeen bekend, maar geeft uiteraard extra complicaties bij de modellering. Bij de afbraak van aan grond toegediend organisch materiaal bepaalt de C/N-verhouding daarvan in belangrijke mate of netto mineralisatie of immobilisatie plaats zal vinden. De minerale N-vermindering als gevolg van netto-immobilisatie kan weken tot maanden duren (HUNTJENS, 1980), en mag bij modellering op dagbasis dus zeker niet verwaarloosd

worden. Het werken op dagbasis met relaties voor de afbraaksnelheid (netto mineralisatie) van organische materialen, die vastgesteld zijn op lange-termijnbasis (jaarbasis), zoals gebeurt in STYX (VAN HUET, 1983) is dus niet geoorloofd. In geen enkel model dat enige aandacht besteedt aan fractionering van organisch materiaal en rekent met tijdstappen ≤ 1 dag wordt ononderbroken met netto mineralisatie gewerkt.

Splitsing van mineralisatie en immobilisatie gebeurt globaal gesproken in bestaande modellen op 2 manieren:

1. Immobilisatiesnelheid afhankelijk van mineraal-N-concentraties; mineralisatiesnelheid afhankelijk van organisch-N-concentraties.
2. De C/N-verhouding van toegediende substraten en/of bodem heeft bovendien een belangrijke invloed op genoemde snelheden; in modellen met deze benadering wordt de C-huishouding naast de N-huishouding gemodelleerd.

Met name in samenhang met de mogelijkheid van optreden van netto-immobilisatie na toevoeging van substraten met hoge C/N-verhouding (stro e.d.) lijkt het zinvol om aandacht te besteden aan de C-huishouding.

REDDY e.a. (1980) wijzen erop dat organische stof zich ook voor een klein deel in oplossing kan bevinden en dus getransporteerd worden. Zij geven een relatie tussen wateroplosbaar organisch materiaal en de TOC van de grond. Met betrekking tot de hoeveelheid organisch C die bij runoff kan verdwijnen (in deeltjes- zowel als in opgeloste vorm) concluderen zij dat de informatie nog niet toereikend is voor een kwantitatieve beschrijving.

3.2.2. Nitrificatie

Omzetting van NH_4^+ in NO_3^- wordt op enkele uitzonderingen na (VAN VEEN en FRISSEL, 1981, BHAT e.a., 1981) als één stap beschouwd die met behulp van een 1e-orde reactie beschreven wordt. Algemeen wordt gesteld dat de omzetting van NH_4^+ in NO_2^- altijd langzamer gaat dan die van NO_2^- in NO_3^- . Er is geen reden om hiervan af te wijken.

3.2.3. Denitrificatie

Het denitrificatieproces is in humiede streken van groot belang met betrekking tot de uitspoeling. Het is naast immobilisatie de enige

manier waarop NO_3^- , wanneer het eenmaal buiten bereik van de wortelzone is gekomen, kan ontkomen aan uitspoeling. Desalniettemin blijkt het een moeilijk meetbaar en kwantificeerbaar proces. Voor een nauwkeurige modellering van denitrificatie (gebruik van NO_3^- in plaats van O_2 als electronenacceptor, resulterend in vervluchtiging van gasvormige N-produkten) in de onverzadigde zone is een beschrijving nodig van het ontstaan van partiële anaërobie. Hiervoor is in feite gedetailleerde kennis nodig van de structuur van de grond (LEFFELAAR, 1981). Het ontstaan van anaerobe zones binnen aggregaten kan worden beschreven aan de hand van O_2 -consumptie- en diffusie-snelheden (SMITH, 1981) en de snelheid van denitrificatie in anaërobe zones wordt in principe bepaald door de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal (VAN VEEN en FRISSEL, 1981) tenzij NO_3^- beperkend is. VAN VEEN en FRISSEL (1981) beschrijven denitrificatie met behulp van een gefingeerde bodemstructuur, waarbij alle poriën cilindrisch en 1 cm lang zijn en het aantal luchtgevulde poriën berekend wordt met behulp van de pF-curve, zodat structuurgegevens niet nodig zijn. De meeste stikstof-modelbouwers zien echter af van het beschrijven van partiële anaërobie omdat dit een modellering van de O_2 -huishouding vereist, en we vinden denitrificatie dan ook meestal als een eerste- (soms nulde-)orde proces in afhankelijkheid van de NO_3^- -concentratie, waarbij de snelheid mede bepaald wordt door vochtgehalte en soms organische stofgehalte. BHAT e.a. (1981) betrekken de BOD_5 van drijfmest in de beschrijving.

Bij nauwkeurige beschrijving van de O_2 -huishouding en het ontstaan van partiële anaërobie komen nog teveel details en onzekerheden kijken om geschikt te zijn voor gebruik in een lange-termijn-model. Waarschijnlijk geeft een 1e-orde-benadering met enkele reductiefactoren (minimaal voor vocht en organische stofgehalte) evenveel (on)zekerheid.

Beschrijving van denitrificatie is een 'zwakke schakel in de keten'.

3.2.4. Vervluchtiging en oppervlakkige afspoeling

Vervluchtiging van NH_3 uit oppervlakkig toegediende meststoffen kan een belangrijke verliespost betekenen in de N-balans van de bodem. Het proces is sterk weersafhankelijk en kan zeer snel gaan. Het model

van PARTON e.a. (1981) voor dit proces werkt met tijdstappen in de orde van grootte van seconden tot minuten. Bodemwaterhuishouding, bodem- en luchttemperatuur zijn de belangrijkste regulerende factoren. Wanneer met tijdstappen van 1 dag gerekend wordt, kan dit proces niet exact worden beschreven. SELIGMAN en VAN KEULEN (1981) stellen dat een dergelijk proces dan met behulp van een 'mimicking procedure' gemodelleerd moet worden. Bij hen komt dit neer op een eerste-orderactie met snelheidsbeperking beneden een zekere NH_4^+ -concentratie. Ook WAGENET (1981) gebruikt eerste-orde kinetiek. VAN VEEN en FRISSEL (1981) beschrijven vervluchtiging met behulp van verdelingsevenwichten van NH_4 en NH_3 tussen de fasen vast/vloeibaar/gas onder invloed van de pH, en met behulp van diffusie in de gasfase.

In vele modellen wordt geen aandacht besteed aan NH_3 -vervluchtiging hetgeen begrijpelijk is wanneer slechts kunstmest wordt gebruikt of wanneer organische mest wordt geïnjecteerd.

Een nauwkeuriger beschrijving dan met behulp van eerste-orde kinetiek, waarbij het vochtgehalte een belangrijke rol speelt, is vooralsnog in modellen met een tijdstap ≥ 1 dag niet haalbaar. In situaties waar vervluchtiging een reële mogelijkheid is, zal deze benadering een grove schatting geven van de werkelijke vervluchtiging.

Ook oppervlakkige afspoeling van N-componenten uit toegediende mest tijdens overvloedige regenval is een proces wat zeer snel plaatsvindt, en modelmatig wel is vast te leggen, maar in de praktijk sterk perceelsafhankelijk is (helling, maaiveldbergings, waterhuishouding). Modellen voor de waterhuishouding kunnen een benadering geven van de hoeveelheid afspoelend water; vervolgens moet de concentratie in het afstromende water geschat worden, bijvoorbeeld als functie van de drijfmestgift en de verstreken tijd na bemesting (STEENVOORDEN, 1983b), waarmee een grove benadering wordt geconstrueerd van de door afspoeling verdwijnende hoeveelheid N.

3.2.5. W a t e r h u i s h o u d i n g e n N - t r a n s p o r t

Een accurate beschrijving van de waterhuishouding is noodzaak voor een goede modellering van de stikstofkringloop in het algemeen en van de uitspoeling in het bijzonder. Het is goed gebruik te maken

van op het ICW aanwezige kennis met betrekking tot dit onderwerp. Met een model als SWATRE kunnen verschillende waterhuishoudkundige alternatieven op diverse grondsoorten worden doorgerekend op perceleniveau.

SWATRE werkt met tijdstappen ≤ 1 dag. Directe incorporatie van de N-huishoudingsvergelijkingen in SWATRE per tijdstap zou een log, onnodig kostbaar model opleveren. Een alternatief is het gebruiken van dagelijkse output van SWATRE als input voor een stikstofmodel. De N-huishouding wordt dan gesuperponeerd op een apart berekende waterhuishouding. Dit zou als voordeel hebben dat verschillende alternatieven met betrekking tot de N-modellering (variatie van parameters, diverse bemestingsregimes) kunnen worden doorgerekend met behulp van een éénmalig te berekenen waterhuishouding. Ontkoppeling brengt echter ook bezwaren mee, zoals het punt dat onderlinge afhankelijkheid van bijvoorbeeld gewasgroei en N-opname niet gemodelleerd kan worden. Overigens zijn er nauwelijks modellen die met een volledige terugkoppeling tussen deze parameters rekenen. VAN KEULEN (1984) komt er nog het dichtst bij in de buurt. Hij modelleert overigens de gewasproductie, opgesplitst naar ondergrondse en bovengrondse productie, hetgeen voor een volledige terugkoppeling noodzaak is. In 3.2.6 wordt verder op dit punt ingegaan.

Bij het gebruik van een 'kant en klaar' model als SWATRE, moet niet uit het oog worden verloren dat dit een aanzienlijke hoeveelheid invoerparameters vraagt. De belangrijkste invoer die inspanning vereist, betreft:

1. bodemeigenschappen: $pF(\theta)$ en $k(\theta)$ -relatie, eventueel voor diverse lagen verschillend;
2. ondergrensvoorwaarde(n). Te kiezen valt uit:
 - dagelijkse grondwaterstand invoeren
 - dagelijkse flux uit onverzadigde zone invoeren
 - gegevens invoeren ten behoeve van het berekenen van verzadigde stroming naar sloten en diepe percolatie; opgeven van de dagelijkse waterstand in sloten
 - dagelijkse zuigspanning in onderste compartiment invoeren
 - parameters invoeren voor een relatie tussen flux uit de verzadigde zone en grondwaterstand.

Uiteraard betreffen de onder 1 en 2 genoemde zaken juist datgene wat wij ook in het N-model willen kunnen variëren.

3. bovengrensvoorwaarde(n). Te kiezen valt uit:

- dagelijkse waarden voor neerslag, bodemverdamping en transpiratie invoeren.

De bodemverdamping en -transpiratie zullen in het algemeen niet direct gegeven kunnen worden, en worden dan berekend met behulp van diverse formules. De minste invoer is nodig bij berekening van potentiële evapotranspiratie met behulp van de formule van Priestley en Taylor. Dan wordt gevraagd:

- dagelijkse waarden invoeren voor: neerslag, globale straling gemiddelde luchttemperatuur en -luchtvochtigheid, fractie bodembedekking, en bovendien éénmalige invoer van coëfficiënten voor de relatie Leaf Area Index-fractie bodembedekking (voor gras kan dit laatste omzeild worden, zie 3.4).

Fig. 1 geeft de wijze waarop de dagelijkse uitvoer van SWATRE als invoer voor een stikstofmodel kan dienen.

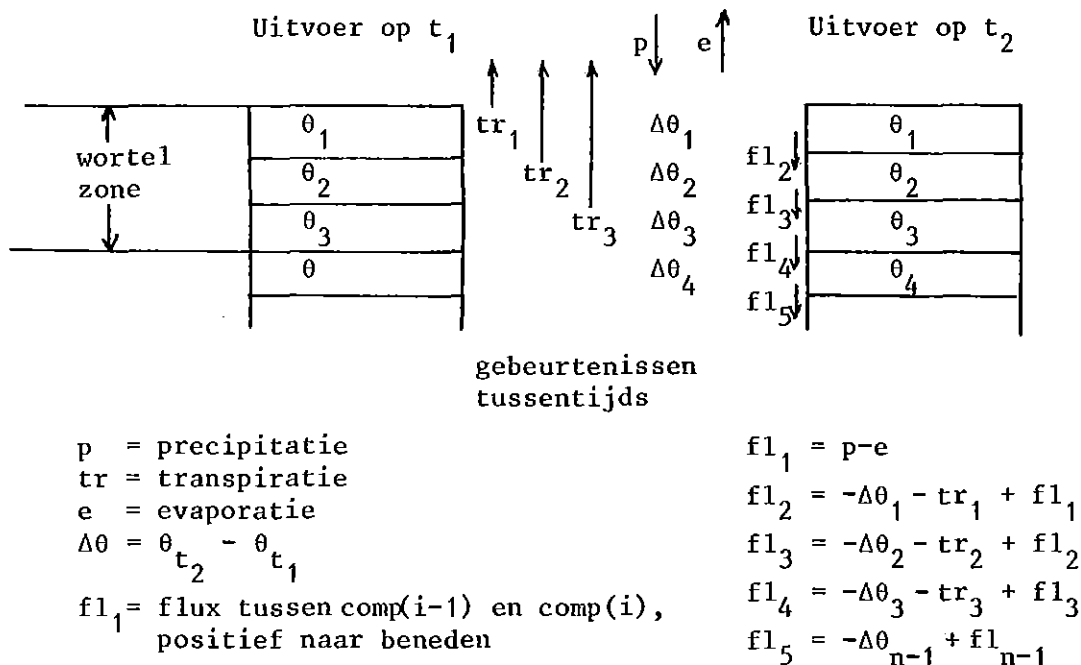


Fig. 1. Verwerking uitvoer SWATRE

Dagelijkse vochtgehaltes (of gemiddelden tussen t_1 en t_2) kunnen direct worden gebruikt in de relaties zuigspanning-reductie in processnelheid.

N e t t o fluxen tussen aangrenzende compartimenten kunnen worden berekend door de waterbalans per compartiment van boven naar beneden toe te passen.

Betreffende het transport van opgeloste N-species worden in het algemeen NO_3^- en NH_4^+ mobiel verondersteld, en organisch N immobiel. Beschrijving van transport kan met behulp van een convectie-dispersie-vergelijking in geval de waterhuishouding beschreven wordt met behulp van een vergelijking voor (niet-stationaire) stroming zoals bij SWATRE en vergelijkbare modellen; wanneer gebruik wordt gemaakt van een 'infiltratie tot veldcapaciteit'-waterhuishouding (zie hoofdstuk 2) heeft dit geen zin en kan met propstroming worden gewerkt. (Hierbij ontstaat dan vanzelf numerieke dispersie).

Vertraging van het transport van NH_4^+ door adsorptie wordt meestal beschreven met behulp van een eenvoudige verdelingsconstante $\text{NH}_4\text{vaste}/\text{NH}_4\text{vloeibare}$ fase en de veronderstelling van instantane evenwichtsinstelling. Aan NH_4^+ -fixatie wordt alleen door VAN VEEN en FRISSEL (1981) aandacht besteed. Dit proces kan van belang zijn in gronden die veel klei-mineralen bevatten; de (niet gemakkelijk te bepalen) fixatie-capaciteit speelt een rol (VAN VEEN, 1977). Het is niet duidelijk geworden waarom anderen hierover zwijgen.

Als 'uitgespoeld N' kan het beste gedefinieerd worden de totale hoeveelheid N die beneden een gedefinieerde diepte verdwijnt, minus wat door capillaire opstijging weer terugkomt boven dat niveau. De gesimuleerde profieldiepte, en, bij toetsing aan veldgegevens, de diepte van beginbemonstering, moeten zodanig worden gekozen, dat beneden het gedefinieerde niveau van uitspoeling een laag van zodanige dikte meegesimuleerd wordt dat de met een maximaal te verwachten capillaire opstijging meegevoerde concentraties bekend zijn. Het blijkt namelijk dat niet altijd de concentratie naar beneden toe steeds afneemt. Soms zit op grotere diepte nog een 'bult' nitraat die in het voorgaande jaar is uitgespoeld. Het opstellen van NO_3^- -balansen is zonder kennis hiervan moeilijk (FONCK, 1984).

Fig. 2 geeft schematisch aan hoe in een zoals boven omschreven gekozen en bemonsterd profiel aan het einde van de zomer onderin onzekerheid over NO_3^- -concentraties bestaat; na de winterperiode en omdat we in Nederland in het algemeen te maken hebben met een netto afvoer is de uitgangssituatie voor de volgende zomer weer voldoende bekend.

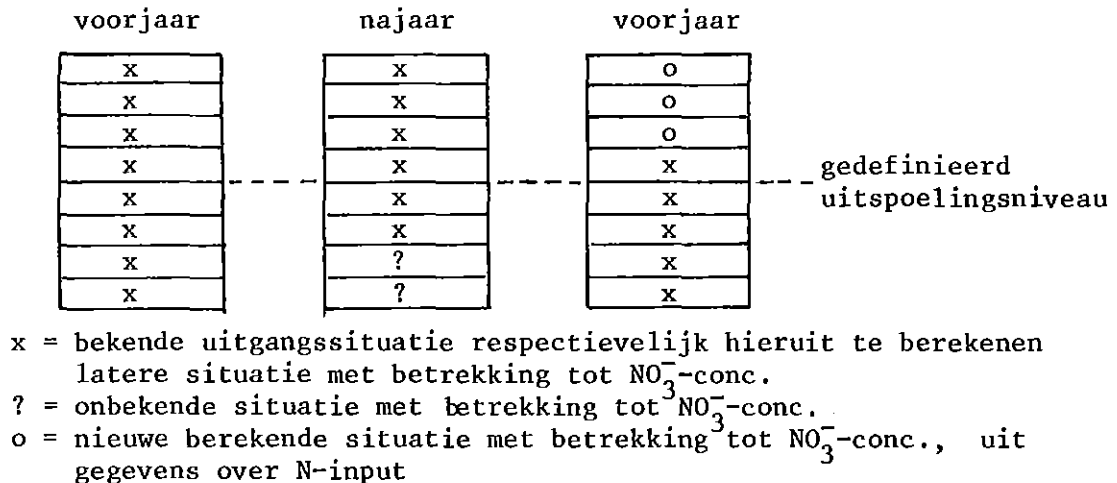


Fig. 2. Belang van definiëring van uitspoelingsniveau boven onderzijde van gesimuleerde profiel

3.2.6. Gewasgroei en N-opname door het gewas

In het bijzonder met betrekking tot deze processen doet zich de vraag voor hoe ver we moeten gaan in detaillering.

Uiteraard is de hoeveelheid N die door een gewas wordt opgenomen sterk medebepalend voor de hoeveelheid die overblijft en onderhevig is aan uitspoeling. Wij zijn echter in feite niet geïnteresseerd in de groei, ontwikkeling en opbrengst van het gewas, maar alleen in de dagelijkse totale opname en in het gehalte aan N in afstervende wortels en stoppels.

In hoeverre is het mogelijk met weinig aandacht voor de gewasgroei deze zaken toch redelijk te modelleren?

De hoeveelheid in een jaar opgenomen N vertoont in het algemeen een rechtlijnig verband met de hoeveelheid toegediende N. Deze rechte gaat echter niet door nul (mineralisatie!) en heeft per jaar gewassoort en grond een andere helling en abscis (VAN KEULEN, 1982). De droge stof-opbrengst vertoont in het algemeen een eenduidig verband met de totale N-opname, onafhankelijk van de omstandigheden. Bij modellering op dagbasis hebben we bovendien te maken met een

verdeling van de opname over het jaar, die qua nauwkeurigheid in juiste verhouding moet staan met de andere stikstofprocessen. De dagelijkse N-opname wordt voornamelijk bepaald door de N- en vochttoestand van de bodem en door de vraag van het gewas.

In bestaande modellen zijn twee niveau's van modellering van deze zaken te onderscheiden:

A. Niveau 1.

De eenvoudigste, en meest gebruikte wijze van modellering is:

De N-opname is een functie (Monod-type) van de minerale N-concentratie en de wortel(lengte- of dichtheids-)verdeling. De wortelverdeling is een opgelegde functie van de tijd (empirisch vastgesteld, veelal voor graan gebruikt) of een constante (SELIM en ISKANDAR, 1981, voor gras).

In een aantal gevallen wordt de N-opname onafhankelijk van de wateropname geacht. KRUK en SEGALL, 1981) laten de N-opname uitsluitend door de wateropname bepalen. RAO e.a. (1981) voeren een reductiefactor voor 'waterstress' in.

Gewasproductie, verdeling van N over plantendelen en concentraties N daarin kunnen niet worden bijgehouden. Dit levert natuurlijk weinig moeilijkheden op wanneer slechts 1 groeiseizoen wordt doorgerekend. Op het moment van de oogst, wanneer de gewasresten worden toegevoegd aan het profiel, stoppen deze modellen.

B. Niveau 2.

Op het tweede niveau van modellering is de N-opname behalve van de concentratie in de bodem en de wortelverdeling ook afhankelijk van de N-concentratie in de wortel (REUSS en INNIS, 1978) of zelfs van de behoefte van de plant in zijn geheel (SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981).

Deze aanpak vereist een beschrijving van de gewasgroei, en eventueel ook van de verdeling van N over plantendelen, maar geeft dan ook duidelijk informatie over de hoeveelheid gewasresten en het % N daarin, achterblijvend na een oogst of snede.

Overigens wordt in deze modellen het vochtgehalte wel als beperkende factor voor de N-opname gemodelleerd.

ad A. Wanneer wij op het eerstgenoemde niveau zouden modelleren, zou de cumulatieve N-opname bijgehouden kunnen worden. Het tijdstip van de oogst/snede zou vast moeten liggen (niet afhankelijk van het

produktieniveau te stellen!) en op dat moment kan via een relatie van het type N-opname-droge stofproduktie (VAN KEULEN, 1982) en een geschat %N in de oogst òf aanname van gelijkelijke verdeling van N de achterblijvende hoeveelheid in oogstresten worden berekend. Gebruik van SWATRE ('losgekoppeld', zie 3.2.5) voor de waterhuishouding is in dit geval mogelijk. Fig. 3 geeft een schema voor de hier beschreven rekenwijze.

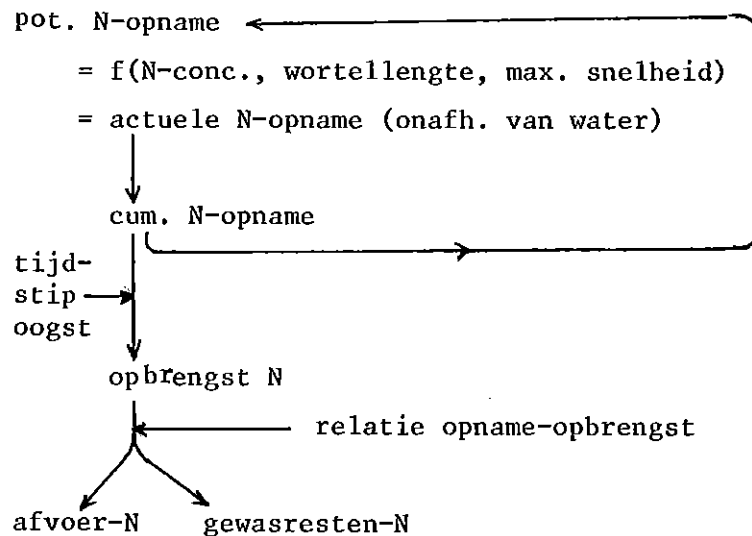


Fig. 3. Stikstofopname door gewas eenvoudig gemodelleerd

Ad B. Bij modellering op het tweede niveau lijkt aansluiting bij SWACRO gunstig. Het beschrijven van de gewasproduktie met water als enige beperkende factor heeft op zichzelf reeds jaren tijd gekost. Het model is operationeel voor aardappelen en graan (aan grasland wordt nu gewerkt), en rekent ten behoeve van het HELP project perioden van 30 jaar door voor diverse grondsoorten en ontwateringssituaties.

Zoals bij SWATRE wordt ook hier met tijdstappen < 1 dag gewerkt voor de waterhuishouding. De gewasproductie wordt echter per dag berekend. Zo zou dan ook op basis van dagelijkse berekeningen de stikstofhuishouding aan dit gedeelte gekoppeld kunnen worden. Wanneer de directe invloed van N op de produktie gesimuleerd moet kunnen worden, is loskoppeling van waterhuishouding en N-model zoals bij gebruik van SWATRE, niet mogelijk.

Wanneer de relevante relaties bekend zijn is incorporatie in SWACRO echter zeker niet moeilijk (DE GRAAF, 1984). Een voorlopig probleem is nog wel dat het model nu alleen voor aardappels en graan operationeel is. Juist voor grasland beschikt een aantal instituten over uitgebreide N-metingen, nodig om een model te toetsen.

Fig. 4 geeft een schema waarin de relaties tussen gewasgroei volgens SWACRO en N als limiterende factor worden weergegeven op kwalitatieve wijze. Het schema vormt een integratie en interpretatie van gegevens uit diverse literatuurbronnen, die ook in de tekst ter sprake zullen komen. De aandacht bij de literatuurstudie was vooral gericht op de situatie voor gras. Kwantificering van de diverse relaties is nog een probleem. Bespreking van het schema zal nu aan de hand van de daarin gegeven nummering plaatsvinden.

1. Het is uiteraard juister om de maximale potentiële N-opname te relateren aan een wortellengte- of -massaverdeling, afhankelijk van de tijd, of, nog beter, van de vooraf met het model zelf berekende wortelmassa (REUSS en INNIS, 1978), dan deze constant te stellen (BHAT e.a., 1981; SELIM en ISKANDAR, 1981). Echter, over de dagelijkse afsterving van graswortels en die, direct na een snede, is dermate weinig bekend, dat dit voor gras toch gerechtvaardigd lijkt. REUSS en INNIS (1978) maken een zodanige schatting van de dagelijkse wortel-afsterving, dat na 1 jaar om dezelfde tijd ongeveer dezelfde hoeveelheid wortels aanwezig is. Ook in het uitgebreide grasland-model van PARTON en SINGH (1976) is de simulatie van de wortelmassa een onzekere zaak.
2. De reductie in N-opname door watergebrek wordt verschillend, en in het algemeen nogal hypothetisch aangepakt ('verzonnen' functie van actuele evapotranspiratie/potentiële evapotranspiratie, BHAT e.a., 1981; aanname dat alle N in beschikbaar water beschikbaar is voor de plant, SELIM en ISKANDAR, 1981).

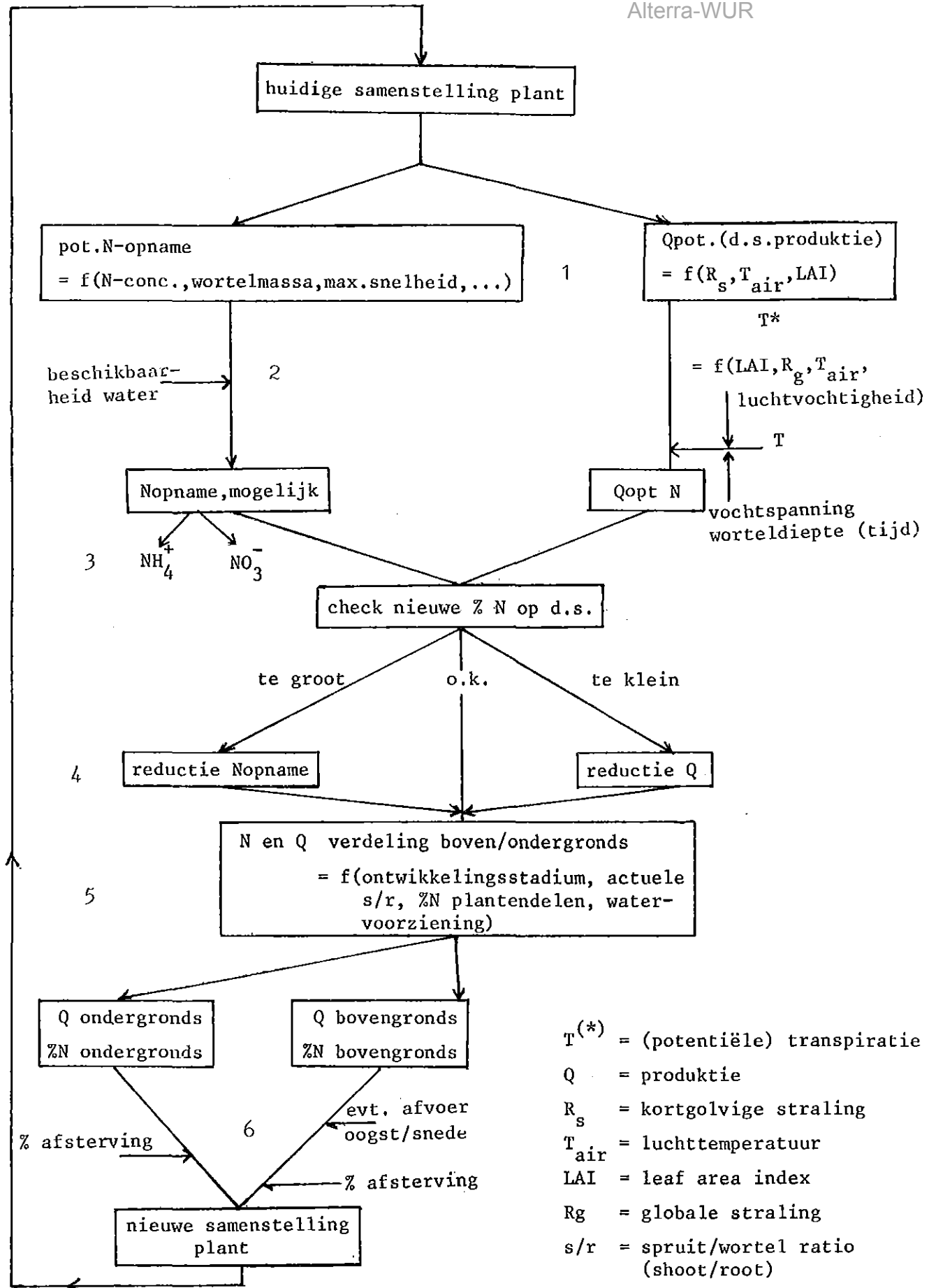


Fig. 4. Gewasontwikkeling met als limiterende factoren de beschikbaarheid van water en stikstof

3. In het algemeen wordt gesteld dat NH_4^+ geprefereerd wordt door de (gras)plant, maar dikwijls minder beschikbaar is dan NO_3^- door adsorptie aan kleimineralen. Wanneer al een opname van beide ionsoorten wordt gesimuleerd, gebeurt dit meestal in de vorm van 2 onafhankelijke snelheidsvergelijkingen. LYCKLAMA (1963) toonde een duidelijke beïnvloeding aan van voornamelijk de NH_4^+ -concentratie op de NO_3^- -opname.
4. Zolang de omstandigheden voor deze processen optimaal zijn, worden er meer wateroplosbare koolhydraten gevormd in de fotosynthese, en wordt er meer N opgenomen dan in grotere droge-stof-eenheden respectievelijk eiwitten kan worden verwerkt, zodat er reserves ontstaan (tot zekere maxima) die in slechtere tijden kunnen worden aangesproken (DEINUM, 1966). Het %N in de plant op droge stof basis zal tussen een minimum- en maximumwaarde variëren; de N-opname is niet alleen afhankelijk van het aanbod, maar ook van de vraag van de plant, met andere woorden van de voorgeschiedenis. Gegeven minima en maxima in de literatuur verschillen onderling. Voor Engels raaigras, een veel voorkomende soort in onze streken, komen de aanwijzingen redelijk overeen.

Wanneer N-gebrek de fotosynthese remt is niet bekend.

5. De verdeling van de geproduceerde droge stof (Q) en opgenomen N over de plant is een gecompliceerd punt. Volgens BROUWER (1966) behoort bij elke combinatie van soort / groeistadium / omgevingsfactoren (N, licht, water, fractie bodembedekking) één constante evenwichts spruit/wortel-ratio. Veranderen de omgevingsfactoren, dan zal naar de nieuwe bijbehorende evenwichtsverhouding toegroeid worden.

Hij stelt echter (BROUWER, 1963) dat zodra een gewasdek gesloten is de invloed van de bodemfactoren stopt, omdat dan alle straling opgevangen wordt en deze dus de limiterende factor is.

BHAT e.a. (1981) laten zowel de N- als de Q-verdeling afhangen van het %N in de hele plant; bij REUSS en INNIS (1978) is de N-verdeling afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de plant. Het is duidelijk dat hier met vereenvoudigingen gewerkt wordt.

De weinige informatie over wortelsterfte wordt in het algemeen gegeven in de vorm van 'turnover rates', variërend van niet veel langer dan 1 jaar (LANGER, 1979) tot meerdere jaren (SAUER, 1978).

Ook over het proces van bovengrondse afsterving is nauwelijks kwantitatieve informatie. Na maaien stopt de wortelgroei (BROUWER, 1963, 1966) en sterft bovendien een (onbekend) deel van het wortelstelsel. Over wortelactiviteit in de winter is weinig bekend.

Wanneer men de effecten van grazen wil beschrijven, zijn er nog extra onderwerpen om rekening mee te houden in de beschrijving: opname door de koe, vertrapping (→ afsterving), invloed van niet-egale verdeling van mest op gewasgroei (en uitspoeling).

Deze wijze van modellering brengt dus een groot aantal onzekerheden met zich mee, en het is de vraag of het totale dagelijkse effect, berekend met behulp van bovengenoemde relaties, nauwkeuriger zou zijn dan met behulp van de in de eerste methode gebruikte aannames.

3.2.7. Stikstofbinding

Stikstofbinding uit de lucht speelt onder Nederlandse omstandigheden alleen een grote rol bij de aanwezigheid van veel klaver op grasland of bij het kweken van een groenbemester. Aan modellering wordt meestal geen of weinig aandacht besteed (BOSATTA e.a., 1981) en deze vindt meestal plaats via een kleine nulde-orde-snelheid.

3.2.8. Beïnvloedende factoren

VAN HUET (1983) geeft een literatuuroverzicht van de invloed van temperatuur, vochtgehalte (-spanning) en pH op ammonificatie, intrificatie en denitrificatie. Zijn conclusies lijken goed toepasbaar voor een model volgens onze doelstellingen:

- gebruik van een Arrhenius-achtige curve voor temperatuursinvloed op alle processen
- gebruik van een 'gemiddelde' curve voor vochtspanningsinvloed op ammonificatie/intrificatie, en een curve volgens RHYZOVA (1979) voor de invloed van het vochtgehalte op denitrificatie.

Wat betreft de pH kan gesteld worden dat deze in de meeste intensief gebruikte landbouwgronden niet beneden een optimale waarde zal liggen. In natuurgebieden kan de pH suboptimaal zijn. De weergegeven curves (VAN HUET, 1983) doen echter door de grote verschillen vermoeden dat het pH optimum sterk gebonden is aan de grondsoort, met andere woorden dat de bacteriepopulatie zich aanpast aan de heersende pH, in samenhang met andere bodemfactoren.

Voor de beschrijving van de temperatuurhuishouding kan eveneens verwezen worden naar VAN HUET (1983). Voor lange-termijn-voorspellingen lijkt beschrijving van de temperatuurvariatie met behulp van een sinusmodel geschikt. De belangrijkste bodemparameter hierbij benodigd is de temperatuurvereffeningscoëfficiënt, welke aan de hand van gemiddelde fasenverdeling vast/organisch/water en literatuur-relaties bepaald kan worden. De gemiddelde temperatuur en de amplitude van de temperatuurgolf aan het oppervlak kunnen worden geschat met behulp van metingen uit voorgaande jaren.

Een meer geavanceerde beschrijving van de temperatuurhuishouding vereist beschrijving van de warmteflux door middel van convectie, transpiratie en geleiding (KRUH en SEGALL, 1981). Door gebrekkige informatie over opprvlakte-grensvoorwaarden zijn de hiervoor ontwikkelde modellen nog niet goed toepasbaar (ADDISCOTT e.a., 1981), zeker niet in het kader van voorspellingen.

Wanneer de C/N verhouding als beïnvloedende factor wordt gemodelleerd, is mee-modellering van de C-huishouding onvermijdelijk. In 3.2.1 is reeds gewezen op het belang hiervan.

Wat betreft de organische stof-huishouding wordt in modellen de snelheid van N-mineralisatie gerelateerd aan de snelheid van C-mineralisatie en de C/N-verhouding (SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981; RAO e.a., 1981), waarbij SELIGMAN en VAN KEULEN (1981) benadrukken dat de C en N inhouden van het totale systeem (per compartiment) betrokken moeten worden in de berekening van de C/N verhouding, dus zowel de samenstelling van de toegediende materialen als de stand van zaken in de bodem spelen mee. Zij relateren ook de immobilisatie snelheid aan de C/N verhouding. RAO e.a. (1981) maken gebruik van een 'delay time' in mineralisatie van toegediende organische materialen, afhankelijk van de C/N verhouding daarin en het heersende vochtgehalte. BHAT e.a. (1981) laten afhankelijk van de C/N van het toegediende materiaal eerst uitsluitend immobilisatie of mineralisatie plaatsvinden, totdat een C/N van 20 is bereikt, waarna beide processen naast elkaar kunnen plaatsvinden.

Wat betreft de C/N-invloed op denitrificatie wordt in het algemeen gewerkt met een reductiefactor op de snelheid van het proces (DAVIDSON e.a., 1978; SELIM en ISKANDAR, 1981), KRUH en SEGALL (1981) maken onderscheid tussen de situatie waar NO_3^- beperkend is, en die waar organische stof beperkend is.

Er zijn slechts weinig modellen die de invloed van aeratie op de N-processen beschrijven; meestal gebeurt dit slechts ten behoeve van het onderdeel denitrificatie (VAN VEEN en FRISSEL, 1981). Hoewel de theorie van O_2 -diffusie in poreuze media goed bekend is, en benodigde parameters niet te moeilijk verkrijgbaar, is het modelleren van denitrificatie op management-model-niveau nog niet goed mogelijk wegens onder andere ontbreken van gegevens over ruimtelijke variabiliteit in diffusiecoëfficiënten (ADDISCOTT e.a., 1981). Bovendien vereist het bijhouden van O_2 -inhouden van bodemlucht en -water veel extra rekentijd. Niet expliciet beschreven, speelt de aeratie toch indirect een rol via de modellering van de invloed van het vochtgehalte op de verschillende processen.

De gezamenlijke invloed van verschillende omgevingsfactoren op één proces kan het eenvoudigst worden beschreven - en dit gebeurt ook meestal - met behulp van een gecombineerde reductiefactor op de optimale snelheid, verkregen door de aparte reductiefactoren met elkaar te vermenigvuldigen.

Het kan echter zijn dat in werkelijkheid de combinatie anders werkt, wanneer bijvoorbeeld één factor dermate beperkend is dat een andere factor in een ruim traject geen extra invloed uitoefent op de reactiesnelheid, gaat deze methode niet op. Over dit onderwerp is geen literatuur gevonden.

3.3. Numerieke structuren van modellen

Wanneer watertransport en (convectief en dispersief) transport van stoffen, betrokken bij de N-kringloop, simultaan moeten worden beschreven met omzettingsprocessen tussen deze stoffen, hebben we al snel te maken met een stelsel van tweede orde partiële (in z en t) differentiaalvergelijkingen voor ammonium en nitraat van de vorm

$$\begin{aligned} A_t &= f(A_{zz}, A_z, A, B) \\ B_t &= f(B_{zz}, B_z, A, B) \end{aligned}$$

waarbij dan $A(z,t)$ en $B(z,t)$ de gevraagde ammonium- en nitraatconcentraties zijn.

Oplossingen kunnen worden gevonden met een eindige elementen- of eindige differentiebenadering. Laatstgenoemde wordt het meest toegepast.

DAVIDSON e.a. (1978) gebruiken een impliciete eindige differentiemethode. Deze leidt tot 3 lineaire stelsels vergelijkingen die met matrix-algebra kunnen worden opgelost, ten koste van een aanzienlijke hoeveelheid rekentijd. Hierbij zij vermeld dat de omzettingen alle volgens 1e-orde kinetiek beschreven werden en de opname van NH_4^+ en NO_3^- door planten niet in het oplossingsschema betrokken was. Wanneer zij verderop in de publikatie toch berekeningen uitvoeren inclusief plant-opname wordt gesproken van simultaan transport, omzettingen en plant-opname zonder dat de oplossing gegeven wordt. Waarschijnlijk wordt hier toch gewerkt met een opeenvolging van 'steady states': eerst alleen transport en omzettingen, daarna concentratiecorrecties als gevolg van alleen plantopname, dit alles binnen één tijdstap. Ook in het model van WAGENET (1981) wordt op dergelijke wijze gerekend.

Men kan zich de vraag stellen of het nodig is een ingewikkeld impliciet schema op te zetten wanneer niet alle simultane processen daarin betrokken (kunnen) worden. Een nadeel van dergelijke oplossingsmethoden is vervolgens dat convergentiecriteria, geldend voor de oplossing van de waterstromingsvergelijking leiden tot de noodzaak van zeer kleine tijdstappen, welke dan ook weer van toepassing zijn op de N-omzettingen. Voor een model dat lange perioden moet simuleren vereist deze aanpak te veel rekentijd.

Loskoppeling van waterhuishouding en N-huishouding, bijvoorbeeld op de wijze zoals in 3.2.5 en 6 aangegeven, biedt meer perspectieven. Met behulp van de berekende netto-waterfluxen (zie fig. 1) bijvoorbeeld per dag die de grenzen van een compartiment overschrijden en met behulp van de NO_3^- (en eventueel NH_4^+)-concentraties in het compartiment en zijn aangrenzende compartimenten kan de netto snelheid van concentratieverandering door transport binnen die dag worden berekend. Daarmee wordt het transport uitgedrukt in dezelfde eenheden als de omzettingen; en heeft een discretisering naar plaats plaatsgevonden. Het op te lossen stelsel vergelijkingen voor N species is daarmee teruggebracht tot een stelsel eerste-orde-vergelijkingen per compartiment van de vorm:

$$\begin{aligned} A_t &= f(A, B) \\ B_t &= f(A, B) \end{aligned}$$

waarin $A(t)$ en $B(t)$ gevraagd worden.

Het stelsel kan met behulp van onder andere Runge-Kutta formules worden opgelost. Deze oplossingswijze houdt per tijdstap 5 iteraties in; de tijdstap kan aangepast worden aan de snelheden waarmee de concentraties veranderen.

Computertalen als CSMP (SPECKHART en GREEN, 1976) en TUTSIM (MEERMAN, 1980) beschikken over handige 'integraal'-statements, waarbij alleen de methode van integratie gekozen behoeft te worden (diverse methoden mogelijk, bijvoorbeeld Euler, Milne, Runge-Kutta). In FORTRAN moet elk numeriek oplossingsschema zelf geprogrammeerd worden.

SELIGMAN en VAN KEULEN (1981) en VAN KEULEN (1981) gebruiken gefixeerde tijdstappen van 1 dag en integreren volgens de meest eenvoudige en minst tijdrovende methode, in CSMP 'RECT' genaamd (rectilinear):

$$A_{t+1} = A_t + \frac{\partial A}{\partial t} \cdot \Delta t$$

$$B_{t+1} = B_t + \frac{\partial B}{\partial t} \cdot \Delta t$$

waarbij dus geen iteratieschema's nodig zijn.

Het integreren volgens deze methode is toegestaan wanneer de gebruikte tijdstap enkele malen kleiner is dan de tijdconstante van een proces, gedefinieerd als

$$\tau = \frac{A}{\partial A / \partial t} \quad (\text{VAN KEULEN, 1975})$$

Wanneer de tijdconstante van een proces < 1 dag is, is exacte beschrijving van het proces bij gebruik van een tijdstap van 1 dag niet mogelijk en moet het proces 'gemimicked' worden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij NH_3 -vervluchtiging (SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981). Het 'oplossend vermogen' van het model is dan niet groot genoeg (zie ook 3.2.4).

Wat betreft detaillering van processen is Van Keulen (SELIGMAN en VAN KEULEN, 1981; VAN KEULEN, 1975, 1984) een voorstander van de zogenaamde 'hierarchical approach': met behulp van een gedetailleerd model voor een deelproces wordt voor een specifieke situatie een eenvoudig 'empirisch' verband afgeleid, wat vervolgens geïncorporeerd

wordt in het samengestelde, meer globale model. Hij doet dit bijvoorbeeld voor de berekening van evaporatie. Met een model dat de invloed van onder andere de vocht- en temperatuurhuishouding gedetailleerd beschrijft, leidt hij een situatiespecifieke eenduidige relatie af tussen E/E_o en de potentiaal aan het oppervlak. Het valt te bezien of een dergelijke aanpak voor ons doel nuttig is.

3.4. Concept - model op dagbasis

Op grond van bovenstaande overwegingen kan een voorstel gedaan worden voor een concept-model. Het concept is toegespitst op grasland, en nog niet volledig uitgewerkt. Onder andere vervluchtiging en runoff zijn niet beschreven.

Organische stof - huishouding

RAO e.a. (1981) geven een pragmatische en toch redelijk genuanceerde aanpak van de gecombineerde org. C- en -N-huishouding, geïnspireerd door concepten van REDDY (1979, 1980), welke voor ons doel bruikbaar lijkt omdat als invoer slechts benodigd zijn de hoeveelheden org. C en -N in bodem en in toegediend organisch materiaal. Fig. 5 geeft een schema van de indelingen en omzettingen.

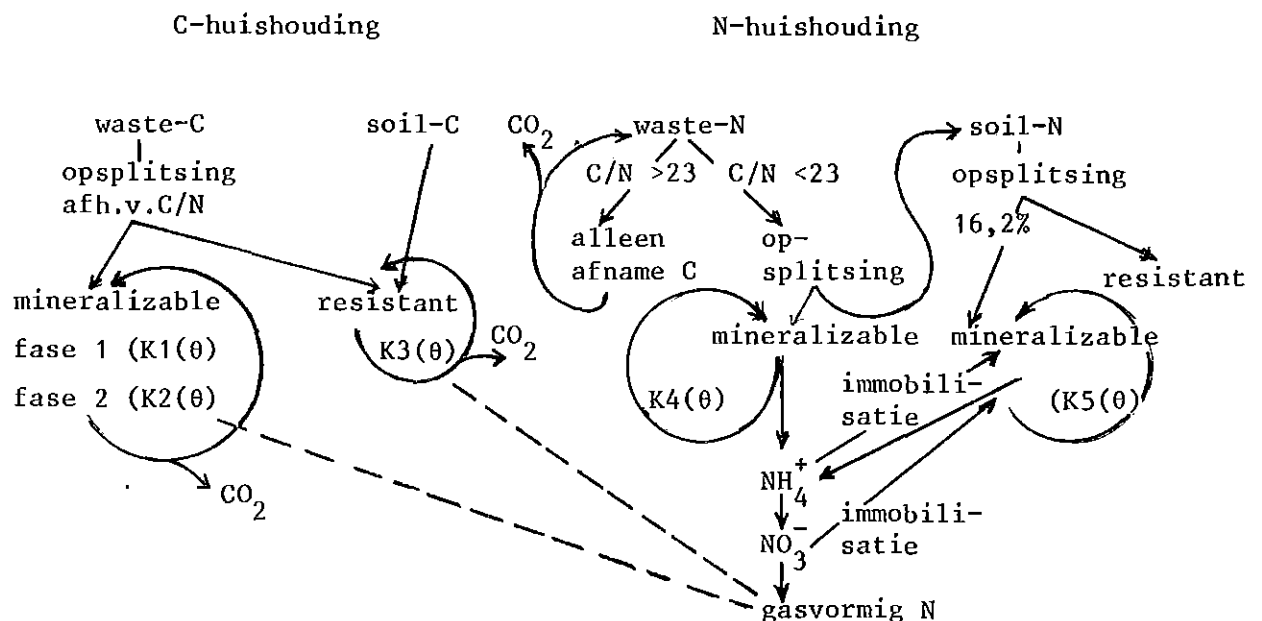


Fig. 5. Organische stof-huishouding volgens RAO e.a. (1981). $K_i(\theta)$ zijn 1e orde reactiesnelheden, beïnvloed door vochtspanning

Zowel de C- als de N-fracties worden ingedeeld in 'available' of 'mineralizable' en 'resistant'. De mineralisatie van waste-org.C verloopt in 2 fasen met verschillende snelheidsconstanten, die elkaar opvolgen in de tijd. Fase 2 gaat in wanneer een gedefinieerde fractie van het materiaal is omgezet.

Afhankelijk van de initiële C/N van het toegediende materiaal wordt een deel als (minder snel afbreekbaar) bodem-org.C. behandeld. De org.C-fracties spelen een rol in het denitrificatieproces. Betreffende het waste-org.N vindt slechts C-afbraak plaats (respiratie) wanneer $C/N > 23$, totdat deze grens bereikt is; dan wordt het materiaal opgedeeld in mineraliseerbaar- en bodem-org.N. Van het bodem-org.N-materiaal wordt 16,2% mineraliseerbaar verondersteld. Immobilisatie van NH_4^+ en NO_3^- vindt naar deze voorraad plaats.

De formuleringen voor de verdelingen worden door RAO e.a. (1981) gegeven en met betrekking tot de diverse snelheidsconstanten wordt navraag gepleegd. Eventueel kunnen op de Nederlandse situatie aangepaste waarden worden gevonden.

N i t r i f i c a t i e e n d e n i t r i f i c a t i e: volgens VAN HUET (1983), dus eerste-orde kinetiek.

W a t e r h u i s h o u d i n g: met behulp van SWATRE, losgekoppeld, zie 2.3.5.

Voor berekening van de potentiële evapotranspiratie kan gebruik worden gemaakt van weersgegevens van het KNMI van een zeker jaar. Voor het berekenen van de actuele evapotranspiratie kan voor gras een vereenvoudiging toegepast worden door de bodemverdamping nul te stellen, zodat in de totale pot. evapotranspiratie voorzien moet worden door de bodemlagen binnen de wortelzone en er iets minder nadruk valt op de bovenste laag. Hierdoor wordt het gegeven van parameters voor de relatie bodembedekking-leaf area index-potentiële evaporatie omzeild. Voor de simulatie van de verdamping van gras bij het meteo-station te Hupsel blijkt dit goed te voldoen (DE GRAAF, 1984).

Ook moet de worteldiepte als functie van de tijd worden opgegeven. Gezien de onzekerheden met betrekking tot het wortelleven kan voor de wateropname met een constante worteldiepte gerekend worden.

Gewasgroei en N-opname door het gewas:
zie fig. 3 en tekst blz. 20. Wortelafsterving vindt alleen bij een
snede plaats.

Voor de potentiële N-opname worden door onder andere SELIM en ISKANDAR (1981)
formules gegeven, voor NO_3^- en NH_4^+ onafhankelijk van elkaar.

Transport: zie beschrijving blz. 28: per compartiment per tijd-
stip wordt de snelheid van concentratieverandering door transport
berekend.

Beeïnvloedende factoren.

Temperatuurhuishouding volgens VAN HUET (1983), sinusmodel.

Temperatuursinvloed op mineralisatie, immobilisatie, nitrificatie,
denitrificatie volgens VAN HUET (1983).

Vochtinvloed op mineralisatie, nitrificatie en denitrificatie
volgens VAN HUET (1983).

Vochtinvloed op immobilisatie: hiervoor moet nog een reductiecurve
uit de literatuur opgezocht worden.

C/N-invloed op mineralisatie/immobilisatie en denitrificatie: volgens
RAO e.a. (1981), zie boven.

Wiskundige aanpak: vaste tijdstappen van 1 dag en
rectilineaire integratie.

Benodigde invoergegevens:

initiële org. C en -N gehalten bodem;

org. C en -N gehalten toegediend materiaal, tijdstippen van bedie-
ning;

tijdstippen van bediening van kunstmest en N-gehalten daarin;

initiële min-N verdeling in de bodem;

1e-orde snelheidsconstanten voor: C-mineralisatie (3 stuks)

N-mineralisatie (2)

immobilisatie (2)

nitrificatie

denitrificatie

pF() en K(θ)-relaties, eventueel voor diverse lagen;

ondergrensvoorwaarde(n), zie blz. 15 voor SWATRE.

Dagelijkse waarden voor neerslag, globale straling, gemiddelde lucht-
temperatuur en luchtvochtigheid.

3. Kennis met betrekking tot kwantificering van denitrificatie, oppervlakkige afvoer, vervluchtiging en wortelgroei en -afsterving is beperkt. Omtrent de kwantificering van de organische stofhuishouding, NO_3^- en NH_4^+ -opname door het gewas en het combineren van omgevingsinvloeden heerst onzekerheid. Ook voor meer 'bekende' processen zijn snelheidsconstanten vaak niet exact bekend.
4. Wanneer aansluiting gezocht zou worden bij SWACRO, zou dit een beperking inhouden tot 2 à 3 gewassen.
Wanneer aansluiting wordt gezocht bij SWATRE is het toch de vraag of de ondergrondse eigenaardigheden van alle belangrijke gewassen op voldoende nauwkeurige wijze beschreven kunnen worden in verhouding tot de andere processen in de N-kringloop.
5. In gesprekken met van Keulen (CABO) en Lantinga (Landbouwplantenteelt LH), die beiden veel aandacht aan de N-huishouding, ook op modelmatig gebied, besteed hebben, kwam naar voren dat:
 - de modellen altijd vele onzekere aannames bevatten
 - met name de organische stof-huishouding een moeilijk grijpbaar geheel is
 - de rol van de microflora centraal staat
 - ondanks gedetailleerde beschrijvingen in een model bij toetsing aan veldsituaties onverklaarbare afwijkingen optreden, die zich op langere termijn (maar nog binnen 1 jaar!) echter weer herstellen. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat detaillering soms onevenredig (in verhouding tot kennis) is doorgevoerd en dat modellering op dagbasis voor lange termijn-voorspellingen niet zinnig is.

Algemene conclusie is dat modellering op dagbasis mogelijk is, maar dat het op dit moment zodanige risico's met zich meebrengt ten aanzien van de voltooiing van het project binnen de gestelde tijd als ook ten aanzien van de betrouwbaarheid van voorspellingen, dat het inslaan van deze weg als een optimistische gok moet worden beschouwd.

4. MODELLEER-ERVARINGEN EN RESULTATEN BIJ SIMULATIE VAN PROEFVELD- GEGEVENS RUURLO

VAN HUET (1983) heeft een aanzet gegeven om tot een model te komen dat de N-huishouding in een perceel onder grasland beschrijft. Enkele belangrijke verschilpunten met het in 3.4 voorgestelde model waren:

- de organische stofhuishouding werd beschreven met behulp van netto-mineralisatiecurves. Organische stikstof werd in 12 fracties verdeeld. Voor het vaststellen van de beginsituatie werd uitgegaan van een evenwichtssituatie; met behulp van een schatting van de jaarlijkse toevoer kan de fractieverdeling berekend worden;
- de waterhuishouding werd sterk vereenvoudigd beschreven, namelijk met behulp van telkens voor een paar weken constant gehouden vochtgehalte per compartiment; een constante waterflux gedurende het gehele jaar werd verondersteld;
- alleen NO_3^- werd mobiel verondersteld;
alleen NO_3^- werd geacht door planten te worden opgenomen en wel via de transpiratiestroom.

Het model werd getoetst met behulp van proefveldgegevens uit Ruurlo. Hierbij moet worden opgemerkt dat het model in dit stadium nog niet bedoeld was om onafhankelijke voorspellingen te doen. Er werd dan ook gebruik gemaakt van g e m e t e n waarden voor:

- vochtgehalten in de tijd
- temperatuurverloop (simulatie met behulp van Fourierreeks-benadering)
- opbrengsten gras-snedes en %N daarin.

Het leek in eerste instantie de moeite waard om te trachten het waterhuishoudings-deel van dit model te vervangen door SWATRE. Met een apart programma werd de uitvoer van SWATRE omgezet in bruikbare invoer voor een N-model, op de wijze zoals weergegeven in fig. 1 en op blz.13/14.

Vervolgens is het in TUTSIM geschreven programma STYX omgezet in een FORTRAN-programma volgens dezelfde concepten (behalve met betrekking tot de waterhuishouding). Het resulterende model STIKSTOF is zodanig bloksgewijs gestructureerd dat deelmodellen eenvoudig door andere vervangen kunnen worden.

De resultaten lieten weinig verbetering zien ten opzichte van de eerdere simulaties. Opgemerkt moet worden dat dit slechts de zomerperiode betreft (SWATRE stopt de berekeningen als de grondwaterstand nabij maaiveld komt; het model SWATRU dat ook runoff beschrijft was op dat moment nog niet operationeel).

Met de achterliggende gedachte dat door successievelijk aanpassen en/of vervangen van submodellen betere resultaten geboekt zouden worden is vervolgens aandacht besteed aan:

- wortelopname van N. Deze werd beschreven volgens SELIM en ISKANDAR (1981) met behulp van een constante wortellengteverdeling en Monod-kinetische vergelijking voor zowel NO_3^- als NH_4^+ . De volgens het model berekende wortelopname per snede was namelijk steeds lager dan de volgens de concepten voor VAN HUET (1983) berekende hoeveelheid N in de totale produktie
- temperatuursimulatie. Er werd een FORTRAN-programma geschreven voor Fourierreeksbenadering van reeksen gegevens, uitgaande van VAN ROOTSELAAR en DAMSTÉ (1979). Uit de nota van van Huet was de opzet van zijn (in TUTSIM geschreven) model niet te reconstrueren
- correctiefactoren. VAN HUET (1983) had op de temperatuurscorrectie curve volgens Arrhenius een transformatie toegepast zodat waarden >1 voor de correctiefactor konden bestaan, omdat de gebruikte ammonificatiesnelheidsconstante ontleend was aan g e m i d d e l d e en dus niet optimale, Nederlandse omstandigheden. Deze correctiefactor in getransformeerde vorm paste hij echter ook toe op andere N-processen, hetgeen niet juist is. Voor de invloed van vochtspanning op ammonificatie paste hij geen transformatie toe, ofschoon ook hier geldt dat de gegeven ammonificatiecurves niet onder optimale vochtomstandigheden zijn vastgesteld.

Aangebrachte wijzigingen gaven weinig verbetering. Voor de reductiefactoren waren deze nog niet volledig doorgevoerd, toen de simulatie met dit model voorlopig stopgezet werd, voor een meer volledige heroverweging van de concepten die eraan ten grondslag lagen. Helaas is veel tijd gemoeid geweest met programmerwerk.

Indien besloten wordt verder te gaan op deelmodellen-basis blijft een gedeelte van de programmatuur bruikbaar.

5. ENKELE ASPECTEN VAN ALTERNATIEVEN VOOR DE DEELMODELLEN-AANPAK

5.1. Bestaande modellen

Modellen die de N-huishouding op een wat meer macroscopische schaal trachten te beschrijven, onderscheiden zich van de in het voorgaande behandelde voornamelijk door:

- grotere tijdstappen (vaak 1 jaar)
- bodemprofiel als één geheel gemodelleerd, hoogstens onderscheid wortelzone/rest onverzadigde zone
- balansvergelijkingen, geen kinetische
- handrekenmethode in plaats van computermodellen
- minder onderscheid in soorten stikstof
- eenvoud van input
- de invloed van omgevingsfactoren kan niet of slechts globaal worden beschreven.

Een aantal van dergelijke modellen is bestudeerd en geanalyseerd ten aanzien van de in 1.2 gestelde eisen. Tabel 2 geeft een overzicht vergelijkbaar met tabel 1. Tabel 3 geeft een globaal overzicht van enkele eigenschappen van de modellen.

Tabel 2. Evaluatie bestaande modellen

Bron	Div. grond- soor- ten	Div. moge- lijkh. in water- beheer- sing	Bouw- land	Grasland maai	wei	Bemesting org. kunst	periode en/of wijze v.toe- dienen	Omge- vings fac- toren	Toet- sing sing lange ter- mijn
Steen- voorden (1983a)	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Lammers (1983)	+	-	+	-	-	+	+	temp.	-
Lammers (1984)	(+) ¹	-	-	+	+	+	+	temp.	-
Rijtema (1978)	(+) ²	+	-	+	+	+	+	-	-
Harpaz (1975)	(+) ³	-	-	+	+	+	+	temp. vocht ³	+
Tanji e.a. (1979)	-	+	+	+	-	+	+	-	-

1. In principe wel; uitwerking voor zandgrond

2. Komt tot uiting in verschillen in mineralisatie- en denitrificatiecoëff.

3. Waterhuishouding gebaseerd op VAN KEULEN (1975)

Tabel 3. Overzicht van enkele kenmerken van bestaande modellen

Bron	Uit- spoe- ling	Bodem- voor- raad N ¹	Div. weers- omstan- digh.	Aantal fracties org. N	Aantal fracties anorg. N	Run- off	NH ₃ vervl.	Even- wichts- situatie	Plant(d.s) productie ⁽⁴⁾	Onder- scheid min/imm.	Div.
Steenvoor- den (1983a)	+	-	-	0	1	+	-	-	-	-	
Lammers (1983)	+	-	-	3	1	-	+	+ en ⁽⁵⁾	-	-	
Lammers (1984)	+	-	-	3	1	-	+	+ en ⁽⁵⁾	-	-	
Rijtema (1978)	+	+	+ ⁽²⁾	1	2	-	-	+ en -	+	+	
Harpaz (1975)	-	+	+ ⁽³⁾	2	1	-	-	-	+ ⁽³⁾	-	
Tanji e.a. (1979)	+	+	+ ⁽²⁾	1	1	+	+	-	-	-	(6)

(1) Wordt deze jaarlijks bijgehouden en is aangroei/afname over de jaren heen mogelijk?

(2) Tot uiting gebracht door verschillen in neerslagoverschot

(3) Zie opmerking 3 bij tabel 2

(4) Afhankelijk van andere factoren dan beschikbare stikstof

(5) Berekeningen voor startsituatie (geen org. N in bodem) en evenwichtssituatie, niet voor tussenliggende situaties

(6) Dit model lijkt meer dan het is, omdat de invoerparameters eigenlijk al antwoorden op vragen moeten zijn.

Zo moeten bijvoorbeeld worden opgegeven een (één) denitrificatiecoëfficiënt en één vervluchtigingscoëfficiënt

5.2. M o g e l i j k h e d e n

Wanneer gekozen wordt voor de globalere aanpak in modellering, kan gedacht worden aan:

1. Trachten bestaande modellen te verfijnen.

Voorbeeld: nadere uitsplitsing van het model van STEENVOORDEN (1983a) naar type jaar, org. N niveau bodem, gewassoort etc.

2. Trachten te combineren van zoveel mogelijk aspecten uit de diverse modellen tot één model.
3. Modellering op basis van week-, maand- of seizoensbalansen voor stikstof met behulp van gegevens uit meer verfijnde (evt. dagbasis) modellen voor water en temperatuurhuishouding.

Daar totnogtoe de aandacht voornamelijk op dagbasis-modellering gericht was, moeten ideeën over de meer globale aanpak nog verder ontwikkeld worden. Het specifieke werkterrein van het ICW kan vooral bestaan in het trachten te beschrijven van de invloed van maatregelen als beregening, drainage en drijfmestinjectie op de uitspoeling.

5.3. C o n c l u s i e s

1. Bestaande modellen werken voornamelijk op korte-termijnbasis. Door uit te gaan van het ontstaan van een nieuwe evenwichtssituatie (LAMMERS, 1983) kan de situatie op (zeer) lange termijn geëvalueerd worden en is het mogelijk een trend aan te geven in uitspoelingsniveau tijdens de periode van instelling van het nieuwe evenwicht.
2. De modellen in deze categorie zijn eenvoudiger toepasbaar dan die, besproken in de hoofdstukken 2 en 3.
3. Invloed van omgevingsfactoren kan slechts globaal worden verwerkt.
4. Nadere verfijning en/of integratie van dergelijke modellen zal waarschijnlijk eerder tot werkbare modellen voor toepassing op diverse situaties leiden dan de deelmodellen-aanpak.

6. BESLISPUNTEN EN AANBEVELINGEN

Beslispunten zijn:

1. Is men het eens met de prioriteitsstelling in 1.1?
2. Is men het eens met de terreinafbakening in 1.3?
3. Keuze uit:
 - a) de deelmodellen-aanpak (wat zijn de gedachten over het in 3.4 geschetste concept)
 - b) de meer globale aanpak.
4. Moet de aandacht uitsluitend uitgaan naar landbouwgebieden of ook naar natuurgebieden?
5. Moet het model gericht zijn op het berekenen van uitspoeling in nieuw in te stellen evenwichtssituaties tengevolge van diverse alternatieven in landgebruik onder gemiddelde weersomstandigheden of gaat de voorkeur uit naar nadruk op kennis van mogelijke gebeurtenissen in extreme jaren?
6. Wat wordt beschouwd als een 'duur' model? Deze vraag speelt vooral met betrekking tot de deelmodellen-aanpak.

Aanbevolen wordt:

- een keuze voor de globale aanpak
- aansluiting bij bestaande modellen
- inbreng van kennis ten aanzien van de invloed van waterhuishoudkundige maatregelen en resultaten van ander ICW onderzoek in deze modellen.

LITERATUUR

- ADDISCOTT, T.M. Leacking of nitrate in structured soils. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 245-253
- _____, J.M. DAVIDSON, K. HARMSSEN e.a. Migration processes in soils. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 33-37
- BHAT, K.K.S., T.H. FLOWER and J.R. O'CALLAGHAN, 1981. A model for the simulation of the fate of nitrogen in farm wastes on land application. In: Nitrogen losses and surface run-off from spreading of manure; proceedings of a workshop in the EEC Programme May, 20-22, 1980; ed. by J.C. Brogan. The Hague etc., Nijhoff/Junk
- BOSATTA, E., I.K. ISKANDAR, N.G. JUMA e.a., 1981. Soil microbiology. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems. blz. 38-44
- BROUWER, R., 1963. Some physiological aspects of the influence of growth factors in the root medium on growth and dry matter production. Jaarboek IBS, 1963, blz. 11-30
- Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts. Ibid., blz. 31-40
- _____, 1963. Root growth of grasses and cereals. In: The growth of cereals and grasses. Ed. by F.L. Milthorpe and J.D. Irvins
- DAVIDSON, J.M., D.A. GRAETZ, P.S.C. RAO e.a., 1978. Simulation of nitrogen movement, transformation and uptake in plant root zone. U.S. E.P.A. 600/3-78-029
- DEINUM, B., 1966. Climate, nitrogen and grass; research into the influence of light intensity, temperature, water supply and nitrogen on the production and chemical composition of grass. Wageningen, Veenman Mededelingen Landbouwhogeschool 66-11 (1966)
- FRISSEL, M.J. and J.A. VAN VEEN, 1982. A review of models for investigating the behaviour of nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc. Land B: 296: 341-349
- GRAAF, M. DE, persoonlijke mededeling
- HARPAZ, J., 1975. Simulation of the nitrogen balance in semi-arid regions. Jerusalem, Hebrew University. Ph. D. thesis
- HUET, H. VAN, 1983. Kwantificering en modellering van de stikstofhuishouding in bodem en grondwater na bemesting. Doctoraal verslag TH Twente (Ook in ICW-nota's)

- HUNTJENS, J.L.M., 1980. College dictaat bodemmicrobiologie, LH, Wageningen
- KEULEN, H. VAN, 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Wageningen, Pudoc. Simulation monographs no. 7
- _____ en H.D.J. VAN HEEMST, 1982. Crop response to the supply of macronutrients. Wageningen, Pudoc. Agricultural Research Reports, no. 916
- KRUH, G. and E. SEGALL, 1981. Nitrogen dynamics in soil. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 109-125
- LAMMERS, H.W., 1983. Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland. Wageningen, Consulentenschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw
- LAMMERS, H.W., 1984. Stikstof. Consulentenschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw (ter perse)
- LANGER, R.H.M., 1979. How grasses grow; 2nd ed. London, Arnold
- LANTINGA, E., 1984. Persoonlijke mededeling
- LEFFELAAR, P.A. A model to simulate partial anaerobiosis. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 254-258
- LYCKLAMA, J.C., 1963. The absorption of ammonium and nitrate by perennial ryegrass. Acta botanica Neerl. 12: 361-423
- MEERMAN, J.W., 1980. Interactive simulation language THTSIM (TUTSIM). users manual. Enschede, TH Twente, vakgroep Regeltechniek
- PARTON, W.J. and J.S. SINGH, 1976. Simulation of plant biomass on a shortgrass and a tallgrass prairie with emphasis on below-ground processes. Colorado State University. National Ecology Laboratory. Technical report no. 300
- _____, W.D. GOULD, F.J. ADAMSON e.a., 1981. NH_3 volatilization model. In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems, blz. 233-244
- RAO, P.S.C., J.M. DAVIDSON and R.E. JESSUP, 1981. Simulation of nitrogen in the rootzone of cropped land areas receiving organic wastes. In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems, blz. 81-95
- REDDY, K.R., R. KHALEEL and M.R. OVERCASH, 1980. Carbon transformations in the land areas receiving organic wastes in relation to nonpoint source pollution: a conceptual model. J. Env. qual. 9: 434-442
- REUSS, J.O. and G.S. INNIS, 1978. A grassland Nitrogen-flow simulation model. In: Grassland simulation model; ed. by G.S. INNIS, blz. 185-203

- ROOTSELAAR, B. VAN, en B.R. DAMSTÉ, 1979. Numerieke wiskunde. Wageningen, Landbouwhogeschool, vakgroep wiskunde
- RUSSELL, J.S., 1981. Models of long term soil organic nitrogen change. In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems, blz. 222-232
- RIJTEMA, P.E., 1978. Een benadering voor de stikstofemissie uit het graslandbedrijf. Nota ICW 982 (gewijzigd)
- SAUER, R.H., 1978. A simulation model for grassland primary producer phenology and biomass dynamics. In: Grassland simulations model; ed. by G.S. INNIS, blz. 55-87
- SELIGMAN, N.G., and H. VAN KEULEN, 1982. Papzak: a simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems, blz. 192-221
- SELIM, H.M. and I.K. ISKANDAR, 1981. Wasten: a model for nitrogen behaviour in soils irrigated with liquid waste. In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems, blz. 96-108
- SIMULATION OF NITROGEN BEHAVIOUR OF SOIL-PLANT SYSTEMS, papers of a workshop; ed. by H.J. FRISSEL and J.A. VAN VEEN, Wageningen Pudoc
- SMITH, K.A. A model of denitrification in aggregated soils. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 259-266
- SPECKHART, F.H., and W.L. GREEN, 1976. A guide to CSMP-the continuous system modeling program; a program for simulating physical systems. Englewood Cliffs, Prentice-Hall
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1983a. Belasting van grond- en oppervlakte-water met stikstof. Bijlage 10 in: Voorspelling van de effecten van landinrichting op water, bodem en lucht
- _____ 1983b. Equations for the calculation of N- and P-load on surface waters. ICW nota 1419. Projectgroep Zuidelijke Peel 21
- TANJI, K.K., F.E. BROADBENT and M.FRIED, 1979. An extended version of a conceptual model for evaluating annual nitrogen losses from croplands. J. Env. Qual. 8: 114-120
- VEEN, J.A. VAN, and M.J. FRISSEL. Simulation model of the behaviour of N in soil. In: Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems, blz. 126-144

WAGENET, R.J. Simulation of soil-water and nitrogen movement.

In: Simulation of nitrogen behaviour in soil-plant systems,
blz. 67-80

WERKGROEP WATER, BODEM EN LUCHT. Ministerie van Landbouw en Visserij.

Voorspelling van de effecten van Landinrichting op water, bodem
en lucht, eindrapport fase 1, 1983.