

Rapport nr. 2010 ^{II}

DE INDIRECTE EFFECTEN VAN ATMOSFERISCHE DEPOSITIE OP
DE VITALITEIT VAN NEDERLANDSE BOSSEN

1. Beschrijving van de onderzoeksopzet

C.E. Kleijn
J.H. Oterdoom
W. de Vries
C. Hendriksen

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1987

8 OKT. 1987



ysn 263626 *

STICHTING VOOR BODEMKARTERING

Postbus 98

6700 AB Wageningen

Tel. 08370 - 19100

© 1987 STIBOKA

De Stichting voor Bodemkartering aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering.

I N H O U D S O P G A V E

	blz.
VOORWOORD	5
1. INLEIDING	7
2. PROBLEEMSTELLING	9
3. DOELSTELLINGEN	15
4. WETENSCHAPPELIJK EN MAATSCHAPPELIJK BELANG	17
5. DE OPZET VAN HET CORRELATIEF ONDERZOEK	19
5.1. Algemeen	19
5.2. De steekproefopzet en de selectie van opstanden en bomen	20
5.2.1. De steekproefopzet	20
5.2.2. Keuze van de onderzoekslocaties	24
5.2.3. Selectie van bomen binnen de opstanden	27
5.3. Benodigde informatie	29
5.3.1. Bodemkundig onderzoek	29
5.3.2. Vitaliteits onderzoek	32
5.3.3. Depositie onderzoek	36
5.4. Het bemonsteringsplan	36
6. VELD- EN ANALYSEMETHODEN	41
6.1. Bemonstering	41
6.2. Bodemvochtanalyse	43
6.3. Analyse minerale bodem en strooisellaag	44
6.4. Wortelanalyse	47
6.5. Vitaliteitsbeoordeling en naaldanalyse	49
6.6. Groeimeting en groeiruimtebepaling	50
6.7. Naaldmassabepaling en groeireconstructie	51
7. CONTACTEN	53
8. LITERATUUR	55
BIJLAGEN	B1-B16

VOORWOORD

In dit rapport wordt de opzet van een correlatief veldonderzoek naar de indirecte effecten van atmosferische depositie beschreven. Dit onderzoek maakt deel uit van het Additioneel Programma Verzuuringsonderzoek (APV), dat gefinancierd wordt door de ministeries van VROM, L&V en EZ, de Samenwerkende Electriciteit Productiebedrijven en de Raffinaderijen. De coordinatie van het APV is in handen van het RIVM te Bilthoven. Het hier beschreven onderzoek is in het APV geregistreerd onder de projectnummers 12 en 18 en wordt uitgevoerd in samenwerking tussen de Stichting voor Bodemkartering en het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp".

Vanwege de complexiteit van de problematiek is voor de aanvang van het project intensief overleg gevoerd met deskundigen op bodemkundig, bosbouwkundig en statistisch gebied. Op basis van deze gesprekken is een onderzoeksopzet, zoals beschreven in dit rapport, geformuleerd en zijn onderzoekslocaties geselecteerd. Voor hun bijdrage hieraan willen wij de volgende personen hartelijk bedanken: ir. M. de Boer, dr. ir. A. Breeuwsma, drs. J. van den Burg, dr. ir. J.J. de Gruyter, ir. K.R. van Lynden, P.P.Th.M. Maessen, drs. J.H. Oude Voshaar, ing. A.W. Waenink.

Dit rapport vormt het eerste deel van een serie. De volgende delen zullen betrekking hebben op de bodemvochtsamenstelling in de geselecteerde opstanden, de vitaliteit van de bomen in deze opstanden en de relatie tussen de bodemvochtsamenstelling en de vitaliteit.

de auteurs

1. INLEIDING

De alarmerende berichten over het op grote schaal optreden van "Waldsterben" in West Duitsland vormde voor de Nederlandse regering de aanzet om een breed inventariserend onderzoeksprogramma te starten naar de effecten van atmosferische depositie op bodem, grondwater, oppervlaktewater en vegetatie in Nederland. Naar aanleiding van een door de ministers van L&V en VROM aan de tweede kamer aangeboden notitie over de organisatie van het verzuringsonderzoek in Nederland (kamerstukken II 1983/1984, 18225, nr. 18) is het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek (APV) opgezet. De vraag, die aan het APV ten grondslag ligt is wat het rendement is van te treffen beleidsmaatregelen voor het milieu. Met het onderzoeksprogramma wordt beoogd de voor de beantwoording van beleidsvragen gewenste en nog ontbrekende samenhang tussen de resultaten van verschillende onderzoeksprojecten te bewerkstelligen (Stuurgroep Verzuringsonderzoek, 1985).

In het kader van het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek wordt bij de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA), in samenwerking met het Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", onderzoek gedaan naar de indirecte effecten van atmosferische depositie op de vitaliteit van bossen. Hierbij wordt met "indirecte effecten" bedoeld op de via de bodem verlopende effecten van depositie van zure en verzurende stoffen en andere schadelijke of toxische stoffen, zoals zware metalen.

Dit onderzoek bestaat uit twee delen, te weten een bodemkundig en bodemchemisch deel en een bosbouwkundig deel. Het bodemkundige, c.q. bodemchemische deel wordt uitgevoerd door de STIBOKA en behelst onderzoek naar ruimtelijke en temporele variaties in de samenstelling van bodemvocht, de samenstelling van de vaste bodemfase en enkele fysische bodemeigenschappen. Het bosbouwkundige deel van het onderzoek is gericht op ruimtelijke en temporele variaties in de groei en vitaliteit van Douglas. Het

onderzoeksinstituut "de Dorschkamp" is verantwoordelijk voor dit deel van het onderzoek. Door middel van statistische analyse-technieken zullen de gegevens van de beide deelonderzoeken met elkaar in verband gebracht worden. De statistische verwerking en interpretatie van de onderzoeksgegevens zal in nauwe samenwerking tussen de beide instituten plaatsvinden.

Dit gecombineerde onderzoeksproject is in het APV geregistreerd onder de projectnummers 12 en 18. De voorbereiding van het project heeft in 1985 plaatsgevonden. In dat jaar zijn Douglas-opstanden geselecteerd en heeft een vooronderzoek plaatsgevonden naar naald- en bodemsamenstelling. In 1986 zijn verschillende veld- en laboratoriumtechnieken getest en geoptimaliseerd en is begonnen met het bemonsteringsprogramma. In 1987 en 1988 wordt het bemonsteringsprogramma voortgezet en zullen enkele detailonderzoeken uitgevoerd worden. Publicatie van de onderzoeksresultaten zal plaatsvinden in de vorm van rapporten en artikelen in nationale en internationale tijdschriften.

2. PROBLEEMSTELLING

Uit vitaliteitsonderzoek, dat in 1983 voor het eerst op systematische wijze door Staatsbosbeheer is uitgevoerd, bleek dat de conditie van het Nederlandse bos zorgwekkend is. De resultaten van de herhalingsopname in 1984 bevestigen deze zorg en wijzen op een voortgaand proces van vitaliteitsvermindering. Deze vermindering concentreert zich met name bij de boomsoorten grove den en douglas (S.B.B., 1984). De afgelopen jaren zijn een groot aantal hypothesen aangedragen voor de verklaring van de huidige vitaliteitsvermindering. De complexiteit van het samenspel van factoren die van invloed zijn op de bosvitaliteit maakt het onmogelijk een eenduidige, algemeen geldende verklaring van de vitaliteitsafname te geven. Desalniettemin kan, door de grote schaal waarop het verschijnsel geconstateerd is, gesteld worden dat er sprake is van een gemeenschappelijke factor, die verantwoordelijk is voor de vitaliteitsvermindering. Inmiddels is, zowel in wetenschappelijke als in beleidsmatige kringen, duidelijk dat het voorkomen van schadesymptomen gerelateerd is aan luchtverontreiniging.

De belangrijkste stoffen in de atmosfeer, die schade aan de vegetatie veroorzaken zijn zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. Het grootste gedeelte van SO_2 en NO_x in de atmosfeer is afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen. De belangrijkste bron van NH_3 is de veehouderij. Door het op grote schaal voorkomen van intensieve veehouderijen speelt ammoniak in Nederland een relatief belangrijke rol bij het optreden van effecten op de vegetatie.

De inwerking van luchtverontreiniging op vegetatie verloopt langs twee wegen, te weten via het bladoppervlak en via de bodem. In dit verband wordt veelal van "directe" en "indirecte" effecten gesproken. Aangezien de conditie van een plant bepaald wordt door het complex van bovengrondse en ondergrondse omgevingsfactoren is een strikt onderscheid tussen deze twee groepen van effecten echter niet mogelijk. Zo kan wortelschade het

gevolg zijn van contact met toxische elementen in de bodemoplossing, maar ook van verminderde vitaliteit van de kroon door direct contact met luchtverontreinigende stoffen. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste effecten van atmosferische depositie (Iwaco, 1983; Morrison, 1984).

TABEL 1 De directe en indirecte effecten van atmosferische depositie op vegetatie

Directe effecten:

- aantasting van de cuticula als gevolg van de et-sende werking van zuren
- vergiftiging van plantecellen als gevolg van diffusie van verontreinigende stoffen door het blad- of naaldoppervlak
- uitspoeling van nutriënten uit de bladeren of naalden als gevolg van aantasting van plasmamembranen, waardoor verstoring van stofwisseling en groei-processen kan optreden
- verstoring van de reproductieprocessen

Indirecte effecten:

- beschadiging van de haarwortels van planten
- wortelrot
- aantasting van mycorrhiza's
- het niet tot ontwikkeling komen van zaailingen

Zowel direct, als indirect veroorzaakte effecten:

- vermindering van de diversiviteit en soortenrijkdom
 - verstoring, c.q. verandering van symbiotische associaties
 - verminderde vitaliteit van de vegetatie, waardoor planten gevoeliger zijn voor andere potentiële aantastingen
 - verminderde groei
-

Het onderzoek, dat in dit rapport beschreven wordt, is gericht op de via de bodem verlopende effecten van atmosferische depositie. Hierover zijn de afgelopen jaren verschillende theorieën ontwikkeld. Zo stellen Ulrich e.a. dat door de depositie van zure en verzurende stoffen veranderingen in de bodem zijn opge-

treden, met schadelijke gevolgen voor de vegetatie (Ulrich e.a., 1979; Ulrich, 1983a; Ulrich, 1983b; Ulrich und Matzner, 1983). De achterliggende gedachte hierbij is dat bij verlaging van de pH van het bodemvocht Al ionen vrijkomen, hetgeen bij zekere concentraties leidt tot fytotoxische effecten. Hoge Al concentraties in het bodemvocht, met name in verhouding tot het Ca- en Mg-gehalte, kunnen het afsterven van haarwortels en mycorrhiza's tot gevolg hebben. Bovendien kunnen lage Ca/Al en Mg/Al verhoudingen in de bodemoplossing de Mg opname negatief beïnvloeden (Rost-Siebert, 1985; Jorns and Hecht-Buchholz, 1985). Daarnaast kan, als gevolg van Al-overmaat, fosfaatgebrek optreden, door neerslag van aluminiumfosfaat (Nihlgård, 1985).

Volgens Zoettl en Huettl (1985) is de uitspoeling van voedings-elementen een van de belangrijkste oorzaken van bossterfte. Door de pH verlaging van de neerslag worden de basische kationen Ca, Mg en K verdrongen van het adsorptiecomplex door H-ionen, waarna uitspoeling optreedt, geassocieerd met de uitspoeling van sulfaat en nitraat. Het effect van de uitspoeling van kationen is afhankelijk van de mate waarin deze ionen vrijkomen door verwerking.

Verstoring van de stikstofkringloop als gevolg van atmosferische depositie van stikstofoxiden en ammonium is bij de "stikstoftheorie" de verklarende factor voor de vitaliteitsvermindering van bossen. De toevoer van stikstof naar een ecosysteem kan in eerste instantie een bemestend effect hebben, hetgeen in sommige gevallen kan leiden tot een toename van de groei (Abrahamsen, 1980; Gessel, 1982). Bij te grote stikstoftoevoer kunnen de volgende effecten optreden:

- 1) de N-opname wordt groter dan de N-behoefte (luxue consumptie), waardoor een relatief gebrek aan andere voedings-elementen ontstaat (o.a. Ca, Mg, K en P) (v.d. Burg, 1986; Mohren e.a., 1986; Nihlgård, 1985; Roelofs e.a., 1985). Een neveneffect van hoge N-gehalten in de naalden is een toename van de gevoeligheid voor vorst.

- 2) wanneer de toevoer van ammonium groter is dan de omzetting door nitrificatie kunnen dusdanig hoge ratio's van NH_4 t.o.v. Ca, Mg en K ontstaan, dat door ion-antagonisme absoluut gebrek aan laatstgenoemde elementen optreedt. Bovendien kan ammonium in zure milieu's een direct toxisch effect hebben.
- 3) door nitrificatie kan bodemverzuring optreden (van Breemen e.a., 1982), gepaard gaande met het vrijkomen van Al-ionen, neerslag van aluminiumfosfaat en uitspoeling van Ca, Mg en K. Hierdoor kunnen wortels aangetast worden en kan, zowel in absolute als in relatieve zin, een tekort aan voedingsstoffen ontstaan.
- 4) hoge ammonium- en nitraatconcentraties verminderen de groei van mycorrhiza, waardoor de opname van allerlei voedingsstoffen, met name van fosfaat, verslechterd (Nihlgård, 1985).

Het al dan niet optreden van schade aan vegetatie is afhankelijk van een complex van factoren. Staatsbosbeheer maakt in dit verband onderscheid tussen "veroorzakende" en "versterkende" factoren (S.B.B., 1986a). De veroorzakende factoren worden gedefinieerd als factoren die de vitaliteit blijvend in negatieve zin beïnvloeden, waardoor de interne weerstand geringer wordt, ook als er geen andere stressfactoren werkzaam zijn. Hiertoe behoren: directe gewasschade, bodemverzuring en stikstofovermaat. De versterkende factoren worden gedefinieerd als factoren die onder normale omstandigheden niet tot blijvende of grootschalige vitaliteitsvermindering leiden. De bomen hebben meestal voldoende weerstand of kunnen zich goed herstellen. In combinatie met veroorzakende factoren, echter, treedt een versterking van de effecten op, waardoor zij in een aantal gevallen wel leiden tot blijvende vitaliteitsvermindering. Hiertoe behoren: bodemgesteldheid, klimaatsinvloeden, kwaliteit van de opstand, ziekten en plagen.

Onderzoek naar de effecten van atmosferische depositie wordt in hoge mate bemoeilijkt door de complexiteit van het systeem. Bovendien kan door de grote schaal waarop het probleem zich voordoet geen referentiegebied geselecteerd worden, waar onder overigens dezelfde omstandigheden geen sprake is van atmosferische depositie. Om deze reden is het noodzakelijk bij de bestudering van de effecten van atmosferische depositie de invloed van "natuurlijke" stress factoren mee te nemen in de beschouwing.

3. DOELSTELLINGEN

De primaire doelstelling van het onderzoek is het aangeven van correlatieve (en causale) verbanden tussen bodemchemische parameters en de vitaliteit van bossen. Hierbij gaat het met name om de dynamische bodemfactoren, dat wil zeggen die factoren, die door atmosferische depositie beïnvloed kunnen worden (samenstelling van het bodemvocht).

Daarnaast heeft het onderzoek als secundaire doelstellingen:

- inzicht te verkrijgen in de relatie tussen de samenstelling van het bodemvocht en eigenschappen van de vaste fase,
- het vaststellen van de samenhang tussen de wortelvitaliteit enerzijds en naaldevitaliteit en -samenstelling anderzijds,
- nagaan in hoeverre, aan de hand van een aantal relatief eenvoudig te bepalen parameters, een betrouwbare uitspraak gedaan kan worden over de vitaliteit van bomen,
- vaststelling van een eventueel begin van vitaliteitsafname aan de hand van jaarringonderzoek.

4. WETENSCHAPPELIJK EN MAATSCHAPPELIJK BELANG

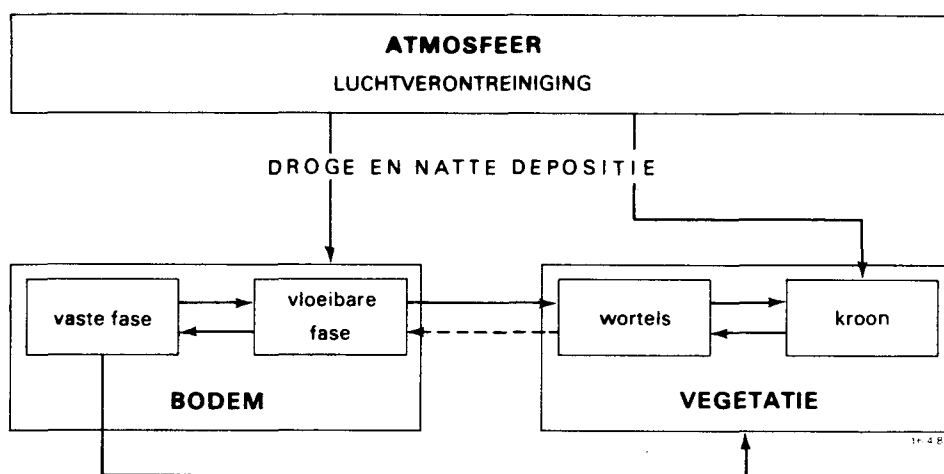
Het in deze tekst beschreven onderzoek is van opzet een correlatief beschrijvend onderzoek naar oorzaak-effect relaties. Beschrijvend onderzoek is van belang bij de vorming en toetsing van hypothesen met betrekking tot de effecten van atmosferische depositie. Als zodanig vormt dergelijk onderzoek de basis van proces onderzoek, hetgeen op haar beurt van belang is voor de ontwikkeling van fysisch/chemische simulatiemodellen, gericht op dosis-effect relaties. Daarnaast is beschrijvend onderzoek van belang bij de ontwikkeling van correlatief, empirisch voorspellende modellen en bij modelvalidatie.

Het is in dit verband belangrijk op te merken dat het Additioneel Programma Verzuuringsonderzoek niet is opgezet om inzicht te verkrijgen in alle processen en relaties samenhangend met atmosferische depositie. Het doel van het APV is de voor de beleidsvragen gewenste en nog ontbrekende samenhang tussen verschillende onderzoeksprojecten te bewerkstelligen. De kernvragen zijn hierbij welke stoffen verantwoordelijk zijn voor de schade aan vegetatie, via welke weg het aantastingsproces verloopt en wat het rendement is van de beleidsmaatregelen (Stuurgroep Verzuuringsonderzoek, 1985). Het hier beschreven onderzoek beoogt hieraan een bijdrage te leveren door het vaststellen van de relatie tussen de samenstelling van het bodemvocht, die beïnvloed wordt door atmosferische depositie, en de vitaliteit van bossen. Bij de interpretatie van deze relatie zal gekeken worden naar de effecten van verzuring en verstoring van de voedingstoffenvoorziening. Het effect van verzuring zal bestudeerd worden aan de hand van het Al-gehalte en de ratio tussen het gehalte aan basische kationen en Al. Bij de bestudering van het effect van verstoring van de voedingstoffenvoorziening zal gekeken worden naar het totaal N- en S-gehalte en de ratio's tussen ammonium en K, Mg en Ca, resp. ammonium en nitraat.

5. DE OPZET VAN HET CORRELATIEF ONDERZOEK

5.1. ALGEMEEN

In onderstaand figuur zijn de relaties tussen bodemeigenschappen en vegetatie, en de wijze waarop atmosferische depositie hierop van invloed is, zeer schematisch weergegeven. Het onderzoek is gericht op de indirecte effecten van atmosferische depositie op de vitaliteit van zowel het bovengrondse deel van bomen (uiterlijke kenmerken) als die van de wortels.



FIGUUR 1 *Overzicht van de relaties tussen atmosferische depositie, bodemeigenschappen en vegetatie.*

Teneinde aan de doelstellingen van het onderzoek te kunnen voldoen zal integratie plaatsvinden van gegevens over:

- 1) de samenstelling van het bodemvocht en de ruimtelijke en temporele variaties hierin,
- 2) fysische en chemische samenstelling van de vaste fase van de bodem en de relatie tussen deze eigenschappen en de samenstelling van het bodemvocht,

- 3) vruchtbaarheid, bewortelbaarheid en vochtleverend vermogen van de bodem, de actuele vochtvoorziening en de vochtvoorziening in het verleden,
- 4) vitaliteit van wortels,
- 5) de vitaliteit van de bovengrondse delen en de hoogte- en volumegroei van bomen,
- 6) de elementsamenstelling van wortels en naalden,
- 7) de samenstelling van regen- en doorvalwater.

In paragraaf 5.3. wordt per categorie aangegeven welke eigenschappen onderzocht worden en waarom voor deze eigenschappen gekozen is. Vervolgens wordt in paragraaf 5.4. uiteengezet waar bemonstering zal plaatsvinden en met welke frequentie dit gebeurd. De veld- en laboratoriummethodieken worden beschreven in hoofdstuk 6. Alvorens echter op de uitvoering van het onderzoek in te gaan wordt de steekproefopzet, de basis van het onderzoek, toegelicht (par. 5.2.).

5.2. DE STEEKPROEFOPZET EN DE SELECTIE VAN OPSTANDEN EN BOMEN

5.2.1. De steekproefopzet

Om een statistisch verantwoorde uitspraak te kunnen doen over de relatie tussen bodem- en boomkenmerken is het noodzakelijk veel bomen bij het onderzoek te betrekken. Bij het onderzoek moet bovendien rekening gehouden worden met variaties in ruimte en tijd. Het aantal analyses wordt echter beperkt door de analysecapaciteit van de laboratoria, de beschikbare tijd en de hoeveelheid geld, die voor het onderzoek beschikbaar is. Een en ander betekent dat bij de steekproefopzet zeer gericht te werk gegaan moet worden.

Voor het vaststellen van de relatie tussen de samenstelling van het bodemvocht en vitaliteitskenmerken van bomen, dan wel bossen, is het noodzakelijk over gegevens te beschikken van bomen en bossen, die een zo breed mogelijke range in vitaliteit beslaan. Om effecten van "statische" bodemeigenschappen te minimaliseren is het bovendien noodzakelijk om over gegevens te beschikken van bomen of bossen van verschillende vitaliteit, binnen hetzelfde bodemtype. Om tenslotte ook een uitspraak te kunnen doen over variatie in vitaliteit als gevolg van verschillen in bodemtype is het tevens noodzakelijk binnen verschillende bodemtypes een verzameling bomen of bossen te onderzoeken.

Op grond van bovenstaande overwegingen is de verzameling Douglas-opstanden binnen de bodemtypes Holt-, Haar- en Veldpodzol en Duinvaaggrond in Nederland, gekozen als steekproefpopulatie.

Aan de keuze van de steekproefpopulatie is direct de keuze van de populatie-eenheid gekoppeld. In dit geval bestaan hiervoor twee mogelijkheden, te weten:

- * individuele bomen
- * complete opstanden

Wanneer het onderzoek gericht wordt op individuele bomen, dan wordt impliciet de veronderstelling gemaakt dat vitaliteitsverschillen binnen de opstand (mede) het gevolg zijn van verschillen in bodemeigenschappen, die zich op korte afstand voordoen.

Bij de keuze van complete opstanden als populatie-eenheid wordt aangenomen dat de variatie in bodemeigenschappen binnen een opstand klein is, en dat vitaliteitsverschillen op deze schaal het gevolg zijn van (toevallige) verschillen in tolerantie of concurrentiepositie van de bomen.

Er vanuit gaande dat vitaliteitsverschillen binnen de opstanden gerelateerd zijn aan verschillen in bodemeigenschappen op korte afstanden, is als populatie-eenheid gekozen voor individuele bomen.

Bij de selectie van Douglasbomen op de vier genoemde bodemtypes is gekozen voor een getrapte steekproef. Allereerst zijn clusters van bomen (opstanden) geselecteerd en vervolgens zijn binnen deze clusters bomen geselecteerd. De reden voor deze aanpak is dat bij enkelvoudige selectie geen sprake is van een steekproefkader, dat wil zeggen er is geen lijst van populatie-elementen (Douglasbomen) beschikbaar, waaruit aselekt een steekproef kan worden genomen. Dit geldt wel voor opstanden en op opstandsniveau is dit tevens voor bomen te realiseren.

Bij de selectie van opstanden en bomen kan te werk gegaan worden volgens verschillende methoden, te weten:

- * gericht,
- * volledig aselekt,
- * gestratificeerd aselekt, met stratificatie op:
 - de y-variabele (vitaliteit van de bomen)
 - de x-variabele (bodemvochtsamenstelling).

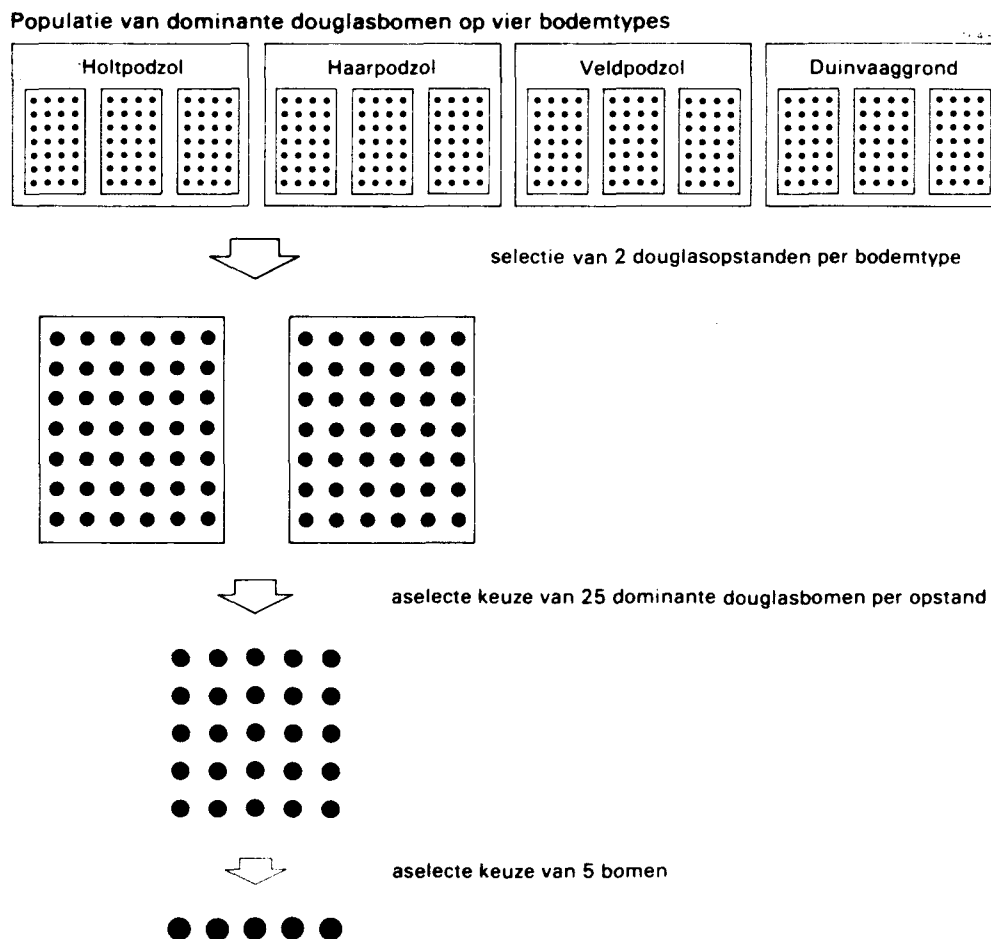
Gerichte selectie vindt onder andere plaats wanneer men eisen stelt aan de steekproef ter voorkoming van interpretatieproblemen bij de dataverwerking. De resultaten van het onderzoek mogen in dit geval echter niet naar de gehele steekproefpopulatie geëxtrapoleerd worden.

De keuze tussen een volledig aselekt en een gestratificeerd aselekt steekproef hangt samen met de heterogeniteit van de populatie. Wanneer de populatie sterk heterogeen is, is bij toepassing van een volledig aselekt methode een zeer groot aantal waarnemingen vereist. In dit geval kan het nuttig zijn de populatie onder te verdelen in strata, zodanig dat binnen een stratum het te onderzoeken kenmerk weinig varieert, terwijl de strata onderling wel duidelijk van elkaar verschillen. Een essentiële voorwaarde hierbij is dat de omvang van ieder stratum zonder veel moeite kan worden vastgesteld (van der Laan, 1980).

Bij dit onderzoek is gekozen voor:

- a) gerichte selectie van Douglasopstanden binnen de vier bodemtypes Holt-, Haar-, Veldpodzolen en Duinvaaggronden,
- b) volledig aselechte keuze van individuele bomen binnen de opstanden.

In de volgende paragrafen zal op deze keuze nader worden ingegaan. In figuur 2 is de steekproefopzet schematisch weergegeven.



FIGUUR 2 De steekproefopzet

5.2.2. Keuze van de onderzoekslocaties

Hoewel een volledig aselechte steekproef feitelijk de voorkeur verdient in verband met de extrapolatie van de resultaten naar de gehele populatie, is hier van afgezien. De reden hiervoor is dat bij een volledig aselechte methode zeer veel opstanden bij het onderzoek betrokken moeten worden, hetgeen ongetwijfeld leidt tot capaciteitsproblemen.

Een gestratificeerd aselechte steekproef is in dit kader vrijwel onmogelijk, omdat de omvang van strata niet of nauwelijks is vast te stellen. Stratificatie op de y-variabele vereist een vitaliteitsanalyse van alle Douglasopstanden in Nederland, hetgeen zeer tijdrovend is. Stratificatie op de x-variabele vereist onderzoek naar de bodemvochtsamenstelling en andere bodemeigenschappen onder alle Douglasopstanden in Nederland, hetgeen praktisch onuitvoerbaar is, temeer daar dan ook rekening gehouden moet worden met temporele variaties.

Teneinde statistisch verantwoorde uitspraken te kunnen doen, aan de hand van het binnen de beperkingen van het onderzoek maximaal aantal mogelijke analysegegevens, zijn bij de selectie van opstanden verschillen in andere factoren die de vitaliteit beïnvloeden geminimaliseerd. Behalve bodemkundige factoren zijn de volgende factoren van invloed op de vitaliteit van opstanden:

- tolerantie van de boomsoort voor luchtverontreiniging,
- ouderdom, beheer en herkomst,
- klimatologische factoren,
- expositie aan luchtverontreiniging,
- schadelijke organismen.

Door alleen Douglasopstanden bij het onderzoek te betrekken zijn verschillen in tolerantie tussen boomsoorten niet aanwezig. Uit de mogelijk in aanmerking komende boomsoorten is om de volgende redenen voor de Douglas gekozen:

- * uit het vitaliteitsonderzoek van Staatsbosbeheer (1983) kwam naar voren dat de Douglas kroonkenmerken vertoont, die niet in overeenstemming worden geacht met de groeisnelheid in het verleden (S.B.B., 1985).
- * de Douglas draagt meerdere jaargangen en is 's winters fysiologisch actief.
- * over het algemeen passen de in Nederland aangeplante herkomsten redelijk tot goed in ons klimaat.

Bij de selectie is gezocht naar opstanden, die zich in de fase van culminatie van de jaarlijkse bijgroei bevinden. In deze fase stelt een bos de hoogste eisen aan de voedingstoffenvoorziening (Nebe, 1966). De verwachting is dat verstoring van de voedingstoffenvoorziening bij opstanden in deze fase het duidelijkst naar voren komt. Bij Douglas vindt culminatie van de bijgroei plaats in de leeftijdsklasse van 30 tot 50 jaar. De geselecteerde opstanden bevinden zich allemaal in deze leeftijdsklasse (zie bijlage 4).

Gegevens over herkomst en beheer bleken in veel gevallen te ontbreken. Op grond van de deskundigheid van Staatsbosbeheer en De Dorschkamp zijn uiteindelijk opstanden geselecteerd, die qua herkomst en beheer niet veel van elkaar lijken te verschillen. Hierbij is gelet op het procentuele aandeel van bomen, die aan de kenmerken van een maritieme herkomst voldoen. Deze kenmerken zijn een fijne bastedilatatie en dunne takken in regelmatige kransen. Met betrekking tot het beheer kan gesteld worden dat de geselecteerde opstanden allemaal regelmatig en op vergelijkbare wijze gedund zijn.

Bij de keuze van de opstanden is aangenomen dat klimaatverschillen in Nederland van ondergeschikt belang zijn.

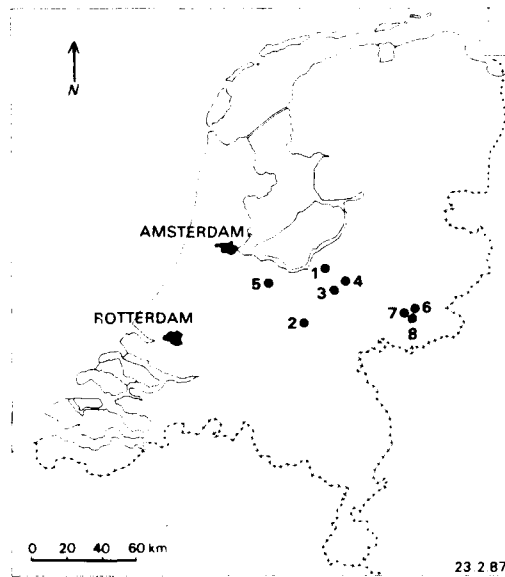
Versillen in expositie aan luchtverontreiniging tussen de opstanden onderling komen tot uitdrukking in de samenstelling van het bodemvocht. Derhalve is hier bij de selectie van de opstanden geen rekening mee gehouden.

Aantastingen door schadelijke organismen kunnen tot gelijksoortige ziektebeelden leiden als die van pathogene factoren. In de opzet van dit onderzoek is echter geen ruimte voor de beschrijving van biotische aantastingen. Om deze reden is vooraf, bij de selectie van de opstanden gecontroleerd of de slechte conditie van de opstanden te wijten was aan biotische aantastingen. Dergelijke opstanden zijn uitgesloten van het onderzoek.

Door de selectie van de onderzoekslocaties te relateren aan het bodemtype is het mogelijk de invloed van "statische" bodemeigenschappen bij het onderzoek te betrekken.

Op elk van de vier eerder genoemde bodemtypes zijn twee Douglas opstanden geselecteerd: een relatief vitale en een relatief niet vitale. Hierbij wordt met "relatief" bedoeld, dat de opstanden vitaal, dan wel niet vitaal zijn ten opzichte van andere Douglas opstanden binnen hetzelfde bodemtype. De beoordeling van de vitaliteit van de opstanden heeft plaatsgevonden aan de hand van de EEG-classificatie, zoals vastgesteld in 1983 te Genève door de werkgroep "Effects of air pollution on forests". Deze classificatie is gebaseerd op de eigenschappen "naaldverlies" en "geelverkleuring" (S.B.B., 1984). Bij de vaststelling van de relatieve vitaliteit van de opstanden was de verdeling van de bomen over verschillende vitaliteitsklassen maatgevend. Door de selectie van een relatief vitale en een relatief niet vitale opstand beslaat de steekproefpopulatie van Douglasbomen binnen elk bodemtype een brede range in vitaliteit.

De selectie van de opstanden heeft ten dele plaats gevonden aan de hand van de resultaten van het vitaliteitsonderzoek van Staatsbosbeheer in 1983. In figuur 3 is de ligging van de geselecteerde opstanden aangegeven. Voor een meer exacte plaatsaanduiding wordt verwezen naar de bijlage 1. Gegevens over de bodem- en bosbouwkundige kwaliteiten van de opstanden zijn opgenomen in de bijlagen 2 tot en met 4.



FIGUUR 3 De ligging van de geselecteerde opstanden

5.2.3. Selectie van bomen binnen de opstanden

Naast bodemkundige factoren zijn de volgende factoren van invloed op de vitaliteit van individuele bomen:

- tolerantie en concurrentiepositie van de bomen,
- verschillen in klimatologische factoren en luchtverontreiniging op microschaal.

Bosbouwkundig kunnen in een opstand verschillende "sociale klassen" onderscheiden worden: overheersende, heersende, medeheersende en onderdrukte bomen. Groei- en kroonkenmerken van overheersende en heersende bomen karakteriseren de kwaliteit van een groeiplaats het best. Is deze kwaliteit veranderd, dan komt dit bij (over)heersende bomen het best tot uitdrukking. Bij medeheersende en onderdrukte bomen speelt licht- en vochtconcurrentie samen met beheer een belangrijke, maar moeilijk kwantificeerbare rol bij de groei. Verschillen in tolerantie en concurrentiepositie van de individuele bomen zijn geminimaliseerd door alleen heersende bomen voor het onderzoek te selecteren.

Verschillen in microklimaat en expositie aan luchtverontreiniging zijn geminimaliseerd door de bomen die zich op een afstand kleiner dan 15 meter van de bosgrens bevinden buiten beschouwing te laten.

Binnen elk van de 8 geselecteerde opstanden zijn 25 heersende bomen geselecteerd. Selectie van de individuele bomen vond plaats volgens een volledig aselechte methode, door middel van loting met behulp van een lotingstabel. Hiertoe zijn alle heersende bomen in de opstanden genummerd. Na loting is de afstand tot de bosgrens bekeken. Indien deze kleiner was dan 15 m is een nieuwe boom geloot. Bij de aldus gekozen 200 bomen (8 opstanden * 25 bomen) worden monsters genomen voor de bepaling van de relatie tussen bodemvochtsamenstelling en vitaliteit. Uit deze verzameling bomen zijn vervolgens, wederom door middel van loting, per opstand 5 bomen gekozen. Bij deze 40 bomen wordt intensiever bemonsterd voor onderzoek naar ruimtelijke en temporele variaties in de bodemvochtsamenstelling, de relatie tussen bodemvochtsamenstelling en eigenschappen van de vaste fase, wortelvitaliteit, naaldvitaliteit en naaldsamenstelling. Bovendien wordt van deze bomen in de laatste fase van het onderzoek een groeireconstructie gemaakt.

Bij de selectie van de bomen is bewust niet gekozen voor een veel toegepaste praktische benaderingswijze, waarbij op gerichte wijze gelijke aantallen bomen van verschillende schadeklassen worden genomen (Ulrich e.a., 1984). Een dergelijke benaderingswijze is relatief snel, maar de resultaten mogen niet geëxtrapoleerd worden naar opstandsniveau. Ten aanzien van de gestratificeerde aselechte methode gelden dezelfde bezwaren als die genoemd zijn bij de bespreking van de selectie van de opstanden. Stratificatie op de y-variabele vereist een vitaliteitsanalyse van alle heersende bomen in de opstanden, terwijl bij stratificatie op de x-variabele de bodemvochtsamenstelling moet worden onderzocht, met de daarin optredende temporele variaties. De aanpak is in beide gevallen onhaalbaar.

5.3. BENODIGDE INFORMATIE

5.3.1. Bodemkundig onderzoek

De benodigde informatie heeft betrekking op (zie par. 5.1.):

- 1) de samenstelling van het bodemvocht en de ruimtelijke en temporele variaties hierin,
- 2) fysische en chemische kenmerken van de vaste fase,
- 3) groeiplaatsfactoren, zoals bewortelbaarheid, bodemvruchtbaarheid en vochtleverantie.

ad 1)

Inzicht in de ruimtelijke en temporele variaties in de bodemvochtsamenstelling is van belang om een uitspraak te kunnen doen over de representativiteit van de genomen monsters. Alleen wanneer dit inzicht bestaat kan aangegeven worden of gemeten verschillen in bodemvochtsamenstelling tussen verschillende opstanden en tussen verschillende bomen binnen een opstand significant zijn.

In het bodemvocht wordt het totaal gehalte van de volgende elementen bepaald: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Zn, Cu en P. Daarnaast wordt de pH en de concentratie ammonium, chloride, nitraat, fosfaat en sulfaat gemeten.

Aan de hand van de verkregen analysegegevens m.b.t. Al, de basische kationen, de anionen en de pH kan nagegaan worden of er sprake is van verzuringseffecten (aluminium en basen mobilisatie), eutrofieringseffecten (toegenomen beschikbaarheid van stikstof en zwavel) of relatieve tekorten in de voedingstoffenvoorziening (verschuiving van de nutriëntenverhoudingen).

Het gehalte Si is van belang om inzicht te verkrijgen in de aard van de bodemverwerking, en daarmee in de aard van de bufferingsprocessen.

De gehalten aan ijzer en chloride worden bepaald om een zo goed mogelijk kloppende ionenbalans te kunnen maken. Een eventueel anionen deficit wordt toegeschreven aan organische anionen. Aangenomen wordt dat deze het aanwezige aluminium complexeren.

Het verschil tussen het anionen deficit en het totaal gehalte aluminium geeft dan een indicatie van de hoeveelheid anorganisch aluminium in oplossing. Met name deze aluminium fractie heeft toxische effecten. Onderzoek in natuurgronden in Nederland wijst uit dat een dergelijke schatting van het gehalte anorganisch aluminium niet slecht is (Koppers, 1984).

Het zink gehalte wordt bepaald om na te gaan in hoeverre sprake is van toxische concentraties aan zware metalen. Omdat uit een vooronderzoek is gebleken dat de concentraties van andere zware metalen (lood, koper en cadmium) vrijwel altijd beneden de detectielimiet liggen, wordt hier verder geen aandacht aan besteed. Alleen koper is nog opgenomen in het meetprogramma, omdat hoge concentraties van dit element de meting van fosfor kunnen beïnvloeden.

Behalve de bodemvochtsamenstelling en de variaties hierin wordt ook het gewichtsvochtgehalte van de bemonsterde bodemlagen en de variaties hierin onderzocht. De bepaling van het vochtgehalte is van belang om uitspraken te kunnen doen over de variaties in de absolute hoeveelheden (concentratie x vol. vochtgehalte) van bovengenoemde elementen in de bodemoplossing. Hiertoe is tevens informatie nodig over de dichtheid van de bemonsterde bodemlagen.

ad 2)

Op verschillende dieptes worden eenmalig monsters genomen voor de bepaling van de volgende eigenschappen, resp. elementconcentraties van de vaste fase:

- * korrelgrootteverdeling,
- * humusgehalte,
- * dichtheid van de minerale fase en de strooisellaag,
- * CEC,
- * uitwisselbaar Ca, Mg, Na, K, Al en NH_4 ,
- * N-totaal, P-totaal en SO_4 -totaal,
- * Ca-, Mg-, K-, P-, N- en S-gehalten in de strooisellaag,
- * Zn-, Pb-, Cd- en Cu-gehalte in de strooisellaag.

Deze gegevens zijn van belang voor de bepaling van de vruchtbaarheid (N-, P- en SO_4 -totaal) en het vochtleverend vermogen van de bodem (korrelgrootteverdeling, humusgehalte). Daarnaast kan aan de hand van deze gegevens een eerste indruk verkregen worden van de verstoring van de elementsamenstelling als gevolg van atmosferische depositie. Men denke bij dit laatste aan de verdringing van de voedingselementen Ca, Mg en K, door Al en NH_4 aan het adsorptiecomplex. De dichtheid van strooisellaag en de gehalten van Ca, Mg, K, N en S hierin worden bepaald om inzicht te verkrijgen in de totale voorraad van deze voedingstoffen. In combinatie met gegevens over naaldval en naaldsamenstelling kan bovendien een uitspraak gedaan worden over de mineralisatiesnelheid. Het gehalte aan zware metalen in de strooisellaag wordt bepaald om eventuele effecten van hoge concentraties te kunnen onderkennen.

ad 3)

Ten aanzien van de "statische" bodemeigenschappen bewortelbaarheid, bodemvruchtbaarheid en vochtleverend vermogen heeft een beoordeling plaatsgevonden aan het begin van het onderzoek. Voor deze beoordeling is gebruik gemaakt van het WIB-C systeem (Haans, 1979). Hierbij wordt het gemiddelde vochtleverend vermogen geschat aan de hand van gegevens over de korrelgrootteverdeling, humusgehalte, en grondwatertrap. De bewortelbaarheid wordt in het veld bepaald aan de hand van de bewortelde diepte en structuurkenmerken. De beoordeling van de bodemvruchtbaarheid is in dit systeem gerelateerd aan vegetatiekenmerken. De resultaten van deze beoordeling zijn opgenomen in bijlage 2. Voor een toelichting op de gehanteerde begrippen wordt verwezen naar bijlage 5. Aan de hand van de in de vorige paragraaf (ad 2) genoemde gegevens kan in een later stadium van het onderzoek een meer specifieke uitspraak gedaan worden over de bodemvruchtbaarheid.

In samenwerking met de afdeling Bodemfysica van de Stiboka wordt de actuele vochtbeschikbaarheid en de vochtvoorziening in het verleden in de geselecteerde opstanden onderzocht. Hiervoor

wordt gebruik gemaakt van het simulatiemodel "MUST" (Model for Unsaturated flow above a Shallow water Table; de Laat, 1985). De werking van dit model berust op het bijhouden van een "vochtboekhouding" van het systeem. Meteorologische gegevens en gegevens over de grondwaterstand, bewortelingsdiepte en bodemfysische karakteristieken vormen de invoer van het model. De meteorologische gegevens (neerslag en verdamping) kunnen worden opgevraagd bij het K.N.M.I.. Voor een beschrijving van het grondwaterstandverloop zal gebruik gemaakt worden van gestandaardiseerde grondwatercurven, behorende bij de betreffende grondwatertrap. Indien bij de boswachterijen of bij andere instanties meetgegevens beschikbaar zijn zal hiervan gebruik gemaakt worden. De gemiddelde bewortelingsdiepte in de opstanden zal geschat worden aan de hand van opnames in het veld.

De relevante bodemfysische karakteristieken zijn de pF-curve en de verzadigde en onverzadigde waterdoorlatendheid. De bodemfysische karakteristieken van de gehele profielen worden samengesteld uit de karakteristieken van de afzonderlijke horizonten, waaruit de profielen zijn opgebouwd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gestandaardiseerde curven, die zijn samengesteld door combinatie van gegevens over korrelgrootteverdeling en humusgehalte (Stiboka, rapport 1932).

5.3.2. Vitaliteitsonderzoek

Voor het vitaliteitsonderzoek worden gegevens verzameld met betrekking tot (zie par. 5.1.):

- 1) vitaliteit van de wortels,
- 2) vitaliteit van de kroon,
- 3) groei in het verleden,
- 4) elementsamenstelling van de naalden.

ad 1)

Gegevens over de vitaliteit van wortels worden verzameld door regelmatig, tegelijk met de bemonstering voor de bepaling van de samenstelling van het bodemvocht, bodemmonsters te nemen, waarvan de daarin aanwezige wortels uitgeprepareerd worden. Deze monsters worden vlak naast en op dezelfde diepte genomen als de monsters voor het bodemvochtonderzoek.

Van de wortels worden de volgende parameters onderzocht:

- * verhouding biomassa/necromassa
- * lengte van de levende wortels,
- * aantal wortelpunten van de levende wortels,
- * mycorrhizabezetting op de levende wortelpunten.

De verhouding biomassa/necromassa is, bij een vaste afbraaksnelheid, een maat voor de snelheid waarmee nieuwe wortels worden aangemaakt en oude afsterven.

De lengte per eenheid bodemvolume is van belang voor de water- en nutriëntenopname. Dit geldt eveneens voor het aantal wortelpunten. Van de wortelpunten worden zowel de dode als de levende geteld, alsmede het begin en het einde van de wortels (zie hfst. 6.). Uit onderzoek naar de effecten van aluminiumionen op wortels van planten in een voedingsoplossing bleek, dat de biomassa van wortels geen geschikte parameter is (Rost-Siebert, 1985; van den Burg, 1984). Daarentegen reageren lengtegroei en vertakking (vorming van nieuwe wortelpunten) zeer gevoelig.

Van de levende wortelpunten wordt de bezetting met functionerende mycorrhiza bepaald. De mycorrhizafrequentie (verhouding gemycorrhizeerde wortelpunten : totaal aantal levende wortelpunten) is een maat voor de efficiëntie van opname van minerale voedingsstoffen (m.n. van fosfor). Wanneer verlaging van de mycorrhizafrequentie optreedt neemt de efficiëntie van de opname af, terwijl de gevoeligheid voor wortelpathogenen kan toenemen (Marx, 1972). Bij de bestudering van de mycorrhizafrequentie moet rekening gehouden worden met seizoensfluctuaties (Keyes and Grier, 1981; Harvey e.a., 1976).

ad 2

Gegevens over de vitaliteit van de bovengrondse delen van de bomen worden verzameld door kwalitatieve en kwantitatieve kenmerken op te nemen van:

- * vitaliteit
- * naaldmassa

Kwalitatieve beoordeling van de vitaliteit van boomkronen vindt plaats in de vegetatierust, aan de hand van door Staatsbosbeheer gehanteerde beoordelingscriteria (S.B.B., 1985). Hierbij wordt met name gelet op naaldverlies en naaldverkleuring. Op grond van deze kenmerken worden de bomen in een schadeklasse ingedeeld. Deze indeling volgt de EEG-classificatie, zoals vastgesteld in 1983 te Genève door de werkgroep "Effects of air pollution on forests". Om een indruk te geven van verschillen in vitaliteit tussen de 8 opstanden zijn in bijlage 4 de gemiddelde schadeklassen aangegeven. De gegeven waarden zijn de gemiddelden van de schadeklassen, die in februari 1987 aan alle bomen in de opstanden zijn toegekend.

Voor een meer gedetailleerde beoordeling van de vitaliteit van de kroon worden takken geplukt. Van deze takken worden de volgende kenmerken beoordeeld: naaldverlies, naaldkleur, kleur van de naaldpunten, het voorkomen van pathogenen en parasieten.

Bij de beoordeling van de vitaliteit van bomen speelt het naaldverlies een belangrijke rol. Dit kenmerk is echter zowel relatief, als subjectief. Relatief, omdat het geschatte procentuele verlies betrekking heeft op een potentieel totaal aantal naalden, dat per individu kan verschillen. Subjectief, omdat schattingen van naaldverlies aan staande bomen per waarnemer verschillen en beïnvloed worden door toevallige omgevingsfactoren. Het meten van de naaldmassa of het naaldoppervlak geniet daarom de voorkeur. Het blijkt mogelijk te zijn allometrische functies op te stellen, die het verband aangeven tussen de naaldmassa van de gehele boom en eenvoudig te bepalen parameters, zoals de diameter van de stam

op borsthoogte (1.30 m), het oppervlakte spinthout op borsthoogte en de diameter van de stam onder de levende kroon (Grier and Waring, 1974; Granier, 1981; Kay, 1978). De naaldmassa van een tak is met de diameter van de tak, gemeten naast de stamaanzet, gecorreleerd (Granier, 1981; Kay, 1978).

ad 3)

Naast alle eerder genoemde parameters kan groei ook beschouwd worden als een vitaliteitsparameter. De hoogtegroeï van heersende bomen is een indicator voor de kwaliteit van een groeiplaats. De diktegroeï is een indicator voor de productiviteit van de naaldmassa. Daar diktegroeï van een individuele boom mede afhankelijk is van zijn positie ten opzichte van andere bomen, en daarmee van zijn groeiruimtekenmerken, is het van belang bij de voorspelling en reconstructie van de diktegroeï andere bomen mee in beschouwing te nemen (Faber, 1983; Faber, 1985). Tevens is de groeiruimte van belang vanwege de mogelijke samenhang ervan met enkele andere vitaliteitskenmerken.

ad 4)

Om de bodemvochtgegevens enerzijds en de vitaliteitskenmerken anderzijds met elkaar in verband te kunnen brengen, worden chemische naaldanalyses uitgevoerd. Aan de hand van naaldanalyses kan een uitspraak gedaan worden over de voedings-toestand van een bos (van den Burg, 1986). Bovendien kan de chemische samenstelling van de naalden op zich ook als vitaliteitskenmerk worden beschouwd. Tenslotte kan de naaldsamenstelling ook een indicatie geven van de expositie aan accumuleerbare luchtverontreinigingen.

De naalden worden geanalyseerd op het gehalte aan de hoofdv voedings-elementen N, P, K, Mg, Ca, S, en de sporenelementen Fe, Mn en Zn. Vanwege de toxische werking van Al en vanwege de invloed van Al op de Ca- en Mg-voorziening wordt ook het gehalte van dit element bepaald. Omdat de voedingstoestand van een boom behalve van de hoeveelheid ook van de vorm waarin elementen beschikbaar zijn afhankelijk is, worden ook het nitraat- en sulfaatgehalte bepaald.

5.3.3. Depositie onderzoek

In samenwerking met het laboratorium voor aquatische oecologie van de Katholieke Universiteit te Nijmegen wordt de samenstelling van het doorvalwater in de geselecteerde opstanden onderzocht. Bovendien wordt de samenstelling van regenwater, dat in de directe omgeving van de opstanden in het open veld wordt opgevangen, bepaald. In het doorval- en regenwater wordt de pH en de concentratie Ca, Mg, K, Na, NH_4 , NO_3 en SO_4 gemeten. De gemeten concentraties geven de som van de droge en natte atmosferische depositie weer. Het verschil tussen de samenstelling van het regenwater en die van het doorvalwater weerspiegelt het effect van de interactie van de neerslag met het kronendak. Het doel van het depositie onderzoek is drieledig:

- het vaststellen van (cor)relaties tussen bodemvochtsamenstelling en de samenstelling van het doorvalwater,
- het vaststellen van (cor)relaties tussen de naaldsamenstelling en de samenstelling van het regenwater, resp. het doorvalwater,
- het vaststellen van (cor)relaties tussen de vitaliteit en de samenstelling van het regenwater, resp. het doorvalwater

Hiermee kan inzicht verkregen worden in de mate waarin de bodemvochtsamenstelling beïnvloed wordt door atmosferische depositie en wellicht in het relatieve belang van het optreden van indirecte effecten in de totale som van indirecte en directe effecten van atmosferische depositie.

5.4. HET BEMONSTERINGSPLAN

Bij het onderzoek moet rekening gehouden worden met variaties in het horizontale vlak, het vertikale vlak, en de tijd. Bij de bestudering van de relatie tussen bodemeigenschappen en vitaliteit zijn met name de verschillen binnen het bewortelingsgebied van belang. Immers, de invloed van bodemeigenschappen op

de conditie van een plant verloopt via de organen die het contact tussen bodem en plant verzorgen. De vraag is nu hoever het bewortelingsgebied van de bomen zich uitstrekt en of er sprake is van overlap met het bewortelingsgebied van andere bomen. Literatuuronderzoek wijst uit dat het bewortelingsgebied van Douglasbomen ongeveer samenvalt met de kroonprojectie op het bodemoppervlak (Smith, 1964; Hengst, 1958; Koestler e.a., 1968; McMinn, 1963). Dit betekent dat voor het vaststellen van de relatie tussen bodemschappen en wortelvitaliteit bemonstering moet plaatsvinden op verschillende plaatsen rondom de boom, binnen de kroonprojectie. Verwacht wordt dat de variatie in profielopbouw binnen de kroonprojecties niet groot is. Dit betekent dat verschillen in de parameters "vochtgehalte" en "samenstelling van het bodemvocht", die het meest bepalend voor de conditie van de boom geacht worden, voornamelijk bepaald worden door verschillen in droge en natte depositie en vochtopname. Door telkens op dezelfde relatieve afstand van de stam te bemonsteren wordt "ruis" in de meetwaarden, als gevolg van ruimtelijke variatie, geminimaliseerd. Om deze reden zal bemonstering altijd plaatsvinden op ongeveer $\frac{2}{3}$ van de afstand van de stam tot de rand van de kroonprojectie op het bodemoppervlak, gemeten vanaf de stam.

De variatie in bodemeigenschappen in het verticale vlak is direct gerelateerd aan het voorkomen van verschillende bodemhorizonten. Bemonstering per horizont is daarom de meest voor de hand liggende methode. Uit een vooronderzoek is echter gebleken dat de bodemprofielen veelal ernstig verstoord zijn, zodat geen horizonten meer onderscheiden kunnen worden. Om deze reden is besloten altijd op vaste dieptes te bemonsteren, ook daar waar wel horizonten te onderscheiden zijn, zodat vergelijking van het verloop van de concentraties met de diepte tussen de verschillende opstanden mogelijk is.

De temporele variatie in bodemeigenschappen wordt bepaald door meteorologische omstandigheden, mineralisatiesnelheid en productiviteit van het gewas. Deze variatie komt tot uitdrukking in het

vochtgehalte en de samenstelling van het bodemvocht. Aangezien met name van deze parameters verondersteld wordt dat zij van grote invloed zijn op de conditie van de boom, is het volgen van de temporele variaties hierin van groot belang.

Bij de bestudering van de wortelvitaliteit moet eveneens rekening gehouden worden met een grote seizoensvariatie.

Gezien de analysecapaciteit is het niet mogelijk bij elke boom de variatie in ruimte en tijd intensief te bestuderen. Uitgaande van het maximaal aantal mogelijke analyses zijn voor het bodemvochtonderzoek en het wortelvitaliteitsonderzoek bemonsterings-schema's opgesteld. Omdat analyse van wortelvitaliteit veel bewerkelijker is dan bodemvochtanalyse kunnen per jaar minder wortelmonsters onderzocht worden dan bodemvochtmonsters.

Besloten is dat voor het bodemvochtonderzoek 4 keer per jaar (elk seizoen), bij 5 aselekt geselecteerde bomen per opstand, op 4 dieptes monsters genomen worden. Ten behoeve van het wortelvitaliteitsonderzoek worden op dezelfde locaties 2 keer per jaar monsters genomen, te weten vlak voor en vlak na de vegetatierust. Het aantal monsters per jaar is zodoende:

	opstanden	*	bomen	*	aantal keer per jaar	*	dieptes	
B:	8	*	5	*	4	*	4	= 640
W:	8	*	5	*	2	*	4	= 320

B = bodemvochtonderzoek,

W = wortelvitaliteitsonderzoek

Op dezelfde locaties en op dezelfde dieptes zal ook eenmalig bemonstering plaatsvinden voor de bepaling van de samenstelling van de vaste fase. Aan het begin en aan het eind van het onderzoek worden van deze 40 bomen takken geplukt voor de beschrijving van de vitaliteit en de bepaling van de naaldsamenstelling. Na afloop van het bemonsteringsprogramma worden deze bomen geveld voor een uitgebreide beschrijving van de boomvormologie en voor reconstructie van de diktegroei door middel van jaarringonderzoek.

Om beter inzicht te verkrijgen in de variabiliteit in de bodemvochtsamenstelling zullen aanvullende monsters genomen worden. Hierbij wordt gedacht aan een eenmalige intensieve bemonstering in twee opstanden, die sterk verschillen in bodemvochtsamenstelling. Hierbij zal zowel de variatie op micro-schaal (binnen de kroonprojectie van individuele bomen) als op meso-schaal (binnen de opstanden) onderzocht worden.

Voor de bepaling van de relatie tussen bodemvochtsamenstelling en boomvitaliteit worden eenmalig bodemvochtmonsters genomen bij alle voor het onderzoek geselecteerde bomen (25 per opstand). De wijze van bemonstering (aantal steken waaruit een mengmonster moet bestaan, aantal te bemonsteren dieptes, tijdstip van bemonstering) wordt bepaald aan de hand van de resultaten van het hiervoor beschreven bemonsteringsprogramma, om zodoende een zo goed mogelijke karakterisering van de bodemvochtsamenstelling te verkrijgen. De vitaliteit van al deze bomen wordt bepaald door middel van de kwalitatieve vitaliteitsbeoordeling (zie par. 5.3.2 en 6.5). Bovendien wordt van deze bomen de groeiruimte, de hoogte en dikte en de naaldmassa bepaald (zie par 5.3.2 en 6.6).

Bemonstering voor de bepaling van de samenstelling van regen- en doorvalwater vindt in alle opstanden, bij één boom plaats. Om een uitspraak te kunnen doen over de representativiteit van deze metingen voor hele opstanden, worden in twee opstanden ook bij de overige 4 bomen monsters verzameld. Ter vergelijking van de samenstelling van het doorvalwater met de samenstelling van regenwater zijn tevens in open veld, in de nabijheid van alle opstanden regenvangers geplaatst.

Het bemonsteringsprogramma is in het voorjaar van 1986 van start gegaan en zal lopen tot het voorjaar van 1988. De bemonstering voor het depositieonderzoek is in de eerste helft van 1987 van start gegaan.

6. VELD- EN ANALYSEMETHODEN

6.1. BEMONSTERING

Zowel voor het bodemvocht-, als voor het wortelonderzoek bij de 40 voor intensief onderzoek geselecteerde bomen worden bodemonsters genomen met behulp van een wortelboor (Schuurman en Goedewagen, 1971; nr. 05.01, Eijkelkamp B.V.). Met een dergelijke boor kunnen ongestoorde bodemonsters genomen worden. De vertanding aan de onderzijde van de boor zorgt voor het afsnijden van de grond en de wortels, waardoor monsters met een gelijk oppervlak en volume worden verkregen. De boorkop is 15 cm lang en heeft een binnendiameter van 8 cm.

Voor de bemonstering wordt de strooisellaag van een deel van het bodemoppervlak verwijderd. Vervolgens worden ten behoeve van het bodemvochtonderzoek vlak naast elkaar twee boringen tot 60 cm-mv gezet, waaruit 4 monsters worden genomen. De dikte van de monsters komt overeen met de lengte van de boorkop; de bemonsteringsdieptes zijn zodoende 0-15, 15-30, 30-45 en 45-60 cm -mv.

De monsters uit de twee boringen worden per laag gemengd. De afstand van de boringen tot de boom en de hoek tussen de lijnen stam-boorpunt en stam-noorden wordt genoteerd. Hiermee is de ligging van het monsterpunt exact beschreven.

Ten behoeve van het wortel vitaliteitsonderzoek worden twee keer per jaar, tegelijk met de bodemvochtbemonstering, monsters genomen. Hiertoe wordt vlak naast de twee boringen een derde gezet, waarvan eveneens 4 monsters genomen worden.

Voor de bepaling van enkele fysische en chemische eigenschappen van de vaste fase worden mengmonsters genomen. Hiertoe worden rond elk van de 40 bomen, binnen de kroonprojectie, met behulp van een gutsboor, 20 boringen gezet. Bemonstering vindt plaats op dezelfde dieptes als voor het bodemvocht- en wortelonderzoek.

Ten behoeve van de bepaling van het gehalte aan N, S, P en zware metalen in de strooisellaag worden eveneens bij de 40 bomen mengmonsters genomen. Deze bestaan uit 5 tot 10 steken, afhankelijk van de dikte van de strooisellaag. Bemonstering vindt plaats met de hand, waarbij voorzichtig de gehele strooisellaag tot op de minerale ondergrond verwijderd wordt.

Voor de gedetailleerde vitaliteitsbeoordeling en de bepaling van de elementsamenstelling van de naalden worden takmonsters genomen van de 5 geselecteerde bomen, uit de vijfde tot en met de achste takkrans gerekend vanaf de top.

Voor het opstellen van de regressies voor het schatten van de naaldmassa worden takken geplukt en 2 stamschijven genomen. De stamschijf van 1.30 m wordt tevens gebruikt om de diktegroei van de bomen te reconstrueren.

Ten behoeve van het depositie onderzoek zijn in 6 opstanden bij één boom, en in 2 opstanden bij 5 bomen regenvangers geplaatst. Bij elke boom staan twee regenvangers. Daarnaast zijn in de nabijheid van de geselecteerde opstanden, regenvangers geplaatst voor de bepaling van de samenstelling van de neerslag in het open veld. De regenvangers bestaan uit polyethyleen flessen (inhoud 2 l), waarop plastic trechters geplaatst zijn. In de trechters bevindt zich een zeefje, ter voorkoming van contaminatie met naalden en ander grof organisch materiaal. De flessen plus trechters zijn geplaatst in een PVC pijp van 40 cm lang, die voor de helft ingegraven is. Om biologische en mineralogische omzettingen in het opgevangen regen- en doorvalwater te voorkomen wordt in de regenvanger 2 ml kwikchloride (200 mg/l) gedaan en wordt gebruik gemaakt van donkere flessen.

Het opgevangen regenwater wordt elke vier weken bemonsterd. Hierbij wordt per fles de opgevangen hoeveelheid water in ml genoteerd, waarvoor gebruik gemaakt wordt van maatcilinders. Het water uit de twee flessen per boom wordt vervolgens gemengd. Van dit mengmonster wordt 100 ml overgeschonken in een polyethyleen flesje. De rest wordt weggegooid. Van de open veld regenvangers

wordt eveneens 100 ml voor analyse meegenomen naar het laboratorium. Hier wordt zo snel mogelijk de pH gemeten, waarna de monsters ingevroren worden.

6.2. BODEMVOCHTANALYSE

Van de bodemonsters wordt bodemvocht onttrokken door middel van centrifugeren (7500 toeren per minuut). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van centrifugebuizen van polyoxymethyleen (deldrin), die ca. 400 gram veldvochtige grond kunnen bevatten. Om contaminatie met organische stof en lutumdeeltjes tegen te gaan bevindt zich tussen het bodemonster en het opvangreservoir in de centrifugebuis een papierfilter (Schleicher und Schull, blauwband).

Na het centrifugeren wordt het onttrokken bodemvocht door een teflonfilter (poriëndiameter 0,45 µm) gezogen, om de aller kleinste lutumdeeltjes en colloïdale stoffen te verwijderen.

Voor de bepaling van de samenstelling van het bodemvocht wordt gebruik gemaakt van de volgende technieken:

- * High Performance Liquid Chromatography
(H.P.L.C., merk: Kratos), voor de bepaling van het gehalte aan nitraat, sulfaat en chloride.
- * Inductively Coupled Plasma
(I.C.P. plasma 100, merk: Instrumentation Laboratory) voor de bepaling van het gehalte aan Si, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb, Cu.
- * Spectrophotometer
(PYE PU 8600 UV/VIS, merk: Philips) voor de bepaling van het ammoniumgehalte. Hierbij wordt voor de kleurings de salicylaatmethode (NEN 3235-6.1.1) gebruikt.
- * Atoom Absorptie Spectrometer
(AAS, type: VARION TECHTRON) voor de bepaling van het natrium- en kaliumgehalte.

6.3. ANALYSE MINERALE BODEM EN STROOISELLAAG

Voor de bepaling van de in hoofdstuk 5.3.1 (ad 2) genoemde fysische en chemische eigenschappen van de vaste fase worden de bodemonsters aan de lucht gedroogd en gezeefd over een zeef van 2 mm. De monsters van de strooisellaag worden gedurende een etmaal gedroogd bij 105°C en vervolgens gemalen in een Retsch agaten kogelmolen.

De bepaling van de korrelgrootteverdeling, het humusgehalte en het totaal N-, P- en SO_4 -gehalte in de minerale fase wordt verricht door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek. De overige analyses worden verricht in het chemisch laboratorium van de STIBOKA.

korrelgrootteanalyse

Het procentuele aandeel van de zandfracties 50-105, 105-150, 150-210, 210-300 en 300-2000 μm wordt bepaald door middel van zeven. Het gehalte aan afslibbare delen (0-2 μm en 2-16 μm) wordt bepaald door middel van bezinkingsanalyse in waterig milieu, na oxydatie met waterstofperoxyde om het humus te verwijderen, en oplossing van koolzure kalk, kittende bestanddelen en electrolyten in zoutzuur.

humusgehalte

Het humusgehalte wordt bepaald volgens de gloeiverliesmethode. Hierbij wordt een hoeveelheid luchtdroge grond gedurende 2 uur gegloeid bij 600°C, waarbij het organische materiaal verbrand. Het humusgehalte wordt berekend uit het gewichtsverlies na gloeien minus het gewichtsverlies na droging bij 105°C. Omdat aangenomen wordt dat klei 6% adsorptief gebonden water bevat, dat bij 600°C verdwijnt, is een correctiefactor van $0.06 \cdot \% \text{ klei}$ ($< 16 \mu\text{m}$) in de berekening opgenomen.

dichtheid van de minerale fase en de strooisellaag

De dichtheid van de minerale fase in 8 opstanden wordt bepaald aan de hand van bestaande klasseindelingen op basis van lutum- en organische stofgehalte (Krabbenborg e.a., 1983; Wösten e.a.,

1987). De aldus verkregen waarden worden getoetst aan enkele gemeten waarden. Hiervoor wordt in elke opstand tenminste één profiel bemonsterd met behulp van de wortelboor. Dit levert volumevaste monsters op van de lagen van 0-15, 15-30, 30-45 en 45-60 cm -mv. Indien het verschil tussen de geschatte en de berekende waarden groot is worden aanvullende metingen gedaan. Bepaling van de dichtheid van de strooisellaag is veel moeilijker, door de grote variatie in de dikte en daarmee samenhangend, de grote variatie in de opbouw. Voor de keuze van een praktische en betrouwbare meetmethode wordt een vooronderzoek gedaan.

CEC en uitwisselbare kationen

De CEC wordt bepaald volgens de zilverthioureummethode (AgTU), zoals beschreven door Chhabra e.a. (1975). Hierbij wordt een hoeveelheid luchtdroge grond gedurende 4 uur geschud met een oplossing van 0.01 M AgTU. Gezien de grote affiniteit van zilver voor de negatief geladen bodemdeeltjes wordt aangenomen dat alle kationen verdreven worden van het adsorptiecomplex. Het verschil tussen de zilverconcentratie in de blanco en die in de schudextracten geeft dan de adsorptiecapaciteit van het monster. Behalve de zilverconcentratie wordt in het schudextract de concentratie van Ca, Mg, K, Na, Al, Fe en Mn gemeten. Het aandeel van H aan het complex wordt bepaald uit het verschil tussen de gemeten CEC en de som van de uitwisselbare kationen. Met uitzondering van het Na- en K-gehalte worden de metingen verricht met I.C.P.. Na en K worden gemeten met A.A.S..

N-, P- en SO₄-totaal

Voor de bepaling van het totaal N-gehalte wordt een hoeveelheid luchtdroge grond geextraheerd met fenol-zwavelzuur. Na toevoeging van seleenkatalysator en geconcentreerd zwavelzuur wordt gedestruëerd tot alle stikstofverbindingen zijn overgegaan. Vervolgens wordt natronloog toegevoegd, waarna ammoniak wordt overgedestilleerd en opgevangen in boorzuur. Deze oplossing wordt met zwavelzuur getitreerd.

Het totaal P-gehalte wordt bepaald door destructie met Fleischmannzuur. In een deel van het destruaat wordt het fosfaat, na blauwkleuring volgens Murphy en Riley, colorimetrisch bepaald. Het SO_4 -gehalte wordt bepaald door luchtdroge grond te koken met geconcentreerd zoutzuur. Aan het extract wordt bariumchloride toegevoegd, waardoor een grof neerslag ontstaat. De hoeveelheid neerslag wordt nevelometrisch gemeten, hetgeen een maat is voor het SO_4 -gehalte.

Ca-, Mg-, K-, Cu, en Zn-gehalte in de strooisellaag

Voor de bepaling van het gehalte aan bovengenoemde elementen wordt het strooisel gedestruëerd met Fleischmannzuur. De concentraties in het destruaat worden gemeten met I.C.P..

Cd- en Pb-gehalte in de strooisellaag

Het gehalte aan Cd en Pb wordt bepaald in een zoutzuurextract. Hiertoe worden de monsters gedurende 3 uur gekookt in een oplossing van 9% zoutzuur. In het afgefiltreerde extract worden de metingen gedaan met I.C.P..

N- en S-gehalte in de strooisellaag

Het totaal gehalte van N in de strooisellaag wordt bepaald door middel van destructie met een mengsel van zwavelzuur en waterstofperoxyde. Door toevoeging van salicylaat wordt het grootste gedeelte van het aanwezige nitraat omgezet in ammonium. Na toevoeging van natronloog wordt ammoniak overgedestilleerd en opgevangen in boorzuur. Deze oplossing wordt met zwavelzuur getitreerd.

Voor de meting van het totaal S-gehalte wordt het strooisel gedestruëerd met een mengsel van perchloorzuur en waterstofperoxyde. Het sulfaat in het destruaat wordt nevelometrisch bepaald. Hiertoe wordt BaCl_2 toegevoegd, zodat een suspensie van BaSO_4 ontstaat.

6.4. WORTELANALYSE

Na bemonstering worden de monsters ingevroren (-18 C). Voor de analyse worden de monsters twee uur van te voren uit de diepvries gehaald, zodat ze kunnen ontdooien. De ontdooide monsters worden gezeefd m.b.v. een zeefmachine (Octagon 200). Deze bevat vijf zeven met verschillende maaswijdte, te weten 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 en 8.0 mm. De bodemonsters worden in de zeef met de grootste maaswijdte gedaan, waarna er gedurende 5 minuten nat gezeefd wordt met de hoogste schudfrequentie. Dit heeft tot gevolg dat de wortels op de zeven met maaswijdte 8.0 en 4.0 mm blijven liggen terwijl de grond doorzakt naar de onderste drie zeven. Van de totale wortelmassa worden alleen de wortels met een doorsnede kleiner dan of gelijk aan 2 mm onderzocht. De grens van 2 mm is gekozen, omdat deze bij wortelonderzoek in het algemeen veel gehanteerd wordt. Vergelijking met literatuurgegevens is zodoende mogelijk.

Met behulp van een draad met een doorsnede van 2 mm worden alle wortels met een doorsnede kleiner dan of gelijk aan 2 mm gescheiden van de dikkere wortels en overig materiaal. Vervolgens worden de wortels onderverdeeld in twee groepen: dode en levende wortels. Het onderscheiden van dode en levende wortels is een uiterst moeilijke aangelegenheid. Voor deze scheiding bestaan een aantal criteria (Persson, 1978; Persson, 1985; Keyes and Grier, 1981; Harvey, 1976; Liss e.a., 1984). Omdat alle auteurs met verschillende boomsoorten werken zijn de verschillende criteria niet algemeen toepasbaar. Geheel dode wortels zijn relatief eenvoudig te scheiden van geheel levende wortels. De overgang van dood naar levend verloopt echter geleidelijk. Sommige wortels bevatten bijvoorbeeld een levende stele, maar hebben een dode cortex. Deze wortel moet dan ingedeeld worden bij de groep "levend". Uitsluitend een visuele beoordeling van het uiterlijk van de wortels is dus misleidend. Ervaring in het sorteren van wortels leert dat het vastpakken van wortels en voorzichtig trekken aan de cortex voldoende informatie oplevert over de conditie van de stele. Het onderscheiden van wortels in "dood" en "levend" is

zodoende een heel precieze en uiterst tijdrovende bezigheid. In het algemeen kan gesteld worden dat levende wortels stevig en elastisch zijn en dat dode wortels bros zijn (Persson, 1980; Keyes and Grier, 1981).

Bij dit onderzoek is gekozen voor onderscheid naar de conditie van de lange wortels (eng. long roots). Technisch gezien is het mogelijk dode korte wortels (eng. short roots) los te snijden van levende lange wortels, maar dit kost zoveel tijd dat hier van af is gezien.

De dode wortels worden gedurende 12 uur bij 105°C gedroogd, waarna de massa bepaald wordt. Van de levende wortels wordt het totaal aantal levende wortelpunten en het aantal gemycorrhizeerde levende wortelpunten geteld. Vervolgens wordt de levende wortelmassa gefotografeerd. Na het fotograferen worden de wortels gedurende 12 uur bij 105°C gedroogd, waarna de massa bepaald wordt.

De foto's worden gebruikt om met behulp van een beeldanalyse-apparaat (Quantimet 920) de oppervlakte en de omtrek van de totale levende wortelmassa te bepalen. Bovendien wordt hiermee het totale aantal (dode + levende) wortelpunten (en wortel-einden) geteld. Met de volgende formule kan de lengte van de wortels berekend worden (Jenkinson, 1982):

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 \cdot A}}{4}$$

waarin: L = lengte,
P = omtrek,
A = oppervlakte.

6.5. VITALITEITSBEOORDELING EN NAALDANALYSE

Voor de beoordeling van de vitaliteit worden in het veld de volgende kenmerken van de bovengrondse boomdelen ieder halfjaar opgenomen:

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| * sleep-/schilshade, | * afgestorven takken, |
| * harsuitvloeï, | * verlies groeimodel, |
| * schimmelaantasting, | * ijlheid van de kroon, |
| * bastkevers, | * necrose (naaldverkleuring) |
| * insectenaantasting, | * naaldverlies. |
| * noodscheuten/waterlot, | |

Op grond van deze kenmerken worden de bomen in een schadeklasse ingedeeld.

De vier geplukte takken per boom worden opgeslagen in een donkere koelcel bij 5 graden Celcius. Aan de takken worden de volgende kenmerken beoordeeld:

- herkomst van de tak. Door tellen van het aantal jaarscheuten kan worden nagegaan van welke takkrans een tak afkomstig is, teneinde een mogelijk effect van een lagere bemonstering dan de voorgeschrevene te kunnen onderkennen.
- naaldbezetting. Iedere afgevallen naald laat een leeg naaldkussen achter. Per tak en per naaldjaargang wordt het percentage volle naaldkussens van het totale aantal naaldkussens geschat. Binnen naaldjaargangen wordt geen onderscheid gemaakt tussen topofysisch verschillende plaatsen.
- naaldkleur. Per tak en per naaldjaargang worden de kleuren van de naalden beschreven en het aandeel van de naalden per kleur geschat. Er worden de volgende kleuren onderscheiden: donkergroen, groen, lichtgroen, geelgroen, vuilgroen, geel en bruin.

- verkleuring van de naaldpunten. Per tak en per naaldjaargang worden de verkleuringen van de naaldpunten beschreven en het aandeel naaldpunten per kleur. Er worden de volgende mogelijkheden onderscheiden: geen verkleuring, geel, bruin.
- de takken worden gecontroleerd op het voorkomen van biotische aantastingen (schimmelziekten en insecten).

Nadat de takken beschreven zijn worden de twijgen opgeknipt in de verschillende jaargangen. Er wordt een mengmonster van de vier takken per boom gemaakt, terwijl de jaargangen apart bemonsterd worden. Deze monsters worden gedurende 24 uur gedroogd bij 70°C, vervolgens ontdaan van houtige delen en knoppen, en daarna gemalen. De analyses worden uitbesteed aan het laboratorium te Oosterbeek.

6.6. GROEIMETING EN GROEIRUIMTEBEPALING

Van de in het onderzoek betrokken bomen wordt de hoogte gemeten en van alle bomen in de proefperken wordt de diameter op 1.30 m hoogte gemeten.

Voor het bepalen van groeiruumtekenmerken van individuele bomen worden hun onderlinge rangschikking en hun afmetingen in beschouwing genomen. De verdeling van de beschikbare ruimte over de bomen geschiedt op grond van de concurrentiedruk, die de bomen op elkaar uitoefenen. Hiertoe wordt de opstand verdeeld in kleine oppervlakteenheden (een grid met een maaswijdte van 1 dm), waarna voor elk gridelement de invloedsfactor Q_i van alle bomen in de directe omgeving berekend wordt volgens:

$$Q_i = \frac{V_i^{1/2}}{A_{ij}^2}$$

waarin: Q_i = invloedsfactor van boom i voor gridelement j
 V_i = volume van boom i
 A_{ij} = afstand gridelement j - boom i

Een gridelement wordt aan die boom toegeschreven, waarvan Q de grootste waarde heeft (Faber, 1983).

De volgende groeiruumtekenmerken kunnen worden gedefinieerd:

- het oppervlak (m^2),
- de gemiddelde concurrentie- of competitiedruk in de grenszone (dm^3/m^2),
- de mate van excentriciteit (Z), een dimensieloos getal, dat iets zegt over de situering van een boom in zijn groeiruumte.

Van alle bomen in de proefperken worden de coördinaten ingemeten voor het groeiruumte onderzoek. Hierdoor is het tevens mogelijk eventuele ruimtelijke patronen in vitaliteitsverschillen binnen de opstanden vast te stellen. Teneinde een regressie van de hoogte op de diameter te kunnen opstellen wordt ook de hoogte gemeten van de tien dikste en de tien dunste bomen per proefperk. De hoogte van de overige bomen wordt met behulp van deze diameter-hoogte regressie geschat.

De poolcoördinaten van alle bomen in het proefperk worden vanuit een willekeurig punt gemeten. De richting wordt met een theodoliet opgenomen, de afstand met een meetband. De poolcoördinaten worden later omgerekend naar X en Y-coördinaten.

6.7. NAALDMASSABEPALING EN GROEIRECONSTRUCTIE

Aan het eind van de veldstudie worden de vijf geselecteerde bomen, waaraan intensief onderzoek heeft plaatsgevonden, geveld. Van elke boom worden positie (hoogte vanaf het bodemoppervlak) en diameter van de takken opgenomen. Van iedere derde takkrans wordt een tak meegenomen voor nader onderzoek. Van deze takken wordt het loof opgedeeld naar jaargang, gedroogd, gescheiden van houtige delen en gewogen. Bovendien worden stamschijven genomen op 1.30 m hoogte en onder de laagste levende tak. Hiervan wordt het oppervlak spinthout bepaald. De stamschijven worden tevens gebruikt om de diktegroei van de bomen door middel van jaarringonderzoek te reconstrueren.

7. CONTACTEN

Voor het onderzoek worden contacten onderhouden met medewerkers van de volgende instituten:

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren

- wortelstudiegroep:
dr. A. de Jager

Katholieke Universiteit, Nijmegen

- laboratorium voor aquatische oecologie:
drs. H.F.G. van Dijk, drs. A.L.F.M. Houdijk.

Landbouw Universiteit, Wageningen

- vakgroep bodemkunde en geologie:
prof. dr. ir. N. van Breemen, ir. J.J.M. van Grinsven,
ir. J. Mulder, drs. H. Smeets.
- vakgroep bosbouw, afdeling boscologie:
ir. A. Olsthoorn, ir. B. van Baren.
- vakgroep fytopathologie:
dr. ir. A.E. Janssen

N.V. KEMA, Arnhem

- afdeling milieu:
ir. H. Visser

R.I.O.B.L. "De Dorschkamp", Wageningen

- afdeling bodemkunde en fysiologie:
ir. J. van den Burg, Dr. P. Evers
- afdeling modellenbouw en statistiek:
ir. B. Keen
- afdeling bosteelt:
ing. E. Dik, ir. P. Faber

Rijksuniversiteit Leiden

- Rijksherbarium:
dr. P. Baas, Drs. J. de Kort

Rijksuniversiteit Utrecht

- vakgroep Fysische Geografie:
drs. W. Ivens, drs. W. Bleuten

Staatsbosbeheer, Utrecht

- afdeling bosontwikkeling:
ir. P. van den Tweel

STIBOKA, Wageningen

- afdeling bodemfysica:
dr. ir. J.M.H. Hendrixcks, drs. J.H.M. Wosten,
M.H. Bannink, L.W. Dekker
- afdeling landgebruik:
ir. K.R. van Lynden, K. Hendriks
- afdeling toegepaste informatika en statistiek:
dr. J.J. de Gruyter

8. LITERATUUR

- Abrahamsen, G., 1980: Acid precipitation, plant nutrients and forest growth. In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. of an Int. Conf., Norway. SNSF project.
- Breemen, N. van, P.A. Burrough, E.J. Veldhorst, H.F. Dobben, Toke de Wit, T.B. Ridder and H.F.R. Reijnders, 1982: Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. Nature, vol. 299, no. 5883: 548-550.
- Burg, J., van den, 1984: Aluminiumgehalten van een aantal boomsoorten - een samenvatting van enige literatuurgegevens. Rapport nr. 386, R.I.O.B.L. "De Dorschkamp", Wageningen.
- Burg, J. van den, 1986: Groeiplateitseisen van de Douglas. Nederlands Bosbouwkundig Tijdschrift, jaargang 58, nr. 11/12
- Chhabra, R., J. Pleysier and A. Cremers, 1975: The measurement of the cation exchange capacity and exchangeable cations in soils: a new method. Proceedings of the International Clay Conference. Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois 60091, U.S.A..
- Faber, P.J., 1983: Concurrentie en groei van bomen binnen een opstand. Uitvoerig verslag Band 18, nr. 1, R.I.O.B.L. "De Dorschkamp", Wageningen.
- Faber, P.J., 1985: Groei- en plantafstand van "Rap" populier in een Nelderproef. Nederlands Bosbouwkundig Tijdschrift (57): 157-166.
- Gessel, S.P., 1982: Acid rain and forest productivity. Symposium acid forming emissions in Alberta and their ecological effects. Alberta, 9-12 march: 295-327.
- Granier, A., 1981: Etude des relations entre la section du bois d'aubier et la masse foliaire chez le Douglas (Pseudotsuga menziesii Mirb. Franco). Ann. Sci. Forest. (38): 503-512.
- Grier, C.C. and R.H. Waring, 1974: Conifer foliage mass related to sapwood area. For. Sci. 20:205-206.
- Haans, J.C.F.M., 1979: De interpretatie van bodemkaarten. Rapport van de Werkgroep Interpretatie Bodemkaarten, stadium C. STIBOKA rapport nr. 1463, Wageningen.
- Harvey, A.E., M.J. Larsen and M.F. Jurgensen, 1976: Distribution of Ectomycorrhizae in a mature Douglas-fir/Larch forest soil in western Montana. Forest Sci. 22: 393-398.

- Heesen, H.C. en P. van der Sluijs, 1974: De vochtleverantie van een grond aan het gewas. Interne mededeling nr. 29, STIBOKA, Wageningen.
- Hengst, E., 1958: Wurzelstockuntersuchungen an der Douglasie Archiv fur das Forstwezen 7: 338-351.
- Houben, J.M.M.Th., 1979: Bodemgesteldheid en diepte van worteling. Rapport nr. 1459. STIBOKA, Wageningen.
- Iwaco, 1983: Effecten van droge en natte depositie op de bodem Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Staatsuitgeverij, rapportnr. BO-27.
- Jorns, A., and C. Hecht-Buchholz, 1985: Aluminiuminduzierter Magnesium- und Calciummangel im Laborversuch bei Fichten-sämlingen. Allgem. Forstzeitschrift, 15, Heft 1, 12.
- Kay, M., 1978: Foliage biomass of Douglas fir in a 53-year old plantation. New Zealand J. of For. Sc. (8): 315-326
- Keyes, M.R. and C.C. Grier, 1981: Above- and below-ground net production in 40-year old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. Can. J. For. Sci. 11: 599-605.
- Koestler, J.N., H. Bibelriehter und E. Brückner, 1968. Die Wurzeln der Waldbaume. Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Koppers, R., 1984: Fractionering van in water oplosbaar aluminium in bodemoplossingen m.b.v. kationomwisseling. Doctoraal scriptie, LU Wageningen.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983: Standaard-vochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Deel I en II. Rapport nr. 1680, STIBOKA, Wageningen.
- Laan, P. v.d., 1980: Handleiding kandidaatsvak toegepaste statistiek, TS 7 (steekproeftechnieken). Collegedictaat, vakgroep Wiskunde, Landbouw Hogeschool, Wageningen.
- Laat, P.J.M. de, 1985: MUST, a simulation model for unsaturated flow. Report series nr. 16, IHE, Delft, 91 p.
- Liss, B., H. Blaschke und P. Schutt, 1984: Vergleichende Feinwurzeluntersuchungen an gesunden und erkrankten Altfichten auf zwei Standorten in Bayern - ein Beitrag zur Waldsterbenforschung. Eur. J. For. Path. 14: 90-102.
- Marx, D.H., 1972: Ectomycorrhizae as biological deterrents to pathogenic root infections. A. Rev. Phytopath. 10:429-434.
- McMinn, R.G., 1963: Characteristics of Douglas fir root systems. Can. J. Bot. 41: 105-122.

- Mohren, G.M.J., J. v.d. Burg, F.W. Burger en J.H. Oterdoom, 1986: Fosforgebrek veroorzaakt door hoge stikstoftoevoer in Douglasopstanden. N.B.T. jaarg. 58, nr. 9.
- Morrison, I.K., 1984: Acid Rain, a review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. Commonwealth Forestry Bureau, Forestry Abstracts, vol. 45, no. 8.
- Nebe, W., 1966: Über die Düngedürftigkeit von Fichtenbestand im Mittelgebirge. Archiv für Forstwesen 15: 929-952.
- Nihlgård, B., 1985: The ammonium hypothesis - an additional explanation to the forest dieback in Europe. Ambio 14: 2-8.
- Persson, H., 1978: Root dynamics in a young Scots pine stand in Central Sweden. OIKOS 30: 508-519.
- Persson, H., 1980: Spatial distribution of fine root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in central Sweden. OIKOS 34: 77-87.
- Persson, H., 1985: The dynamics of fine roots of forest trees. Ekologiya 4:33-39.
- Roelofs, J.M.G., A.J. Kempers, A.L.F.M. Houdijk and J. Jansen, 1985: The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus Nigra* var. *maritima* in the Netherlands. Plant and Soil 84: pp. 45-56.
- Rost-Siebert, K., 1985: Untersuchungen zur H- und Al-Ionentoxizität an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies*, Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica*, L.) in Lösungskultur. Berichte Forschungszentrum Waldoekosysteme/Waldsterben Nr.12, 219 p., Göttingen.
- Rijtema, P.E., 1969: Soil Moisture Forecasting, Nota 513. I.C.W. Wageningen.
- S.B.B., 1984: De vitaliteit van het Nederlandse bos in 1984. Verslag van het landelijk vitaliteitsonderzoek. S.B.B. nr. 1984-26. Inspectie Bosbouw, afdeling Bosontwikkeling.
- S.B.B., 1985: De vitaliteit van het Nederlandse bos 3. Verslag van het landelijk vitaliteitsonderzoek S.B.B. nr. 1985-16. Afdeling Bosontwikkeling.
- S.B.B., 1986a: Effecten van luchtverontreiniging op terrestrische ecosystemen, met name bossen. S.B.B. afdeling Planologie en Milieu, juli 1986.
- S.B.B., 1986b: Over de relatie tussen het niveau van stikstofdeposities en morfologische veranderingen bij beuk en grove den. S.B.B. nr. 1986-19, afdeling Bosontwikkeling.

- Sluijs, P. van der en Th. van Egmond, 1976a: Facetten van grondwatertrappen in zandgronden. Rapport nr. 1329, STIBOKA, Wageningen.
- Sluijs, P. van der en Th. van Egmond, 1976b: De grondwatertrappen op de bodemkaart van Nederland. Polytechn. Tijdschr., Ed. Bouwkunde, Wegen- en Waterbouw, 31: p. 628-633
- Smith, J.H.G., 1964: Root spread can be estimated from crown width of Douglas fir, lodgepole pine and other British Columbia tree species. The Forestry Chronicle 40: 456-473.
- Stuurgroep Verzuuringsonderzoek, 1985: Additioneel Programma Verzuuringsonderzoek. Uitgebracht door de ministeries van VROM, L&V, en EZ, de Samenwerkende Electriciteits productiebedrijven en de Raffinaderijen.
- Ulrich, B., R. Mayer und P.K. Khanna, 1979: Die Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen in Solling. Schriften aus der Forstl. Fak. der Univer. Göttingen und der Nieders. Forstl. Vers. Anst. Bd. 58, 291p.
- Ulrich, B., 1983a: A concept of forest ecosystem stability and of acid deposition as driving force for destabilization. In: Ulrich, B. and J. Pankrath (eds.): Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. Proceedings of a workshop held at Göttingen, West Germany, may 16-18. D. Reidel Publ. Com., Dordrecht (Holland).
- Ulrich, B., 1983b: Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluß des sauren Regens. Allgemeine Forstzeitschrift 38 (26 und 27): 670-677.
- Ulrich, B. und E. Matzner, 1983: Ökosystemare Wirkungsketten beim Wald- und Baumsterben. Der Forst- und Holzwirt, nr. 18: 468-473.
- Ulrich, B., D. Pirouzpanah und D. Murach, 1984: Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Wurzelentwicklung von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. Forstarchiv 55:1 27-134.
- Wosten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987: Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Rapport nr. 1932, STIBOKA, Wageningen.
- Zoetl, H.W. and R.F. Huettl, 1986: Nutrient supply and forest decline in southwest-Germany. Water, Air and Soil Pollution 31: 449-462.

B I J L A G E N

blz.

1. 7 kaartjes van de ligging van de opstanden	B1-B7
2. Overzicht van enkele bodemkenmerken van de geselecteerde opstanden	B8
3. Beschrijving van de bodemprofielen onder de geselecteerde opstanden	B9
4. Overzicht van enkele bosbouwkundige kenmer- ken van de geselecteerde opstanden	
1. Bosbouwkundige geschiedenis	B11
2. Toestand 1987	B12
5. Toelichting op enkele begrippen	B13

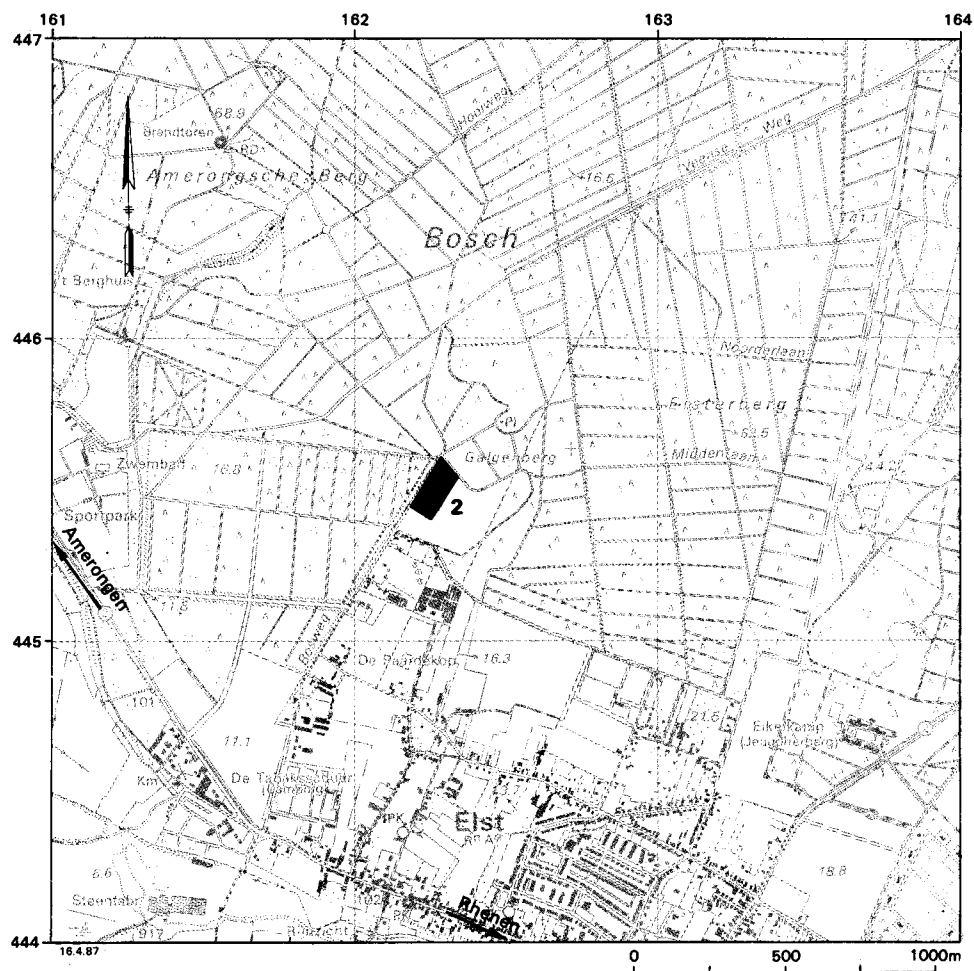
OPSTAND NR. 1 SPEULDERBOS



B.1

BIJLAGE 1

OPSTAND NR. 2 AMERONGSE BOS

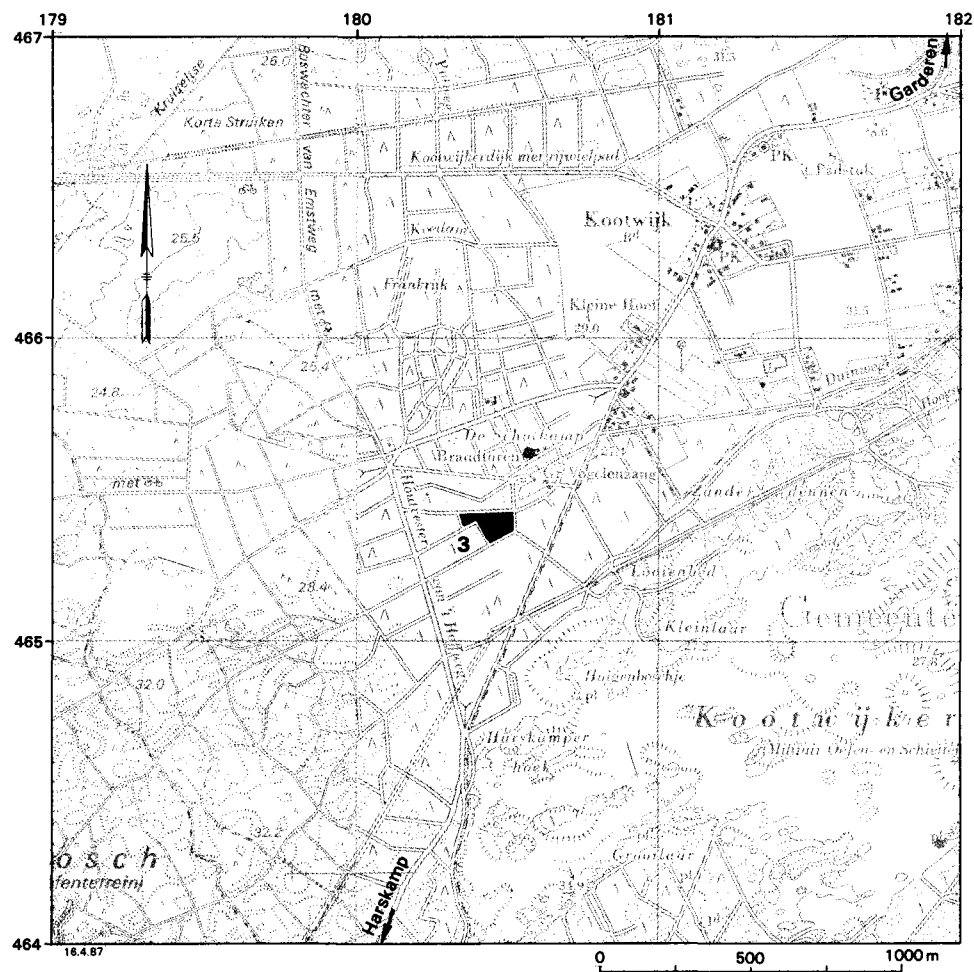


Opstand nr.2: vak 9b Amerongse bos schaal 1:25 000

top. kaart 39E

BIJLAGE 1

OPSTAND NR. 3 KOOTWIJKER BOS

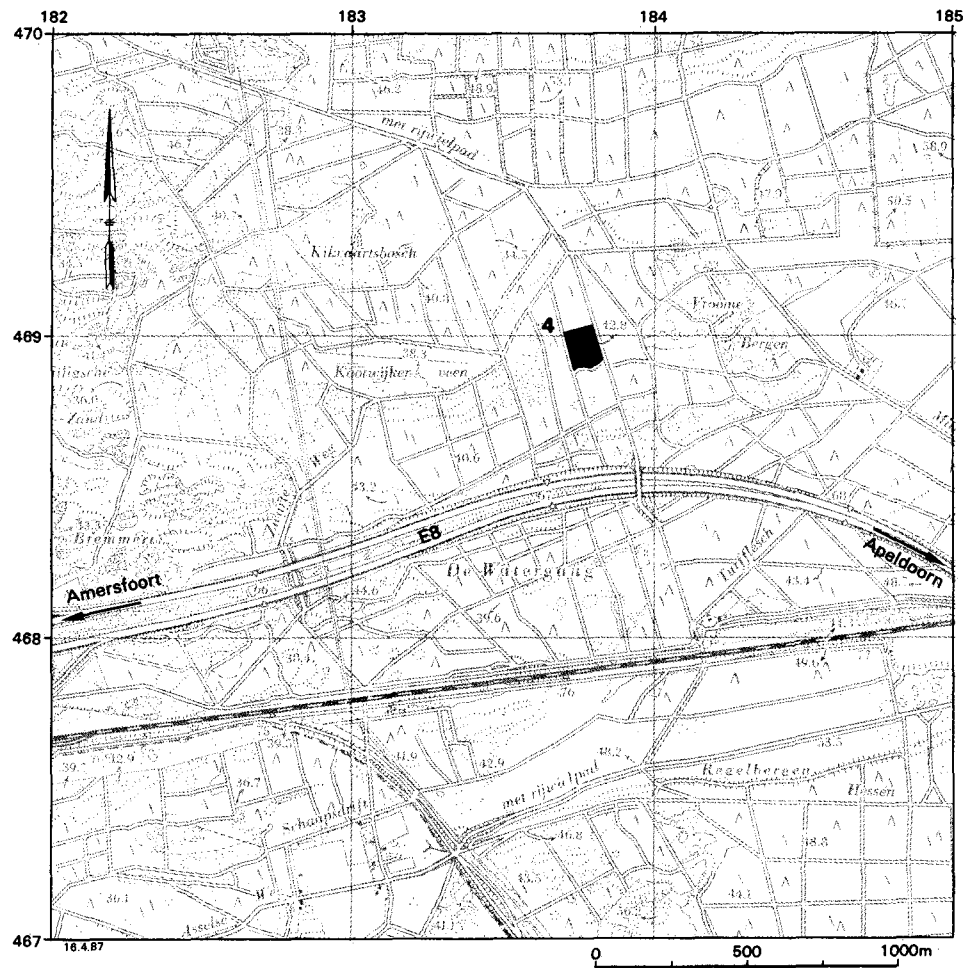


Opstand nr.3: vak 134 Kootwijker bos schaal 1:25 000

top. kaarten 33A en 32F

BIJLAGE 1

OPSTAND NR. 4 BOSWACHTERIJ GARDEREN



Opstand nr.4: vak 15b Garderen schaal 1:25 000

top. kaart 33A

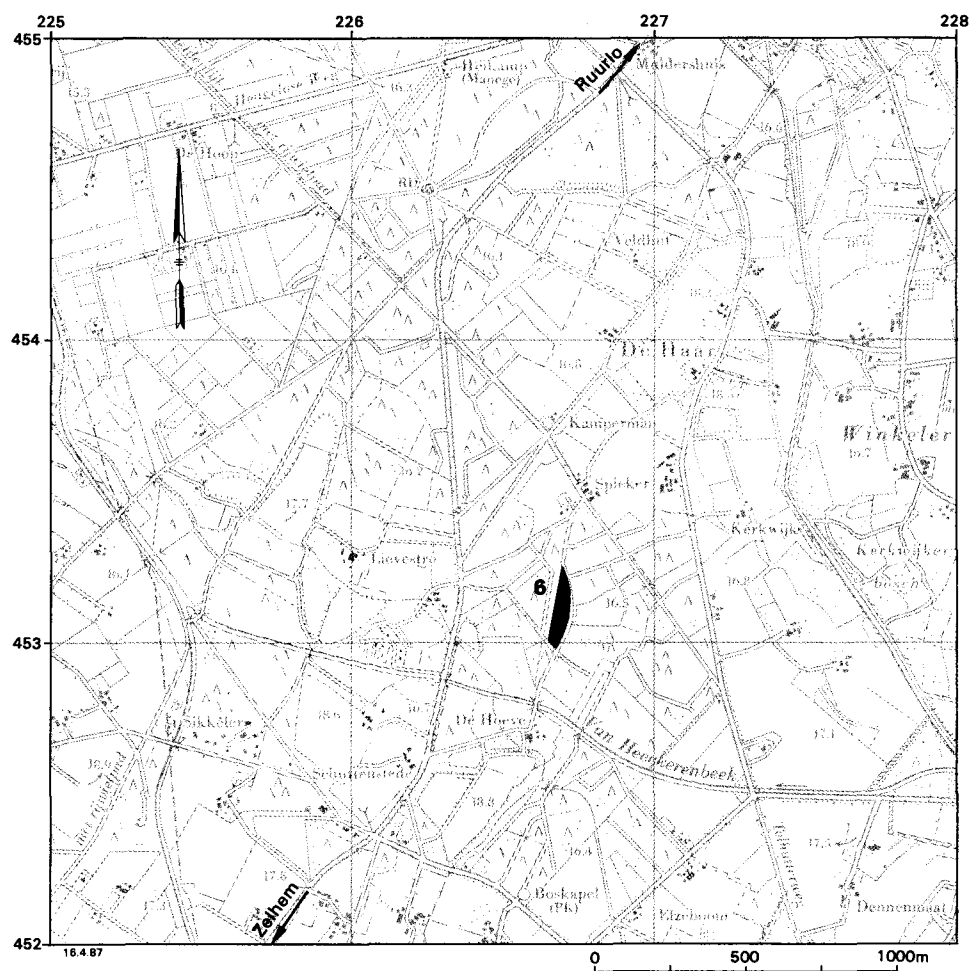
OPSTAND NR. 5 DE LAGE VUURSCHE



B.5

BIJLAGE 1

OPSTAND NR. 6 RUURLO

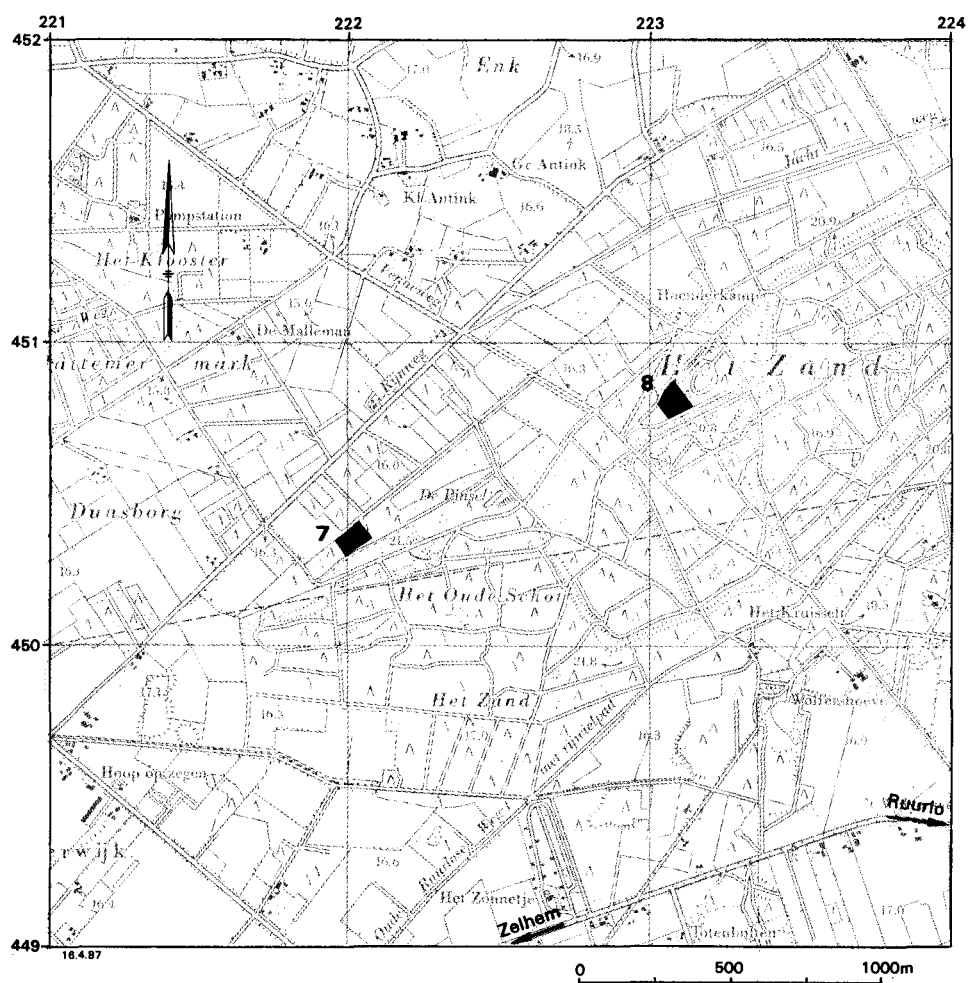


Opstand nr.6: vak 7a Ruurlo schaal 1:25 000

top. kaart 34C

BIJLAGE 1

OPSTANDEN 7 EN 8 HET ZAND, ZELHEM



Opstanden 7 en 8: vak 20k1 en 18g 't Zand-Zelhem schaal 1:25 000

top. kaarten 34C en 41A

BIJLAGE 2

OVERZICHT VAN ENKELE BODEMKENMERKEN VAN DE GESELECTEERDE OPSTANDEN

	1	2	3	4	5	6	7	8
classificatie	Holt-podzol	Holt-podzol	Haar-podzol	Haar-podzol	Veld-podzol	Veld-podzol	Duinvaag-grond	Duinvaag-grond
code **)	Y21 Y23	Y21 Y30	Hd21	Hd21	cHn21	Hn21	Zd21 Zn21	Zd21
uitgangsmateriaal	gestuwde preglac. rivierafz.	gestuwde preglac. rivierafz.	jong dekzand	jong dekzand + stuifzand	dekzand	jong dekzand	jong dekzand + stuifzand	jong dekzand + stuifzand
grondwater-trap *)	VII*	VII*	VII	VII	VII	VI	VI	VI-VII
bewortelbare diepte (cm -mv) *)	80	70	60	50-140	100	70	100	70
vochtleverend vermogen *)	3	3-4	4	4	3	3	3	3-4
ontwaterings-toestand *)	1	1	1	1	1	2	2	1-2
voedings-toestand *)	2.3	2.3	2.5	2.5	2.3	2.5-2.4	2.4	2.5

*) zie toelichting bijlage 5

**) gebiedspuntencode behorend bij de legenda van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000.
Daar waar twee codes gegeven zijn komen twee eenheden naast elkaar voor.

BIJLAGE 3

BESCHRIJVING VAN DE BODEMPROFIELEN ONDER DE GESELECTEERDE OPSTANDEN

1. SPEULDERBOS

Donker grijs, zeer humeus tot matig humeus, matig fijn zand *) op geelbruin tot geel matig fijn, uiterst humusarm zand. De kleur van het zand is bovenin het profiel soms grijsrood. Onderin het profiel komt naast matig fijn zand soms ook zeer fijn zand en matig grof tot zeer grof, grindrijk zand voor.

Profielopbouw:	A1	0 - 5	cm -mv
	A2	5 - 15	
	B2	15 - 50	
	B3	50 - 80	
	C1	80 - 120	

2. AMERONGSE BERG

Donker grijs, zeer humeus, matig grof zand op licht grijs, matig humeus, matig grof zand met geelbruin tot licht geel matig grof zand in de ondergrond. Meestal is het gehele profiel zeer grindrijk. Lokaal komt matig fijn, grindarm zand voor.

Profielopbouw:	A1	0 - 5	cm - mv
	A2	5 - 20	
	B2	20 - 40	
	B3	40 - 70	
	C1	70 - 120	

3. KOOTWIJKER BOS

Donker grijsbruin, zeer humeus, matig fijn zand op zeer humusarm, geelbruin, matig fijn zand. Het profiel is tot ca. 30 cm -mv omgespit.

Profielopbouw:	(A+B)p	0 - 30	cm -mv
	B2	30 - 35	
	B3	35 - 60	
	C1	60 - 120	

4. GARDEREN

Donker grijs, zeer humeus tot matig humusarm, matig fijn zand op geelbruin zeer humusarm, matig fijn zand. Het profiel wordt soms bedekt door een laag matig fijn zand van maximaal 60 cm dik, die bovenin matig humeus en onderin zeer humusarm is. Het profiel is tot 30 à 60 cm -mv omgespit.

*) zie voor de indeling en de benaming naar het humusgehalte en de mediaan van de zandfractie de "handleiding voor de karteringen" (STIBOKA)

Profielopbouw:	(A+B)p	0 - 30 à 60 cm -mv
	B2	30 - 60 (indien aanwezig)
	B3	60 - 90
	C1	90 - 120

5. DE LAGE VUURSCHE

Donker grijs tot grijs, zeer humeus tot matig humusarm, matig fijn zand. Het profiel is tot ca. 100 cm -mv vergraven. Soms worden restanten van de oorspronkelijke zeer humeuze bovengrond aangetroffen.

6. RUURLO

Zeer donker grijs, zeer humeus, matig fijn zand op roodbruin tot geelbruin, matig humeus tot matig humusarm, matig fijn zand, met licht geel, uiterst humusarm, matig fijn zand in de ondergrond. Het profiel is tot 20 à 30 cm -mv vergraven.

Profielopbouw:	(A+B)p	0 - 20 à 30 cm -mv
	B2	20 à 30 - 45
	B3	45 - 60
	C1	60 - 120

7. HET ZAND, vak 20k1

Licht grijs tot licht geel, zeer humusarm, matig fijn zand. Het perceel is geegaliseerd. Hierdoor is op de meeste plaatsen geen bodemprofiel te herkennen. Hier en daar is een bodemprofiel aanwezig onder een stuifzanddek van ca. 60 cm dik. De bodem is geklassificeerd als een vergraven duinvaaggrond, maar op sommige plaatsen is de aanduiding "vlakvaaggrond" beter op zijn plaats.

8. HET ZAND, vak 18g

Bruingrijs, matig humusarm, matig fijn zand op bruingeel, uiterst humusarm, matig fijn zand. Plaatselijk komt een stuifzanddek voor van 10 tot 40 cm dik.

Profielopbouw:	A	0 - 5	of	C11	0 - 40	of
	B	5 - 30		A	40 - 50	
	C1	30 - 120		B	50 - 70	
				C12	70 - 120	
	C11	0 - 10	cm -mv			
	C12	10 - 120				

BIJLAGE 4

OVERZICHT VAN ENKELE BOSBOUWKUNDIGE KENMERKEN VAN DE GESELECTEERDE OPSTANDEN

1. BOSBOUWKUNDIGE GESCHIEDENIS

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kiemjaar	1949	1942	1937	1950	1947	1947	1943	1951
Jaar van aanleg	1952	1945	1939	1953	1950	1950	1945	1954
Vorige begroeiing	eiken-hakhout	grove den	grove den	grove den (?)	kwekerij	?	grove den	grove den
Verjonging	kaalkap	schermkap	kaalkap (?)	kaalkap (?)	kaalkap	?	kaalkap	kaalkap
plantafstand (m)	1½ x 1½	1½ x 1½	1½ x 1½	1½ x 1½	?	?	1½ x 1½	1½ x 1½
bijmenging	-	berk-opslag	-	berk-opslag	?	?	prunus-zaad	prunus-zaad
strooisel-roof	waar-schijnlijk	tot 1940	waar-schijnlijk niet	?	neen	?	neen	neen
bemesting	geen	wellicht	wellicht *)	20 t kalk / ha in 1953	regelmatig	?	geen	geen

? Geen gegevens

(?) Uitspraak gebaseerd op gegevens van algemeen beheer van de betreffende boswachterij.

*) Voor de aanplanting met grove den heeft dit perceel onder landbouw gelegen. Zeer waarschijnlijk heeft toen ook bemesting plaatsgevonden.

2. TOESTAND 1987

	1	2	3	4	5	6	7	8
Menging	lariks	berk	geen	geen	geen	grove den, berk, in- landse eik, sitkaspar	tamme kastanje, inlandse eik, beuk	beuk, eik (weinig)
Aantal bomen /ha	398	939	549	520	543	406	248	246
opper- hoogte (m)	24	22	23	20	27	22	26	22
Vitaliteit ^{*)}	1.05	1.43	1.13	1.24	1.09	2.07	1.16	1.22

*) De vitaliteit van de opstanden is beoordeeld aan de hand van het UN-ECE systeem. Hierbij zijn alle bomen in de opstanden ingedeeld in een schadeklasse. De gegeven waarde is het gemiddelde van deze schadeklassen.

1 = vitaal; 2 = minder vitaal; 3 = weinig vitaal

BIJLAGE 5

TOELICHTING OP ENKELE BEGRIPPEN

In bijlage 2 is voor de 8 geselecteerde opstanden van een aantal bodemkenmerken een klasseaanduiding gegeven. De kenmerken vochtleverend vermogen, ontwateringstoestand en voedingstoestand zijn van belang bij de beoordeling van de groeimogelijkheden van een perceel voor verschillende boomsoorten (Haans, 1979). De grondwatertrap is van belang bij de beoordeling van het vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand van de bodem. Voor deze beoordeling is tevens de textuuraanduiding van belang. De gebiedspuntencode geeft informatie over de belangrijkste textuuraanduidingen, te weten de mediaan en het percentage kleiner dan 50 μm (zie tabel 5.1). De bewortelbare diepte tenslotte is eveneens van belang bij de beoordeling van het vochtleverend vermogen van de bodem.

TABEL 5.1 *Uittreksel uit de legenda van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 (Handleiding voor karteringen, STIBOKA)*

1.3 PODZOLGRONDEN (behalve de moerige)

	Dikte humushoudende bovengrond; subgroep	Aanwezigheid van een banden-B; subgroep	Textuur bovengrond		Codering kaartvlak
			M50	% <50 μm^*	
Moderpodzolgronden	dun	zonder banden-B 2l (holtpodzolgronden)	<210	0-17,5 10-50	Y21 Y23
		met banden-B 2h (horstpodzolgronden)	>210	geen indeling	Y30
	matig dik 2d (looppodzolgronden)	geen indeling	<210	0-17,5 10-50	Y21b Y23b
		geen indeling	>210	geen indeling	Y30
Humuspodzolgronden	Hydromorfe kenmerken	Dikte humushoudende bovengrond; subgroep	Textuur bovengrond		Codering kaartvlak
			M50	% <50 μm^*	
	geen ijskerhidjes onmiddellijk onder de B2-horizont	dun	<210	0-17,5 10-50	Mn21 Mn23
		2r (veldpodzolgronden)	>210	geen indeling	Mn30
		2o en 2p zie toevoeging k... en z...	<210	0-17,5 10-50	cHn21 cHn23
		matig dik 2q (laarpodzolgronden)	>210	geen indeling	cHn30
	ijskerhidjes onmiddellijk onder de B2-horizont	dun	<210	0-17,5 10-50	Rd21 Rd23
		2z (2x)(haarpodzolgronden)	>210	geen indeling	Rd30
		matig dik	<210	0-17,5 10-50	cHd21 cHd23
		2w (kamppodzolgronden)	>210	geen indeling	cHd30

1.6 KALKLOZE ZANDGRONDEN

	Hydromorfe kenmerken en verdere criteria	Aard eerdlaag; subgroep	Textuur bovengrond		Codering kaartvlak
			M50	% <50 μm^*	
Vaaggronden	zonder ijskerhidjes	geen indeling	<210	0-17,5 10-50	Zn21 Zn23
		5k (vlakvaaggronden)	>210	geen indeling	Zn30
	met ijskerhidjes en zonder bruine laag in de positie van een B')	geen indeling	<210	0-17,5 10-50	Zd21 Zd23
		5t (duinvaaggronden)	>210	geen indeling	Zd30
	met ijskerhidjes en met bruine laag in de positie van een B')	geen indeling	<210	0-17,5 10-50	Zb21 Zb23
		5v (vorstvaaggronden)	>210	geen indeling	Zb30

De klasseindeling van bovengenoemde kenmerken is bepaald in het veld op grond van tenminste 5 waarnemingen per opstand (profielkuilen, boringen en landschaps opnamen). De beoordeling heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 1986 door een ervaren veldbodemkundige (K.R. van Lynden, STIBOKA).

De wijze waarop een beoordeling van bovengenoemde kenmerken tot stand komt houdt impliciet in dat geen absolute getalswaarde aan deze kenmerken toegekend kan worden. Om deze reden wordt volstaan met het aangeven van een gradatie, welke slechts een benadering van de werkelijkheid is. In deze bijlage wordt een toelichting gegeven op de betekenis van de verschillende kenmerken en de onderscheiding van gradaties (klassen) hierin. Voor een uitgebreide toelichting van het beoordelingssysteem wordt verwezen naar Haans (1979).

1. GRONDWATERTRAP

Grondwatertrappen vertegenwoordigen klassen in grondwaterstand en grondwaterregime. De indeling op grondwatertrappen is gebaseerd op de gemiddelde hoogste (GHG) en gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Indien de grondwaterstanden niet gemeten worden, worden de GHG en GLG geschat aan de hand van profielkenmerken (hydromorfie). Tabel 5.2 geeft de grondwatertrappenindeling.

TABEL 5.2 Grondwatertrappenindeling voor kaartvlakken
(Handleiding voor karteringen, STIBOKA)

Grondwater- trap (Gt)	I	II')	III')	IV	V')	VI	VII')
grondwaterstanden in cm's beneden maaiveld							
GHG	(<20)	(<40)	<40	>40	<40	40- 80	>80
GLG	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	(>160)

*) Een * achter de Gt-codes in het kaartvlak betekent "droger deel". Om de gedachten te bepalen: met een GHG dieper dan 25 cm beneden maaiveld.

**) Een * achter deze Gt-code in het kaartvlak duidt op een "zeer droog deel", waarbij de GHG dieper dan 140 cm wordt verwacht.

M.B. De waarden tussen () gelden voor de meeste gronden; het zijn echter geen absolute klassegrenzen.

2. BEWORTELBARE DIEPTE

De bewortelbare diepte is gedefinieerd als de maximale diepte beneden maaiveld waar wortels voorkomen. Voor de bepaling van het vochtleverend vermogen is het van groot belang dat de dikte van de bewortelde zone zo nauwkeurig mogelijk wordt vastgesteld. Aanwijzingen hiervoor zijn te vinden in Houben (1979).

3. VOCHTLEVEREND VERMOGEN

Het vochtleverend vermogen van een grond is de hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen (15 april - 15 september) in een 10% droogtejaar aan de plantewortels geleverd kan worden. Hierbij wordt onder een 10% droogtejaar verstaan: een jaar met een neerslagtekort, waarvan de overschrijdingskans 10% is. Met andere woorden: gemiddeld 1 keer in 10 jaar is het neerslagtekort gelijk aan of groter dan het neerslagtekort in een 10% droogtejaar. Met betrekking tot het vochtleverend vermogen worden 5 gradaties onderscheiden, waarbij elke gradatie door een hoeveelheid door de grond te leveren millimeters vocht is gedefinieerd (zie tabel 5.3).

TABEL 5.3 Gradaties in vochtleverend vermogen (Haans, 1979)

Gradatie	vochtleverend vermogen (mm)	omschrijving
1	200 >	zeer groot
2	150 - 200	vrij groot
3	100 - 150	matig
4	50 - 100	vrij gering
5	< 50	zeer gering

In principe is het mogelijk het vochtleverend vermogen van de grond op elke plaats te berekenen. Hiervoor zijn echter een zeer groot aantal gegevens nodig. Om deze reden wordt vaak volstaan met een schatting van de gradatie aan de hand van gegevens over grondwatertrap (zie o.a. v.d. Sluijs en v. Egmond, 1976a en 1976b) en dikte van de bewortelbare zone (Houben, 1979) en een schatting van de onverzadigde waterdoorlatendheid (Rijtema, 1969; v. Heesen en v.d. Sluijs, 1974).

4. ONTWATERINGSTOESTAND

De ontwateringstoestand als beoordelingsfactor heeft betrekking op de frequentie en de lengten van de perioden waarin de grond met water verzadigd is (Haans, 1979). De ontwateringstoestand beoogt een aanduiding te geven van de mate waarin het porienstelsel met lucht gevuld is en van de wijzigingen die zich in de loop van het jaar hierin voordoen. De ontwateringstoestand is afhankelijk van de vorm en afmetingen van het porienstelsel en de diepte en fluctuatie van het grondwater. Er worden 5 gradaties onderscheiden; deze kunnen in de meeste gronden op basis van de GHG worden gedefinieerd (zie tabel 5.4).

TABEL 5.4 Gradaties in de ontwateringstoestand (Haans, 1979)

Gradatie	GHG referentie waarde (cm -mv)	GT
1	80 >	VII, VII*
2	40 - 80	IV, VI
3	25 - 40	II*, III*, V*
4	15 - 25	II, III, V, I
5	< 15	I, soms II

5. VOEDINGSTOESTAND

De voedingstoestand van een bodem kan omschreven worden als de mate waarin de grond is voorzien van voor de bodem noodzakelijke voedingsstoffen. De voedingsstoestand is een hoedanigheid die niet rechtstreeks aan de bodem wordt waargenomen of gemeten, maar die wordt afgeleid uit een aantal bodemeigenschappen en de spontane vegetatie. Bij de beoordeling van de voedingstoestand worden drie reeksen van gradaties onderscheiden voor resp. veengronden, zand-, leem- en zavelgronden en kleigronden. De reeks van gradaties voor zand-, leem- en zavelgronden wordt aangeduid met de codes 2.1 t/m 2.5. Gaande van 2.1 naar 2.5 verloopt de gradatie van "voedselarm" naar "voedselrijk". In tegenstelling tot bodems onder agrarisch landgebruik wordt bij de toekenning van gradaties in de voedingstoestand van bodems onder bos- en natuurgebieden de spontane vegetatie betrokken. Aan de hand van een vegetatieklassificatie (tabel 5.5) en de gebiedspuntencode kan de gradatie in voedingstoestand uit een tabel worden afgelezen (tabel 5.6).

TABEL 5.5 Vegetatietypen in de Nederlandse donkere naaldhoutbossen (Bannink e. a., 1973)

gezelschap van	code
sparrenbos zonder ondergroei	0
kantmos en klauwtjesmos	I
kronkelsteeltje en sterremos	II
kronkelsteeltje, lijsterbes en wilgenroosje	III
stekelvaren en liggend walstro	IV
kamperfoelie, stekelvaren en drienvervige muur	V
rankende helmbloem, witte klaverzuring en braam	VI

TABEL 5.6 Richtlijnen voor de vaststelling van de gradaties in de voedingstoestand (Haans, 1979)

Groepen van gronden	Legende-eenheden van de 50 000 karteringen	Gradaties in voedingstoestand												
		bij spronisch bodemgebruik	bij niet-spronisch bodemgebruik (bos, heide, natuurterrein) met de vegetatietypen 31											
			K3	K2	K1	Z	R4	R3	R2	H1.2	H1.1	H2	H1	A1
			VI				V			IV	III		II	I
Voengronden	hV., hEV., pV., hV. en sommige voengronden met dun kleidekje	1.1	1.1				1.2						1.3	
	eEV., eVo., eVz., (zVz en iVz)	1.2	1.1			1.2				1.3				1.4
	IV., eV., zV., V.	1.3	1.2			1.3				1.4			1.5	
Moergronden	kWz, We ¹⁾ , Wg ¹⁾ en vWz met lutumhoudende bovengrond	2.1	2.1				2.2						2.3	
	kWp, iWz, vWz, zWz, (iWp)	2.2	2.1			2.2				2.3				2.4
	iWp, zWp, vWp, (vWz en zWz)	2.3	2.2			2.3				2.4			2.5	
Padzeigronden en verheeggronden	eHn21/23/30, cY21/23/30, cHn21/23/30, cHn21/23/30	2.2	2.1			2.2				2.3				2.4
	Y21, Y23, Y30, Y21h, Y23h, Zb21, Zb23, Zb30	2.2	2.2				2.3						2.4	
	Hn21, Hn23, Hn30, Hd21, Hd23, Hd30 (Y21 en Zb21)	2.3	2.2			2.3				2.4			2.5	
Brikgronden en leeggronden	alle eenheden	2.1	2.1			2.2				2.3				2.4
Dikke aardgronden	EK18, FK18, EK78 ¹⁾ , EK78 ¹⁾ , bEZ23, bEZ30, EL8	2.1	2.1				2.2						2.3	
	bEZ21, bEZ30, EZg21, EZg23, EZg30, eEZ21, eEZ23, eEZ30	2.2	2.1			2.2				2.3				2.4
Kalkkeuze zandgronden	kpZg21/23/30, kpZn21/23/30, kZn21/23/30, pZg23 (en soms pZn23 en Zn23)	2.1	2.1				2.2						2.3	
	pZg21/30 ²⁾ , pZn21/23/30 ²⁾ , cZd21/23/30, (pZg23)	2.2	2.1			2.2				2.3				2.4
	pZg21/30, pZn21/23/30, Zn21/23/30, Zd21/23/30	2.3	2.2			2.3				2.4			2.5	
Kalkhoudende zandgronden	alle eenheden	2.1	2.1				2.2						2.3	
Zee- en rivierkleigronden	alle eenheden ¹⁾	2.1	2.1				2.2						2.3	
Oude kleigronden	pKRn1/2, KRn1/2, KRd1, KRd7 ¹⁾ , pKRn8 ¹⁾ , KRn8 ¹⁾	2.1	2.1				2.2						2.3	
	KM ¹⁾ , KG ¹⁾ , KD ¹⁾ , KX ¹⁾	2.2	2.2			2.3				2.4			2.5	

1) Bij lutumgehalte hoger dan 25%, dan codering voedingstoestand voor kleigronden gebruiken (3.1/m 3.5)

2) Alleen die met een matig dikke A1-horizont

3) Vegetatietypen Bannink et al. (1973)

() Incidenteel