EEN MODELMATIGE BENADERING VAN DE EFFECTEN VAN LUCHTVERONTREINIGING OP EEN PLANTENGEMEENSCHAP

K.KIEKEBOS-HOEKMEIJER

onderzoek n.a.v. een vraag van de Stichting Natuur en Milieu, onder begeleiding van M.Butter (biologie-winkel) en L.F.M.Fresco (vakgroep planten-ecologie)

Haren, maart 1988

D 416

EEN MODELMATIGE BENADERING VAN DE EFFECTEN VAN LUCHTVERONTREINIGING OP EEN PLANTENGEMEENSCHAP

Rijksuniversiteit Groningen
Bibliotheek Biologisch Centrum
Kerklaan 30 — Postbus 14

K.KIEKEBOS-HOEKMEIJER

onderzoek n.a.v. een vraag van de Stichting Natuur en Milieu, onder begeleiding van M.Butter (biologie-winkel) en L.F.M.Fresco (vakgroep planten-ecologie)

Haren, maart 1988

Rijksuniversiteit Groningen
Bibliotheek Biologisch Centrum
Kerklaan 30 — Postbus 14
9750 AA HAREN

DOCTORAALVERSLAG/SCRIPTIE

Vakgroep Plantenoecologie R.U.G.
Biologisch Centrum
Haren (Gn).

Doctoraalverslagen/scripties van de Vakgroep Plantenoecologie zijn interne rapporten, dus geen officiële publicaties.
De inhoud varieert van een eenvoudige bespreking van onderzoeksresultaten tot een concluderende discussie van gegevens in wijder verband.
De conclusies, veelal slechts gesteund door kortlopend onderzoek, zijn meestal van voorlopige aard en komen voor rekening van de auteur(s).

Overname en gebruik van gegevens slechts toegestaan na overleg met auteur(s) en/of Vakgroepbestuur.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Beschrijving van het model	4
2.1	Algemeen	4
2.2	Groei van de boom	5
2.3	Metabolisme	7
2.4	Sterftekans	8
2.5	Klimaat	10
2.6	Concurrentie	11
2.7	Luchtverontreiniging	12
2.7.1	Luchtverontreiniging algemeen	12
2.7.2	Directe invloed van luchtverontreiniging	15
2.7.3	Invloed van luchtverontreiniging via de bodem	16
2.8	Schema van het model	17
3	Resultaten	18
4	Overzicht van de kanttekeningen die bij de verschillende onderdelen van het model gemaakt kunnen worden en van de punten waarmee het model kan worden aangevuld	24
4.1	Groei van de boom	25
4.2	Metabolisme	27
4.3	Klimaat	29
4.4	Concurrentie	32
4.5	Luchtverontreiniging	33
4.5.1	Directe invloed van luchtverontreiniging	33
4.5.2	Invloed van luchtverontreiniging via de bodem	37
5	Discussie en conclusies	43
	Literatuur	45
	Werking van het computermodel	49
	Variabelen-verklaring	50
	Listing van het computerprogramma	51

1 Inleiding

De laatste jaren komt onderzoek naar lange-termijn-effecten van luchtverontreiniging op ecosystemen op gang.

Het grootste probleem bij deze onderzoeken is de complexiteit. De invloed van luchtverontreiniging is o.a. afhankelijk van de plaats van de bron en de invloed van hoogte, temperatuur, meteorologie en topografie op de transmissie (= beweging). Meteorologie en oppervlakte-ruwheid zijn bepalend voor de immissie (= hoeveelheid stof, die op een oppervlak terecht komt), terwijl de opgenomen hoeveelheid stof en de respons afhangen van de plant- of diersoort en de conditie.

Aanleiding tot dit onderzoek was de vraag van de stichting Natuur en Milieu aan de biologiewinkel: "Het ontwikkelen van een kader voor onderzoek om te komen tot ecologische normstelling."

De eerste fase van het onderzoek, dat in dit verslag beschreven is, is bedoeld om een algemeen model te ontwikkelen met als doel: "Het verkrijgen van inzicht in de effecten van luchtverontreiniging op een ecosysteem."

Welke factoren zijn bepalend voor de standplaats van een plant, en dus uiteindelijk verantwoordelijk voor de opbouw en samenstelling van een ecosysteem?

De gevoeligheid van een plant voor allerlei factoren waaraan deze blootgesteld staat, bepaalt de potentiele habitat van de plant. (zie fig.1)

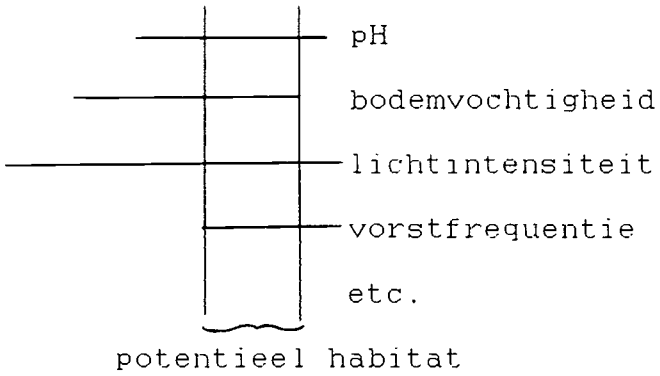


fig 1. De bepaling van de potentiële habitat. (Barbour,1980)

De ecologische range, het gebied waar de plant werkelijk voor komt, wordt uiteindelijk bepaald door interferentie (= op elkaar inwerken) van de plant met andere individuen (Barbour,1980). Interferentie kan, nadat een omgevingsfactor gewijzigd is, leiden tot een verandering in soortensamenstelling, waardoor op den duur een andere stap in de successiereeks wordt bereikt. (zie fig.2)

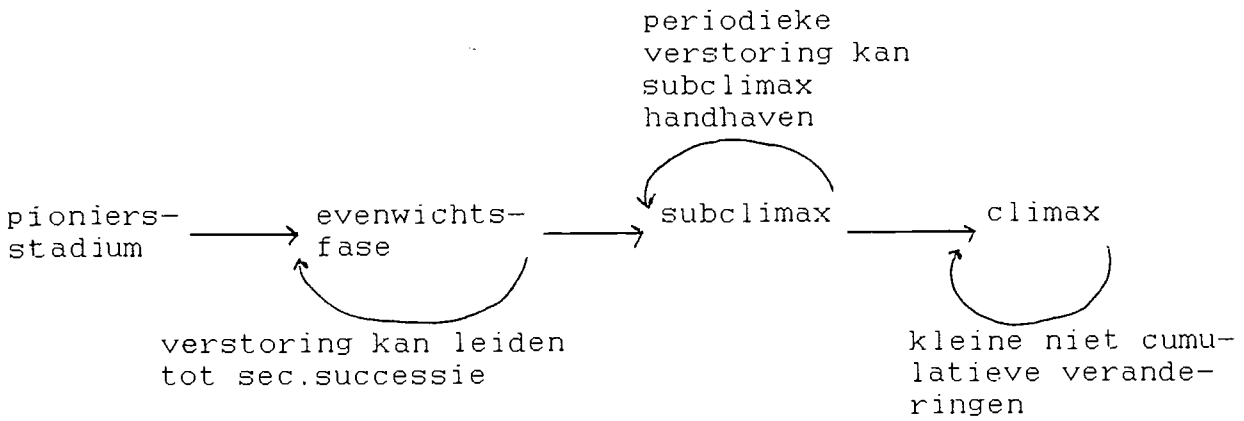


fig.2 Schema van de primaire-successiereeks. (Barbour,1980)

De vertaling van experimenten m.b.t. luchtverontreiniging, die gedaan zijn in kassen met een open dak (open-top-field-chambers) naar de werkelijke situatie leverde vanwege deze interferentie bezwaren op. De meeste onderzoeken worden verricht aan afzonderlijke individuen in plaats van plantengemeenschappen, terwijl een belangrijke factor bij de respons van planten op stress juist de concurrentie is. (West e.a.,1980).
Stress is het geheel van omgevingsfactoren die de snelheid van de productie van de biomassa beperken.

We kunnen luchtverontreiniging dus als stressor beschouwen. Materna (????) geeft een overzicht van de effecten van luchtverontreiniging op een ecosysteem. (in Treshow,1984)

-: De accumulatie van vervuilende stoffen in het systeem.
-: Door de accumulatie, beschadiging van de consumenten.
-: Veranderingen in soortendiversiteit.
-: Verbreken van biochemische cycli.
-: Verbreken van de stabiliteit en reductie in de mogelijkheid van zelfregulatie.
-: Afbraak van opstanden en associaties.
-: Uitbreiding van braakliggend terrein.

Over de oorzaken van de effecten van luchtverontreiniging op ecosystemen bestaan verschillende hypothesen waaronder: (Schildermans, 1986)

1: De zure-neerslag-hypothese van Ulrich, waarin het vooral gaat om de bijdrage van de zure depositie aan de verzuring van de bodem.
2: De ozon-hypothese van Rehfuess, die de directe inwerking van de luchtverontreiniging op de bladeren en naalden als primaire oorzaak beschouwt van de bossterfte.
3: De mycorrhiza-hypothese van Smith, waarin de reductie van myccorhiza de bossterfte veroorzaakt.

Het ligt echter meer voor de hand om een "algemene-stress-hypothese" te kiezen, waarin elk van de bovengenoemde hypothesen een deel van de effecten verklaart. (McLaughlin,1985; Bruinsma,1985; Schildermans,1986).

Enkele redenen om te kiezen voor een "algemene-stress-hypothese" voor luchtverontreiniging zijn volgens Cowling: (in McLaughlin,1985).
-: Verschillende soorten zijn aangetast.
-: Natuurlijke en aangeplante bossen zijn aangetast.
-: Effecten worden waargenomen op hoog- en laaggelegen opstanden, maar meestal op de noord/west kant van heuvels en bergen. (bij overheersende noord-westen wind)
-: De meeste effecten zijn op de oude bomen waarneembaar.
-: Symptomen zijn op bodems van lage en hoge vruchtbaarheid en met een hoge en lage pH waarneembaar.

Als uitgangspunt voor deze "algemene-stress-hypothese" kan de benadering van Manion dienen (in McLaughlin,1985). Manion construeerde een raamwerk voor de rol van verschillende stressoren, die van invloed zijn op planten.

type van beïnvloedende factoren		
chronische verzwakking	korte stress perioden	versnellende factoren
klimaat bodemvochtigheid genotype bodemnutriënten luchtverontreiniging concurrentie	vorst droogte luchtverontreiniging mechanische schade	insecten schimmels virussen concurrentie

De factoren, die chronische verzwakking veroorzaken, hebben in het algemeen een langdurige werking en maken de boom gevoeliger voor kortdurende perioden van stress. Is de verzwakking van de boom op gang gebracht dan kunnen ziekten, insecten of competitie dit proces versnellen.

Op basis van het schema van Manion is geprobeerd een model te ontwikkelen, waarin de effecten van meerdere typen stressoren tot uitdrukking komen.

2 Beschrijving van het model

2.1 Algemeen

Er is gekozen voor een betrekkelijk eenvoudige plantengemeenschap, het Piceetum-oxalidosum met daarin als plantensoorten Picea abies(L.), Oxalis acetosella(L.) en Deschampsia cespitosa(L.). Deze plantengemeenschap is, evenals de soorten, vrij uitgebreid beschreven in de literatuur. (Walter,1968; Nihlgard, 1969,1970,1972; Packham and Willis,1976,1977)

Het model is in eerste instantie ontwikkeld aan de hand van een boom, die een bepaalde oppervlakte alleen tot zijn beschikking heeft. Het oppervlak van dat gebied is bedekt met een kruidlaag.

Uit de door Manion genoemde typen van factoren, die de groeisnelheid kunnen beïnvloeden zijn van elk type een of meerdere voorbeelden gekozen. Het effect van luchtverontreiniging op de verzuring van de bodem, is gekozen als voorbeeld van een stressor die een chronische verzwakking veroorzaakt. De directe inwerking van vervuilende stoffen op de naalden, evenals allerlei weersinvloeden, zijn voorbeelden van korte perioden van stress. De versnellende factoren zijn samengevat in de factor die sterftekans wordt genoemd.

Door de beïnvloeding van de groeisnelheid van de boom, verandert de abiotische factor licht voor de eronder groeiende kruiden. Met als gevolg een verandering in concurrentieverhoudingen, waardoor de soortensamenstelling gewijzigd wordt.

2.2 De groei van de boom

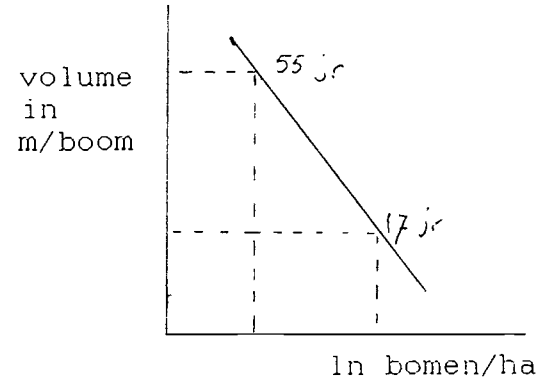
De basis van het model is de groeisnelheid van de boom. Veranderingen die optreden in de groeisnelheid, geven aan dat de boom beinvloed wordt door een of meerdere factoren. De groeisnelheid bepaalt de toe- of afname van de biomassa van de boom.

Als basis voor de vergelijking die de groei beschrijft is gekozen voor een vergelijking van het logistische type. (Fresco, 1973)

$$\Delta M/\Delta t = rgr * M * (1-M/Mmax) \qquad (1)$$

M=biomassa in kg, t=tijd in jaren, rgr=maximale relatieve groeisnelheid (= relative growing rate), Mmax=maximale biomassa in kg. Het tijdsinterval is een jaar.
Met de biomassa wordt de biomassa van het drooggewicht bedoeld.
De netto-groei is de primaire productie min de respiratie.

De relatieve groeisnelheid en de maximale biomassa zijn als volgt bepaald: Uit 2 waarden voor de biomassa (van een 17 jaar oud bestand en een 55 jaar oud bestand, bezet met bomen van dezelfde leeftijd (Nihlgard, 1972; Hager,1985)) en figuur 5.8 (White,1980 in Silvertown,19??) werd een logistische kromme grafisch geschat, door de logaritmen van de stammendichtheid uit te zetten tegen de logaritmen van de biomassa. Uit deze logistische kromme konden de parameters afgeleid worden.



De relatieve groeisnelheid kreeg de waarde 0.13; de maximale biomassa 850 kg. Ingevuld in (1) krijgen we de volgende vergelijking voor de groeisnelheid. (dit wordt de basis-groeisnelheid genoemd)

$$\Delta M/\Delta t = 0.13 * M * (1-M/850) \qquad (2)$$

De biomassa is verdeeld over 3 komponenten volgens gegevens uit Nihlgard(1972).

NM :	6.2%	bij een leeftijd
HM :	78.4%	van 55 jaar
WM :	15.4%	
BM :	100%	

NM=netto-naaldmassa in kg, HM=netto-houtmassa in kg, WM=netto-wortelmassa in kg. Deze verhoudingen zijn constant verondersteld voor elke leeftijd van de boom.

De basis-groeisnelheid kan in het model beïnvloed worden door de factoren : klimaat, naalddeficientie en worteldeficientie. De directe en indirecte invloed van luchtverontreiniging heeft effect op de groeisnelheid van respectievelijk naald- en wortelmassa.

De factoren kunnen een waarde hebben, die ligt tussen -1 en 1. Is de waarde 1, dan heeft de factor op dat tijdstip geen invloed op de groeisnelheid. De groeikromme die de boom vertoont als de factoren gedurende de totale levensduur van de boom 1 zijn, is de standaardgroei genoemd.

Ligt de waarde tussen 0 en 1, dan is de groeisnelheid lager dan in de standaardsituatie. Is de waarde 0, dan vindt er in dat jaar geen netto-groei plaats. Bevindt de waarde zich tussen 0 en -1, dan vindt afname van de biomassa plaats.

Een factor met de waarde groter of gelijk aan 0 kan met de vergelijking vermenigvuldigd worden. De netto-groei krijgt dan een waarde evenredig met de factor. Als de waarde echter kleiner dan 0 is, treedt er een probleem op. Wordt de netto-groei direct vermenigvuldigd met de negatieve factor, dan is de afname van de biomassa in verhouding groter bij een grote groei en kleiner bij een kleine groei, terwijl de verhouding in biomassa-afname gelijk moet zijn bij verschillende mate van groei.

M(uitgangsmassa) $\Delta M/\Delta t = 10 * F(-0.5) = -5$ M(nieuw) = 95
= 100 $\Delta M/\Delta t = 20 * F(-0.5) = -10$ M(nieuw) = 90

De biomassa wordt daarom na de normale groei verminderd met een hoeveelheid evenredig met de factor.

b.v. $F<0$ M(uitgangsmassa) = 100 C = 0.01
$M = M + (F*C*M)$ $110 + (-0.5 * 0.01 * 110) = 109.5$
$150 + (-0.5 * 0.01 * 150) = 149.3$

De afname wordt met een willekeurig gekozen factor C vermenigvuldigd, omdat de afname anders te groot zou zijn.

Hoofdstuk 2.3 Metabolisme

Het metabolisme van de boom is in hoge mate afhankelijk van de wortels en de naalden. De naalden produceren voedsel uit koolstofdioxide met behulp van zonlicht, de wortels nemen water en voedingsstoffen op, die nodig zijn bij het metabolisme van de boom.

In het model is verondersteld dat de verhoudingen tussen naald-, hout- en wortelmassa constant blijven bij de standaardgroei. Wordt door een factor de naald-/biomassa of de wortel-/biomassa veranderd, dan functioneert het metabolisme niet optimaal meer en wordt de groeisnelheid van de boom dus negatief beinvloed.

Zijn er te weinig naalden, dan zijn gasuitwisseling en energieproductie van de boom te laag voor een optimale (in dit geval de standaard) groei. Is de verhouding wortel-/biomassa te klein, dan worden er te weinig voedingsstoffen en water opgenomen.

indien percentage wortels tussen 7.7 en 15.4 ligt (van biomassa)

WD := (25.97*WM/BM-2.99)
WD= factor worteldeficientie, WM=netto-wortelmassa, BM=netto-biomassa

indien percentage naalden tussen 3.1 en 6.2 ligt (van biomassa)

ND := (64.52*NM/BM-3)
ND= factor naalddeficientie, NM=netto-naaldmassa, BM=netto-biomassa

De verhoudingen zijn aan elkaar gekoppeld, zodat verlaging van een bepaalde verhouding een verhoging van de 2 andere verhoudingen betekent. Daaruit vloeit voort, dat een verhoging van een verhouding geen positief effect heeft op de groei van de boom in zijn geheel.

2.4 Sterftekans

Bij de factor die een versnellend effect op de achteruitgang en uiteindelijke dood van een boom heeft, kunnen verschillende oorzaken een rol spelen, zoals allerlei schadelijke insecten en de aantasting door schimmels.
Een andere factor die eveneens een rol kan spelen, is de inter- en intraspecifieke concurrentie. Omdat in dit model slechts de groei van 1 boom beschreven wordt, is deze factor hier niet meegenomen.

Alle mogelijke schadelijke invloeden, die versnellend kunnen werken op de achteruitgang van de boom zijn samengebracht in de sterftekans.

Wanneer de sterftekans gerelateerd zou zijn met de groeisnelheid van de boom (bij een lage groeisnelheid een hoge sterftekans), dan treedt het volgende effect op: (fig.3 en fig.4)

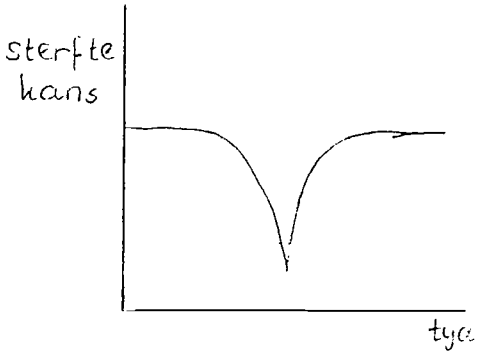


fig.3 standaardgroei

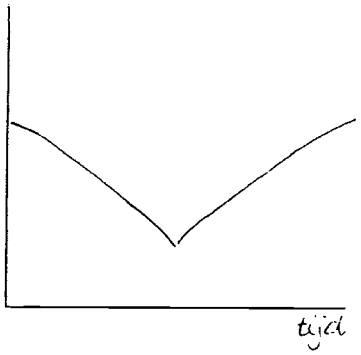


fig.4 trage groei

In fig.3 en 4 is te zien, dat een normaal groeiende boom, gemiddeld, over de totale groeiperiode, een grotere sterftekans heeft dan een langzaam groeiende boom.

Door nu de sterftekans, in plaats van afhankelijk van de groeisnelheid, direct afhankelijk van luchtverontreiniging, klimaat, wortel- en naalddeficientie en de verhouding biomassa/maximale biomassa te stellen, voorkom je dit probleem.

M.b.t. de relaties tussen bovenstaande factoren en de sterftekans zijn in de literatuur geen gegevens gevonden. De relaties zijn daarom willekeurig gekozen.

als: KL=-0.5 dan U=0.9, Kl=0 dan U=0.6, KL=0.5 dan U=0.3, KL=1 dan U=0.01

als: biomassa kleiner is dan 50% van het maximaal bereikbare gewicht
dan Y := (BM*-1.78)/BMMAX+0.9
is de biomassa groter, dan Y := (BM*1.78)/BMMAX-0.8

als: naalddeficientie optreedt dan Z:=NM*-28.7/BM+1.79
als: worteldeficientie optreedt dan X:=WM*-11.56/BM+1.79

als: directe schade van de naalden optreedt dan V:=0.0024*DAGEN+0.01

als: Ph van de bodem tussen 3.5 en 3 ligt dan
W:=700*BODEMZUUR-0.2
pH van de bodem tussen 3 en 2.5 ligt dan
W:=200*BODEMZUUR+0.3

de hoogste sterftekans voor elke factor afzonderlijk is 0.9
de laagste sterftekans is 0.01

Uiteindelijk wordt de sterftekans berekend door de afzonderlijke factoren (U, V, W, X, Y, Z) bij elkaar op te tellen en te delen door 6. Vervolgens wordt het kwadraat genomen en dit vermenigvuldigd met 2. Er wordt een random getal getrokken. Is de sterftekans hoger dan dit getal dan sterft de boom in datzelfde jaar, waarna een nieuwe boom begint te groeien.

KL= factor voor het klimaat. BM= netto-biomassa, NM= netto-naaldmassa, WM= netto-wortelmassa. DAGEN= aantal dagen dat de luchtverontreiniging boven het no-effect-level uitkomt, BODEMZUUR= equivalenten zuur aanwezig in de bodem.

2.5 Klimaat

Een belangrijke factor voor de bepaling van de tolerantie van een plant t.o.v. zijn leefmilieu is het klimaat. Het klimaat is bepalend voor de bodemsoort via verwering en uitspoeling, en het klimaat is bepalend voor de biotiek door de mate van straling en de neerslag. Andere factoren kunnen echter ook de tolerantie beperken zoals topografische omstandigheden, vuur en storm. Dit kan tot gevolg hebben dat de klimatologische climax niet wordt bereikt. (Barbour,1980)

Het klimaat kan worden verdeeld in ten eerste een macro-klimaat. Dit is het klimaat waarin de plant zich bevindt, en waarop hij geen invloed kan uitoefenen. Ten tweede is er het microklimaat. Dit is het klimaat in de direkte omgeving van de plant en als zodanig ook beïnvloed wordt door de plant. Het macro- en microklimaat kunnen behoorlijke verschillen vertonen in o.a. de luchtvochtigheid, de windsnelheid en de lichtintensiteit.

In het model worden alle klimaatfactoren die mogelijk van invloed zijn op de groei van Picea onder een noemer gebracht. De uiteindelijke factor voor de invloed van het klimaat is een discrete factor en is afgeleid van de hoeveelheid neerslag die in Nederland per jaar valt. De neerslaghoeveelheid volgt de normale verdeling. Op basis van deze verdeling is de kans op een bepaalde factor bepaald. Hoe verder de stochastische variabele van het gemiddelde verwijderd is, hoe groter de negatieve invloed. Bij het gemiddelde van de verdeling is de klimaatfactor 1, en die situatie heeft dus geen invloed op de groeisnelheid.

Er wordt een random getal getrokken tussen 1 en 100. Is dit getal kleiner dan 9, dan krijgt de factor klimaat (KL) de waarde -0.5. ligt het getal tussen 9 en 24 dan wordt KL 0, ligt de waarde tussen 24 en 44 dan wordt KL 0.5 en in alle andere gevallen wordt KL 1.0.

2.6 concurrentie

Een belangrijke component van geïntegreerde systemen, zoals een plantengemeenschap of een ecosysteem is intra- en interspecifieke concurrentie voor licht, water en nutriënten. (McLaughlin,1985)

Om een beeld te kunnen geven van de veranderingen, in de soortensamenstelling binnen een plantengemeenschap, die in een zo korte periode (binnen de levensduur van een boom) optreden is het belangrijk te kijken naar veranderingen die optreden in de kruidlaag, omdat kruiden in tegenstelling tot bomen een korte levenscyclus hebben.

Als een populatie van een soort een minder goede concurrentiepositie heeft of krijgt dan een populatie van een andere soort, omdat omgevingsfactoren veranderen, dan zal er een verschuiving in bedekkingspercentages plaatsvinden die vrij snel zichtbaar is, ten gunste van de soort met de beste concurrentiepositie.

In fijnsparbossen, waar de algemeen beperkende factor voor kruiden de abiotische factor licht is, komt Oxalis acetocella frequent voor. Oxalis is een echte schaduwtolerante plant en is dus slecht aangepast aan een sterke lichtintensiteit. (Packham,1977) Als de lichtintensiteit op de bodem toeneemt, zal de bedekking van de bodem met Oxalis daarom af en de bedekking met een concurrende soort, in dit geval Deschamsia cespitosa toenemen.

In het model is de naaldmassa van Picea bepalend voor de hoeveelheid licht op de bodem. Bij toenemende naaldmassa, dus een toename van de hoeveelheid schaduw op de bodem zal het bedekkingspercentage van Oxalis evenredig toenemen.

SCHADUWHOEVEELHEID = ROUND(NM/NMMAX*100)
NM=netto-naaldmassa, NMMAX=maximaal-mogelijke-netto-naaldmassa

De bodem wordt als een constante oppervakte beschouwd. Indien er geen boom groeit is het bedekkingspercentage van Oxalis 0% en het bedekkingspercentage van Deschampsia 100%.

BEDEKKINGCONCURRENT = 100-OXALISBEDEKKING

2.7 luchtverontreiniging

2.7.1 luchtverontreiniging algemeen

De belangrijkste luchtverontreinigende componenten zijn : fluor, waterstoffluoride, zwavelwaterstof, stikstofoxiden, ozon, polycyclische koolwaterstoffen en zwaveldioxide.

Ozon alleen of in combinatie met zwaveldioxide of stikstofoxiden, is verantwoordelijk voor 90% van het "standing cropp " (= landbouwgewassen) verlies in de Verenigde Staten. (Reinert,1984)

Komen deze stoffen in de atmosfeer, dan geeft dit de mogelijkheid tot verspreiding en tot chemische omzettingen. (Bruinsma,1985) Hebben de stoffen de stratosfeer bereikt, dan blijven ze daar gemiddeld 2 jaar en verplaatsen zich voornamelijk in oost-west richtingen. Na 2 jaar zakken de stoffen naar beneden en regenen uit. (Mead,1980)

"Depositie is het proces waardoor verontreinigende stoffen uit de lucht worden verwijderd en terecht komen op de bodem (grond, water,vegetatie of bebouwing). Men onderscheidt natte en droge depositie. De natte depositie vindt plaats door tussenkomst van neerslag; depositie zonder tussenkomst van neerslag wordt droge depositie genoemd.

Natte depositie kan op verschillende manieren plaatsvinden. Aerosoldeeltjes kunnen b.v. optreden als condensatiekern en zo wolkendruppels vormen. Vormt zich uit de wolk neerslag,(..),dan leidt dit tot natte depositie; (..). De gassen en aerosoldeeltjes kunnen ook in vallende regendruppels worden opgenomen (..). Droge depositie van gassen treedt op door absorptie aan het oppervlak."(v.Aalst in Ver.Lucht, 1983)

Tweederde deel van de depositie bestaat uit droge depositie, het andere deel is de natte depositie. (Bruinsma,1983)
De droge depositie heeft grotere effecten op planten dan de natte depositie. (Reinert,1984)

"Voor wat betreft de in een ecosysteem binnenkomende atmosferische depositie kan een onderscheid worden gemaakt in open-veld-depositie en interceptie-depositie. Open-veld-depositie omvat de natte depositie en de sedimentatie van grovere deeltjes en is vrijwel onafhankelijk van de fysische en chemische eigenschappen van het ontvangende oppervlak. Interceptie-depositie is de som van filteringsprocessen (gasabsorptie,neveladsorptie en aerosoladsorptie) en is in sterke mate afhankelijk van de eigenschappen van het ontvangende oppervlak. (Verstraten in Ver.Lucht,1983)

De depositiesnelheid kan nogal varieren per etmaal of per jaar. De depositiesnelheid van zwaveldioxide is b.v. overdag hoger dan 's nachts, en in de zomer hoger dan in de winter.

In 20 jaar oude productiebossen is de biologische zuurproductie 3 keer zo hoog als de input door atmosferische depositie. Tijdens het ouder worden van het bos, neemt de biologische zuurproductie af, en gaat de zuurdepositie uit de atmosfeer een belangrijkere rol spelen. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat de bomen op twintigjarige leeftijd een hogere groeisnelheid hebben dan wanneer ze ouder zijn. De snelheid waarmee voedingsstoffen en waterstofionen uitgewisseld worden ligt dan dus ook hoger. (Swedisch ministry of agriculture and environment,1982)

De schade die stoffen toebrengen aan planten hangt grotendeels af van de aard van de stoffen. Is de stof een essentieel element voor de plant, dan heeft de stof 2 grenswaarden. Een ondergrens waaronder de plant gebreksverschijnselen gaat vertonen en een bovengrens, waarboven de stof toxisch is. Is de stof daarentegen niet essentieel voor de groei van de plant, dan is er alleen sprake van een bovengrens. (Nijs,1984)

De organisatie-niveau's, waarop vervuilende stoffen de groeiprocessen van planten beinvloeden, zijn samengevat in onderstaand schema. (McLaughlin,1985)

cel en biochemische veranderingen	fysiologische functie	groei	productiviteit van het bos
enzym activiteit membraan permeabiliteit organellen osmotische potentiaal	fotosynthese transpiratie respiratie stomatale functie toekenning hulpmiddelen groei afweer reproductie wortel opname	hoeveelheid timing kwaliteit distributie flexibiliteit	groei concurrentie successie sterfte reproductie

Bevinden de stoffen zich eenmaal in de plant, dan kunnen ze: Omgezet worden tot niet gevaarlijke stoffen, dezelfde stoffen blijven of schadelijker worden.
De accumulatiesnelheid van een stof is soortsafhankelijk. (Nijs,1984)

De plant kan zich beschermen tegen beschadigingen van hoge concentraties luchtvervuiling, door oxidatieve processen te stimuleren. Op deze manieren treedt geen meetbare metabolische stress op. Deze metabolische buffercapaciteit is de belangrijkste methode die de plant heeft om zich tegen de hoge concentraties te verdedigen. Tijdens de winter, de rustperiode van de plant, wordt deze mogelijkheid echter beperkt vanwege de biologische inactiviteit. (Huttunen in Treshow,1984).

De gevolgen van luchtverontreiniging komen in het model op 2 manieren tot uitdrukking. Ten eerste een component die direct schade oplevert, ten tweede een component die indirect, via de bodem, schade oplevert.

De directe invloed is een voorbeeld van een stressor die slechts een korte periode actief is. De indirecte werking van luchtverontreiniging is een voorbeeld van een stressor, die chronische verzwakking van de boom oplevert.

2.7.2 directe invloed van luchtverontreiniging

De concentratie van allerlei stoffen in de lucht is afhankelijk van plaats, tijd en seizoen. De concentraties zwaveldioxide zijn b.v. hoog in de buurt van electriciteitcentrales, de stikstofoxidenconcentraties zijn met name overdag hoog, in de buurt van snelwegen en steden, en de ozon concentratie is overdag hoger dan 's nachts en in de zomer hoger dan in de winter. In de natuurlijke situatie zal de concentratie van stoffen in de lucht dus niet constant zijn.

Schade aan naalden door gassen treedt op, wanneer de concentratie van deze gassen te hoog wordt. Blijft de concentratie beneden een bepaald niveau, dan kan de plant de stoffen verwerken tijdens z'n metabolisme, of b.v. opslaan of uitscheiden.

De respons op luchtverontreiniging ontstaat doordat de gassen worden geabsorbeerd door bladeren, door adsorptie aan het oppervlak van de bladeren of door absorptie door stomata. De invloed van luchtverontreiniging uit zich in: (Reinert,1984)

-: Zichtbare beschadigingen b.v. aan de stomata.
-: Veranderingen in groei en ontwikkeling b.v. doordat zich een film op de naalden heeft gevormd of doordat de stomata verstopt zijn. Hierdoor wordt de fotosynthese geremd.
-: Fysiologische en metabolische onbalans.
-: Accumulatie van stoffen en metabolieten.

Bladeren en naalden die aan het zonlicht zijn blootgesteld, vergelen en sterven af. Het vallen van de naalden gaat gepaard met het slap hangen van twijgen van de oudere takken (=het lamettasyndroom) (Bruinsma,1985)

Het model laat de effecten van te hoge concentraties schadelijke stoffen op de groeisnelheid van de naalden zien. Bij het opstarten van het model moet een hoeveelheid dagen opgegeven worden, waarop de concentratie van een stof, of een combinatie van stoffen te hoog is, d.w.z. het aantal dagen waarop er negatieve invloed door luchtverontreiniging op de groeisnelheid van de naalden wordt uitgeoefend.

De relatie tussen het aantal dagen en de schade die wordt toegebracht aan de boom, kan voortdurend worden aangepast aan de beschikbare kennis.

$$LZ = -0.0055*DAGEN+1.0055$$

LZ=factor voor directe schade aan de naalden, DAGEN= aantal dagen per jaar dat de luchtverontreiniging boven het no-effect-level komt.

2.7.3 De invloed van luchtverontreiniging op de bodem.

De luchtverontreinigende stoffen komen eens op de bodem terecht. Hetzij door middel van neerslag, hetzij als droge depositie, hetzij via de dode biomassa waar de stoffen in opgeslagen zijn. Eenmaal op de bodem gekomen, veroorzaken deze stoffen door allerlei processen verzuring van de bodem.

In het model zijn alle effecten die luchtverontreiniging op de bodem heeft, ondergebracht in 1 factor. Deze factor heeft invloed op de groeisnelheid van de wortels (vervolgens op de groeisnelheid van de totale boom), via de pH van de bodem.
Omdat elke bodemsoort een andere zuurneutraliserende capaciteit heeft, moet bij het opstarten van het model de initiele pH-waarde en de mate van jaarlijkse verandering steeds opnieuw gekozen worden.

Voor een optimale groei van Picea is een pH van 4 vereist. (van Goor,1967) Groeibeperking treedt op tussen een pH van 3 en 3.5; een pH kleiner dan 2.5 is toxisch. (v.d.Burg in Ver.Lucht,1983)

als de pH beneden de waarde 4 zakt, treedt negatieve invloed op

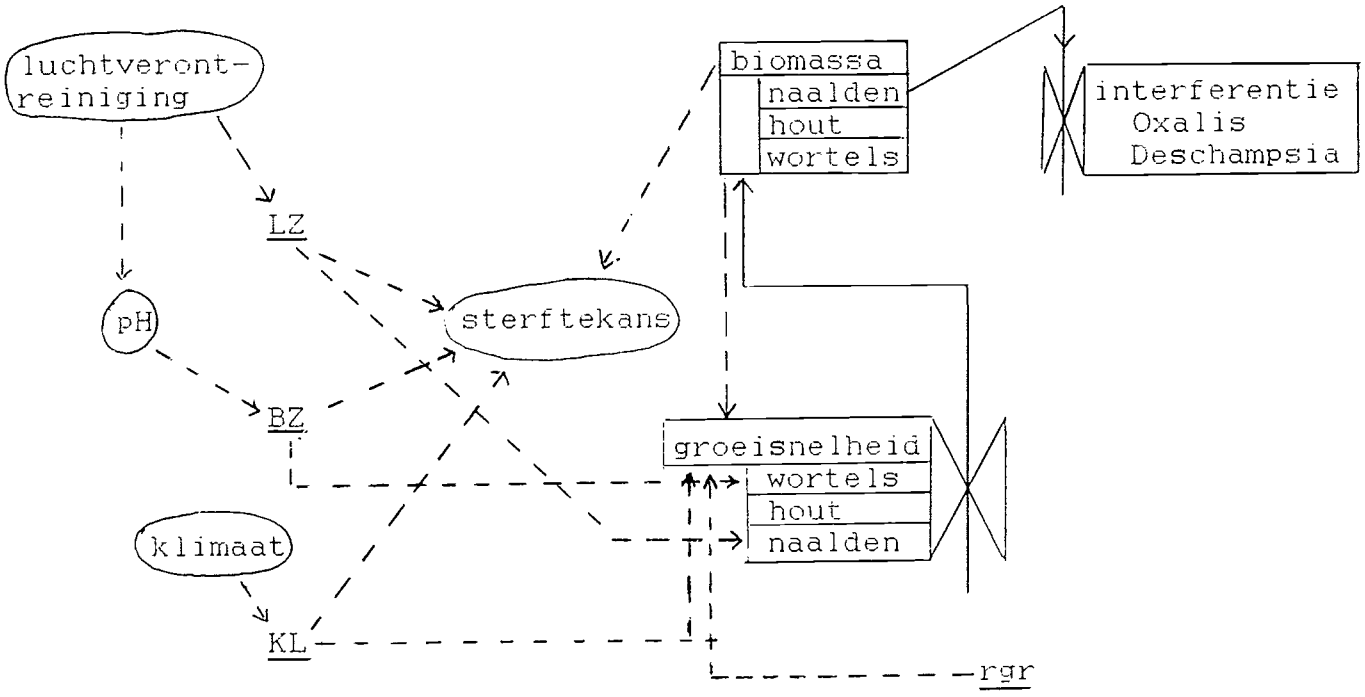
BZ = (-714*BODEMZUUR)+1.2
BZ=factor voor het effect van luchtverontreiniging op de wortels,
BODEMZUUR=aantal zuurequivalenten in de bodem.

Omdat men denkt dat het effect van luchtverontreiniging via de bodem een grotere invloed heeft, wordt de factor BZ met 2 vermenigvuldigd. (Ploeg, 1985)

2.8 schema model

In onderstaand schema zijn alle relaties aangegeven. Het schema is gemaakt naar voorbeelden in: de Wit en Goudriaan (1974).

integralen : vierkant
snelheid beheersende factoren : ventiel
hulpvariabelen : cirkels
parameters : onderstreept
materiaalstroom : ononderbroken lijn
informatiestroom : onderbroken lijn



3 resultaten

Als uitkomsten geeft het model 3 grafieken: De eerste grafiek laat de relatie tussen de netto-biomassa in kg drooggewicht en de tijd zien, terwijl ook de standaard-groei aangegeven wordt, zodat direct de verschillen zichtbaar zijn. De tweede grafiek geeft de verdeling van de totale biomassa van de boom tijdens de groei, zodat is te zien welk orgaan de laagste groeisnelheid heeft, en dus de meeste hinder ondervindt van de luchtverontreiniging. De laatste grafiek tenslotte, laat de bedekkingspercentages van Oxalis en Deschampsia in de tijd zien.

Om te controleren of de uitkomsten (bij de ingevoerde waarden) overeenkomen met de werkelijkheid, zullen we gegevens over de werkelijke situatie moeten vergelijken met de gevonden waarden.
We moeten beschikken over gegevens omtrent, de achteruitgang in groei van 1 boom, of een gemiddelde over een aantal bomen, bij een bepaalde hoeveelheid luchtverontreiniging. Deze gegevens zijn echter niet beschikbaar. Er zijn wel cijfers over b.v.percentages vitaal, minder vitaal en slecht bos, maar hierbij wordt alleen gekeken naar zichtbare schade en wordt geen onderscheid gemaakt in verschillende soorten bomen. De vitaliteit zegt dus nog niets over de mate van groeivermindering van een boom.

Na experimenten omtrent de gevoeligheid van soorten worden de verschillende soorten voornamelijk ingedeeld in de klassen: gevoelig, minder gevoelig en niet gevoelig. Dit zegt niets over de stoffen waarvoor de soorten gevoelig zijn, welke delen van de boom aangetast worden, op welke termijn de schade optreedt etc. Bovendien zijn de experimenten vaak in kassen gedaan, en met zaailingen, in plaats van volwassen bomen. De reacties van de verschillende ontwikkelingsstadia van de boom kunnen echter zeer verschillend zijn. Hierdoor is vergelijken met de werkelijkheid meestal niet mogelijk.

Nemen we nu aan dat er dosis-effect-relaties voor een boom bekend zijn, m.b.t. de gevoeligheid van de naalden voor bepaalde luchtverontreinigingscomponenten, dan kunnen we bepalen hoe vaak deze component per jaar het no-effect-level overschrijdt aan de hand van een door Larsen(1969) (in T.N.O.,1981) ontwikkeld model. Larsen gaat er van uit, dat de concentratie in receptorpunten die alzijdig en min of meer in gelijke mate belast worden, in goede benadering een lognormale verdeling volgt. Dat wil zeggen dat de logaritmen van de gemeten concentraties kunnen worden beschouwd als trekkingen uit een populatie met normale verdelingen. Hierdoor kun je met behulp van de gemiddelde concentratie, die bij een normale verdeling samenvalt met de mediane waarde, de standaardafwijking bepalen.

B.V. het no-effect-level is 200 microgram/kubieke meter (c)
de gemiddelde 24 uurs-waarde is 87 microgram/kubieke meter ($\overline{c}$)

de $c/\overline{c}$ = 200/87 = 2.3 (uit tabel T.N.O.) de kans op overschrijding van de grenswaarde is dan 0.037 (bij s=0.55)

0.037 * 24 uur = 0.89 uur dus 1 uur per dag.
(er is echter niet bekend in welke mate de grens wordt overschreden)

Volgens het landelijk meetnet luchtkwaliteit van het RIVM, wordt de gemiddelde 24 uurswaarde van 87 microgram of hoger in
Biddinghuizen (1986) 10 maal per jaar bereikt
Eibergen (1986) 11 maal per jaar bereikt.
Het aantal dagen per jaar, waarop de grenswaarde van 200 microgram per kubieke meter wordt overschreden, is in deze plaatsen dus 10 of 11. Weten we de schade die hierdoor optreedt, dan kunnen we het model toetsen.

Vanwege een duidelijk tekort aan, in dit model bruikbare gegevens, is het model in dit stadium niet te controleren op juistheid.

Hieronder volgen enige resultaten van het model. Deze resultaten moeten uitsluitend gezien worden als illustratie van de mogelijkheden van het model.

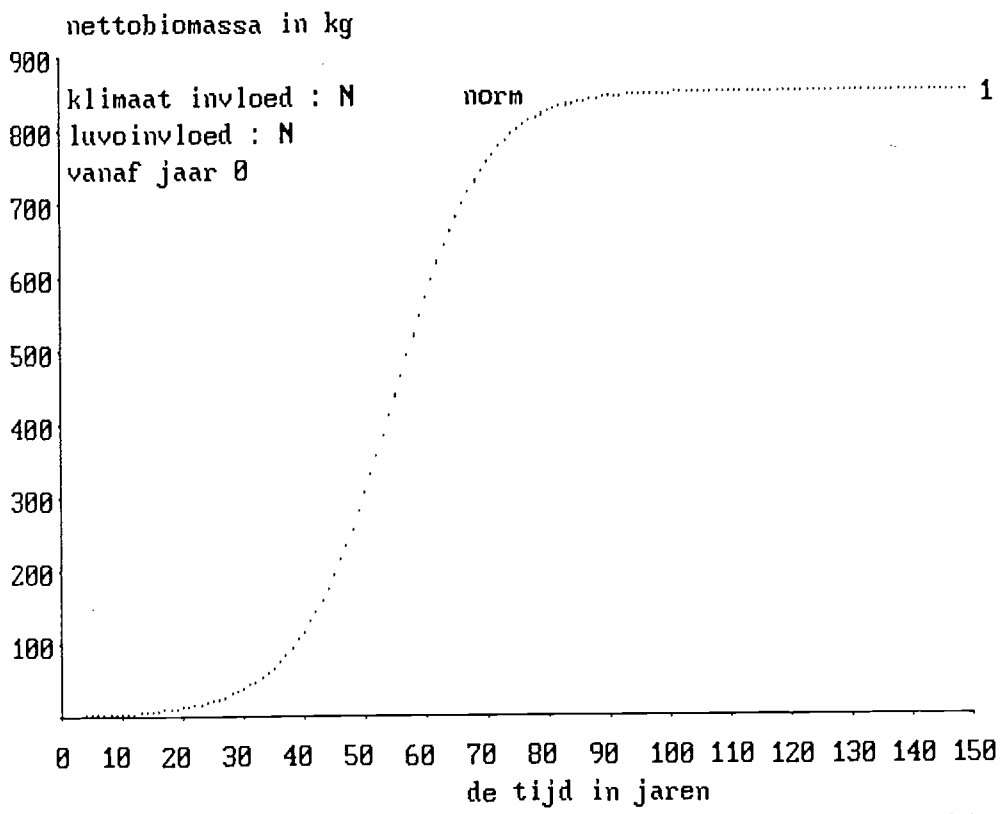


fig.5a De standaardgroei (=groei zonder invloed van klimaat of luchtverontreiniging)

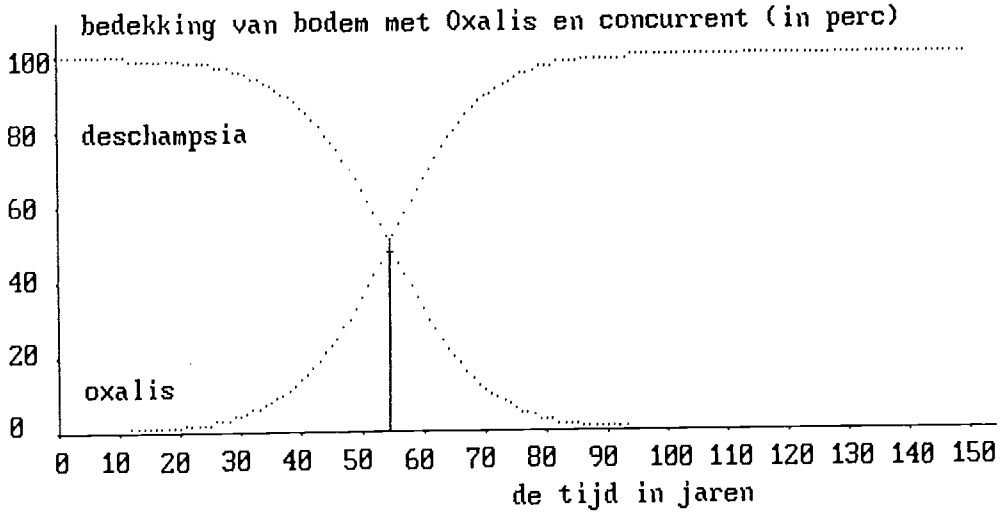


fig.5b Het verloop van de bedekkingspercentages tijdens de standaardgroei van Picea.

Bedekking van de bodem met meer dan de helft Oxalis treedt op (bij de standaardgroei) als Picea 55 jaar is.

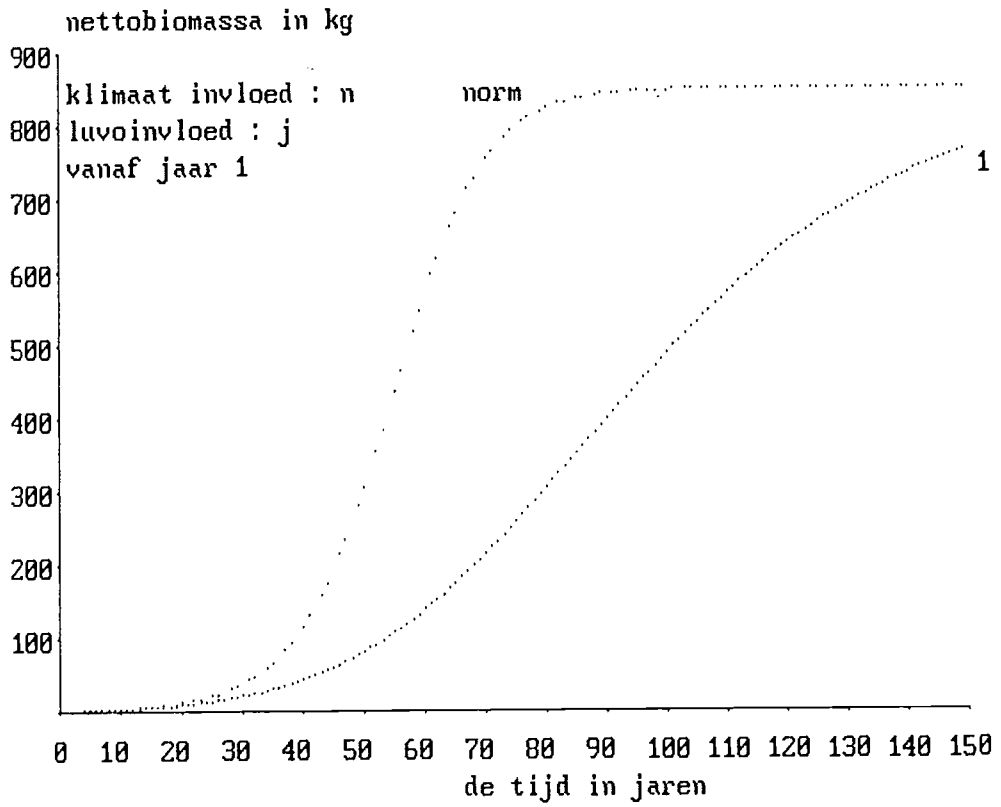


fig.6a De invloed van luchtverontreiniging op de groei van Picea (initiele pH waarde: 4.0 pH op t=100: 3.7, overschrijding no-effect-level: 7 dagen per jaar)

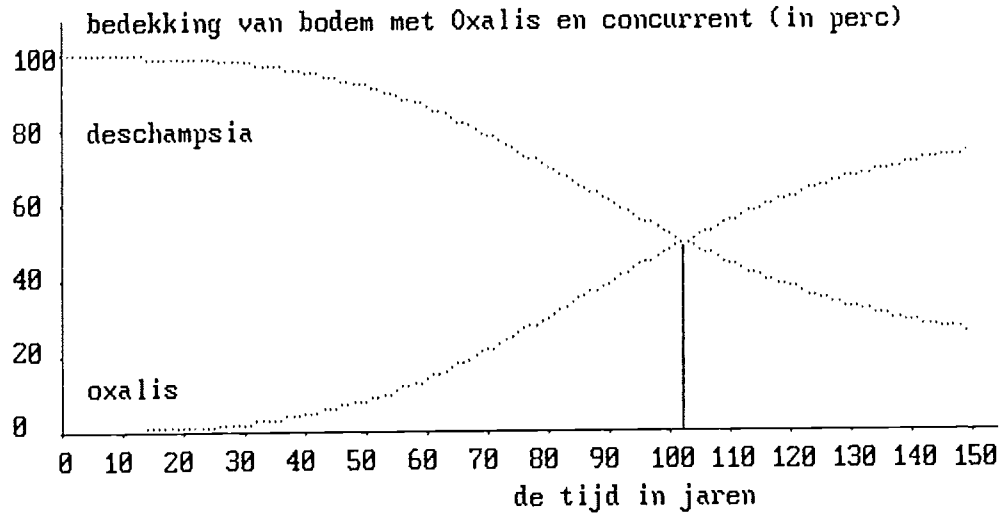


fig.6b Veranderende bedekkingspercentages van Oxalis en Deschampsia

Luchtverontreiniging veroorzaakt een vertraging van de groei van de boom waardoor het bedekkingsperc. van Oxalis pas rond t=100 hoger is dan dat van Deschampsia.

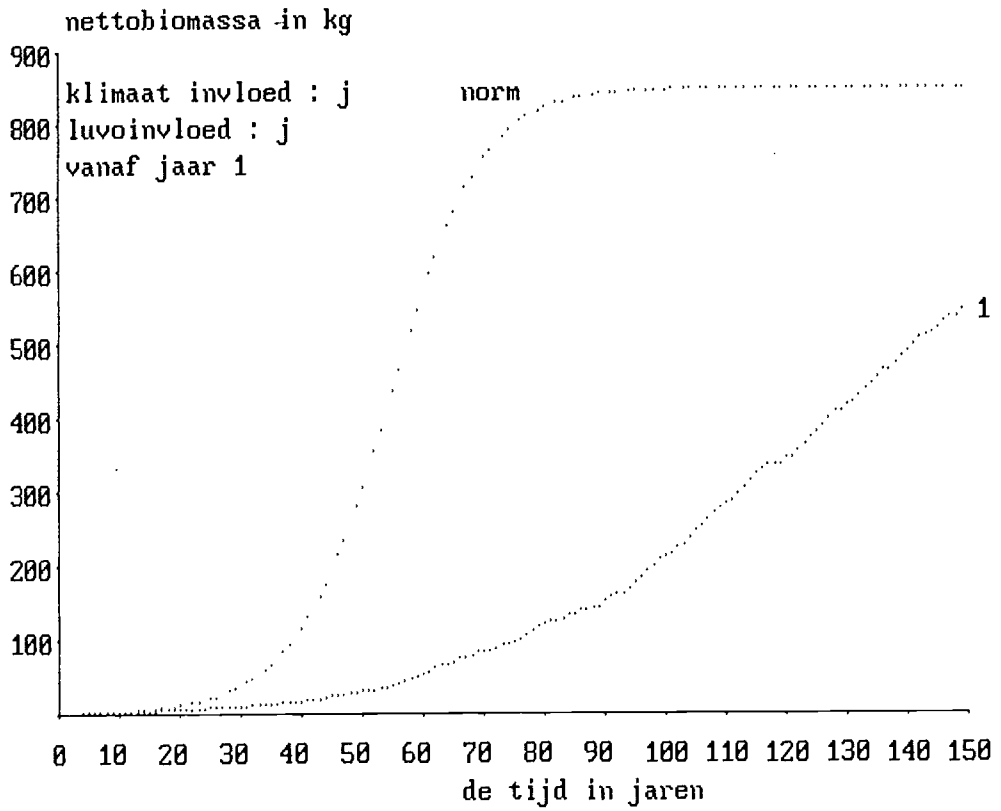


fig.7a De groei van de boom wordt door luchtverontreiniging en klimaat beinvloed. (vanaf jaar 1)

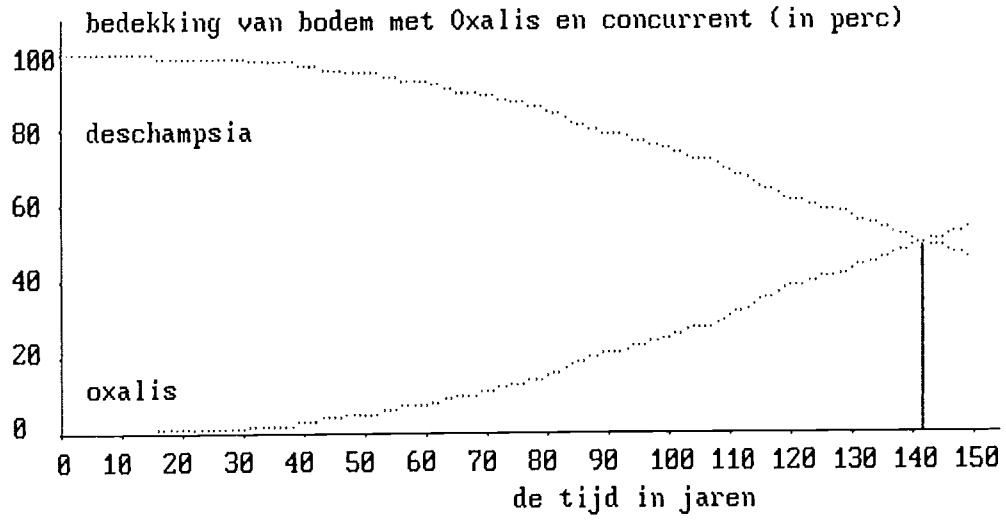


fig.7b Bedekkingspercentages van de soorten in de kruidlaag.

De invloed van het klimaat verslechtert de situatie voor de boom t.o.v. de situatie met alleen luchtverontreiniging als factor. Dit is ook duidelijk waarneembaar in de kruidlaag. Het tijdstip waarop Oxalis een groter bedekkingsperc. heeft dan Deschampsia ligt rond jaar 142.

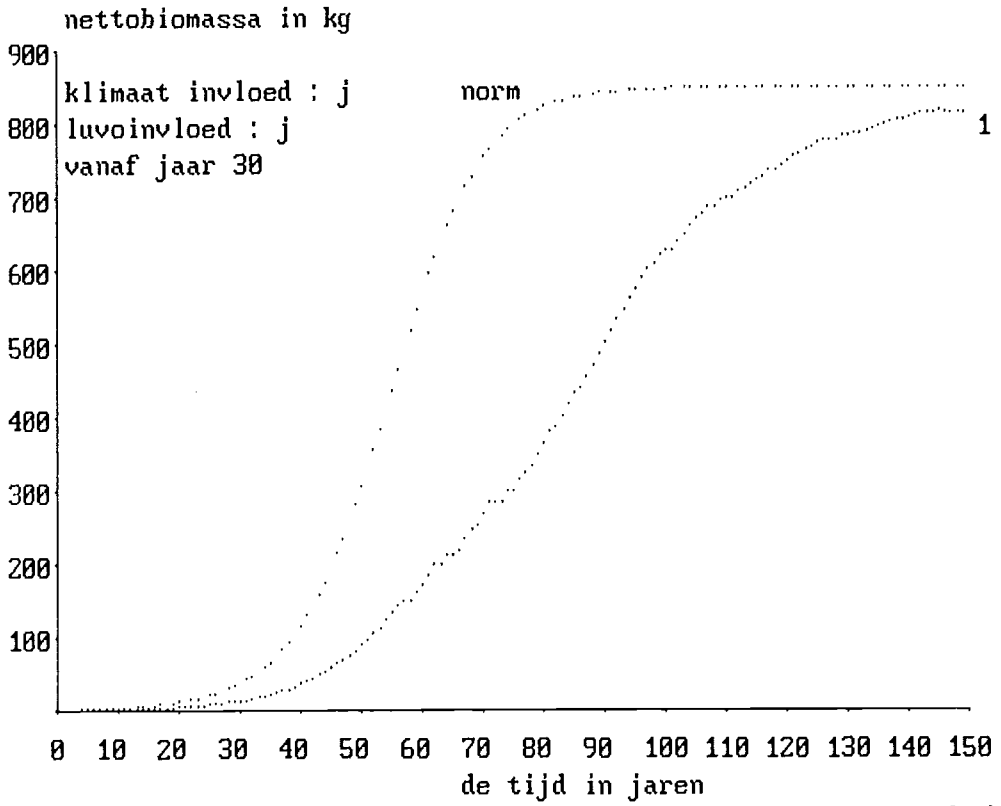


fig.8a De groei van de boom wordt vanaf t=30 beinvloed door klimaat en luchtverontreiniging.

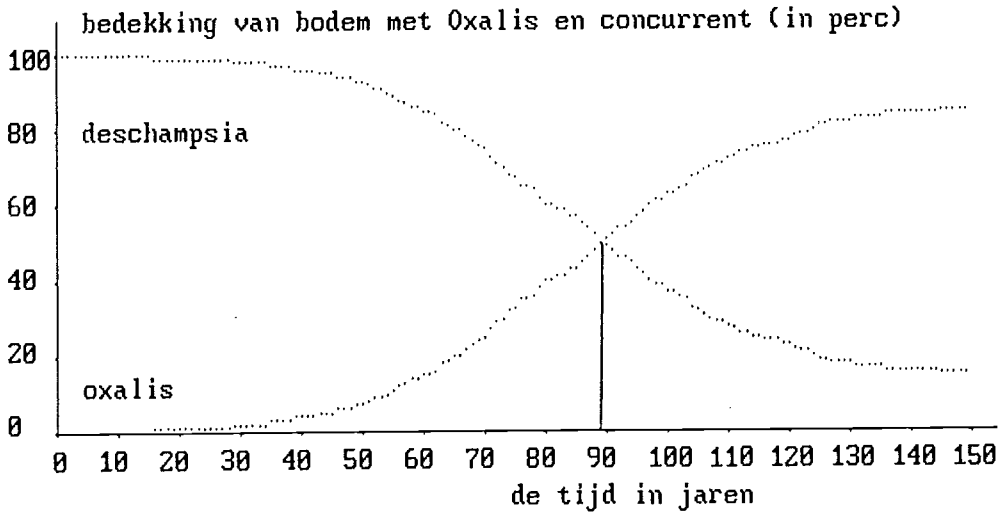


fig.8b Bedekkingspercentages van de kruiden op de bodem.

De invloed van de luchtverontreiniging en het klimaat op de groeisnelheid van de boom is minder wanneer de factoren hun werking beginnen in jaar 30 i.p.v. in jaar 1. De bedekking van Oxalis is rond t=90 gelijk aan die van Deschampsia en wordt daarna meer. (Vergelijk fig.8 met fig.7)

4 Overzicht van de kanttekeningen die bij de verschillende onderdelen van het model gemaakt kunnen worden en van punten waarmee het model kan worden aangevuld.

Het model is zeer eenvoudig opgezet zodat het gemakkelijk uit te breiden en te detailleren is.
De resultaten die in de grafieken gegeven zijn moeten daarom niet als een reele weergave van de werkelijkheid gezien worden, maar als een illustratie van de mogelijkheden van het model, zoals het in dit verslag beschreven is.

De volgende paragrafen geven een overzicht van de kanttekeningen die bij de in het model gemaakte keuzes gezet kunnen worden. Er wordt eveneens aangegeven op welke punten het model gedetailleerd kan worden.

4.1 Groei van de boom

1: De keuze van de groeifunctie.

In dit model is gekozen voor een groeikromme van het logistische type. Dit is een kromme die afkomstig is van de microbiologie. Deze stelt de groei van micro-organismen voor in een beperkt medium. Dit betekent dat de groeisnelheid gebonden is aan een maximum. De groei van een boom is ook aan een maximum gebonden Dit maximum is genetisch bepaald, en als zodanig een vast gegeven. Uiteraard kunnen er wel verschillen zijn in maxima tussen bomen onderling. Het zou echter goed mogelijk kunnen zijn dat de groei van een boom niet logistisch maar parabolisch verloopt. De groeikromme moet dan op een andere dan de logistische manier worden beschreven.

2: De vaststelling van de parameters.

In de literatuur worden geen waarden gegeven voor de groeicoefficient en de maximale biomassa. Bovendien wordt zelden de biomassa van een enkele boom gegeven. Is de biomassa te berekenen uit de stammendichtheid en de biomassa per hectare, dan is vaak niet vermeld of de gegevens afkomstig zijn van een bestand met bomen van dezelfde leeftijd of van een natuurlijk bos. Er zijn wel gegevens beschikbaar van de diameter van de boom op borsthoogte. Als blijkt dat de groeisnelheid van de diameter van een boom evenredig is met de groeisnelheid van de totale biomassa van de boom, dan moet overwogen worden of het niet verstandig zou zijn, een andere maat (een die wel regelmatig gegeven wordt) voor de groeisnelheid te kiezen.

3: Het tijdsinterval.

De lengte van het groeiseizoen zal ieder jaar verschillend zijn, afhankelijk van klimaat en daaruit voortvloeiend de weersomstandigheden(Barbour,1980).
In werkelijkheid groeit een boom uitsluitend in het groeiseizoen, dat alleen in de tropen een volledig jaar omvat. In het model worden de variabelen per jaar berekend. Op deze manier wordt echter de invloed van variatie in de seizoenen op de groeisnelheid verwaarloosd. Het tijdsinterval moet dus gerelateerd worden aan het klimaat.

4: De relatieve groeisnelheid.

De relatieve groeisnelheid is voor naalden, wortels en hout hetzelfde verondersteld. Het is mogelijk dat deze in werkelijkheid van elkaar verschillen. Verspreid over het groeiseizoen zijn de verhoudingen tussen de percentages-drooggewichten van de componenten in ieder geval niet constant. (Barbour,1980).

5: De berekening met negatieve factoren.

Bij de berekening van de netto-groei per jaar, maakt het verschil of de berekening met de negatieve factor voor of na de netto-groeiberekening met de positieve factoren plaatsvindt.

b.v. F=-0.5
M (uitgangsmassa) = 200
M = M+ (F*0.01*M)

Berekening voor de groeiberekening met de positieve factoren uitgevoerd, levert M(nieuw) = 218.5
Berekening na de groeiberekening met de positieve factoren uitgevoerd, levert M(nieuw) = 223.1
De keuze om de berekening aan het einde uit te voeren is willekeurig gekozen.

6: De gevoeligheid van de verschillende groeistadia voor luchtverontreiniging.

De gevoeligheid van de boom voor luchtverontreiniging is in het model in elk groeistadium dezelfde. In werkelijkheid is dit niet het geval, maar vertonen de ontwikkelingsstadia verschillen in gevoeligheid.

De vestigiging van zaad b.v. is gevoeliger voor zure depositie dan de groei van de zaailing. De oorzaak is dat allerlei metabolische stoffen uit het zaad logen, wat verliezen van reserves betekent. Zaad heeft om te kiemen en te groeien deze voedelreserves nodig, omdat het nog niet in staat is (i.t.t. de zaailing), in zijn eigen voedsel te voorzien. (Mudd,1975: McLauglin,1983) De gevoeligheid van de boom moet dus afhankelijk van het ontwikkelingsstadium waarin de boom verkeert worden gesteld.

4.2 Metabolisme

1: De verhoudingen tussen biomassa en naalden, hout en wortels.

Deze verhoudingen zijn constant verondersteld bij een standaardgroei, terwijl het heel aannemelijk is dat deze verhoudingen gaan veranderen naarmate de boom ouder wordt.

2: Groeisnelheid van de naalden en de wortels na schade.

Indien er schade optreedt aan naalden of wortels, zou het kunnen zijn dat de groeisnelheid van de naalden resp. wortels toeneemt, totdat de schade hersteld is. De verhoudingen tussen wortels en naalden is dan niet blijvend verstoord, maar slechts tijdelijk.

3: Wortels en myccorhiza.

In het model zijn wortels en myccorhiza als een geheel beschouwd. Het is meer waarschijnlijk dat effecten van bodemverzuring verschillend zijn voor beide onderdelen.

4: Schadelijke effecten.

De relatie tussen de verandering in verhouding orgaan/biomassa en het negatieve effect dat dit heeft op de groeisnelheid is lineair verondersteld. Hoe deze relatie in werkelijkheid ligt is niet bekend.

Wellicht is een opsplitsing in afzonderlijke effecten noodzakelijk. Er is bij een afname van naalden immers sprake van : verminderde gasuitwisseling, verminderde energie-opvang, afname verdamping, afname schaduw op de bodem met als gevolg een toename van bodemtemperatuur, toename van windsnelheid en dus een dunnere grenslaag om de naalden waardoor deze gevoeliger worden voor schadelijke gassen in de lucht. Bij een afname van de wortelhoeveelheid treden effecten op als: verminderde opname van voedingsstoffen, verminderde opname van water, afname wortelconcurrentie ten gunste van de kruidlaag en een toename van windworpgevoeligheid. Het is vrijwel onmogelijk deze factoren samen te vatten in 1 factor.

5: Nutrientenbudget en waterhuishouding.

De beschikbaarheid van nutrienten is sterk afhankelijk van de waterhuishouding en dus van het klimaat. Neerslag brengt de voedingsstoffen mee, run-off (= water dat via de oppervlakte wegstroomt) verwijdert ze, infiltratie van water brengt ze in de bodem, evapotranspiratie (= verdamping en transpiratie van planten en bodem) concentreert de nutrienten en grondwater en cappillair-water brengen de stoffen in de wortelzone. (Barbour,1980). Er zou dus eigenlijk een relatie tussen de factor metabolisme en klimaat gevormd moeten worden.

6: De verschillen tussen de voedingsstoffen.

Stikstof is voornamelijk geaccumuleerd in jonge weefsels, in zaden en opslagorganen. Fosfor zit in fosfolipiden, aminozuren en enzymen. Kalium is met name in jonge weefsels aanwezig en is nodig om de turgor te handhaven; het spoelt gemakkelijk uit de naalden. Magnesium accumuleert evenals stikstof in jonge weefsels en is nodig voor de opbouw van chlorofyl. Calcium zit in de kern en mitochondrien; het is niet mobiel en komt dus pas vrij na decompositie van het strooisel.

Er is dus variatie in opslag en mobiliteit van de verschillende voedingsstoffen. Dit betekent echter niet dat de minst mobiele stof de beperkende factor is. De beperkende factoren zijn in een naaldbos meestal stikstof en/of fosfaat.

De eerste jaren van een naaldbos is de productiviteit hoog; er is voldoende fosfor en stikstof beschikbaar. In deze jaren kan een andere stof dus de beperkende factor vormen. Na enkele jaren neemt de productiviteit echter af, omdat de belangrijkste voedingsstoffen dan uit de bodem verdwenen zijn en opgeslagen zitten in biomassa en strooisel. De decompositie-snelheid is dan de bepalende factor voor de productiesnelheid van de planten.

De decompositiesnelheid van naalden is erg laag, zodat de meeste voedingsstoffen die nu in het strooisel opgeslagen zitten zeer langzaam ter beschikking komen van de bomen. (Barbour,1980)

De grote verscheidenheid aan voedingsstoffen, en hun verschillende eigenschappen dwingt ons er eigenlijk toe ze afzonderlijk van elkaar te beschrijven, hoewel de beschrijving van vele interacties tussen de verschillende stoffen grote problemen op kan leveren.

7: Effect van bemesting.

Een toename van de spruit/wortel verhouding, door bemesting via atmosferische input of door een gereduceerd transport van fotosyntaat vanuit de door vervuiling beschadigde spruit naar de wortel, veroorzaakt droogtestress. (McLaughlin,1985)

4.3 Klimaat

1: De verschillende klimaatfactoren.

Picea abies is zeer gevoelig voor een tekort aan vocht in de bodem. In tegenstelling tot andere naaldbomen is Picea niet in staat zijn waterverbruik in te perken als er een tekort aan water in de bodem is. Is er op een bepaald moment sprake van droogte-stress, dan zal de stomata-resistentie (= weerstand van de huidmondjes) toenemen, omdat die geheel of gedeeltelijk sluiten, met als gevolg een verminderde gasuitwisseling en dus een afname in koolstofdioxide-fixatie, hetgeen groeisnelheids-vermindering betekent. (Barbour,1980)

De hoeveelheid neerslag hangt dus nauw samen met de groeisnelheid: niet alleen voor Picea, maar voor iedere soort. Water beinvloedt de productiviteit van de plant, het beinvloedt de biochemische cycli (waaronder de fotosynthese) en de bladtemperatuur (verdamping zorgt voor afkoeling van het blad).
De beschikbaarheid van water voor de plant is afhankelijk van de bodemtextuur en -structuur, het organisch gehalte van de bodem, de plantensoort en de fysiologische staat waarin de plant zich bevindt. (Barbour,1980)

Een andere belangrijke, beperkende klimaatfactor voor Picea is de kans op nachtvorst in het voorjaar.
Picea kan in de winterperiode, wanneer de boom in rust verkeert, zeer goed tegen vorst. Is het metabolisme in het voorjaar echter weer op gang gekomen, dan kan nachtvorst schade aanrichten.
Ook een combinatie van zon en vorst kan schade toebrengen aan de boom: de zonneschijn brengt de assimilatie op gang, terwijl het water in de bodem nog bevroren is. Het gevolg is fysiologische droogte.

Wind kan de boom op verschillende manieren schade berokkenen: Ten eerste als de boom nog jong is: Door harde wind buigt de stam, waardoor spanning komt te staan op het watergeleidend weefsel, hierdoor wordt de transpiratiestroom geremd. Ten tweede is met name een oude boom windworpgevoelig. Ten derde verlaagt wind de grenslaag-resistentie van de naalden, daardoor neemt de gasuitwisseling en dus de koolstofdioxide-fixatie toe.
Dit betekent een toename in groeisnelheid. Een afname in grenslaagresistentie verhoogt echter ook het binnendringen van allerlei luchtverontreinigende componenten, waardoor schade kan ontstaan aan de naalden. Dit zou een verlaging van de groeisnelheid betekenen.

Al deze factoren tezamen worden in het model beschouwd als de factor klimaat. De spreiding van deze factor is gebaseerd op de neerslaghoeveelheid in Nederland. Of de andere klimaatsfactoren, die van invloed zijn op de plant eveneens deze verdeling volgen is niet bekend. Indien de andere klimaatfactoren de normale verdeling niet volgen is het noodzakelijk de factoren afzonderlijk te beschouwen.

2: De seizoensinvloeden.

De neerslag-effectiviteit hangt onder andere nauw samen met de neerslagintensiteit, die op zijn beurt gekoppeld is aan het seizoen. Is de neerslagintensiteit hoog, dan vloeit veel water via het oppervlak af, en komt dus niet ter beschikking van de planten.

De verschillende factoren die de hoeveelheid neerslag op een oppervlak bepalen zijn onder andere afhankelijk van de leeftijd van een bos. Als een boom groeit neemt de hoeveelheid interceptie (kroonopvang) toe. Een groot deel van het water dat door de kroon opgevangen wordt, verdampt en komt niet ter beschikking van de boom. Hoe dichter de bomen op elkaar staan en hoe ouder ze zijn, hoe minder water er dus op de bodem terecht komt.

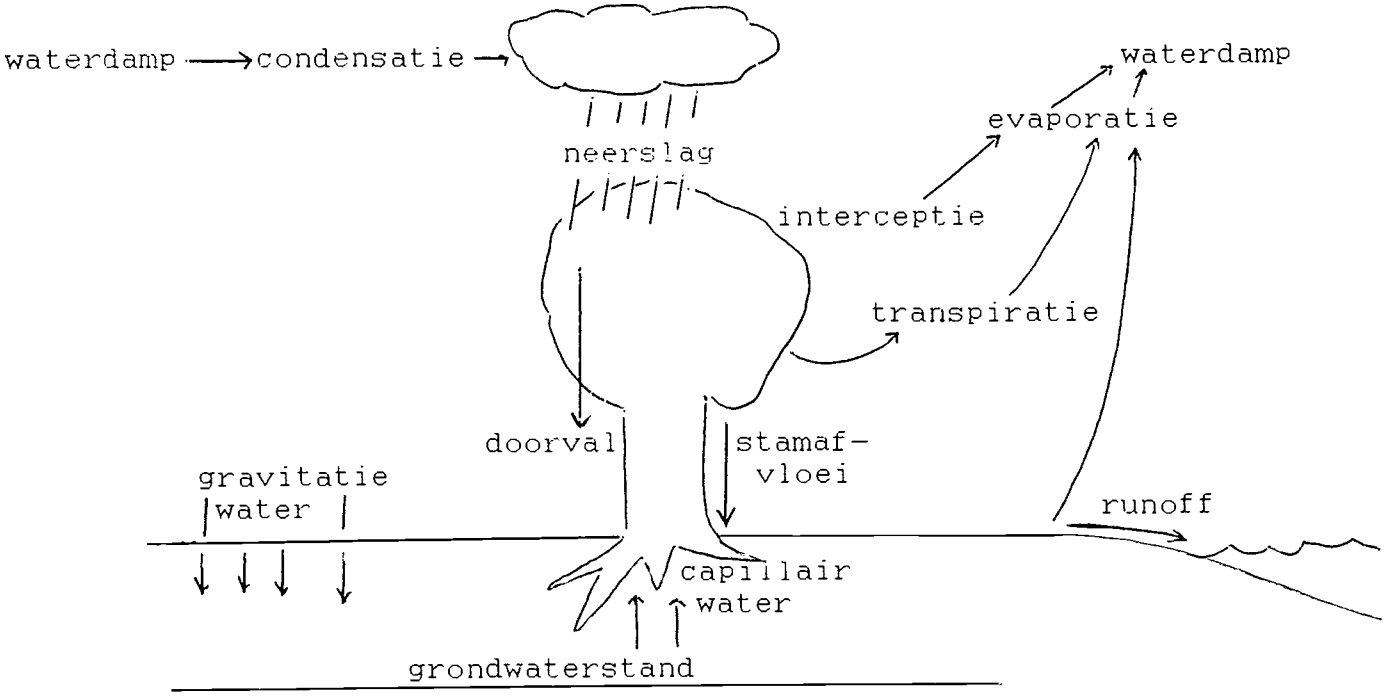


fig.5 Schema van de waterkringloop (Larcher,1973; Barbour,1980)

Ook het verbruik van water door de plant is gekoppeld aan het seizoen. In de rustperiode, b.v. in de winter, is de verdamping van de plant laag en zal er dus snel een overschot aan water ontstaan. Als in het groeiseizoen de verdamping weer wordt opgeschroefd, ontstaat vaak een neerslagtekort.

Het is dus van belang de variatie in neerslageffectiviteit die veelal veroorzaakt wordt door seizoensverschillen, op te nemen in het model.

3: De effecten van het klimaat op de aangetaste plant.

Indien een plant aangetast is door luchtverontreiniging, treden allerlei veranderingen op wat betreft de gevoeligheid van de plant voor weersinvloeden. Bij sparnaalden treedt o.a. een deficientie van magnesium op. Dit heeft tot gevolg dat de boom in toenemende mate gevoelig wordt voor vorst. (Rehfuess, in McLaughlin, 1985) Hier speelt ook het stadium van activiteit waarin de plant verkeert een grote rol. De periode waarin activiteit van de plant afneemt (predormancy), de periode waarin de plant in rust verkeert (dormancy) en de periode waarin de activiteit van de plant weer toe gaat nemen (postdormancy) moeten afzonderlijk worden beschouwd, omdat de plant in elke periode verschillend reageert op vorst en andere klimaatsinvloeden. (Treshow,1984)

Is een plant aangetast door de luchtverontreiniging, dan treedt er dus een verlies op in aanpassingsvermogen tegen klimatologische variaties. Bovendien treedt beperking op om te reageren op klimatologisch goede jaren, zodat herstel traag of niet plaats vindt.

4.4 Concurrentie

1: De duur van de periode.

Om veranderingen in de soortensamenstelling van een volledige plantengemeenschap of een ecosysteem te kunnen waarnemen moet een veel langere periode bestudeerd worden. De periode moet in ieder geval enige levenscycli van de bomen omvatten, omdat alleen dan de wijzigingen in boom-soortensamenstelling waarneembaar zijn.

2: Aanpassing van soorten aan veranderende omstandigheden.

Het is in principe mogelijk dat soorten zich aanpassen aan de voor hen verslechterende omstandigheden. Met name kruiden kunnen zich dankzij hun korte levenscycli genetisch aanpassen. (Mansfield,1981; Treshow,1984). De genetisch goed aangepaste individuen planten zich beter voort dan hun slechter aangepaste soortgenoten, waardoor het gunstige erfelijke materiaal zich snel verspreidt. Wat de bomen betreft zal dit proces veel trager verlopen, waardoor de kans op verdwijnen van een op dat moment gevoelige soort uit de gemeenschap veel groter wordt.

3: De successie.

Bossystemen worden vaak beheerst door enkele sleutelsoorten. Als de vitaliteit van deze soorten vermindert, zal concurrentie op den duur leiden tot veranderingen in de soortensamenstelling van het bos. (S.B.McLaughlin,1985) In de eerste periode vindt toename van soortendichtheid plaats; omdat de vitaliteit van de sleutelsoorten verminderd is, hebben andere soorten de mogelijkheid zich te vestigen. Op den duur zal, als de mate van stress groter wordt, de soortendichtheid echter afnemen, omdat slechts een beperkt aantal soorten bestand is tegen een hoge mate van stress. (Freysen,1978) Dit betekent vaak een verlies van de hoge vegetatie. (Woodwell,1970)

Het proces kan leiden tot een omkering van de normale successie. (McLaughlin,1985)

4.5 Luchtverontreiniging

4.5.1 Directe invloed van luchtverontreiniging

1: De keuze van de variabele dagen.

Er is niet gekozen voor een relatie van concentraties van allerlei verschillende stoffen in de lucht en groeibeperking, omdat over deze relaties (de zogenaamde dosis-effect-relatie) en de eventueel synergistische of antagonistische werking van combinaties van stoffen weinig bekend is.

Een probleem, dat speelt bij experimenten om uit te zoeken welke stoffen schade toebrengen en welke niet, hangt samen met de volgorde van toediening van de stoffen. Als stoffen achter elkaar worden toegediend, dan kan de eerste stof de plant gevoeliger of minder gevoelig maken voor de volgende stof. De keuzes die bij dergelijke experimenten gemaakt worden uit: de combinaties van stoffen, concentraties, blootstellingsduur, volgorde, plantensoorten en typen respons die worden gemeten, leveren een onbegrensd aantal mogelijkheden op, zodat veralgemenisering van deze experimenten erg moeilijk zal zijn. (Runeckles in Treshow 1984)

Ik denk, dat in de werkelijke situatie het gemakkelijker is te meten of een plant schade ondervindt van een bepaalde luchtkwaliteit (b.v. door de metabolische activiteit te meten), dan te meten welke stoffen en in welke mate schade veroorzaken.
Het zal op deze manier niet zo'n probleem zijn, het aantal dagen waarop de plant schade ondervindt van de luchtverontreining. vast te stellen. Punt is dan echter dat je niet kunt aangeven van welke stoffen de concentratie verlaagd zou moeten worden om de schade te verminderen.

2: Schade per dag?

De respons van naalden en bladeren op luchtverontreiniging is afhankelijk van temporele en fysische karakteristieken van de gebeurtenis, zoals de duur van de blootstelling en de frequentie. (Jacobson in Bache,1978)

Deze factoren hangen echter nauw samen met het tijdsinterval dat gekozen is. Er zal nagegaan moeten worden of de duur van een dag niet te lang is. De concentratie-verschillen kunnen per etmaal behoorlijk varieren en bovendien is het metabolisme van een plant overdag anders dan 's nachts, waardoor reacties op luchtvervuiling kunnen verschillen. De relatie, duur van de blootstelling en mate van schade is hierbij dus erg belangrijk. Misschien moeten we het aantal uren per jaar, dat de concentratie boven het no-effect-level komt als variabele nemen.

3: Vegetatiedek als ionenbron.

Planten kunnen op allerlei manieren ionen verliezen. b.v.
-Het uitspoelen van ionen uit verkleurende bladeren (natrium, calcium, magnesium, chloor, sulfaat).
-Door kationenuitwisseling (calcium,magnesium).
-Uitspoelen tijdens het groeiseizoen als gevolg van metabolische processen(kalium, mangaan).
-Oplossen van onopgelost materiaal in afgezette deeltjes. (aluminium, zware metalen)

Ionen opname kan ook plaats vinden:
-Opname in het celmetabolisme (ammonium,sulfaat).
-Kationeninwisseling in bladweefsel (waterstofionen).
-Opslag van vaste deeltjes (aluminium, zware metalen).
-Neerslag van opgeloste stoffen (aluminium, zware metalen).
(Ulrich in Ver.Lucht,1983)

De elementen natrium, cloor, sulfaat, nitraat en ammonium nemen toe in concentratie in het regenwater indien het door de kroonlaag van een eiken-, beuken-, of fijnsparbos valt.
Dit wordt veroorzaakt door de interceptie-depositie. Voor sulfaat en ammonium vindt zelfs een sterke verrijking plaats. kalium en magnesium hebben duidelijk seizoensfluctuaties. (Verstraten in Ver.Lucht,1983)

Het is dus erg moeilijk de verliezen van ionen door beschadigingen te onderscheiden van de natuurlijke verliezen van ionen. Bovendien fluctueert de ionenflux in een jaar, zodat nagegaan moet worden of de keuze van een tijdsinterval van een jaar wel voldoet; of er met dit tijdsinterval geen belangrijke fluctuaties worden genegeerd.

4: Aantasting van bladeren en naalden.

De aantasting van de bladeren is afhankelijk van de dikte van de waslaag (cuticula), het aantal porien in de cuticula, en de oppervlakte-ruwheid. 95% Van alle bladlesies door gesimuleerde zure depositie vindt plaats bij de trichomen, bij "guardcellen", bij hulpcellen van stomata en langs de venen. (Evans,1984)

De penetratie van chemische stoffen tot in het blad. wordt beinvloed door metabolische en niet-metabolische processen.

Om beschadiging door zure stoffen tegen te gaan, kunnen de bladeren o.a. de zure stoffen neutraliseren. Dit vindt plaats door het uitscheiden uit van elementen als kalium, magnesium en calcium. Veranderingen in ionenconcentraties en accumulatie van zware metalen in het blad kunnen leiden tot veranderingen in bladwaterbalansen en stomatabewegingen. (McLaughlin,1985)

5: Verschillen in reactie van stomata.

In de literatuur zien we dat stomata verschillend reageren op luchtverontreiniging. De reacties verschillen per plantensoort, per soort stof, concentratie van de stof en de duur van de blootstelling. (Reinert,1984) Bij een hoge concentratie bijvoorbeeld gaan de stomata dicht, bij een lage concentratie daarentegen open. Luchtverontreiniging heeft dus gevolgen voor de waterhuishouding van de plant.

6: Andere (blad)beschadigende factoren.

Andere factoren die bladeren of naalden kunnen aantasten zijn verbonden aan neerslagfrequentie. Droge depositie in de vorm van aerosolen kan zich in een periode van droogte ophopen op het naald- of bladoppervlak. Valt er na enige tijd neerslag, dan worden de stoffen opgelost in het water, waarbij vaak zure stoffen ontstaan. Deze korte perioden van hoge zuurbelasting kunnen tot acute schade leiden. (van Aalst in Ver.Lucht,1983) Deze effecten zijn (nog) niet in het model opgenomen, terwijl de invloeden ervan op de bladeren van groot belang kunnen zijn.

Afvloei van het zure regenwater via de stam kan de bast beschadigen. Er ontstaan scheuren, waarlangs infecties en schimmels gemakkelijk kunnen binnendringen.

7: Klimaat en beschadigingen.

Onderzoek toont aan dat, na acute schade aan de naalden, veranderingen in osmotische waarde en suikergehalte plaatsvinden. Dit heeft tot gevolg dat de koudetolerantie van de naalden verandert. De winters worden kritiek voor de aangetaste naalden. (Huttunen,in Treshow,1984)

De invloed die gassen kunnen uitoefenen op de bladeren, hangt nauw samen met de windsnelheid. Om het blad zit een luchtlaag, die de uitwisselingssnelheid van gassen tussen blad en omgeving voor een groot deel bepaalt. Hoe hoger de windsnelheid, des te hoger de uitwisselingssnelheid kan zijn. Bij een lage windsnelheid wordt het schadelijke effect van vervuilende stoffen dus beperkt. Hiermee samen hangt het feit, dat bomen die aan de rand van een bos staan het meest zijn aangetast. Hoe dichter de bomen op elkaar staan des te groter is de afname van de windsnelheid. Dit betekent een vermindering van schadelijke effecten.

Bovendien kan dit verschijnsel ook betekenen, dat als gevolg van toenemende aantasting van de naalden in een bos, de windsnelheid binnen in het bos toeneemt, en dat hierdoor de effecten van vervuilende stoffen extra groot zijn.

8: Beschadigingen en ziekten

Door aantasting van bladeren, verandert de chemische compositie van het oppervlak. Deze veranderde samenstelling van het bladoppervlak kan penetratie en infectie door virussen en insekten vergroten, wat de kans op ziekte doet toenemen. (Huttunen in Treshow,1984)

9: Dosis-effect-relaties

Er is over het algemeen weinig bekend over de dosis-effect-relaties van luchtvervuiling op planten. In het model zijn de effecten op de groeisnelheden van de naalden lineair verondersteld met het aantal dagen dat de plant blootgesteld is aan een dosis die hoger ligt dan het no-effect-level. Er is geen verband gelegd tussen de mate van overschreiding van de no-effect-level en de mate van beschadiging die deze overschreiding veroorzaakt.

10: Herstel

Er is niet bekend hoe het fotosyntaat zal worden verdeeld na beschadiging van naalden. Het is mogelijk dat de plant tracht zo snel mogelijk de beschadigingen te herstellen, en dus extra fotosyntaat beschikbaar stelt voor dit herstel. Wel is bekend dat de plant regeneratie-loten gaat vormen ter compensatie van de beschadigde naalden. Dit is duidelijk te zien aan de veranderende structuur van de takken: de symmetrie verdwijnt.

11: Wortels

Er is in het model geen rekening gehouden met de effecten van gassen op het wortelstelsel. De in de bodem aanwezige lucht zou mogelijk verontreinigd kunnen zijn. Volgens D.Fowler (in 33. 1978) is het effect van gassen op de bodem, en dus ook op de wortels echter verwaarloosbaar.

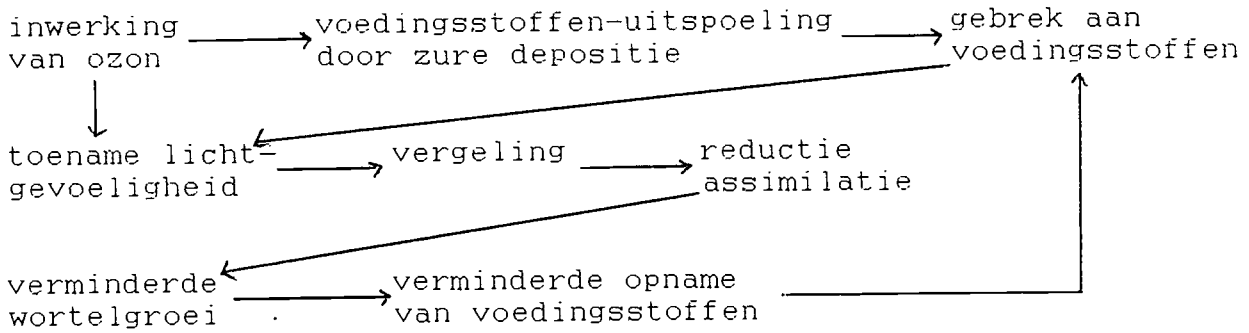


fig.5 Schema van de gecombineerde werking van ozon en zure depositie. (Krause in Ver.Lucht,1983)

4.5.2 Invloed van luchtverontreiniging via de bodem

1: De balans van protonen (v.Breemen,1984; Ulrich,1980)

Verhoging van de protonen-balans vindt plaats door:
-: Atmosferische input; o.a. de oplossing van carbonzuur in regenwater. (McFee,1983)
-: Assimilatie van cationen door de vegetatie.
-: Mineralisatie van anionen uit organische stof door middel van decompositie
-: Dissociatie van zuren. Deze factor is, tesamen met de assimilatie van cationen een van de belangrijkste protonenbronnen, met name in de zuurdere bodems.
-: Oxidatie van b.v. stikstofdioxide en zwaveldioxide
-: Reverse verwering van cationen
-: Verwering van anionische componenten
-: Nitrificatie van ammoniumionen (McFee,1983)

Verlaging vindt plaats door:
-: Drainage
-: Mineralisatie van organische cationen
-: Assimilatie van anionen door de vegetatie
-: Protonatie van anionen
-: Reducties
-: Verwering van metaaloxide componenten
-: Reverse verwering anionen

De invloed van planten op de zuurgraad van de bodem is zeer complex. Uit de suboppervlakte worden nutrienten gehaald. Overheerst de anion-opname dan wordt door de plant gelijktijdig zuur geneutraliseerd, bij overheersende kation-opname wordt zuur geproduceerd. (v.Aalst,1983 in Ver.Lucht) Na een al dan niet lange reeks chemische veranderingen komen de opgenomen nutrienten weer als strooisel terug op het oppervlak. (Barbour,1980)
De bodem bevat meer verweerbare mineralen naarmate de bodemlaag dikker is. Bodems met een grotere hoeveelheid mineralen zijn minder gevoelig voor verzuring. Omdat de mineralen in de dunne bodemlagen sneller uitspoelen zijn ze dus gevoeliger voor toevoeging van zuur.

Volgens Barbour(1980) kunnen we de decompositie van organisch materiaal onderscheiden in 3 stappen. De verschillende stappen bestaan uit: 1 Het fragmenteren van het strooisel. 2 de productie van immobiele humus door saprofyten en daarmee samengaand het vrijmaken van oplosbare immobiele organische delen (dit is een relatief kortdurend proces) en 3 de mineralisatie van humus (dit is een relatief langzaam proces)
Bij een lage pH zijn met name mijten en springstaarten erg belangrijk bij het decompositieproces. De springstaarten vervullen bovendien een functie als buffer tegen het verlies van kalium (Pegtel,1986)

De formatie van humus draagt er ook toe bij dat de bodem minder gevoelig is voor zuren. (Swedish ministry of agriculture, 1982) Een voorwaarde voor de formatie van humus is een voldoende hoeveelheid vocht in de bodem. Droogte doet de hoeveelheid zuur in de bodem ophopen. Dit heeft o.a. tot gevolg dat er in het voorjaar sprake is van een zuuroverschot in de bodem, omdat dan de groei op gang komt en er dus veel voedingsstoffen nodig zijn. De omzetting van het strooisel komt pas later op gang vanwege de relatieve droogte die zich in de winter en het voorjaar voordoet. In het geval van een droge zomer wordt de ophoping van zuur in de bodem nog eens versterkt. (Bruinsma,1985)

Als de biomassa van een systeem toeneemt, is er een netto productie van protonen. (v.Breemen,1983 in Ver.Lucht) Wordt deze biomassa dan ook nog op geregelde tijden van de bodem verwijderd (zoals in de bosbouw), voordat de voedingsstoffen in de vorm van dood materiaal weer op de bodem zijn teruggekeerd, dan vindt er geen neutralisatie van de gevormde protonen plaats.

2: De gevoeligheid van de bodems

Het ouderlijk materiaal, de vegetatie en het klimaat bepalen wat voor bodem gevormd wordt. De bodemtextuur wordt bepaald door zand-, slib- en kleigehalte, de hoeveelheid organisch materiaal, water en lucht in de bodem. (Barbour,1980)

Bij de bepaling van de gevoeligheid van een bodem voor verzuring is het belangrijk rekening te houden met enkele factoren: (McLaughlin,1985)
-: De beschikbare hoeveelheid voedingsstoffen die aanwezig is in de bodem.
-: Het natuurlijke verlies van voedingsstoffen.
-: Snelheid waarmee een tekort aan voedingstoffen aangevuld wordt door mineralisatie van organische stof en verwering van mineralen.
-: De opnamesnelheid en incorporatie van voedingsstoffen in de biomassa.

Een grootheid, die als wezenlijke parameter voor de verzuring kan worden beschouwd, is de zuur-neutraliserende-capaciteit van het anorganische deel van de grond. Deze grootheid wordt direct beinvloed door toevoeging of onttrekking van protonen aan de bodem.

Naar aanleiding van deze grootheid kan een indeling gemaakt worden in de snelheid waarmee bodems verzuren: langzaam, matig snel en snel. Ten eerste de bodems met een langzame verzuringssnelheid: Hieronder vallen de podzolgronden, die afkomstig zijn van basenarm-moedermateriaal. Ten tweede de bodems met een matig snelle bodemverzuring: Dit zijn meestal relatief zure bodems met hoge gehaltes aan verweerbare silicaten; b.v. bodems die ontwikkeld zijn in vrij jong vulkanisch materiaal, ontkalkte rivierafzettingen of loss. Als derde de bodems met een hoge verzuringssnelheid: Deze bodems zijn meestal kalkrijk en hebben dus een hoge pH. (v.Breemen,1983 in Ver.Lucht)

3: De rol van de ammonium-input

De netto-ammoniuminput speelt een sterk overheersende rol in het protonenbudget van de bodem en kan verzuring van het bovenste deel van de bodem veroorzaken. In de neerslag heeft het ammoniumion nog een neutraliserende werking, maar door omzetting in de bodem kan het een verzurend karakter krijgen.

Als stikstof in de vorm van ammonium door de planten wordt opgenomen komt 1 proton (hydronium-ion) vrij.

$$NH_4^+ + R\text{-}OH \rightarrow R\text{-}NH_2 + H_2O + H^+ \quad (1)$$

Echter, als ammonium in de bodem genitrificeerd wordt, zal dit, indien het aldus ontstane nitraat uit het bodemsysteem afgevoerd wordt, een 2 maal zo grote protonenflux geven; er vindt vorming van salpeterzuur plaats.

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2H_2O \quad (2)$$

Vindt echter opname van het ontstane nitraat plaats door plantenwortels, dan zal er een 1 proton geconsumeerd worden

$$NO_3^- + R\text{-}OH + H^+ \rightarrow R\text{-}NH_2 + 2O_2 \quad (3)$$

De netto productie van protonen is in dat geval dezelfde als in reactie (1). Bij een overschot aan ammonium in de bodem vindt dus door nitrificatie, verzuring plaats. (Verstraten, v.Aalst,1983 in Ver.Lucht)

Nitrificatie is optimaal voor bodems met een neutraal zuur gehalte. De nitrificatie bij een pH kleiner dan 5 verloopt heel langzaam (Evans,1984); bij deze pH-waarden gedijen de nitrificerende bacterien slecht. Verzuring door nitrificatie heeft daarom alleen een groot aandeel in de verzuring van bodems met een neutraal tot basisch karakter.

Maar, er kunnen op langere termijn resistente populaties micro-organismen ontstaan, die de nitrificatie wel bij een lagere pH kunnen uitvoeren. Nu echter spelen schimmels nog de belangrijkste rol in de nutrientencycli in zure bodems (v.Loon,1984)

3: De gevolgen van verzuring (McFee,1983)

Enkele effecten van zure neerslag op de bodem zijn samengevat als volgt:

-: Natuurlijke bodemformatieprocessen in vochtige regionen leiden tot verzuring, en zure neerslag kan dit bevorderen.
-: De gevoeligheid van bodems voor verzuring door zure neersslag is afhankelijk van de bodembuffercapaciteit en de pH. Niet-kalkrijke bodems met een lage cation-uitwisselings-capaciteit en bodems met een pH boven de 5 zijn het meest gevoelig.
-: Erg zure bodems zijn relatief ongevoelig voor verzuring.
-: Verzuring vertraagt de microbiologische processen als stikstof-fixatie, afbraak van plantresiduen en nitrificatie.
-: Zure input laat uitloging van uitwisselbare nutrienten toenemen.
-: Zure neerslag laat uitloging van aluminium toenemen, dit kan schadelijk zijn voor de aquatische omgeving.
-: Bodemverbeteraars die in de landbouw gebruikt worden, hebben sterke effecten op bodemverzuring en overschaduwen de meeste zure neerslag-invloeden op gecultiveerde bodems.

De beschikbaarheid van nutrienten voor planten wordt o.a. beinvloed door de verzuring van de bodem. De nutrienten die direct opneembaar zijn voor de planten zitten opgelost in het bodemwater, en handhaven daar een evenwicht met de geadsorbeerde ionen. Deze houden op hun beurt weer een evenwicht met de mineraal-ionen. De planten verwijderen ionen uit de rhizosfeer; ionen bewegen naar de rhizosfeer langs een chemische gradient. Deze beweging, te danken aan oplossingsconstanten van de betrokken ionen, bewerkstelligen de vrijlating van geadsorbeerde ionen. Dit proces is afhankelijk van biotische en abiotische factoren waaronder waterhoeveelheid en temperatuur van de bodem. (Barbour,1980)

In de normale situatie is er evenwicht tussen de aan de oppervlakte van de bodemdeeltjes gebonden calcium- en magnesium-ionen en die, welke in oplossing zijn. Als wortels calcium en magnesium opnemen komt daarbij een waterstofion vrij. De concentratie water-stofionen neemt echter snel weer af tot het normale niveau, omdat de waterstofionen vervangen worden door nieuwe calcium- en magne-siumionen. In zure bodems komen echter teveel calcium en magnesium-ionen in oplossing, met als gevolg dat deze ionen uitspoelen naar het grondwater. Gaat de verzuring verder, dan worden ook teveel aluminiumionen losgemaakt van de bodem en kan ook deze stof uit-spoelen, wat vanwege de toxische effecten op wortels, maar ook in aquatische systemen erg schadelijk kan zijn. (Bruinsma,1985)

De inwerking van het aluminium kan echter ook indirect plaats-vinden; aluminium kan b.v. de beschikbaarheid van calcium en fosfor beperken. Is aluminium opgenomen in de plant, dan kan het calcium en magnesium verdringen uit de celwand omdat het een grotere affiniteit heeft met pectine. (McLaughlin,1983)

4: Herstel

Wat zal het effect van een beschadiging van de wortels zijn voor de groeisnelheid van de plant? Het is mogelijk dat de plant de beschadigingen tracht te herstellen door extra fotosyntaat naar de wortels te sturen. Dit levert een totaal andere verdeling van de beschikbare hoeveelheid voedsel op.

Is er sprake van een stress die ook de capaciteit van de bovengrondse delen van de plant om fotosyntaat te produceren reduceert, dan heeft dit een gereduceerde allocatie naar het wortelsysteem tot gevolg, en daardoor een verminderde vitaliteit van dit wortelsysteem. (McLaughlin,1983)

5: Effecten voor de gehele plant.

De effecten van een lage pH voor de gehele plant zijn afhankelijk van de mate en precieze plaats van de beschadigingen. Een beschadiging van de oude wortels zal resulteren in een grotere windgevoeligheid; beschadiging van de jongere wortels kan een verminderde wateropname tot gevolg hebben. Waterstress heeft weer tot gevolg dat de stomata sluiten, waardoor de gasuitwisseling vermindert en dus ook de fotosynthese. (Barbour,1980)

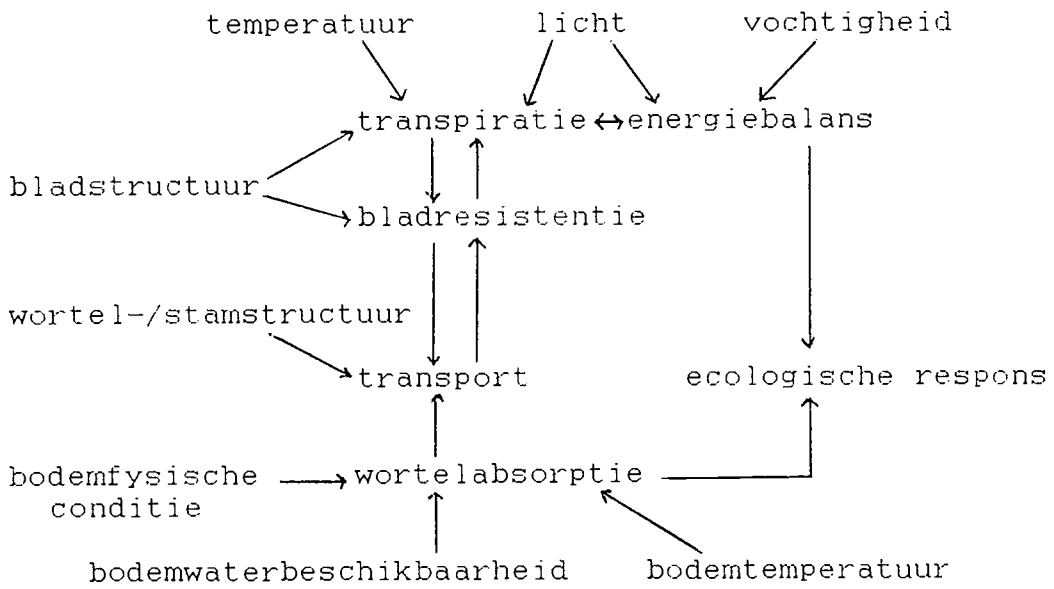


fig.6 Overzicht van de waterhuishouding van een plant. (Barbour,1980)

Beschadiging van de wortels kan resulteren in een grotere gevoeligheid voor allerlei ziekten. Vaak vindt aantasting door schimmels via de wortels plaats. De schimmels dringen de plant binnen en tasten het hout dan van binnen uit aan.

6: Fertiliserend effect van luchtverontreiniging

Naast het feit dat verzuring van de bodem de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen vermindert, kan een toename van stikstof- en zwaveldepositie ook een fertiliserend effect hebben. De sulfaat-adsorptie-capaciteit(s.a.c.) is gerelateerd aan de hoeveelheid ijzer- en aluminiumoxide in de bodem.
In gebieden met een hoge s.a.c. is het effect van zure neerslag positief, indien stikstof en/of zwavel groeibeperkende stoffen zijn. In gebieden met een lage s.a.c. is het effect van zure neerslag positief, als stikstof de beperkende factor is. (Abrahamsen,1980)
Op den duur zullen echter andere stoffen een beperkende invloed op de groei gaan uitoefenen. Er vindt dus eerst een toename in groei plaats, totdat er tekorten ontstaan aan elementen die niet in de depositie aanwezig zijn.

4 discussie

In hoofdstuk 4 heb ik geprobeerd de complexiteit van een plantengemeenschap aan te geven. Het was niet mogelijk volledig te zijn bij de opsomming; de relaties waarbij dieren betrokken zijn en de processen die in de atmosfeer plaats vinden zijn buiten beschouwing gelaten.

Het doel van dit onderzoek was: Het verkrijgen van inzicht in de luchtverontreinigingsproblematiek, met als middel een te ontwikkelen simulatiemodel. Dit inzicht moet uiteindelijk leiden tot het ontwikkelen van een kader voor onderzoek om te komen tot ecologische normstelling.

Tijdens de ontwikkeling van een simulatiemodel moet de reeds beschikbare informatie geordend en aan elkaar gekoppeld worden. Dit zal zeker tot een beter over- en inzicht leiden in de te modelleren problematiek.
Om een juist beeld van de werkelijkheid te kunnen laten zien, zullen allerlei relaties heel nauwkeurig moeten worden vastgesteld, zodat veel kennis en inzicht bij de ontwikkeling van het model vereist zijn.
Omdat veel gegevens (nodig bij de opbouw van het luchtverontreinigingsmodel en nodig bij de toetsing op juistheid) nog niet beschikbaar zijn en veel relaties nog ontrafeld moeten worden, kan tijdens de ontwikkeling van het model aangegeven worden welk onderzoek daartoe noodzakelijk is.

Tijdens de gevoeligheidsanalyses (waarbij steeds een onderdeel veranderd) die op een model moeten worden toegepast, blijkt welke onderdelen van het model de grootste variaties in de uitkomsten geven.
Deze onderdelen moeten ten eerste zeer nauwkeurig worden beschreven. Ten tweede kunnen ze worden beschouwd als de sleutelfactoren van het gemodelleerde systeem. Worden deze factoren in meer of mindere mate beinvloed, dan kan dit een grote verschuiving in het hele systeem teweeg brengen.

De sleutelfactoren kunnen binnen een ecosysteem zulke grote verschuivingen veroorzaken dat herstel tot het oorspronkelijke evenwicht niet meer mogelijk is.
Door via gevoeligheidsanalyses, reëel gemodelleerde ecosystemen te onderzoeken kun je dus achterhalen welke delen van dit systeem sleutelfactoren zijn. Het is duidelijk dat de sleutelfactoren niet perse planten- of diersoorten hoeven te zijn: de omzettingssnelheid van dood materiaal kan b.v. deze positie innemen.

Als sleutelfactoren van een ecosysteem bekend zijn, kunnen er eventueel beschermende maatregelen genomen worden, zodat deze factoren binnen bepaalde grenswaarden blijven waardoor het totale ecosysteem in evenwicht blijft en dus beschermd wordt.
De grenzen waarbinnen de sleutelfactoren beinvloed kunnen worden zonder dat onherstelbare verschuivingen binnen het ecosysteem optreden worden dan ecologische normen genoemd.

Wil men een simulatiemodel ontwikkelen, dan is een gedetailleerd invullen waarschijnlijk alleen mogelijk indien specialisten op elk deelgebied zich daarmee bezig houden.

Het is dan mogelijk een nieuw model te maken, maar men kan ook kiezen voor het aanpassen van een bestaand model van een ecosysteem aan de effecten van luchtverontreiniging, zoals b.v. West e.a.(1980) hebben gedaan.
Er moet dan wel worden nagegaan hoe gedetailleerd dit model is, en in hoeverre men aannames gemaakt heeft ten aanzien van allerlei ecologische factoren en de effecten van luchtverontreiniging.

In het model van West e.a. is b.v. niet de jaarlijkse neerslag opgenomen. Deze factor is toch erg belangrijk voor allerlei processen in een plantengemeenschap. Het klimaat is in het model samengebracht onder de noemer "lengte van het groeiseizoen", deze factor varieert stochastisch. De kans op sterfte wordt ook stochastisch bepaald en is afhankelijk van de groei en de levensduur. De soorten zijn in 3 klassen van gevoeligheid ingedeeld op basis van proeven waarbij alleen de zichtbare schade werd gemeten. Bovendien is het indirecte effect van luchtverontreiniging via de bodem buiten beschouwing gelaten.

conclusie

De ontwikkeling van een simulatiemodel is een goede methode om een kader te ontwikkelen voor onderzoek, dat betrekking heeft op het ontrafelen van de structuren en relaties die aanwezig zijn in een plantengemeenschap of een ecosysteem, met als uiteindelijk doel: Het stellen van ecologische normen.

literatuur

Abrahamsen,G.(1980): Acid precipitation, plant nutrients and forest growth. In: Drablos,D. Tollan,A.(1980): Ecological impact of acid precipitation. ?????

Anderson,F.(1986): Acidic deposition and is effects on the forests of Nordic Europe. In: Water, air and soil pollution 30:17-29

Bruinsma,P.(1985): Zure regen. Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen.

Burg,J.v.d.(1983): De pH van de bodem en de boomgroei. In: Zure regen, oorzaken, effecten en beleid. Proceedings van het symposium te Den Bosch 1983. Vereniging Lucht. Pudoc, Wageningen, 1984.

Bache,B.W.(1980): The acidification of soils. In: Hutchinson, T.C. and Havas,M.: Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press, New York/Londen.

Barbour,M.G. Burk,J.H. Pitts,W.D.(1980): Terrestrial plant ecology. Benjamin/Cummings Publ.Co., Menlo Park.

Bossel,H.(1986):Dynamics of forest Dieback: Systems, analysis and simulation. In: Ecological modelling. 34(3-4) 259-288

Breemen,N.v. e.a.(1984): Acidic deposition and internal proton-sources in acidification of soils and waters. In: Nature. vol 307.

C.B.S. afd. milieuhygiene(1986): Luchtverontreiniging, metingen buitenlu april 1985- maart 1986. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.

Evans,L.S.(1984): Acidic precipitation: effects on terrestrial vegetation. In: Ann.Rev.Phytopathol. 22:397-420

Evans,L.S.(1984): Botanical aspects of acidic precipitation. In: The botanical revieuw. vol 50

Fee,W.W.(1983): Sensitivity ratings of soils to acid deposition a revieuw. In: Environmental and experimental botany vol: 23 no 3.

Fresco,L.F.M.(1973): A model for plant growth. Estimation of the parameters of the logistic function. In: Acta Bot.Neerl. 22:486-489.

Fresco,L.F.M.(1982): An analysis of species response curves and of competition from field data: Some results from heath vegetation. In: Vegetatio 48:175-185.

Freysen,A.H.J. and Woldendorp,J.W.(1978): Structure and functioning of plantpopulations. ????,Amsterdam.

Goor.v.(1967):???? In het Nederlands Bosbouwtijdschrift.

Hager,H. and Kazda,M.(1985): The influence of stand density and canopy position on sulfur content in needles of Norway Spruce. (Picea abies L.Karst) In: Water, air and soil pollution. 25

Heukels,H en R.v.d.Meijden(1983): Flora van Nederland. Wolters/ Noordhoff, Groningen.

Hutchinson,T.C. and M.Havas(1980): Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press. New York/Londen.

Larcher,W.(1973): Okologie der Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Loon,G.W.(1984): Acid rain and soil. In: Can.J. of Physiol. Pharmacol. vol 62.

Manion,P.D.(1981): Tree disease concepts. In: S.B.McLaughlin(1985) Effects of air pollution on forests, a critical revieuw.

Mansfield,T.A. and Freer-Smith,P.H.(1981): ?????? In: The botanical revieuw. vol 56.

Materna,J.(1984): Impact of atmosferic pollution on natural ecosystems. In: M.Treshow: Air pollution and plant life. Wiley Cop., Chichester

McFee,W.W.(1983): Sensitivity ratings of soils to acid deposition, a revieuw. In: Environmental and experimental botany. vol 23, no 3

McLaughlin,S.B.(1985): Effects of air pollution on forests. a critical revieuw. In: Journal of the Air Pollution Control Association. vol 35(5).

Mead,M. and W.W.Kellog(1980): The atmosphere endangered and endangering. In: Castle House Publ.Ltd, Londen.

Miegroet,M.v.(1976): Van bomen en bossen. Story-Scientia, Antwerpen.

Mudd,J.B. and T.T.Kozlowski.(1975): Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York.

Nihlgard,B.(1969): The microclimate in a beech and a spruce forest -a comparative study from Kongalund, Scania, Sweden- In: Bot.Notiser 122:333-352

Nihlgard.B.(1970): Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in beech and spruce forest in South Sweden. In: Oikos 21:208-217

Nihlgard,B.(1972): Plantbiomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in South Sweden. In: Oikos 23:69-81

Nys,R.J.V.(1984): Ecologie, theorie en praktijk. De Nederlandse boekhandel, Antwerpen/Amsterdam.

Packham,J.R. and A.J.Willis(1976): Aspects of the ecololcal amplitude of two woodland herbs, Oxalis acetosella (L.) and Galeobdolon luteum (Huds.) In: J. of ecology 64:485-510

Packham,J.R. and A.J.Willis(1977): The effects of shading on Oxalis acetosella. In: J. of Ecology 65:619-642

Packham,J.R.(1978): Biological flora of British Isles. In: J.of Ecology 66:669-693.

Pegtel,D.M.(1986): Decompositie in terrestrische ecosystemen. In: Vakblad voor biologen. 66(20).

Ploeg,S.W.F.v.d. e.a.(1985): RINAL, reken en informatiesysteem voor natuur en landschap -bruikbaarheid en perspectieven- . IVM-publicatie R-85/8. V.U. uitgeverij Amsterdam.

Reinert,R.A.(1984): Plant response to air pollutant mixtures. In: Ann.Rev.Phytopathol. 22:421-442

Roestel,J.v.(1984): Transpiratie en interceptie van een bos: een literatuurstudie. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Utrecht.

Schildermans,J. en P.Vanhoutte(1986): Zure regen, de gorganiseerde vernietiging. Antwerpen.

Schoenfeld,P.H. en A.W.Waenink(1974): Een onderzoek naar de groeiplaatsen van de fijnspar in Nederland. "De dorschkamp", Wageningen.

Silvertown,J.W.(????): Introduction to plantpopulation ecology.

Swedish ministry of agriculture (1982):Acidification, today and tomorrow. Stockholm.

T.N.O.(1981): Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties. Een aanbeveling voor een rekenmethode. Subcommissie voor luchtverontreiniging. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.

Treshow,M(1984): Air pollution and plant life.?????

Ulrich,B(1980): Production and consumption of hydrogen ions in the ecospere. In T.C.Hutchinson and M.Havas, Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems.

Vereniging Lucht(1984): Zure regen, oorzaken, effecten en beleid. Proceedings van het symposium te Den Bosch 1983. Pudoc, Wageningen.

Walter,H.(1968): Die Vegetation der Erde in oko-physiologischer Betrachtung.(dl.2) G.Fischer, Stuttgart.

West,D.C., S.B.McLaughlin and H.H.Shugart(1980): Simulated forest respons to chronic air pollution stress. In: J.of Environmental Quality. vol 9.

Wit,C.T. and J.Goudriaan(1974): Simulation of ecological processes. Centre for Agriculture Publishing and documentation, Wageningen.

Woodwell,G.M.(1970): Effects of pollution on the structure and function of ecosystems. In: Science 168:429-433.

werking van het computermodel

Het programma is geschreven in turbo-pascal.

Het programma berekent voor t=1 tot en met t=150 de naald-wortel-, hout-, en biomassa van een boom.

Bij deze berekening maakt het programma gebruik van verschi lende factoren, die de groei kunnen beinvloeden.
Deze factoren worden elders in het programma berekend.

Bij de berekening van de verschillende factoren heeft het programma gegevens nodig, die variabel kunnen zijn en daarom door de gebruiker worden ingevoerd bij elke cyclus.
Zoals:
- Is de invloed van klimaat gewenst?
- Is de invloed van luchtverontreiniging gewenst? Zo ja:
  - *Welk jaar moet deze invloed beginnen?
  - *Moet het zuurgehalte van de bodem constant blijven? Indien nee:
    - :Met hoeveel zuurequivalenten moet het zuurgehalte ieder jaar veranderd worden?
  - *Met welke pH beginnen?
  - *Hoeveel dagen in een jaar moet de luchtverontreiniging boven het no-effect-level komen?
  - *Moet dit aantal dagen constant blijven?

Tijdens de cyclus van 1 tot en met 150 kan een boom dood gaan; de leeftijd wordt dan 0 en er begint een niewe boom te groeien.

Afhankelijk van wat de gebruiker wil, worden de procedures klimaat en/of verzuring aangeroepen. De andere procedures worden altijd aangeroepen.

De resultaten worden op scherm weergegeven in de vorm van grafieken, en voor t mod 10 in een file.
Er kunnen 3 grafieken aangeroepen worden:
1: groei van de boom t.o.v. de standaardgroei
2: verdeling van de naald-, hout-, en wortelmassa
3: veranderingen in de bedekkingspercentages van de kruidlaag

variabelen verklaring

KL	--------	klimaatfactor		
ND	--------	naalddeficientie		
WD	--------	worteldeficientie		
LZ	--------	factor m.b.t. verontreiniging in de lucht		
BZ	--------	factor m.b.t. pH van de bodem		
NM	--------	netto-naaldmassa	---------	kg drooggewicht
HM	--------	netto-houtmassa	---------	kg drooggewicht
WM	--------	netto-wortelmassa	---------	kg drooggewicht
BM	--------	netto-biomassa	---------	kg drooggewicht
PHS	--------	pH na simulatie		
DAGEN	--------	aantal dagen per jaar, dat lu.v.o. boven no-effect-level komt		dagen
NMG	--------	netto-naaldmassa groei	---	kg drooggewicht
HMG	--------	netto-houtmassa groei	---	kg drooggewicht
WMG	--------	netto-wortelmassa groei	---	kg drooggewicht
BMG	--------	netto-biomassa groei	---	kg drooggewicht
OXALISBEDEKKING		bedekkingsperc. Oxalis		
BEDEKKINGCONCURRENT		bedekkingsperc. Deschampsia		

```
001
002  PROGRAM LUCHTVERONTREINIGING;
003  {$I C:\KARIN\HR400.INC}
004  {$U+}
005
006  LABEL 1,2;
007
008  CONST TMAX=150;BMC=1.0;NMC=0.062;HMC=0.784;WMC=0.154;
009
010  VAR FU,BIOM,VERDBIOM,OXACETO,OORS : TEXT;
011      DAG,GRAF1,GRAF2,GRAF3,CH,LU,KLIM,ZEQ,PRINT : CHAR;
012      NAALDMASSA:ARRAY[1..TMAX] OF REAL;
013      HOUTMASSA:ARRAY[1..TMAX] OF REAL;
014      WORTELMASSA:ARRAY[1..TMAX] OF REAL;
015      BIOMASSA:ARRAY[1..TMAX] OF REAL;
016      BIOO:ARRAY[1..TMAX] OF REAL;
017      OXALIS:ARRAY[1..TMAX] OF INTEGER;
018      CONC:ARRAY[1..TMAX] OF INTEGER;
019      KL,WD,ND,BZ,LZ,BODEMZUUR,EQ,PH,PHS : REAL;
020      BMG,BM,NM,HM,WM,BMOUD,NMOUD,WMOUD,BMSTAND  : REAL;
021      BMMAX,NMMAX,HMMAX,WMMAX :REAL;
022      GROEISNELHEID,STERFTEKANS : REAL;
023      VERDAG,DAGENBOV,DAGENOND,DAGEN,JR,LT,D,DD : INTEGER;
024      G,T,GENERATIE,OXALISBEDEKKING,BEDEKKINGCONCURRENT : INTEGER;
025      SCHADUWHOEVEELHEID : INTEGER;
026
027
028  {Procedure klimaat berekent de klimaatfaktor KL}
029  {De KL is ontstaan uit een normale verdeling.}
030
031  PROCEDURE KLIMAAT;
032
033  VAR  K : INTEGER;
034
035  BEGIN
036    K:=RANDOM(101);
037    IF K<=9 THEN
038      KL:=-0.5;
039    IF (K>9) AND (K<=24) THEN
040      KL:=0;
041    IF (K>24) AND (K<=44) THEN
042      KL:=0.5;
043    IF (K>44) AND (K<=100) THEN
044      KL:=1.0;
045  END;
046
047  PROCEDURE METABOLISME;
048  {Als de verhouding wortelmassa/biomassa tussen 0.077 en 0.154 en }
049  {de verhouding naaldmassa/biomassa tussen 0.031 en 0.062 ligt heeft dit
050  {een negatief effekt op de nettobiomassagroei.}
051
052  BEGIN
053    IF (WM/BM>=0.077) AND (WM/BM<0.154) THEN        {tekort aan wortelmass
054      WD := (25.97*WM/BM-2.99)                      {faktor tussen -1 en 1
055    ELSE WD:= 1;
056    IF (NM/BM>=0.031) AND (NM/BM<=0.062) THEN       {tekort aan naalden}
057      ND := (64.52*NM/BM-3)                         {faktor tussen -1 en 1
058    ELSE ND := 1;
059  END;
```

```
060
061  PROCEDURE VERZURING;
062  {Procedure verzuring berekent o.a. de faktor BZ.}
063  {De procedure kan cumulatief werken,dan verandert de pH}
064  {van de bodem elk jaar met dezelfde hoeveelheid}
065  {De negatieve werking treedt op tussen de pH 2.5 en de pH 4.0}
066
067  VAR DAGENVERS : INTEGER;
068
069  BEGIN
070    IF JR<=T THEN
071      BEGIN
072        IF BODEMZUUR>0.0003 THEN              {pH 4}
073          BEGIN
074            BZ := (-741*BODEMZUUR)+1.2;      {faktor tussen -1 en 1}
075            IF BZ>0 THEN
076              BZ:=BZ/2                     {verzwaring vanwege groter }
077            ELSE BZ:=BZ*2;                 {effect op de groeisnelheid }
078          END                              {dan beschadiging van de naalden}
079        ELSE  BZ := 1;
080        PHS:=LN(1/BODEMZUUR)/LN(10);
081        IF (ZEQ='N') OR (ZEQ='n') THEN
082          BODEMZUUR := BODEMZUUR+(EQ*10E-6);
083
084  {De verontreiniging in de lucht levert direkte schade aan de naalden.}
085  {Het aantal dagen,waarop de luvo boven de drempelwaarde uitkomt kan}
086  {elk jaar met dezelfde hoeveelheid veranderen}
087
088        DAGENVERS:=DAGENBOV-DAGENOND;
089        IF DAGENVERS=0 THEN DAGEN:=DAGENOND
090        ELSE DAGEN:=RANDOM(DAGENVERS)+DAGENOND;
091        IF DAGEN>365 THEN LZ:=-1;
092        IF DAGEN<1 THEN LZ:=1;
093        IF (DAGEN<=365) AND (DAGEN>=1) THEN
094            LZ := -0.0055*DAGEN+1.0055;                {faktor tussen -1 en 1}
095        IF (DAG='N') OR (DAG='n') THEN
096          BEGIN
097            DAGENBOV := DAGENBOV+VERDAG;
098            DAGENOND:=DAGENOND+VERDAG;
099          END;
100      END
101    ELSE
102      BEGIN
103        LZ:=1; BZ:=1;
104      END
105  END;
```

```
106
107  PROCEDURE GROEI;
108  {berekent de biomassa van Picea voor elk jaar, }
109  {met behulp van de verschillende faktoren.}
110
111  VAR BMGOUD,NMG,HMG,WMG,FAKTOR : REAL;
112       HMOUD,WMOUD : REAL;
113
114  BEGIN
115     BMOUD := BM;  NMOUD:=NM;  HMOUD:=HM; WMOUD:=WM;
116     BMG:=0.13*BM*(1-BM/BMMAX);
117     IF ND>=0 THEN BMG:=BMG*ND;
118     IF WD>=0 THEN BMG:=BMG*WD;
119     IF (KLIM='J') OR (KLIM='j') THEN KLIMAAT ELSE KL:=1;
120     IF KL>=0 THEN BMG:=BMG*KL;
121     BM:=BMG+BMOUD;
122     IF (ND<0) AND (WD<0) AND (KL<0) THEN BM:=BM+((ND+WD+KL)*BM*0.01 );
123     IF (ND<0) AND (WD<0) THEN BM:=BM+((ND+WD)*0.01 *BM);
124     IF (ND<0) AND (KL<0) THEN BM:=BM+((ND+KL)*0.01 *BM);
125     IF (WD<0) AND (KL<0) THEN BM:=BM+((WD+KL)*0.01 *BM);
126     IF ND<0 THEN BM:=BM+(ND*0.01 *BM);
127     IF WD<0 THEN BM:=BM+(WD*0.01 *BM);
128     IF KL<0 THEN BM:=BM+(KL*0.01 *BM);
129     BMGOUD:=BM-BMOUD;
130     IF LZ>=0 THEN
131       NMG:=NMOUD*BMGOUD/BMOUD*LZ;
132     NM:=NM+NMG;
133     IF LZ<0 THEN NM:=NM+(LZ*0.01 *NM);
134     HMG:=HMOUD/BMOUD*BMGOUD; HM:=HM+HMG;
135     IF BZ>=0 THEN
136       WMG:=WMOUD*BMGOUD/BMOUD*BZ;
137     WM:=WM+WMG;
138     IF BZ<0 THEN  WM:=WM+(BZ*0.01 *WM);
139     BM:=NM+HM+WM;  BMG:=BM-BMOUD;
140  END;
141
142  PROCEDURE CONCURRENTIE;
143  {Berekent het percentage bedekking door Oxalis en z'n concurrent.}
144  {Het bedekkingsperc.van Oxalis en z'n concurrent zijn afhankelijk}
145  {van de hoeveelheid licht,die doorgelaten wordt door de naalden.}
146  {De hoeveelheid licht die doorgelaten wordt neemt evenredig af met}
147  {de groeisnelheid van de naalden.}
148
149
150  BEGIN
151     SCHADUWHOEVEELHEID:=ROUND(NM/NMMAX*100);
152     OXALISBEDEKKING:=SCHADUWHOEVEELHEID;
153     BEDEKKINGCONCURRENT:=(100-OXALISBEDEKKING);
154  END;
155
```

```
156  FUNCTION DOOD : BOOLEAN;
157
158  VAR N,L : INTEGER;
159      U,V,W,I,X,Y,Z,K : REAL;
160
161  BEGIN
162    IF KL=-0.5 THEN U:=0.9; IF KL=0 THEN U:=0.6; IF KL=0.5 THEN U:=0.3;
163    IF KL=1 THEN U:=0.01;                                  {klimaat}
164    IF (BM/BMMAX<=0.5) THEN
165      Y:=(BM*-1.78)/BMMAX+0.9              {lichaamsgewicht in verhouding tot
166    ELSE Y:=(BM*1.78)/BMMAX-0.8;           {het maximale gewicht}
167    Z:=NM*-28.7/BM+1.79;
168    IF Z<0.01 THEN Z:=0.01;                {naaldeficientie}
169    X:=WM*-11.56/BM+1.79;                  {worteldeficientie}
170    IF X<0.01 THEN X:=0.01;
171    IF (DAGEN>=1) AND (DAGEN<=365) THEN        {verontreiniging in de lucht
172      V:=0.0024*DAGEN+0.01  ELSE V:=0.01;
173    IF (BODEMZUUR>=0.0003) AND (BODEMZUUR<=0.001) THEN
174      W:=700*BODEMZUUR-0.2;                    {veontreiniging in de bodem}
175    IF (BODEMZUUR>=0.001) AND (BODEMZUUR<=0.003) THEN
176      W:=200*BODEMZUUR+0.3;
177    IF BODEMZUUR>=0.003 THEN W:=0.9; IF BODEMZUUR<=0.0003 THEN W:=0.01;
178    STERFTEKANS:=2*(SQR((U+V+W+X+Y+Z)/6));
179    L:=0;
180    FOR N:=1 TO 10 DO                       {beinvloeding van de sterftekans}
181      BEGIN
182        I := RANDOM(101)/100;
183        IF I<=STERFTEKANS THEN
184        L:=L+1;
185      END;
186    IF L>=5 THEN  D:=0 ELSE D:=1;
187    IF D=0  THEN
188      BEGIN
189      DOOD:=TRUE;
190      WRITELN;
191      WRITE('LEEFTIJD: ',LT,' ','PH',PHS:4:2,' ');
192      WRITELN('DE BOOM IS DOOD');
193      WRITELN(FU,'EINDBM: ',BM:6:2,' ','DE BOOM IS DOOD');
194      BIOMASSA[T]:=0.00;
195      WRITE(BIOM,T,' ',BIOMASSA[T]:5:2,' ');
196      NAALDMASSA[T]:=0.00;
197      HOUTMASSA[T]:=0.00;
198      WORTELMASSA[T]:=0.00;
199      WRITE(VERDBIOM,NAALDMASSA[T]:5:2);
200      WRITE(VERDBIOM,HOUTMASSA[T]:5:2);
201      WRITE(VERDBIOM,WORTELMASSA[T]:5:2);
202      WRITELN(FU);
203      GENERATIE := GENERATIE+1;
204      LT:=0;
205    END
206    ELSE DOOD:=FALSE;
207  END;
208
```

```
209  PROCEDURE SCHRIJF_GROEI;
210  {schrijft de resultaten in arrays om later de grafieken}
211  {te kunnen tekenen}
212
213  BEGIN
214    BIOMASSA[T]:=BM;
215    WRITE(BIOM,BIOMASSA[T]:5:2,' ');
216    NAALDMASSA[T]:=NM;
217    HOUTMASSA[T] := HM;
218    WORTELMASSA[T] := WM;
219    OXALIS[T]:=OXALISBEDEKKING;
220    CONC[T]:=BEDEKKINGCONCURRENT;
221    WRITE(VERDBIOM,GENERATIE,T,' ',NAALDMASSA[T]:5:2);
222    WRITE(VERDBIOM,HOUTMASSA[T]:5:2,WORTELMASSA[T]:5:2);
223    WRITE(OXACETO,T,' ',OXALIS[T],' ',CONC[T],' ');
224    IF T MOD 5 =0 THEN WRITELN(BIOM);
225    IF T MOD 3 =0 THEN BEGIN WRITELN(VERDBIOM); WRITELN(OXACETO); END;
226    {IF T MOD 10 = 0 THEN
227      BEGIN
228      WRITE('***',LT,' ',BM:4:2,' ',BMG/BMOUD:4:2,' ',STERFTEKANS:4:3,' '
229      WRITELN(FU,'TIJD ',T,' ','GENERATIE ',GENERATIE,' ','LEEFTIJD ',LT);
230      WRITELN(FU,'WD:',WD:5:3,' ','ND:',ND:5:3,' ');
231      WRITELN(FU,'KL= ',KL:4:2);
232      WRITE(FU,'DAGEN:',DAGEN,' ','LZ= ',LZ:4:2,' ');
233      WRITELN(FU,'PH= ',PHS:4:2,' ','BZ= ',BZ:4:2,' ');
234      WRITE(FU,'NM:',NM:5:2,' ','HM:',HM:5:2,' ');
235      WRITELN(FU,'WM:',WM:5:2,'  ','BM:',BM:5:2);
236      WRITE(FU,'OXALIS:',OXALISBEDEKKING:4,' ');
237      WRITELN(FU,'CONCURRENT:',BEDEKKINGCONCURRENT:4);
238      WRITELN(FU);
239      END;}
240  END;
```

```
241
242  PROCEDURE GRAFIEK_BIOMASSA;
243  {Tekent een grafiek van de biomassa van Picea }
244
245  VAR I,S,B,C,A : INTEGER;
246      BMM,BMO : REAL;
247
248  BEGIN
249    CLRSCR;
250    ASSIGN(OORS,'C:\KARIN\OORS.RES'); RESET(OORS);
251    ASSIGN(BIOM,'C:\KARIN\BIOM.RES'); RESET(BIOM);
252    HIRES400;
253    S:=9;
254    FOR I := 1 TO 9  DO
255      BEGIN
256        GOTOXY(10,I*2+1); WRITELN(S*100);          {tekent bijschrift}
257        S:=S-1;
258      END;
259    GOTOXY(13,22);
260    FOR I := 0 TO 9 DO WRITE(I*10,'  ');
261    FOR I:=10 TO 15 DO WRITE(I*10,' ');
262    GOTOXY(40,4); WRITELN('norm');
263    GOTOXY(40,23); WRITELN('de tijd in jaren');
264    GOTOXY(14,2); WRITELN('nettobiomassa in kg') ;
265    GOTOXY(14,4); WRITELN('klimaat invloed : ',KLIM);
266    GOTOXY(14,5); WRITELN('luvoinvloed : ',LU);
267    GOTOXY(14,6); WRITELN('vanaf jaar ',JR);
268    GENERATIE:=1;
269    T:=1;
270    WHILE T<=TMAX DO
271      BEGIN
272        REPEAT                                     {tekent grafieken}
273          READ(BIOM,BIOMASSA[T]);
274          READ(OORS,BIOO[T]);
275          BMM:=BIOMASSA[T];   BMO:=BIOO[T];
276          IF BMM>0 THEN
277            BEGIN
278              IF T MOD 3<>0 THEN
279                PLOT(100+ROUND(3.2*T),325-ROUND(BMO*0.32),1);
280              PLOT(100+ROUND(3.2*T),325-ROUND(BMM*0.32),1);
281              T:=T+1;
282            END ;
283        UNTIL (BMM=0) OR (T>=TMAX) ;
284        T:=T-1;
285        READLN(BIOM,BIOMASSA[T]);   {schrijft de generatie erbij}
286        BMM:=BIOMASSA[T];
287        GOTOXY(14+ROUND((3.2*T)/8),ROUND((1000-BMM)/100*2+1));
288        WRITELN(GENERATIE);
289        GENERATIE:=GENERATIE+1;
290        T:=T+2;
291      END;
292    DRAW(100,37,100,325,1);
293    DRAW(100,325,580,325,1);                       {tekent de assen}
294    FOR A:=0 TO 15 DO PLOT(100+32*A,326,1);
295    FOR A :=0 TO 9 DO PLOT(99,325-32*A,1);
296    GOTOXY(1,24);
297    WRITELN('Wilt u een print?  Zet eerst de printer aan. J/N');
298    READLN(PRINT);
299    IF (PRINT='J') OR (PRINT='j') THEN
300    PRINTSCREEN;
301  END;
302
```

```
303
304  PROCEDURE TEKEN;
305  {tekent grafieken van de naaldmassa,de houtmassa en}
306  {de wortelmassa van Picea}
307
308  VAR S,I,A : INTEGER;
309      NL,HT,WT :REAL;
310
311  BEGIN
312    CLRSCR;
313    ASSIGN(VERDBIOM,'C:\KARIN\VERDBIOM.RES'); RESET(VERDBIOM);
314    HIRES400;
315    GOTOXY(7,3); WRITELN('naaldmassa in kg');
316    S:=6;
317    FOR I := 1 TO 6 DO
318      BEGIN
319        GOTOXY(4,I+3); WRITELN(S*10);
320        S:=S-1                                  {tekent bijschrift}
321      END;
322    GOTOXY(6,11);
323    FOR I := 0 TO 4 DO  WRITE(I*20,'  ');
324    FOR I := 5 TO 8 DO  WRITE(I*20,' ');
325    GOTOXY(22,12); WRITELN('de tijd in jaren');
326    GOTOXY(46,2); WRITELN('houtmassa in kg');
327    S:=7;
328    FOR I := 1 TO 7 DO
329      BEGIN
330        GOTOXY(42,I+2); WRITELN(S*100);
331        S := S-1;
332      END;
333    GOTOXY(45,11);
334    FOR I:=0 TO 4 DO  WRITE(I*20,'  ');
335    FOR I:=5 TO 8 DO  WRITE(I*20,' ');
336    GOTOXY(61,12); WRITELN('de tijd in jaren');
337    GOTOXY(7,13); WRITELN('wortelmassa in kg');
338    S:=7;
339    FOR I:=1 TO 7 DO
340      BEGIN
341        GOTOXY(3,I+13);WRITELN(S*20);
342        S:=S-1;
343      END;
344    GOTOXY(6,22);
345    FOR I:=0 TO 4 DO WRITE(I*20,'  ');
346    FOR I:=5 TO 8 DO WRITE(I*20,' ');
347    GOTOXY(22,23); WRITELN('de tijd in jaren');
348    GOTOXY(44,15); WRITELN('klimaat invloed : ',KLIM);
349    GOTOXY(44,16); WRITELN('luvoinvloed : ',LU,' vanaf jaar ',JR);
```

```
350     GENERATIE:=1;
351     T := 1;
352     WHILE T<=TMAX DO
353       BEGIN
354         REPEAT
355           READ(VERDBIOM,NAALDMASSA[T],HOUTMASSA[T]);
356           READ(VERDBIOM,WORTELMASSA[T]);
357           NL:=NAALDMASSA[T];
358           HT:=HOUTMASSA[T];
359           WT:=WORTELMASSA[T];
360           IF (NL>0) AND (HT>0) AND (WT>0) THEN
361             BEGIN
362               PLOT(44+ROUND(1.6*T),150-ROUND(NL*1.6),1);
363               PLOT(356+ROUND(1.6*T),150-ROUND(HT*0.16),1);
364               PLOT(44+ROUND(1.6*T),325-ROUND(WT*0.8),1);
365               T:=T+1;
366             END;
367         UNTIL (NL=0) OR (HT=0) OR (WT=0) OR (T>=TMAX);
368         T := T-1;
369         READ(VERDBIOM,NAALDMASSA[T],HOUTMASSA[T]);
370         READ(VERDBIOM,WORTELMASSA[T]);
371         NL:=NAALDMASSA[T];
372         HT:=HOUTMASSA[T];
373         WT:=WORTELMASSA[T];
374         GOTOXY(ROUND(6+(1.6*T)/8),ROUND(10-NL/10));
375         WRITELN(GENERATIE);
376         GOTOXY(ROUND(45+(1.6*T)/8),ROUND(10-HT/100));
377         WRITELN(GENERATIE);
378         GOTOXY(ROUND(6+(1.6*T)/8),ROUND(21-WT/20));
379         WRITELN(GENERATIE);
380         GENERATIE:=GENERATIE+1;
381         T:=T+2;
382       END;
383    DRAW(44,46,44,150,1);
384    DRAW(44,150,308,150,1);
385    DRAW(356,30,356,150,1);
386    DRAW(356,150,620,150,1);                    {plot de assen}
387    DRAW(44,209,44,325,1);
388    DRAW(44,325,308,325,1);
389    FOR A := 0 TO 8 DO PLOT(44+32*A,151,1);
390    FOR A := 0 TO 6 DO PLOT(43,150-16*A,1);
391    FOR A := 0 TO 8 DO PLOT(356+32*A,151,1);
392    FOR A := 0 TO 7 DO PLOT(355,150-16*A,1);
393    FOR A := 0 TO 8 DO PLOT(44+32*A,326,1);
394    FOR A := 0 TO 7 DO PLOT(43,325-16*A,1);
395    GOTOXY(1,24);
396    WRITELN('Wilt u een print?  Zet eerst de printer aan. J/N');
397    READLN(PRINT);
398    IF (PRINT='J') OR (PRINT='j') THEN
399    PRINTSCREEN;
400  END;
```

```
401
402  PROCEDURE GRAF_OXALIS;
403  {tekent de grafieken van de bedekkingspercentages}
404  {van Oxalis en de concurrent}
405
406  VAR A,I,S,OXBED,BEDCONC : INTEGER;
407
408  BEGIN
409    CLRSCR;
410    ASSIGN(OXACETO,'C:\KARIN\OXALIS.RES'); RESET(OXACETO);
411    HIRES400;
412    S:=10;
413    FOR I:=1 TO 6 DO
414      BEGIN
415        GOTOXY(7,9+I*2); WRITELN(S*10);
416        S:=S-2;
417      END;
418    GOTOXY(10,22);
419    FOR I:= 0 TO 9 DO WRITE(I*10,'  ');
420    FOR I:=10 TO 15 DO WRITE(I*10,' ');
421    GOTOXY(40,23); WRITELN('de tijd in jaren');
422    GOTOXY(12,10);
423    WRITE('bedekking van bodem met Oxalis ');
424    WRITELN('en concurrent (in perc)');
425    T:=1;
426    REPEAT
427      READ(OXACETO,OXALIS[T],CONC[T]);
428      OXBED:=OXALIS[T];
429      IF OXBED>100 THEN OXBED:=100;
430      IF OXBED<0 THEN OXBED:=0;
431      BEDCONC:=CONC[T];
432      PLOT(75+ROUND(3.2*T),330-ROUND(1.65*OXBED),1);
433      PLOT(75+ROUND(3.2*T),330-ROUND(1.65*BEDCONC),1);
434      T:=T+1;
435    UNTIL  (T>=TMAX);
436    GOTOXY(12,20); WRITELN('oxalis');
437    GOTOXY(12,13); WRITELN('deschampsia');
438    DRAW(75,150,75,330,1);
439    DRAW(75,330,568,330,1);
440    FOR A := 0 TO 15 DO PLOT(75+32*A,331,1);
441    FOR A:=0 TO 5 DO PLOT(74,330-33*A,1);
442    GOTOXY(1,24);
443    WRITELN('Wilt u een print?  Zet eerst de printer aan. J/N');
444    READLN(PRINT);
445    IF (PRINT='J') OR (PRINT='j') THEN
446    PRINTSCREEN;
447  END;
448
```

```
449  {hoofdprogramma}
450
451  BEGIN
452    ASSIGN (FU,'C:\KARIN\SIMUL.RES');
453    REWRITE (FU);
454    2:
455    ASSIGN (BIOM,'C:\KARIN\BIOM.RES');
456    REWRITE (BIOM);
457    ASSIGN (VERDBIOM,'C:\KARIN\VERDBIOM.RES');
458    REWRITE (VERDBIOM);
459    ASSIGN (OXACETO,'C:\KARIN\OXALIS.RES');
460    REWRITE (OXACETO);
461    GOTOXY(1,24); WRITELN ('START? J/N'); READLN(CH);
462    IF (CH = 'J') OR (CH = 'j') THEN
463      BEGIN
464        CLRSCR;
465        GOTOXY(1,3);
466        WRITELN('Is de invloed van het klimaat gewenst? J/N');
467        READLN(KLIM);
468        IF (KLIM<>'J') AND (KLIM<>'j') THEN KL:=1;
469        WRITELN(FU,'klimaat? ',KLIM);
470        WRITELN('Is de invloed van luchtverontreiniging gewenst? J/N ');
471        READLN(LU);
472        WRITE(FU,'luchtverontreiniging? ',LU);
473        IF (LU='J') OR (LU='j') THEN
474          BEGIN
475            WRITELN('In welk jaar moet de luchtverontreiniging beginnen?')
476            WRITELN('Vul een geheel getal in.');
477            READLN(JR);
478            WRITELN(FU,'  start in jaar ',JR,'.');
479            WRITE('Moet het zuurgehalte van de bodem constant ');
480            WRITELN('blijven? J/N');
481            READLN(ZEQ);
482            IF (ZEQ='N') OR (ZEQ='n') THEN
483              BEGIN
484                WRITE('Met hoeveel zuurequivalenten moet het zuurgehalte '
485                WRITELN('van de bodem in 1 jaar worden opgehoogd?');
486                READLN(EQ);
487                WRITE(FU,'Elk jaar zuur in bodem met ');
488                WRITELN(FU,EQ:4:2,' eq. ophogen.');
489              END
490            ELSE BEGIN EQ:=0; BODEMZUUR:=0.0003 END;
491            WRITE('Met welke bodem-pH beginnen?');
492            WRITELN(' Vul een getal groter dan 0 in.');
493            READLN(PH);
494            WRITE('Hoeveel dagen in een jaar moet de luvo boven');
495            WRITELN(' de drempelwaarde komen?');
496            WRITELN('Noem eerst de ondergrens.(getal tussen 1 en 365)');
497            READLN(DAGENOND);
498            WRITELN('Noem nu de bovengrens (idem). ');
499            READLN(DAGENBOV);
500            WRITELN('Moet het aantal dagen constant blijven?');
501            READLN(DAG);
```

```
502             IF (DAG='N') OR (DAG='n') THEN
503               BEGIN
504                 WRITE('Hoeveel dagen moeten er ieder jaar ');
505                 WRITELN('bijkomen/afgaan?');
506                 WRITE('Als de hoeveelheid dagen moeten afnemen, ');
507                 WRITELN('vul dan een');
508                 WRITELN(' negatief geheel getal in.');
509                 READLN(VERDAG);
510               END
511             ELSE VERDAG:=0;
512           END
513         ELSE BEGIN JR:=0; PH:=5; DAGENBOV:=0; DAGENOND:=0; END;
514         WRITELN(FU,'Bodem-pH :',PH:5:2);
515         WRITE(FU,'Start met ',DAGENOND,' tot ',DAGENBOV, ' ');
516         WRITE(FU,'dagen boven de ');
517         WRITELN(FU,'grenswaarde. Per jaar met ',VERDAG,' veranderen.');
518         WRITELN(FU);
519         T:=0;
520         BODEMZUUR := EXP(LN(10)*-PH);
521         GENERATIE:=1;
522         WHILE T<TMAX DO
523           BEGIN
524             WRITELN(FU);
525             SCHADUWHOEVEELHEID:=0;
526             LT:=0;
527             BM:=BMC;    BMOUD:=BM;   BMMAX:=850; BMSTAND:=BMC;
528             NM:=NMC;    NMMAX:=52.7;
529             HM:=HMC;    HMMAX:=666.4;
530             WM:=WMC;    WMMAX:=130.9;
531             D:=1; DD:=1;
532             REPEAT
533               T:=T+1;
534               LT:=LT+1;
535               IF (LU='J') OR (LU='j') THEN VERZURING
536               ELSE BEGIN BZ:=1; PHS:=5; DAGEN:=0; LZ:=1; END;
537               METABOLISME;
538               GROEI;
539               CONCURRENTIE;
540               SCHRIJF_GROEI;
541             UNTIL (DOOD) OR (T>=TMAX);
542           END;
543         WRITELN(BIOM);
544         WRITELN(FU);
545         GOTOXY(3,24); WRITELN('grafiek biomassa? J/N');
546         READLN(GRAF1);
547         IF (GRAF1='J') OR (GRAF1='j') THEN
548         GRAFIEK_BIOMASSA; CLOSE(BIOM);
549         GOTOXY(3,24);WRITELN('grafiek verdeling biomassa? J/N');
550         READLN(GRAF2);
551         IF (GRAF2='J') OR (GRAF2='j') THEN
552           TEKEN; CLOSE(VERDBIOM);
553         GOTOXY(3,24); WRITELN('grafiek bedekking bodem? J/N');
554         READLN(GRAF3);
555         IF (GRAF3='J') OR (GRAF3='j') THEN
556           GRAF_OXALIS; CLOSE(OXACETO);
557         ERASE(BIOM); ERASE(VERDBIOM); ERASE(OXACETO);
558         GOTO 2;
559       END
560     ELSE CLOSE(FU);
561   END.
```