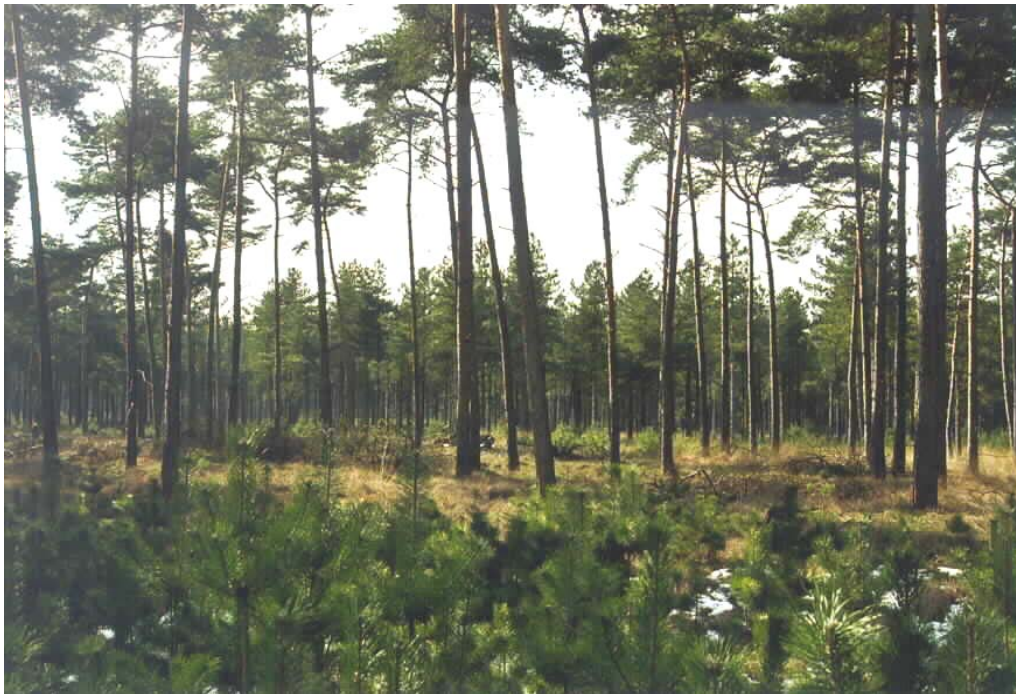


## **Evaluatie van bemesting en bekalking in bossen en de ontwikkeling in onbehandelde bossen**

**2006**

A.F.M. Olsthoorn, C.A. van den Berg & J.J. de Grijter



**Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen**

**Deelrapport A1.1**

**Alterra Rapport 1337.1**

## REFERAAT:

A.F.M. Olsthoorn, C.A. van den Berg & J.J. de Gruijter, 2006. *Evaluatie van bemesting en bekalking in bossen en de ontwikkeling in onbehandelde bossen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1337.1. 39 blz.; 3 fig.; 12 tab.; 23 ref.

Dit rapport doet verslag van een deelonderzoek uit de Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen 2004-2005 en is gericht op de effecten van de maatregelen bemesting en bekalking in bossen als overbruggingsmaatregel in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). Na een vooronderzoek met de gegevens uit 1998, 1999 en 2000 om het aantal locaties te bepalen is er in 2004 een herbemonstering uitgevoerd om te zien hoe de bomen gereageerd hebben op een bemesting en een bekalking. Daarnaast zijn de veranderingen in onbehandelde opstanden bekeken. In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bemesting met fosfor, kalium of magnesium op het nutriëntengehalte van de bladeren of naalden. Het effect van fosforbemesting was bijna significant. De meetvariatie was zeer hoog. In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bekalking op de bodem-pH. De pH van de bodem daalde licht door bekalking, als tijdelijk effect. In de onbehandelde opstanden zijn in de periode tussen de eerste en de tweede meting geen veranderingen opgetreden. Door de grote meetvariatie heeft een opstand die eerst laag scoorde een grote kans om later hoger te scoren, en andersom voor de eerst hoogscorende opstanden.

De diagnostische waarde van een eenmalige meting moet door de grote meetvariatie ter discussie worden gesteld. Ook kan bij een bijstelling van de diagnose naar meer aspecten van het ecosysteem worden gekeken (bodemecologie, vegetatie).

Trefwoorden: bosbemesting, bosbekalking, statistische opzet, BACI steekproefopzet, meetfout, nutriëntengehalten, voedingsstoffen, diagnose, bosvitaliteit, OBN, EGM.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kan worden uitgeprint via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl), kies Publicaties en Alterra rapporten. Na intoetsen van het rapportnummer 1337 kan uit de lijst het juiste deelrapport worden geselecteerd en worden geprint of gedownload (als PDF). Het onderzoek bestond uit acht deelonderzoeken, zie ook de overige deelnummers bij rapportnummer 1337.

Het samenvattende eindrapport *Olsthoorn, A.F.M & R.J.A.M. Wolf - 2006 - Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen – Eindrapport* is verschenen als OBN rapport DK051-O en kan worden besteld bij de Directie Kennis in Ede, Postbus 482, 6710 BL Ede.

Het eindrapport is ook verschenen als Alterra Rapport 1337.9 en kan dus eveneens worden geprint of gedownload via bovenstaande Alterra site (als PDF).

# Evaluatie van bemesting en bekalking in bossen en de ontwikkeling in onbehandelde bossen

A.F.M. Olsthoorn, C.A. van den Berg & J.J. de Grijter

2006

***Opdrachtnemers:***

Alterra, Wageningen

Eelerwoude Ingenieursbureau B.V., Goor

***Opdrachtgever:***

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

***Dankbetuiging:*** De auteurs zijn dankbaar voor de hulp die de Unie van Bosgroepen heeft geboden bij de gegevensvoorziening voor de EGM Evaluatie en voor de toelichting op de praktijk van de EGM uitvoering waardoor resultaten beter geïnterpreteerd konden worden.

Project Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A1.1, verschenen als Alterra rapport 1337.1.

# Evaluatie van bemesting en bekalking in bossen

## en de ontwikkeling in onbehandelde bossen

A.F.M. Olsthoorn, C.A. van den Berg & J.J. de Gruijter

Alterra  
Wageningen

### Samenvatting

Op basis van de gegevens uit ruim 5000 opstanden uit 1998, 1999 en 2000, is een vooronderzoek gedaan naar het benodigde aantal opstanden voor een betrouwbare uitspraak over de effecten van bemesting en bekalking. In 2004 zijn uiteindelijk 200 opstanden herbemonsterd. Dit is een grote reductie vergeleken met het de planning in het bestek.

In deze 5000 opstanden bleek in 61% van de gevallen fosforgebrek aanwezig, in 35% kaliumgebrek, in 44% magnesiumgebrek. De bodem bleek te zuur in 14% van de toen gemeten opstanden. Ook de verhoudingen ten opzichte van stikstof waren vooral voor fosfor ongunstig.

In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bemesting met fosfor, kalium of magnesium op het nutriëntengehalte van de bladeren of naalden. Het effect van fosforbemesting was bijna significant. De pH van de bodem daalde door bemesting. De meetvariatie was zeer hoog.

In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bekalking op de bodem-pH. De pH van de bodem daalde licht door bekalking, als tijdelijk effect. Het fosforgehalte van bladeren of naalden daalde significant door bekalking.

In de onbehandelde opstanden zijn in de periode tussen de eerste en de tweede meting geen veranderingen opgetreden. Door de grote meetvariatie heeft een opstand die eerst laag scoorde een grote kans om later hoger te scoren, en andersom voor de eerst hoogscorende opstanden.

De diagnostische waarde van een eenmalige meting moet door de grote meetvariatie ter discussie worden gesteld. Ook in Europees verband is hier discussie over. Een mogelijkheid is om de gebrekgrenzen scherper te stellen, bijvoorbeeld naar een niveau zoals in de Europese richtlijnen wordt aangegeven. Bekeken moet worden of dit ook voor Nederland correct zou zijn. Ook kan bij deze bijstelling van de diagnose naar meer aspecten van het ecosysteem worden gekeken (bodemecologie, vegetatie).

## Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Hoofdstuk 1 Inleiding	6
Hoofdstuk 2 Statistisch vooronderzoek	8
Hoofdstuk 3 Methodiek Herbemonstering	10
Hoofdstuk 4 Resultaten Herbemonstering	13
Hoofdstuk 5 Discussie	21
Hoofdstuk 6 Conclusies	28
Hoofdstuk 7 Aanbevelingen	30
Literatuur	31
Bijlagen	
1. Steekproefopzet voor de herbemonstering	33
2. Nutriëntengegevens Bosgebied in Friesland	39

## Hoofdstuk 1 Inleiding

### Achtergrond

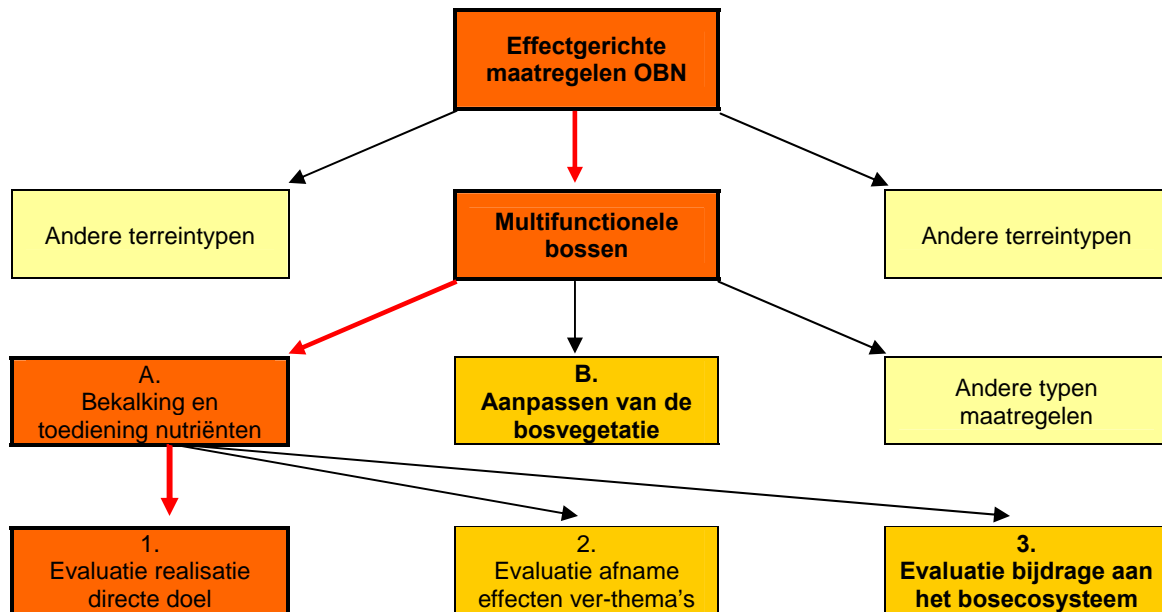
De effectgerichte maatregelen die de afgelopen jaren in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) met rijkssubsidie zijn uitgevoerd in de Nederlandse multifunctionele bossen worden op dit moment geëvalueerd. Deze evaluatie wordt uitgevoerd door Alterra en Eelerwoude in opdracht van het Ministerie van LNV. De evaluatie beslaat twee typen maatregelen (zie figuur 1):

- A. bekalking en toediening van nutriënten,
- B. aanpassen van de bosvegetatie (dunnen of noodverjonging).

Voor beide maatregeltypen wordt geëvalueerd:

1. of het directe doel is gerealiseerd,
2. of negatieve effecten van de ver-thema's zijn opgeheven of verminderd,
3. welke bijdrage wordt geleverd aan het bosecosysteem.

*Figuur 1. Onderdelen van het evaluatieproject en positie van dit rapport hierin*



Onderdeel dat in dit rapport wordt geëvalueerd



Andere onderdelen die in het kader van dit project worden geëvalueerd



Onderdelen die bij dit evaluatieproject buiten beschouwing blijven

Dit deelrapport zal bij de oplevering van de evaluatie met de andere deelrapporten worden geïntegreerd tot één samenvattend eindrapport.

De conclusies en aanbevelingen uit dit deelrapport zullen samen met die uit de andere deelrapporten worden gebruikt om in het samenvattende eindrapport van het project tot een algemeen oordeel te komen over de maatregelen nutriëntengiften en bekalking.

## Vraagstelling

Er is na een begin-analyse een bemesting en/of een bekalking uitgevoerd in een groot aantal opstanden bij private eigenaren. In dit deelonderzoek wordt uit het bestek de volgende evaluatie uitgevoerd:

*beoordeling of door de nutriënten- cq. de kalkgift de nutriëntenbalans cq. de zuurgraad is verbeterd.*

Via een herbemonstering in 2004 is uitgezocht of bemesting resulteert in een hoger gehalte van het betreffende element en of bekalking resulteert in een hogere pH. Voor de herbemonstering is geselecteerd in opstanden die een begin-analyse hadden ondergaan in 1998, 1999 of 2000. Via een vooronderzoek is het minimaal benodigde aantal herbemonsteringen vastgesteld om statistisch voldoende betrouwbare uitspraken te kunnen doen over betekenisvolle verbeteringen in de gehalten, resp. de pH.

Aanvullend wordt in onbehandelde opstanden gekeken:

*hoe de autonome ontwikkeling is in de periode na de beginanalyse in onbehandelde bossen.*

Daarbij zijn ook een aantal opstanden inbegrepen waar in 1998, 1999 of 2000 geen gebreken aan nutriënten waren aangetoond en die een voldoende hoge bodem-pH hadden, die dus volgens de begin-analyse geen bemesting of bekalking nodig hadden.

## Representativiteit van het onderzoek

De uitspraken kunnen niet representatief zijn voor het gehele Nederlandse bos. De steekproef is genomen uit de opstanden op verzuringsgevoelige bodems die in de periode 1998-2000 zijn aangemeld voor een nutriënten en bodemanalyse door private boseigenaren en gemeenten. Zij konden gebruik maken van de subsidieregeling EGM. Opstanden van Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en de provinciale landschappen maken dus geen deel uit van dit onderzoek. De uitspraken zijn dus representatief voor de private en gemeentebossen op verzuringsgevoelige bodems.

De uitspraken gelden zeker niet voor bossen op rijkere bodems, die niet verzuringsgevoelig genoemd worden. De voedingsstoffenhuishouding aldaar is heel anders van karakter, vooral omdat er meer nutriënten beschikbaar zijn. Om over de rijkere bossen uitspraken te kunnen doen is een andere onderzoeksopzet noodzakelijk. Dat behoorde niet tot de vraagstelling van dit onderzoek.

## Opzet rapportage

Na deze inleiding, wordt in Hoofdstuk 2 het statistisch vooronderzoek beschreven en in Hoofdstuk 3 de methodiek van de herbemonstering, zowel voor de bemeste als de bekalkte opstanden. Ook wordt daarin beschreven hoe de veranderingen in de onbehandelde opstanden zijn onderzocht (in Bijlage 1 wordt de statistische opzet gedetailleerd beschreven). In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek beschreven, na commentaar op de uitgangssituatie. In Hoofdstuk 5 is er discussie over de aangetroffen meetvariatie, de onderzoeksopzet, de uitgangssituatie 1998, 1999 en 2000, het bemestingsadvies, en een afweging over kalk of gips om de voedingsstoffenvoorziening te verbeteren. In Hoofdstuk 6 staan de conclusies en in Hoofdstuk 7 worden een drietal aanbevelingen geschetst voor verbetering van de diagnose.

## Hoofdstuk 2      Statistisch vooronderzoek

De analyse resultaten van de bemonstering bij particuliere boseigenaren in 1998, 1999 en 2000 zijn gebruikt om te berekenen hoeveel opstanden nodig waren om bij een herbemonstering relevante veranderingen statistisch betrouwbaar aan te kunnen tonen. Voor deze berekening moest, in overleg met de Unie van Bosgroepen, een aantal aannamen worden gedaan:

- De veranderingen in voedingsstoffengehalte treden al op na enige jaren na de bemesting (een conclusie uit het bemestingsonderzoek van Van den Burg, 1994a t/m 1994e, Van den Burg & Olsthoorn, 1994)
- Daarom zijn gegevens gebruikt uit onderzochte opstanden in 1998, 1999 en 2000, beschikbaar gesteld door CBB en Unie van Bosgroepen
- De bemesting vond meestal minimaal een jaar na de begin-analyse plaats (dan is er nog voldoende tijd om te reageren voor de herbemonstering)
- Ook voor een effect van bekalking is dit een voldoende ruime periode (Van den Burg, 1994c en 1994d)
- Er zijn (vrijwel) geen fouten gemaakt bij de toediening van meststoffen (check via rekeningen van de uitvoering en via de AID-controles).

De gegevens van de begin-analyse in 5019 opstanden zijn gebruikt voor het statistisch vooronderzoek. Elk monster is representatief voor een gebied kleiner dan 2 ha; in grotere opstanden zijn meer monsters genomen binnen de opstand. Op basis van de begingegevens zijn de opstanden ingedeeld in vier groepen:

- a. 17% zonder gebreken (geen voedingsstoffentekort en voldoende hoge pH), 858 opstanden
- b. 4,5% met een te lage pH (maar zonder voedingsstoffentekort), 228 opstanden
- c. 69% met voedingsstoffentekort (geen te lage pH), 3468 opstanden
- d. 9,3% met zowel een voedingsstoffentekort als een te lage pH, 465 opstanden

In dit rapport worden de eerste drie groepen als volgt genoemd: a) Voldoende-opstanden, b) Opstanden met te lage pH, c) Opstanden met voedingstekort. De groep d) opstanden met zowel een te lage pH als een voedingstekort zijn niet herbemonsterd, omdat daar het bemestingseffect en het bekalkingseffect niet goed onderscheiden kan worden.

Om de boomsoorten vergelijkbaar te maken zijn alle gehalten omgerekend naar een relatief getal, waarbij de grenswaarde voor gebrek de grens van 'te laag' was uit de "Richtlijnen voor mineraltoediening en bekalking als effectgerichte maatregelen in bossen" (Van den Burg & Schaap, 1995, IKC Rapport 16, in dit rapport meestal "Richtlijnen" genoemd). Alle gehalten, behalve Ca, zijn samengevoegd in een totaal-indicator voor de opstand, waarbij het element dat het meest een gebrek vertoonde werd gebruikt als indicator voor het gebrek binnen de opstand. Dit is een benadering zoals Von Liebig al gebruikte als verklaring voor de achterblijvende groei indien een element in het minimum was, gebaseerd op de analogie met een vat waarbij de kortste duig de maximale inhoud bepaalt (Wet van het minimum). Deze Liebig-indicator is alleen gebruikt bij het vooronderzoek. (N.B. Later is een random selectie op P-gebrek uitgevoerd, zie Hoofdstuk 3. Bij opstanden met voedingstekort was bijna altijd ook sprake van fosfortekort.)

De herbemonstering is uitgevoerd volgens een zogenaamde BACI opzet (Before – After – Control – Impact). Daarbij is de verandering (impact) bekeken na (after) een ingreep in de uitgangstoestand (before) en er is ook een controlegroep (control) om te zien of die ook een verloop in de tijd vertoont (after). Het vooronderzoek was nodig om te kunnen berekenen hoeveel opstanden nodig zijn bij de herbemonstering. Voor deze berekening zijn een paar uitgangspunten nodig:



Daarbij willen wij dat minimaal de halve breedte van het betrouwbaarheidsinterval voor het bemestingseffect aantoonbaar is: Dat is hier 10 procentpunten van de grenswaarde. Een kleiner (gemiddeld) verschil met de uitgangssituatie beschouwen we als te weinig betekenisvol. Voor het bekalkingseffect geldt hetzelfde, ook de halve breedte van het betrouwbaarheidsinterval: Dat is hier 5 procentpunten van de grens pH-waarde. De variatie voor en na de herbemonstering is gelijk gesteld, voor zowel controle als impact groep in beide behandelingen.

Met het vooronderzoek is een aanzienlijke reductie aangebracht in het aantal te herbemonsteren opstanden in vergelijking met de in het bestek gemaakte schattingen. Op basis van de variatie in de begin-analyse en de gewenste aantoonbare grootte van het effect van de behandeling, bleek dat voor de bemeste bossen 25 opstanden zouden volstaan, te vergelijken met 25 onbemeste opstanden. Voor de bekalkte bossen zouden zelfs 7 opstanden volstaan, te vergelijken met 7 onbehandelde opstanden. De uitgangspunten waren hierbij conservatief: een kleine gewenste significante stapgrootte, de herbemonstering vindt in één jaar plaats terwijl de begin-analyse over drie jaar gespreid is. Desalniettemin zijn deze aantallen ten behoeve van een nauwkeuriger effect-schatting uiteindelijk verdubbeld voor de herbemonstering. Daarnaast is op verzoek van het Deskundigenteam een groep Voldoende-opstanden toegevoegd. Deze opstanden hebben bij de begin-analyse geen voedingsstoffentekort en geen te lage pH. Zie tabel 1 voor de aantallen herbemonsterde opstanden. In bijlage 1 is het statistisch vooronderzoek uitgebreider beschreven.

Tabel 1.: De aantallen opstanden die in 2004 herbemonsterd zijn in de diverse categorieën.

<b>Behandeling</b>	<b>voorwaarde</b>	<b>type opstand</b>	<b>aantal</b>
Onbemest	niet zuur	controle	50
Bemest	niet zuur	behandeling	50
Onbekalkt	geen gebrek	controle	25
Bekalkt	geen gebrek	behandeling	25
Onbehandeld	beide voorwaarden	voldoende-opstanden	26
<i>totaal</i>			200

## Hoofdstuk 3 Methodiek van de herbemonstering

Uit de 3468 opstanden met een voedingsstoffentekort en de 228 opstanden met een te lage pH zijn aselechte steekproeven getrokken van 50 bemeste en 50 onbemeste opstanden, en 25 bekalkte en 25 onbekalkte opstanden. Bij de begin-analyse zijn ook opstanden bemonsterd waar later andere EGM-maatregelen zijn uitgevoerd, zoals dunnen, structuurdunning en noodverjonging. Een deel van deze opstanden was dus niet geschikt voor herbemonstering voor bemestings- en bekalkingseffecten. Er zijn drie sub-populaties gedefinieerd: Opstanden met voedingstekort (uiteindelijk is geselecteerd op het P-gebrek, dat het meest voorkwam), Opstanden met te lage pH en Voldoende-opstanden. Er is nog overwogen deze sub-populaties op te splitsen naar regio, omdat de advisering door de bosgroepen niet overal gelijk was. In Gelderland en Utrecht/Holland is relatief weinig behandeld (en dus veel onbehandeld) en in Overijssel is relatief veel behandeld (dus weinig onbehandeld). De andere regio's vertonen een minder extreem beeld. De verwachting was dat er toch voldoende opstanden in de beide categorieën (behandeld en onbehandeld) zouden worden gevonden over geheel Nederland. Dit bleek ook globaal te kloppen. Omdat er ook altijd een begin-analyse beschikbaar was, kon het bedoelde effect voldoende goed bestudeerd worden. Dit bleek lastiger bij het bestuderen van de neveneffecten van bemesting en bekalking, omdat daar de beginmeting ontbrak en steeds de beide populaties "behandeld" en "onbehandeld" alleen vergeleken kunnen worden ná de behandeling. In dat geval is een zoveel mogelijk vergelijkbare Ausgangssituatie in beide populaties een belangrijke extra voorwaarde. Zie daarvoor deelrapport A3.

Met deze lijsten heeft de Unie van Bosgroepen in het archief opgezocht of de opstand werkelijk geschikt was. Een opstand kon afvallen vanwege de uitvoering van een andere maatregel, of vanwege eigendomsverandering waardoor herbemonstering niet uitvoerbaar zou zijn, of vanwege incidentele onduidelijkheid van de precieze plek in de opstand waar het monster was genomen. Bij deze controle stond steeds de statistische betrouwbaarheid boven het gemak van opzoeken van de gegevens in het archief (bijv. stratificeren op eigenaar). Hierover is regelmatig goed overleg geweest tussen Alterra en de Unie van Bosgroepen, zowel tijdens het vooronderzoek als voor en tijdens de daadwerkelijke herbemonstering.

Er zijn uit de sub-populatie van opstanden met voedingstekort aselechte steekproeven getrokken van 50 bemeste en 50 onbemeste opstanden die voldeden aan de voorwaarden. Uit de opstanden met te lage pH zijn op dezelfde wijze 25 bekalkte en 25 onbekalkte geloot, evenals 50 opstanden uit de categorie "Voldoende-opstanden". De Unie van Bosgroepen heeft daarna opdracht gegeven tot de herbemonstering. Deze is volgens de Richtlijnen uitgevoerd door het Centraal Bodemkundig Bureau (CBB) te Deventer, d.w.z. voor de loofbomen in juli/augustus, voor lariks in september, en voor de overige naaldbomen in oktober, november of december 2004. In opstanden groter dan 2 hectaren zijn meer (meng)monsters genomen, de monsters worden geacht representatief te zijn voor 2 hectare. Omdat CBB werkt met bladeren of naalden van gevelde bomen, zijn in 2004 andere bomen in hetzelfde deel van de opstand bemonsterd, die ook voldeden aan de eis aan de situatie in het kronendak, nl. heersend of medeheersend. Van deze bomen zijn bladeren of naalden verzameld uit het bovenste deel van de kroon.

### 3.1 Bemesting en controle

Uiteindelijk zijn in de tweede helft van 2004 50 bemeste opstanden en 50 onbemeste opstanden herbemonsterd uit de categorie Opstanden met voedingsgebrek. Van de 50 bemeste opstanden die herbemonsterd zijn, bleken er 9 bemest te zijn in seizoen 1999/2000, 13 in seizoen 2000/2001, 6 in seizoen 2001, 2002 en 20 in seizoen 2002/2003. De bemesting mag tot 5 jaar na de begin-analyse uitgevoerd worden voor de EGM-subsidieregeling. Een van de redenen voor deze vertraging is dat oorspronkelijk mechanische bemesting verplicht was. Dit is veranderd in 2001. Daarna zijn dus nog opstanden met gebrek aan voedingsstoffen handmatig bemest. Soms is ook later een ander deel van het eigendom geanalyseerd en is

besloten om het geheel in een keer te bemesten. Bovendien is een bemesting niet verplicht en kan men later alsnog besluiten gebruik te maken van de mogelijkheden.

Alles bij elkaar heeft dit ervoor gezorgd dat er in een vrij groot aantal opstanden nauwelijks twee groeiseizoenen zaten tussen behandeling en herbemonstering in de zomer/najaar van 2004. Daarom is grafisch gecontroleerd hoe snel de nutriëntengehalten opliepen in de seizoenen na behandeling om daar evt. voor te kunnen corrigeren. De tijdsduur na behandeling varieerde tussen 2 en 6 groeiseizoenen. Voor alle elementen bleek dat na twee groeiseizoenen een maximale verandering bereikt is in de gehalten en dat er eerder al een lichte daling was vanaf het tweede groeiseizoen. Dit gold zelfs voor fosfor en kalk, waarvan het vermoeden was dat deze een vertraagd effect konden geven omdat er een strooisellaag in de oudere opstanden aanwezig is. Jonge aanplant reageert meestal sneller op een fosfor en kalkgift. De grafieken met de resultaten zijn met het Deskundigenteam Bossen besproken en worden niet getoond in het rapport. De bemesting is blijkbaar snel opgenomen en heeft gedurende een aantal seizoenen effect. Daarom zijn voor de bemestingseffecten alle opstanden in één populatie onderzocht, zonder een factor "tijd na behandeling". Dit zou het statistisch model namelijk compliceren. Omdat de groei van de bomen wellicht later op gang komt dan de verhoging van de gehalten en er een klein aantal jaren na de bemesting is, zijn deze laat behandelde opstanden wel een probleem voor een deel van de evaluatie. Zie daarvoor Deelrapport A1.2.

### 3.2 Bekalking en controle

Uiteindelijk zijn in de tweede helft van 2004 25 bekalkte opstanden en 25 onbekalkte opstanden herbemonsterd uit de categorie Opstanden met te lage pH. Ook voor bekalking bleek dat er opstanden pas in 2003 zijn behandeld (ongeveer 30%). Net als bij de bemeste elementen (zie 2.2.1) bleek ook voor de pH stijging dat deze niet verder opliep na 2 groeiseizoenen (grafieken niet getoond). Daarom zijn ook voor de bekalkingseffecten alle opstanden in één populatie onderzocht, zonder een factor "tijd na behandeling".

Bij de bekalkte opstanden bleken in een aantal gevallen aanvullende meststoffen gegeven te zijn, op basis van de nutriëntenratio's die wij niet hebben meegenomen in het vooronderzoek. In 8 opstanden is koper toegediend (bij snelgroeiende naaldboomsoorten), in 8 opstanden is magnesium toegediend en in 20 opstanden ook kalium. De bemestingseffecten hiervan zijn niet onderzocht in relatie tot de bekalkingseffecten.

### 3.3 Voldoende-opstanden: Opstanden zonder bemestings- of bekalkingsnoodzaak

Uit de 858 opstanden zonder gebrek (geen voedingstekort en geen te lage pH) zijn random 50 opstanden geloot voor herbemonstering. Omdat bij de random selectie alleen gekeken is naar fosforgebrek, bleek dat er 24 opstanden tussen zaten die kalium of magnesiumgebrek hadden. Daarom zijn er uiteindelijk slechts gegevens gebruikt van 26 opstanden die aan alle voorwaarden voldeden. Deze groep opstanden is toegevoegd aan de overige onbehandelde groep opstanden (controles). Bij deze onbehandelde opstanden is geen effect van een ingreep te verwachten en de veranderingen geven met name een beeld van de veranderingen in de tijd (4 tot 6 jaar).

### 3.4 Statistische analyse

Na verkrijging van de gegevens is geanalyseerd wat de effecten waren van fosforgift op het fosforgehalte, van kaliumgift op het kaliumgehalte, van magnesiumgift op het magnesiumgehalte en van bekalking op de bodem pH. Daartoe zijn 95% betrouwbaarheidsintervallen van de effecten berekend (gepaard geschat per locatie, vóór het behandelingstijdstip en in 2004, zowel voor de behandelde opstanden als voor de onbehandelde controles). Zie voor details bijlage 1. De statistische berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Genstat.

Mede vanwege de aangetroffen grote meetvariatie, zijn ter controle een aantal aanvullende statistische tests gedaan. Bijvoorbeeld om te testen of de beginwaarde in het model kon worden genomen als verklaring van het effect, bijvoorbeeld een groter effect bij lagere beginwaarde. Dit heeft echter geen extra resultaten opgeleverd en wordt dus niet in detail vermeldt. Soms wordt daarover in de tekst een opmerking gemaakt. Er is geen outlier analyse gedaan omdat dit proces lastig te begrenzen is, en daarom subjectief kan zijn. Juist door de grote variatie is het lastig te bepalen wat geen outlier meer is. Indien slechts een paar punten verwijderd zouden worden (bijv. bij de kalium gehalten) zouden de conclusies bovendien niet veel veranderen. Wel is per opstand gekeken of er veel vreemde getallen aanwezig waren. Dan zou deze hele opstand uit het basisgegevensbestand worden verwijderd. Dit bleek echter niet het geval.

## Hoofdstuk 4 Resultaten van de herbemonstering

### 4.1 Uitgangssituatie in 1998, 1999 en 2000

In tabel 2 is aangegeven hoeveel opstanden van de voornaamste boomsoorten bij een beginmeting een gebrek hadden aan de voornaamste elementen en waar de bodem-pH te zuur was. Van de ruim 4800 gemeten opstanden blijkt dat 61% een gebrek heeft aan fosfor, 35% een gebrek aan kalium, 44% een gebrek aan magnesium en 14% een te lage pH. (pH-KCl < 3.2). Vooral, maar niet uitsluitend, snelgroeïende boomsoorten hebben lage gehalten van fosfor. Een te laag fosforgehalte is gevonden in meer dan de helft van de opstanden van Japanse lariks (94%!), Douglas en Corsicaanse den (beiden 81%), beuk (72%) en grove den (54%). Fijnspar zit hier net onder (49%). Eik heeft het laagst percentage opstanden met fosforgebrek, maar dit is toch nog aanwezig in 24 % van de opstanden. Amerikaanse eik heeft 36% opstanden met fosforgebrek. Amerikaanse eik heeft juist weer het hoogste percentage opstanden met magnesiumgebrek (81%). Kaliumgebrek is vooral aanwezig in Japanse lariks (65%), fijnspar (54%), Douglas (45%) en Amerikaanse eik (ook 45%). De meeste andere boomsoorten zitten rond de 20% of minder opstanden met kaliumgebrek. Naast Amerikaanse eik, hebben beuk (75%) en Inlandse eik (59%) vaak magnesiumgebrek. Opvallend is dat Douglas slechts in 3% van de opstanden magnesiumgebrek heeft.

Tabel 2.: Totaal aantal opstanden (n) en percentage met gebrek aan fosfor, kalium en magnesium in bladeren of naalden en te lage bodem-pH in 1998, 1999 of 2000 voor de voornaamste boomsoorten<sup>1)</sup>.

Boomsoort	Totaal aantal	Percentage opstanden met gebrek, resp. te zuur (element, resp. bodem pH)			
		P	K	Mg	pH
	n	%	%	%	%
Beuk	145	72	23	75	11
Inlandse eik	785	24	11	59	15
Grove den	1705	54	15	47	12
Amerikaanse eik	190	36	45	81	9
Corsicaanse den	405	81	23	50	8
Douglas	755	81	45	3	18
Fijnspar	365	49	53	23	21
Jap. lariks	480	94	65	16	14
<b>Totaal / Gemiddeld</b>	<b>4830</b>	<b>61</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>14</b>

<sup>1)</sup> Afgeleid uit gegevens van de Unie van Bosgroepen/CBB, representatief voor boseigenaren en gemeenten op verzuringsgevoelige bodems die een analyse lieten uitvoeren

In 43% van de gemeten opstanden in 1998, 1999 en 2000, blijkt een overmaat aan stikstof aanwezig te zijn (zie tabel 3). Dit treedt vooral op bij de boomsoorten Grove den, Douglas en Fijnspar (50% van de opstanden of meer) en is minder prominent Corsicaanse den en Japanse lariks (30% van de opstanden of minder). Er blijkt echter ook stikstofgebrek op te treden, in totaal 18% van de opstanden, waarbij een aantal soorten hoog scoren, nl. Beuk, Inlandse eik, Amerikaanse eik en Corsicaanse den (25% van de opstanden of meer). Stikstofgebrek treedt het minst op bij Grove den, Douglas, Fijnspar en Japanse lariks (10% van de opstanden of minder). Uit deze gegevens kan niet worden opgemaakt in hoeverre de spreiding in de meting wordt veroorzaakt door de gevonden grote meetvariatie (zie Hoofdstuk 5).

Tabel 3.: Stikstofvoorziening van de verschillende boomsoorten in de beginmeting (1998, 1999 en 2000). Grenswaarden zijn afkomstig uit de Richtlijnen.

Boomsoort	Aantal opstanden	N-gebrek (%)	N-normaal (%)	N-overmaat (%)
Beuk	145	31	39	33
Inlandse eik	785	29	30	41
Grove den	1705	6	34	61
Amerikaanse eik	190	30	30	40
Corsicaanse den	405	25	49	26
Douglas	755	6	29	65
Fijnspar	365	8	42	50
Japanse lariks	480	10	61	29
<b>Totaal / gemiddeld</b>	<b>4830</b>	<b>18%</b>	<b>39%</b>	<b>43%</b>

Tabel 4.: Percentage van de opstanden die hoog of laag scoort volgens de verhoudingen van de diverse voedingsstoffen in de verschillende boomsoorten ten opzichte van stikstof in de beginmeting (1998, 1999 en 2000). Grenswaarden zijn afkomstig uit de Richtlijnen (verhoudingen in g.kg<sup>-1</sup>).

Boomsoort	Aantal opstanden	N/P <6,6	N/P >20	N/K <2	N/K >4	N/Mg <10	N/Mg >20
Beuk	145	5	41	10	28	8	52
Inlandse eik	785	9	21	14	28	14	35
Grove den	1705	1	11	7	18	1	82
Amerikaanse eik	190	5	40	8	53	7	47
Corsicaanse den	405	2	12	23	11	2	76
Douglas	755	1	41	10	26	16	25
Fijnspar	365	3	14	7	26	3	55
Japanse lariks	480	5	44	8	51	12	37
<b>Totaal/gemiddeld</b>	<b>4830</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	<b>11</b>	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>51</b>

Het relatieve gehalte aan fosfor, kalium en magnesium ten opzichte van het stikstofgehalte geeft ook een indicatie van fysiologische problemen (zie tabel 4). In de tabel is de klasse met een goede verhouding niet aangegeven. Dit is het overblijvende percentage per element P, K en Mg. De ratio N/P en N/K is meestal voldoende laag, dus in verhouding een voldoende hoog gehalte aan fosfor en kalium (in ongeveer 70% van de bijna 5000 opstanden). Gemiddeld is de fosforvoorziening ten opzichte van het stikstofgehalte te laag in 28% van de opstanden. Grove den en Corsicaanse den hebben vrijwel geen problemen met deze P/N-verhouding (slechts in 11, resp. 12% van de gevallen). Voor veel boomsoorten is er in ruwweg 40% van de opstanden wel een probleem met de N/P-verhouding. Er zijn geen uitschieters. De stikstof-kalium verhouding scoort ook onvoldoende in 30% van de opstanden. De beide dennensoorten hebben weer relatief weinig problemen. Japanse lariks en Amerikaanse eik scoren het slechtst in de N/K verhouding (ruim 50%). De overige boomsoorten zitten vaak rond de 30% met een ongewenste N/K verhouding. onvoldoende. Magnesium is in verhouding tot stikstof maar in de helft van de bemonsterde opstanden in voldoende mate aanwezig. De beide dennensoorten scoren hier opvallend negatief, met rond de 80% onvoldoende magnesium t.o.v. stikstof. Het gunstigst is de situatie bij Douglas.

Er zijn dus geen boomsoorten zonder problemen, althans op de verzuringsgevoelige gronden, waartoe deze steekproef beperkt is. De steekproef is representatief voor private eigenaren aldaar die een analyse hebben laten uitvoeren in 1998, 1999 of 2000. Omdat het een groot aantal opstanden betreft (met een aantal overige boomsoorten ruim 5000) zegt dit veel over de onbalans door de stikstofdepositie, vaak lage gehalten aan andere elementen en regelmatig in een ongunstige verhouding met stikstof.

In de basis gegevens van de begin-analyse kunnen de resultaten van één eigenaar goed worden bekeken. Vaak zijn er vele opstanden tegelijk gemeten. Dit levert soms een vrij heterogeen beeld op. Als voorbeeld nemen we een eigenaar uit het oosten van Friesland die in 1997 61 opstanden heeft laten analyseren (dit jaar is verder niet gebruikt in ons onderzoek). Daarbij zijn 3 opstanden van beuk gemeten, 5 van Douglas, 25 van eik, 10 van fijnspar, 13 van Japanse lariks, 4 van Sitkaspar en 1 van Oriëntaalse spar. Zie bijlage 2 voor een overzicht van de analyseresultaten. Van (bijna) alle opstanden zijn blad- en naaldsamenstelling bekend, en vooral van de sneller groeiende boomsoorten ook bodemgegevens. In de bijlage is met een gele (of lichtgrijze) kleur aangegeven wanneer een element bij die boomsoort in gebrek was en met blauw (of donkergrijs) als het tekort ontstond op basis van de ratio's met stikstof (zie Van den Burg & Schaap, 1995 voor grenswaarden). Voor stikstof is juist aangegeven wanneer het overmatig aanwezig was, in verband met de vermistingsproblematiek.

Tabel 5.: Aantal opstanden dat bemest zou kunnen worden (bemest%) met de verschillende voedingsstoffen, op basis van het directe gehalte (in bijlage 2 geel/lichtgrijs) en extra op basis van de ratio's o.a. met stikstof (in bijlage 2 blauw/donkergrijs).

		Beuk	Douglas	Eik	Fijnspar	Jap. lariks	Sitkaspar
aantal opstanden		3	5	25	10	10	3
stikstof	hoog	2	3	10	5	8	0
fosfor	tekort	3	4	12	5	9	1
	ratio	0	0	7	0	0	0
	Bemest%	100	80	76	50	90	33
kalium	tekort	3	4	10	7	8	0
	ratio	0	0	6	1	1	0
	Bemest%	100	80	64	80	90	0
magnesium	tekort	2	0	7	2	0	0
	ratio	0	0	3	3	3	1
	Bemest%	66	0	40	50	30	33
calcium	tekort	2	3	4	4	5	1
	ratio	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	Bemest%	66	60	16	40	50	33
koper	Bemest%	n.v.t.	100	n.v.t.	n.v.t.	90	n.v.t.

Het beeld in bijlage 2 is vrij heterogeen. In tabel 5 zijn de gegevens per boomsoort en element gerubriceerd. Van de 25 eikenopstanden hebben 12 opstanden een fosforgebrek op basis van het gehalte. Daarnaast zijn er nog 7 met een gebrek op basis van de ratio's met stikstof. Dus minimaal 19 van de 25 mogen worden bemest met fosfor volgens de criteria in de Richtlijnen (de ratio's tussen andere elementen zijn bij dit oriënterend overzicht niet gebruikt in de beoordeling). Bemesting van fosfor en kalium blijkt het meest nodig, voor vrijwel alle boomsoorten. Magnesium is vooral nodig bij fijnspar, eik en Japanse lariks. Calcium tekort komt ook vrij veel voor. De percentages van de mogelijkheid tot bemesting in de opstanden kunnen worden opgeteld (zonder koper, omdat dit alleen aan Douglas en Japanse lariks wordt gegeven). Het valt op dat Sitkaspar van alle boomsoorten procentueel de minste bemesting nodig heeft; er zijn echter slechts drie opstanden gemeten in dit landgoed. Beuk lijkt de grootste noodzaak van bemesting te hebben, met ook maar drie opstanden gemeten, met daarna Japanse lariks, Douglas en fijnspar en eik, die daar in grotere aantallen gemeten zijn. Daarnaast zou in alle opstanden van Douglas koperbemesting gegeven mogen worden en in 90% van de Japanse lariks opstanden.

Het is echter niet zo dat de gebreksituaties meestal in dezelfde opstanden voorkomen (zie bijlage 2). Ook bij Japanse lariks blijkt dat opstanden soms op elkaar lijken in de gebreksituaties, maar niet altijd. Fosfortekort in de bodem is meestal gekoppeld aan fosforgebrek in de naalden, maar ook niet altijd. Bij fijnspar, waar vrijwel altijd fosforgebrek in

de bodem aanwezig was, bleek dat dan in de helft van de gevallen het naaldgehalte voldoende hoog is (soms op de grenswaarde). Ook bij te lage pH, is calciumgebrek niet altijd aanwezig. In de discussie zullen we verder ingaan op de interpretatie van dit heterogene beeld om te bezien of de advisering op basis van de analyses aangescherpt zou kunnen worden.

Ook op een andere manier kan de meetvariatie worden bekeken. In de oorspronkelijke bestanden van de beginanalyse (bijna 5000 metingen) zijn een aantal monsters terug te vinden die uit een opstand groter dan 2 hectare kwamen met één boomsoort, via de namen van de monsters die verwijzen naar verschillende delen van het perceel. Natuurlijk is de werkelijke variatie daar ter plekke niet bekend, en het is mogelijk dat er een bodemgrens door het perceel loopt, maar normaal gesproken zou kunnen worden verwacht dat de gehalten redelijk dicht bijeen liggen. Bij nalopen van de gekoppelde monsters uit een aantal grote opstanden, blijkt dat gehalten regelmatig flink uiteenlopen, tot wel een factor 2. Dit maakt natuurlijk veel uit, nabij de gebreksgrens die bepaald of wel dan niet bemest mag worden voor de verschillende elementen. Vrijwel nooit betreft het alle elementen tegelijk die zo sterk verschillen. Soms scoort een deel van de opstand beter in een element, terwijl het andere deel van de opstand beter scoort in alle overige elementen. Er is dus niet een eenvoudige oorzaak aan te wijzen van deze verschillen, zoals verkeerd of slordig bemonsteren o.i.d., waardoor een monster slechter zou kunnen scoren.

## 4.2 Bosbemesting in opstanden met voedingsgebrek

### *Gebreksgrenzen per boomsoort*

De opstanden die in 1998, 1999 of 2000 een gebrek hadden aan fosfor, kalium of magnesium mochten worden bemest volgens de subsidieregeling Effectgerichte Maatregelen. Alleen de elementen die in gebrek waren mochten worden bemest (althans met subsidie), en dit is ook altijd zo uitgevoerd (mondelijke mededeling H. Weersink). De gebreksgrens voor deze elementen staan vermeld in de Richtlijnen (Van den Burg & Schaap, 1995). Het verloop in opstanden waar wel een voedingsgebrek was, maar die niet bemest zijn, dient als controle ter vergelijking met de bemeste opstanden.

De gebreksgrenzen van de verschillende boomsoorten zijn niet geheel gelijk. In dit rapport vergelijken we de alle opstanden als één groep. Daarom is het goed om een beeld te hebben van de verschillen tussen de boomsoorten. Zie voor een overzicht van de grenzen voor een gebrek tabel 6.

Tabel 6.: Overzicht van de grenswaarden (in g.kg<sup>-1</sup>) voor gebrek aan de voedingsstoffen fosfor, kalium en magnesium bij een aantal boomsoorten (uit Van den Burg & Schaap, 1995). Eik is een gemiddelde van zomereik en wintereik. Sitka is gelijk aan Fijnspar. Het gemiddelde is een gewogen gemiddelde op basis van de boomsoortensamenstelling van de 101 onbehandelde opstanden.

<b>Boomsoort</b>	beuk	eik	Am. eik	Jap. lariks	Fijn-spar	Cors. den	Dou-glas	Grove den	Gewogen gemiddelde
<b>Element</b>									
Fosfor	1,5	1,35	1,3	2,0	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5
Kalium	6	6	6	7	6	5	6	5	5,3
magnesium	1,5	1,55	1,6	1,0	0,7	0,6	0,7	0,7	1,5

### *Effecten van de standaardgiften per nutriënt*

In tabel 7 worden de effecten aangegeven, als stijging van het gehalte van de gegeven meststof, gecorrigeerd voor de verandering in de onbemeste opstanden. Voor fosfor betrof dit alle 50 bemeste opstanden, voor kalium 22 opstanden en voor magnesium 23 opstanden. Het effect van de fosforbehandeling blijkt gemiddeld 0,13 g.kg<sup>-1</sup> te zijn, dus gecorrigeerd voor de



verandering in de onbehandelde opstanden. Dit blijkt (net) geen significant effect te zijn. Voor kalium en magnesium blijkt het gecorrigeerde effect zelfs licht negatief uit te vallen, maar dit is ook niet significant. De effecten van een bemesting op andere elementen blijkt niet groot te zijn, inclusief het effect op het stikstofgehalte. Opvallend is dat het enige significante effect de pH-daling in de bodem blijkt te zijn, als gevolg van de bemesting. In alle opstanden was in de begin-meting de bodem pH hoog genoeg, zodat er geen bekalking uitgevoerd is.

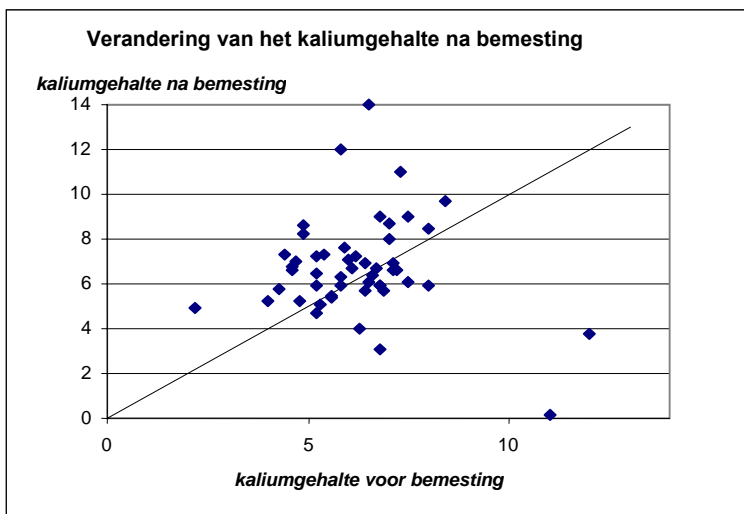
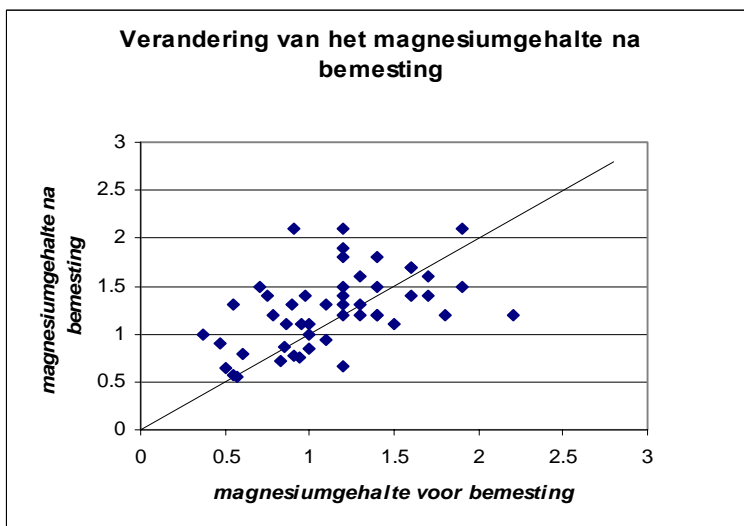
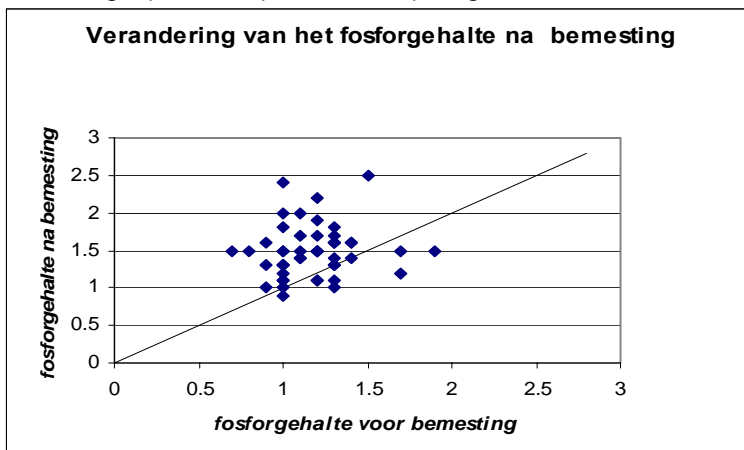
In figuur 2 wordt grafisch getoond hoe de gehalten in de beginanalyse in 1998, 1999 en 2000 en de eindanalyse in 2004 zich verhouden voor fosfor, kalium en magnesium. De puntenwolven bevatten alle gemeten bemeste opstanden, waarvan alle 50 met fosfor zijn bemest, 22 stuks met kalium en 23 stuks met magnesium. Omdat de grenswaarden per boomsoort verschillen, is er in de begin-waarde een theoretisch maximum van 2 bij fosfor (voor lariks, zie tabel 6). Voor kalium en magnesium kan de begin-waarde hoger zijn dan de hoogste gebreksgrens uit tabel 6, omdat in de gegevens ook opstanden voorkomen die niet bemest behoeven te worden met kalium en magnesium. In de figuren valt de grote spreiding op. In figuur 2a is te zien dat bij fosfor inderdaad de meeste punten zich boven de lijn bevinden, een teken van verbetering ten opzichte van de begin-meting. Dit blijkt dus niet statistisch significant te zijn, zoals hierboven al vermeld (in de analyse van het effect van kalium en magnesium zijn alleen de werkelijk bemeste opstanden betrokken, zie aantallen in tabel 7).

Tabel 7.: Effect van de behandeling in de bemeste velden (in  $\text{g.kg}^{-1}$ ), gecorrigeerd voor de verandering in de niet-bemeste velden, met de significantie van het effect (95% betrouwbaarheid). De cursief aangegeven elementen en kalk zijn niet toegediend, dus worden alleen ter informatie gegeven, evenals de bodem-pH.

<b>Nutriënt / pH</b>	<b>n</b>	<b>Verandering bemest</b>	<b>Verandering onbemest</b>	<b>Effect behandeling</b>	<b>Significant / p-waarde</b>
<b>Fosfor</b>	<b>50</b>	<b>0.28</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	<b>Nee / 0.06</b>
<b>Kalium</b>	<b>22</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>	<b>-0.1</b>	<b>Nee / 0.86</b>
<b>Magnesium</b>	<b>23</b>	<b>0.11</b>	<b>0.22</b>	<b>-0.11</b>	<b>Nee / 0.34</b>
<i>Calcium</i>	<i>50</i>	<i>-0.19</i>	<i>-0.22</i>	<i>0.03</i>	<i>Nee / 0.47</i>
<i>Stikstof</i>	<i>50</i>	<i>0.88</i>	<i>2.6</i>	<i>-1.7</i>	<i>Nee / 0.22</i>
<i>Bodem pH</i>	<i>50</i>	<i>-0.14</i>	<i>0.02</i>	<i>-0.16</i>	<i>Ja / 0.03</i>

Omdat er veel variatie aanwezig is in de metingen, zijn ook nog aanvullende statistische modellen geprobeerd, zoals opname van de waarde van de begin-meting in het verklarende model. Ook is gekeken of er een duidelijker beeld optrad in een aparte analyse voor de meest voorkomende boomsoorten in de bemeste opstanden, Japanse lariks 16 stuks, Douglas 10 stuks en Grove den 8 stuks. De aantallen opstanden per regio bleken ook te klein om voor een paar regio's te testen of er een duidelijker verband was. Dit bleek allemaal geen significante effecten op te leveren. Zie Hoofdstuk 5 voor een bespreking van het effect van de meetvariatie.

Figuur 2: Vergelijking van de gehalten aan fosfor, kalium en magnesium voor en na de bemesting: a) fosfor; b) kalium en c) magnesium.



### 4.3 Bekalking in opstanden met te lage pH

In tabel 8 wordt het effect aangegeven, als stijging van de bodem-pH, gecorrigeerd voor de verandering in de onbekalkte opstanden. Het effect van de bekalking blijkt gemiddeld negatief te zijn, dus een relatieve daling van de pH met -0,16. Dit komt omdat de onbekalkte groep een grotere stijging in de pH vertoont dan de bekalkte opstanden. De reden van de pH-stijging in de onbehandelde opstanden is niet bekend en zou op toeval kunnen berusten (zie ook Hoofdstuk 5, Meetvariatie: opstanden die bij de beginmeting laag scoren hebben een grotere kans om in een tweede meting hoger uit te komen). Het effect op de bodem-pH is niet significant. Een daling van de bodem-pH door bekalking na een gering aantal jaar zou verklaard kunnen worden doordat de sneller oplosbare fracties in veelgebruikte koolzure kalken (bijvoorbeeld  $\text{CaSO}_4$  en  $\text{MgO}$ ) via de opgeloste kationen protonen ( $\text{H}^+$ ) losweken van het adsorptiecomplex. Daardoor kan de pH dalen zolang de langzamer werkende stoffen ( $\text{CaCO}_3$ ) nog minder actief zijn (persoonlijke mededeling D. Boxman). Ook in de bekalkingsproefvelden van het bemestingsonderzoek van Van den Burg (1994c en 1994d) komt het een aantal keer voor dat er na drie jaar nog geen pH stijging te zien is in de bodem, met soms een lichte achteruitgang.

Opvallend is dat het enige significante effect van bekalking de daling van het fosforgehalte blijkt te zijn, als gevolg van de bekalking. De effecten van een bekalking op andere elementen blijkt niet groot te zijn, inclusief het effect op het stikstofgehalte. In alle opstanden was in de beginmeting het elementgehalte hoog genoeg, zodat er geen bemesting is uitgevoerd.

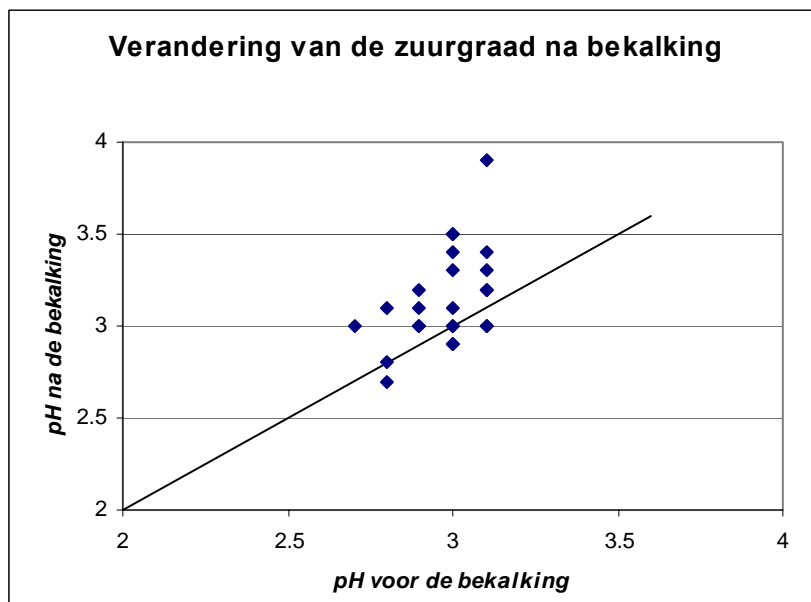
Tabel 8.: Effect van de bekalking in de bekalkte velden (elementengehalte in  $\text{g.kg}^{-1}$ ), gecorrigeerd voor de verandering in de niet-bekalkte velden, met de significantie van het effect (95% betrouwbaarheid). De cursief aangegeven elementen zijn niet toegediend, dus worden alleen ter informatie gegeven.

pH / nutriënt	n	Verandering bekalkt	Verandering onbekalkt	Effect behandeling	Significant / p-waarde
pH	25	0.17	0.32	-0.16	Nee / 0.07
<i>Fosfor</i>	25	-0.6	-0.18	-0.43	Ja / <0.001
<i>Kalium</i>	25	-2.02	-2.1	0.1	Nee / 0.46
<i>Magnesium</i>	25	-0.1	-0.1	0.04	Nee / 0.38
<i>Calcium</i>	25	-0.2	-0.1	-0.12	Nee / 0.41
<i>Stikstof</i>	25	-1.4	-0.6	-0.77	Nee / 0.37

In figuur 3 wordt grafisch getoond hoe de waarde van de bodem-pH in de beginanalyse in 1998, 1999 en 2000 en de eindanalyse in 2004 zich verhouden. De puntenwolk bevat alle 25 gemeten bekalkte opstanden. De grenswaarden in de begin-waarde kan nooit meer zijn dan 3,2, omdat dit de voorwaarde is voor een bekalking. In de figuur valt de grote spreiding op. In figuur 3 is te zien dat de pH over het algemeen stijgt. Omdat de stijging van de onbehandelde groep (zie tabel 8) nog groter bleek te zijn, is dit effect (net) niet significant, zoals hierboven al vermeld.

Omdat er veel variatie aanwezig is in de metingen, zijn ook nog aanvullende statistische modellen geprobeerd, zoals opname van de waarde van de begin-meting in het verklarende model. Ook is gekeken of er een duidelijker beeld optrad in een aparte analyse voor de meest voorkomende boomsoorten in de bekalkte opstanden, alleen Grove den was hier relevant met 8 stuks. Ook de aantallen opstanden per regio bleken te klein om voor een paar regio's te testen of er een duidelijker verband was. Deze analyses bleken voor bekalking geen significante effecten op te leveren. Zie Hoofdstuk 5 voor een bespreking van het effect van de meetvariatie.

Figuur 3: Vergelijking van de pH van de minerale bodem voor en na de bekalking.



#### 4.4 Verloop in onbehandelde opstanden

In tabel 9 worden de veranderingen weergegeven van alle beschikbare onbehandelde opstanden, dus zowel de niet-bemeste controles uit de gebreksgroep (50), de niet-bekalkte controles uit de bekalkingsgroep (25) als de voldoende-groep (26). In totaal konden daarmee 101 opstanden gevolgd worden in de tijd tussen de begin-meting in 1998, 1999 of 2000 en de meting in 2004. De periode tussen de metingen is dus gemiddeld 5 jaar, met een minimum van 4 jaar en maximum van 6 jaar. De grenswaarde voor gebrek is gemiddeld als gewogen gemiddelde voor de aangetroffen boomsoorten in de selectie. Het fosforgehalte lag in de begin-meting precies op de grenswaarde. Door een kleine daling komt de gemiddelde waarde in 2004 iets onder de grenswaarde te liggen. De verandering blijkt niet significant te zijn. Ook de daling in gehalte van kalium en magnesium blijkt niet significant. De waarden liggen in 2004 nog duidelijk boven de gebreksgrens (gewogen gemiddelde). De pH-KCl van de minerale bodem blijft gemiddeld op een acceptabel niveau, namelijk 3,6. Maar ook hier blijkt de verandering niet significant. Dit wordt ongetwijfeld veroorzaakt door de meetvariatie, zoals we eerder hebben gezien. In Hoofdstuk 5 wordt het effect van de meetvariatie op de interpretatiemogelijkheden in dit onderzoek besproken.

Tabel 9.: Verandering van gehalten ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) in 101 opstanden in de alle onbehandelde opstanden, nl. de voldoende-opstanden ( $n=26$ ), de onbemeste groep ( $n=50$ ) en de onbekalkte groep ( $n=25$ ) tussen de bemonsteringen 98/99/2000 en 2004.

Nutriënt / pH	Grenswaarde (gem.)	1998-2000 (gem.)	2004	verandering	Significant / p-waarde
Fosfor	1.4	1.4	1.3	-0.04	Nee / 0.38
Kalium	5.5	6.6	6.3	-0.29	Nee / 0.27
Magnesium	0.9	1.0	1.0	-0.01	Nee / 0.77
Bodem pH	3.2	3.6	3.6	-0.04	Nee / 0.38

## Hoofdstuk 5 Discussie

### Meetvariatie

Wellicht het meest opvallende resultaat in dit onderzoek bleek de grote meetvariatie te zijn (ook wel genoemd de meetfout). De meetvariatie is de optelsom van een aantal factoren die de variatie kunnen vergroten. Zie een overzicht hiervan in tabel 10. Daaronder valt het gehalte zelf dat je wilt weten, en dit varieert onvermijdelijk binnen een opstand, bijvoorbeeld omdat de bodem niet zo homogeen is als wordt aangenomen voor de bemonstering. Voor de EGM subsidies telt een analyse voor 2 hectare. Als de opstand groter is, worden meer monsters genomen, elk geldig voor 2 hectare. Ook wordt variatie toegevoegd door het verzamelen van het monster. Er zijn in 2004 in elk geval andere bomen bemonsterd dan in de eerste meting omdat de eerste serie destijds is omgezaagd voor de bemonstering. Als een correct verzameld monster representatief is voor 2 hectare zou je veronderstellen dat dit geen groot probleem kan zijn. Omdat CBB beide metingen heeft uitgevoerd, zijn waarschijnlijk dezelfde delen van de kroon bemonsterd. Dit is niet geheel zeker omdat de medewerkers in de verschillende meetjaren kunnen verschillen.

Er is ook een jaarlijkse variatie in de gehalten. Dit is ook bekend uit de Level 2 opstanden uit het EU vitaliteitsmonitoring programma, waarvoor ook in Nederland ruim een tiental opstanden wordt gemeten, eerst elk jaar, nu elke twee jaar. Dan blijkt dat zelfs als precies dezelfde bomen worden gemeten door (vrijwel) dezelfde meetploeg en door laboratoria die meedoen aan een speciaal hiervoor opgericht EU ringonderzoek af en toe vreemde fluctuaties op te treden (Leeters, et al., in prep). De schommelingen gelden soms van jaar tot jaar (alle opstanden), en soms per locatie (een locatie wijkt af) en per element (een element is ineens afwijkend, terwijl de anderen hetzelfde niveau vasthouden). In dit EGM-evaluatie-project zijn in totaal monsters uit 4 jaren gebruikt, waardoor de jaarlijkse variatie zeker meespeelt bij de analyse. In de serie Voldoende-opstanden bleek bijvoorbeeld dat de gemiddelde waarden van de in 2000 gemeten opstanden, zowel van alle elementengehalten als van de pH, iets gunstiger zijn dan die van de in 1998 gemeten opstanden. In 1999 waren slechts 3 opstanden gemeten, dus dat is niet goed vergelijkbaar. De laboratoriumfout is naar verwachting klein, en ook weer vergelijkbaar omdat het in beide gevallen door CBB is uitgevoerd. De variatie kan ook worden vergroot doordat de behandelingen (bemesting of bekalking) verkeerd zijn uitgevoerd, waardoor binnen de opstand een verschillende mate van verandering optreedt. Dit is echter gecontroleerd via verschillende kanalen (via steekproefsgewijze AID veldcontroles en via gespecificeerde rekeningen van de meststoffen). Omdat de meststoffen gemechaniseerd zijn uitgebracht, vervalt een klassiek probleem van oude bemestingsproeven op grote schaal: meer meststoffen vlakbij het verdeelpunt.

Tabel 10.: Mogelijke bronnen van meetvariatie in dit onderzoek, waardoor de totale meetfout groot kan zijn:

1. Het gehalte zelf: hoe varieert dit binnen opstand? Wat is het effect van voorgeschiedenis, herkomst, etc.?
2. Het verzamelen: andere bomen (eerste serie is omgezaagd); ander jaar (jaareffecten, drie begin-jaren); het bijeenzoeken van het mengmonster zelf (werkwijze in beide gevallen van CBB, dus wsch. zelfde deel van de kroon, etc.);
3. De labanalyse: de laboratoriumfout (beide CBB, wsch. niet groot);
4. De behandeling: mogelijk niet correct uitgevoerd (bemesting/bekalking, per element, of via verspreiding, is gecontroleerd).

Alle bronnen van variatie tellen op tot de uiteindelijke meetvariatie. Het totaal van deze variatie blijkt in dit praktijkonderzoek heel groot te zijn, zonder dat kan worden aangewezen wat de grootste bron is in dit geval. De meetvariatie is veel groter dan aangetroffen in het bemestingsonderzoek van Jan van den Burg, onder veel meer gecontroleerde omstandigheden (proefvelden). In dit onderzoek is het is een groot probleem voor de representativiteit en de

herhaalbaarheid van de meting. Maar zeker voor de diagnostische waarde in de praktijk is het een groot probleem. De subsidie voor bemesting wordt op een eenmalige meting gebaseerd. Zie het einde van dit hoofdstuk voor een discussie over de diagnostische waarde van een eenmalige meting.

### De onderzoeksopzet

In het onderzoek kan met de meetvariatie rekening worden gehouden door met grotere aantallen opstanden te werken. Stel dat bijvoorbeeld 200 opstanden onderzocht kunnen worden, die bemest of bekalkt zijn, en die vergeleken kunnen worden met evenveel onbehandelde opstanden. Via het onderscheidend vermogen (Engels: "Power toets") is gekeken of (veel) grotere aantallen opstanden een meting van een effect met een bepaalde grootte zinvol zou maken. Het onderscheidend vermogen van een test geeft aan hoe groot de kans is dat je een significant verschil vindt als dat verschil er ook echt is. Het onderscheidend vermogen is een kans en ligt dus tussen nul en een. Het is de kans op het verwerpen van de nul-hypothese in een onderzoek, als dat ook correct zou zijn. Het onderscheidend vermogen voor de verschillende elementen is vastgesteld met een programma van een site van het Journal of Statistics Education, (zie [www.amstat.org/publications/jse/v6n3/applets/power.html](http://www.amstat.org/publications/jse/v6n3/applets/power.html)). Daaruit bleek dat voor fosfor het onderscheidend vermogen van de test omhoog zou gaan naar 0,95 indien voor 200 opstanden was gekozen, terwijl deze nu 0,5 was (zie tabel 11). Voor kalium zou het onderscheidend vermogen bij 200 opstanden 0,82 worden. Deze was nu 0,21. Voor magnesium is het onderscheidend vermogen bij 200 opstanden nog slechts 0,05. Voor de effecten op de bodem-pH is het onderscheidend vermogen bij 200 opstanden 0,99, nu 0,46. Deze zou bij 50 opstanden uitkomen op 0,71 en bij 100 opstanden op 0,93.

Tabel 11.: Onderscheidend vermogen van de toetsen op effecten van fosfor, kalium, magnesium en kalk bij een gekozen relevant effect (zie hiervoor bijlage 1) en bij de gevonden schattingsfout (standaard fout van het effect). Het onderscheidend vermogen bij het huidige aantal opstanden wordt steeds vergeleken met een uitbreiding tot 200 (met dezelfde overige invoergegevens).

Element	Aan te tonen effect (g.kg <sup>-1</sup> of pH-eenheid)	Standaard fout van het effect ( $\sigma$ )	Aantal opstanden (n)	Onderscheidend vermogen van de test
Fosfor	0,14	0,595	50	0,51
			200	0,95
Kalium	0,53	2,94	22	0,21
			200	0,82
Magnesium	0,096	0,54	24	0,05
			200	0,05
Bodem-pH	0,16	0,513	25	0,47
			200	0,99

Door het verhogen van het aantal opstanden gaat dus de zeggingskracht omhoog, maar dat is op voorhand ook wel duidelijk. Voor magnesium is het onderscheidend vermogen zo laag dat nooit een goede uitspraak mogelijk lijkt te zijn bij een dergelijke meetvariatie. Uit de berekeningen van het onderscheidend vermogen kan niet worden afgeleid dat bij bijvoorbeeld 200 opstanden het effect wel gevonden zou zijn. Alleen een werkelijk aanwezig effect van de gewenste omvang kan dan worden aangetoond. De interpretatie van het onderscheidend vermogen is nogal subjectief. Wat is een acceptabel niveau van het onderscheidend vermogen, dus de kans op het vinden van een werkelijk aanwezig verschil? Is een kans van 0,5 voldoende? Wel kan worden geconcludeerd dat de kans op het vinden van een werkelijk effect in de door ons gemeten aantallen enigszins marginaal is. Met behulp van de aangetroffen meetvariatie kunnen een aantal aannamen uit het statistisch vooronderzoek worden ingevuld. Dit zou een ander aantal opstanden tot gevolg hebben. Deze berekening is niet uitgevoerd. Het

werkelijke probleem blijft natuurlijk de variatie zelf, die voor de diagnose stelling voor de subsidie heel lastig blijft, omdat dit een eenmalige meting is.

Door het gebruiken van een groter aantal opstanden kan de onderzoeksopzet geoptimaliseerd worden. Onze verwachting is dat het (veld)onderzoek daardoor waarschijnlijk onbetaalbaar zou worden, en dat het meer zin heeft de diagnose-systematiek te verbeteren. Uit de p-waarden in hoofdstuk 4 hebben wij niet de indruk dat een kleine uitbreiding voldoende zou zijn, met een uitzondering voor fosfor. Deze bleek ook al een vrij hoog onderscheidend vermogen te hebben bij het huidige aantal opstanden (n = 50).

De jaar tot jaar variatie kan geminimaliseerd worden door bijv. één beginjaar nemen voor de randomtrekking. In dit geval wisten we niet of dit voldoende behandelde en onbehandelde opstanden zou opleveren uit elke categorie. Ook bleek in onze steekproef dat in vrij veel gevallen de behandelingen laat zijn uitgevoerd (dit is toegestaan in de subsidieregeling). Ook hier zou rekening mee gehouden kunnen worden door een vrij vroeg begin-jaar te kiezen. Dit zou ook voordelen hebben voor de meestal iets langzamere effecten van kalk en fosfor, door de aanwezigheid van een strooisellaag in oudere bossen. We nemen aan dat de protocollen voor de veldbemonstering voldoende bekend zijn, zodat de bemonsteringsvariatie niet verder te minimaliseren is. De heterogeniteit in het veld, dus de veldvariatie is onbekend voor de Nederlandse bossen. Ons vermoeden is dat de heterogeniteit in de bomen zelf een vrij grote rol speelt, binnen de boom en tussen de bomen. Het zou interessant zijn om een aantal herhalingsmonsters binnen een opstand te nemen, en dit ook in verschillende jaren te herhalen. Dit zal veel inzicht opleveren in de representativiteit van een monster en met eventuele problemen kan rekening gehouden worden via aanpassing van protocollen.

### **Uitgangssituatie in 1998, 1999 en 2000**

Het is opvallend dat er een groot aantal opstanden is met gebreksverschijnselen, in totaal 83% van de gemeten opstanden heeft gebreken aan een of meer nutriënten of een te lage pH. Er zijn veel opstanden met gehalten beneden de gebreksgrens (69%), waarvan vrijwel altijd een te laag fosforgehalte. Een te lage pH wordt niet veel aangetroffen, slechts in 4,5% van de opstanden. Opstanden met zowel een te laag gehalte van een element als een te lage bodempH gebrek kwamen niet veel voor (9,3%). Dit geeft een gemiddeld vrij slecht beeld voor de opstanden die gemeten zijn. Is dit te vertalen naar het gehele Nederlandse bos op verzuringsgevoelige bodems? In hoofdstuk 1 zijn de beperkingen aangegeven van dit onderzoek. De uitspraken zijn representatief voor de private en gemeentebossen op verzuringsgevoelige bodems.

Mogelijk moet een verdere beperking aangebracht worden omdat een eigenaar of gemeente wellicht bepaalde redenen heeft om de opstanden aan te melden voor een subsidie, bijvoorbeeld een slechte vitaliteit. Opstanden met een vitaliteitsklasse 1 vielen niet onder de subsidieregeling, dus mochten niet gesubsidieerd geanalyseerd worden. Dergelijke opstanden kwamen ook vrijwel niet voor op verzuringsgevoelige bodems (mondellinge mededeling Harrie Weersink). Deze laatste beperking lijkt daarom niet van groot belang ook omdat veel eigenaren grote aantallen opstanden hebben aangemeld, zie als voorbeeld bijlage 2.

Er is echter een groot aantal analyses uitgevoerd in de drie bovengenoemde jaren, bijna 5000, zie hoofdstuk 4. Bovendien komt het Nederlandse bos grotendeels voor op verzuringsgevoelige, voornamelijk zandige, bodems. Daarom zijn de uitkomsten wel van groot belang voor het bosareaal op verzuringsgevoelige bodems, ondanks het statistische voorbehoud dat we moeten maken. Ondanks de aangetroffen meetvariatie zegt het gemiddelde gehalte en de nabijheid van de gebreksgrens wel dat de situatie goed in de gaten moet worden gehouden, vooral voor fosfor in relatie tot het stikstofgehalte. Als er verdere daling in gehalten optreedt, kunnen wellicht problemen optreden in de fysiologische vitaliteit van het bos op verzuringsgevoelige bodems. Zie Deelrapport A3 voor de effecten op het ecosysteem, zoals vegetatie, bodemecologie en humusprofiel.

### Effect van de behandelingen

Voor zowel de bemesting met fosfor, kalium, magnesium als voor bekalking is geen significant effect van de behandeling gevonden. Weliswaar had een fosforbemesting bijna een significant effect ( $p = 0,06$ ), en zorgde de bekalking voor een (waarschijnlijk tijdelijke) pH daling ( $p = 0,07$ ), maar daarmee lijkt de vraag uit de doelstelling voldoende beantwoord. Het blijkt dat door bekalking een aantal gehalten omlaag gaan, met name fosfor (significant). Door bemesting blijkt de pH negatief te reageren (ook significant), door een vorm van verdringing door bemesting met kationen en in dat geval kan de pH in de bodem dalen. Bij bekalking trad een significante daling op in het fosforgehalte.

In het bemestingsonderzoek van Van den Burg bleken wel duidelijke effecten van mineralengift op de gehalten op te treden (Van den Burg & Olsthoorn, 1994, deelrapport 6 van het bemestingsonderzoek). Ook bij bekalking waren de effecten duidelijk, meestal met een positiever effect van een gift van 3000 kg/ha dan van hogere giften. Daarop is ook de huidige standaardgift in de EGM subsidie gebaseerd. In een aantal van zijn proefvelden was de relatie ook niet zo duidelijk, maar dit kwam dan meestal door aanslagproblemen van een beplanting of vorstschade. De effecten werden steeds gemeten in één proefveld, waarbij de onbehandelde en behandelde percelen dicht bij elkaar lagen. Het proefveld had steeds een homogene bodem (anders werd het niet goedgekeurd) en dezelfde voorgeschiedenis (zelfde herkomst, zelfde strooiselroof periode, etc.). Vaak werden een aantal proefvelden op dezelfde manier ingericht en in één gecombineerde berekening geanalyseerd, wat de kans op significante uitspraken nog groter maakte. Kortom een groot aantal oorzaken van meetvariatie worden uitgeschakeld via proefvelden. In een veldonderzoek als dit is dit in principe niet mogelijk. Omdat een eigenaar wel of niet bemest (bij aangetoonde gebreken), kan er (vrijwel) nooit een controle en behandeling vlakbij elkaar gevonden worden.

In een vergelijkbaar veldonderzoek van Staatsbosbeheer (Weideman, 1961) trad een vergelijkbare moeilijkheid in het vinden van effecten van bemesting op. De bemestingen waren ongeveer even lang daarvoor toegediend, en de eindanalyses waren in 1960 gedaan. Probleem was o.a. de slechte groei in 1960, als gevolg van de ernstige droogte in 1959. Onze meting in 2004 vond ook plaats na een droog jaar, 2003. Weideman gaf als aanbeveling om in het vervolg meer met gestandaardiseerde omstandigheden te werken dus een vorm van proefvelden. Grabarova & Martinkova (2001) vonden na droogte geen effect op het fosfor- en kaliumgehalte, en een licht effect op het stikstof- en magnesiumgehalte (lager). Het herstel treedt op vanaf een jaar later. Demchik & Sharpe (2000) vonden een vrij snel herstel na droogte (bij een voldoende goede vitaliteit).

Het ontbreken van effecten in nutriëntengehalte en bodem-pH sluit wel goed aan bij de resultaten van het jaarringonderzoek (Deelrapport A1.2), waaruit bleek dat al vóór de bemesting de gemiddelde bijgroei tussen de 2 en 3 mm bedroeg. Na de bemesting of bekalking bleek dit niet te zijn gestegen. Ook Weideman (1961) vond geen effecten in de jaarringdikten.

Effecten van de behandeling zijn niet aangetoond in dit deelonderzoek. Het lijkt verantwoord om, ondanks de gevonden meetvariatie, te concluderen dat de effecten wel zouden zijn aangetoond indien zij substantieel zouden zijn, bijvoorbeeld de door ons minimaal gewenste verbetering zouden vertonen per element en voor de bodem-pH. Onze conclusie is dan ook dat het effect niet relevant is, zodat niet van een nuttige ingreep kan worden gesproken.

### Situatie in onbehandelde opstanden

Aan het begin van dit onderzoek is besloten om een groep opstanden toe te voegen aan de herbemonstering. Deze groep had geheel geen gebreken volgens de blad- of naaldanalyse en geen te lage bodem-pH. Via deze groep zou zichtbaar worden hoe voldoende goede opstanden zich hadden ontwikkeld sinds de begin-meting. Gedurende het onderzoek bleek deze groep sterk achteruitgegaan in gehalten (statistisch gezien significant), en veel opstanden zaten inmiddels onder de gebreksgrens, voor vooral fosfor en magnesium. Echter: bij het



afkappen van een populatie via een gebreksgrens, ontstaat een afgekapte sigmoïdale curve (de normale verdeling), met veel waarden vlakbij de grens. Alleen al door de normaal aanwezige meetvariatie was de verwachting dat er zeker een aantal opstanden onder de gebreksgrens zouden komen. Als dit voor een klein aantal opstanden zou gelden was dit goed te verklaren. De verschuiving bleek echter zeer groot. Was er werkelijk zo'n achteruitgang in de betere opstanden op verzuringsgevoelige bodems?

Omdat de meetvariatie heel groot bleek is de werkelijke waarde van deze statistisch aangetoonde effecten in dit geval zeer minimaal. Het komt erop neer dat opstanden die in het begin hoog scoorden veel kans hebben om te dalen in gehalte en opstanden die in het begin laag scoorden veel kans om te stijgen. Daarom is besloten om de groep Onbehandeld als geheel te bekijken, omdat de populatie dan zowel hoge als lage begin-waarden bevat. In dit rapport ontbreken daarom de veranderingen binnen de aparte groep "voldoende-opstanden", omdat de vraag is of ze wel echt voldoende voorzien waren.

In Hoofdstuk 4 is voldoende besproken hoe deze onbehandelde groep zich gedragen heeft in de laatste 4 tot 6 jaar. Geen van de veranderingen, een lichte achteruitgang, bleek significant.

### **Bemestingsadvies**

Het bemestingsadvies, respectievelijk bekalkingsadvies, is gebaseerd op een eenmalige meting in een mengmonster van naalden of bladeren, respectievelijk een mengmonster van minerale bodem tussen 0 en 25 cm diepte. De methodiek is gebaseerd op jarenlange ervaring van een groot aantal internationale deskundigen. Niet voor niets zijn de protocollen binnen de EU precies afgestemd in voorwaarden voor de monitoringopstanden. De methodiek in Nederland sluit hierbij aan (Zie de Richtlijnen, IKC-rapport 16). Het is dus onbevredigend om in dit onderzoek zo'n grote meetvariatie te vinden, omdat dit de herhaalbaarheid van de meting ter discussie stelt, dus de waarde van de diagnose. Gezien de groei van de te bemesten opstanden vóór de bemesting (zie Deelrapport A1.2) is ook de vraag of de gebreksgrens scherp genoeg is, en of deze bij te stellen is. Wat is dan een goede minimale eis voor fysiologisch functioneren van de boom, waarbij hij vrij direct in de problemen komt als het gehalte (of de verhouding) onder een bepaald niveau zakt?

Ook internationaal heeft dit vragen opgeroepen, gezien de opmerkingen van o.a. Gregoire & Fisher (2004) en Luysaert et al. (2003 en 2004). Zij stellen de diagnostische waarde van een nutriëntenanalyse ter discussie en hebben suggesties voor verbetering. Daarvoor zou meer naar de balans tussen een aantal nutriënten, inclusief sporenelementen, moeten worden gekeken, maar ook naar andere eigenschappen. Onder andere Van Dijk et al. (1992) en Van Dijk (1993) hebben voor Nederland aangetoond dat een ongunstige verhouding van voedingsstoffen met stikstof kan leiden tot afwijkingen (hoog Argininegehalte) en ziektenrisico's. De rol van jaarlijkse variatie achten Gregoire & Fisher (2004) en Luysaert et al. (2003 en 2004) groot, wat de interpretatie lastig maakt, juist via problemen met de herhaalbaarheid. Dit maakt de vraag naar inhoudelijke verbetering van de diagnose relevant, juist voor die herhaalbaarheid. In Europese Expert Panels is er discussie over het bijstellen van protocollen en de statistische opzet van de vitaliteitsmonitoring. Waarschijnlijk wordt de doelstelling breder dan alleen luchtverontreinigingsaspecten. Ewald (2005) vindt geen duidelijke relatie tussen vitaliteit (uitgedrukt in kroontransparantie) en elementgehalte in de naalden. Tomlinson (2003) waarschuwt dat met name het calciumgehalte goed in de gaten moet worden gehouden. Door ruim een eeuw verzuring is dit voor een deel uit de bodem verdwenen op verzuringsgevoelige bodems.

In tabel 12 worden de gehalten in de Nederlandse richtlijnen vergeleken met de Europese richtlijnen volgens Stefan et al. (1997). Daaruit blijken een aantal opvallende verschillen. De EU richtlijnen zijn meestal veel scherper dan de Nederlandse richtlijnen. De Nederlandse waarden voor de ondergrens voor fosfor en kalium zijn meestal tussen de 40 en 60% hoger dan de EU grenswaarden. In andere gevallen is de afwijking meestal minder dan 15%. De verschillen

tussen de bovengrenzen zijn minder groot. In de EU richtlijnen wordt dus een groter interval aangehouden voor voldoende goede vitaliteit en groei.

Hierboven is aangegeven dat de grenswaarden voor voedingsstoffengebrek waarschijnlijk aangescherpt zouden kunnen worden. Het is dan een eerste overweging om daarvoor de EU grenswaarden te gebruiken. Douglas ontbreekt in de EU richtlijnen. Omdat Douglas en fijnspar in de Nederlandse richtlijnen slechts graduele verschillen vertonen, zouden voor Douglas in Nederland ook de EU grenswaarden voor fijnspar aangehouden kunnen worden. Alvorens dit in te voeren, moet bekeken worden of dit risico's zou kunnen inhouden indien de grenzen te scherp zouden worden. Voor alle boomsoorten moet bekeken worden met welke factor de grenswaarden aangescherpt kunnen worden. Via de oorspronkelijke gegevens (beginmetingen voordat een maatregel gepland wordt, uit alle beschikbare jaren) kan voor de gehele voorbije periode worden bekeken welk percentage opstanden dan niet in aanmerking zou komen voor een bemestingssubsidie. Naar verwachting is dit een substantieel percentage. Op basis van bijvoorbeeld de gegevens uit 1998 over het fosforgehalte van Douglas, zou volgens de Nederlandse richtlijnen 83% van de 320 opstanden bemest mogen worden, terwijl dit volgens de EU richtlijn slechts 35% van de opstanden zou zijn. Het verschil tussen de beide richtlijnen is erg groot voor het fosforgehalte van naaldbomen. Daarom kan het verschil in diagnose tussen de beide richtlijnen voor andere boomsoorten en voedingsstoffen geringer zijn. Op basis van de stikstof-fosfor verhouding (N/P, in  $\text{g.kg}^{-1}$ ) zijn de verschillen minder groot (zie tabel 12). Dan nog zou er in dezelfde groep van 320 Douglasopstanden op basis van de Nederlandse richtlijnen 55% bemest mogen worden en slechts 37% op basis van de EU richtlijnen (als alleen naar de verhouding N/P wordt gekeken).

Tabel 12.: Vergelijking van de Nederlandse en EU grenswaarden (in  $\text{g.kg}^{-1}$ ) voor een laag en een hoog gehalte aan stikstof, fosfor, kalium en magnesium, en de verhouding stikstof fosfor (gebaseerd op Stefan et al., 1997 en Schaap & Van den Burg, 1995). In the EU richtlijn wordt Sitkaspar gelijkgesteld met fijnspar en wintereik aan zomereik en diverse dennensoorten aan Grove den.

Boomsoort		N EU	N NL	P EU	P NL	K EU	K NL	Mg EU	Mg NL	N/P EU	N/P NL
Fijnspar	Laag	<12	<13	<1.0	<1.4	<3.5	<6.0	<0.6	<0.7	<6.0	<6.6
	Hoog	>17	>17	>2.0	>2.0	>9.0	>8.0	>1.5	>1.0	>17.0	>20
Douglas	Laag	-	<14	-	<1.4	-	<6.0	-	<0.7	-	<6.6
	Hoog	-	>18	-	>2.2	-	>8.0	-	>1.0	-	>20
Grove den	Laag	<12	<14	<1.0	<1.4	<3.5	<5.0	<0.6	<0.7	<6	<6.6
	Hoog	>17	>18	>2.0	>1.7	>10	>7.0	>1.5	>1.0	>17.0	>20
Zomereik	Laag	<15	<23	<1.0	<1.4	<5	<6.0	<1.0	<1.6	<8.3	<6.6
	Hoog	>25	>28	>1.8	>1.7	>10	>8.0	>2.5	>2.8	>25	>20

Een andere vraag is of de diagnosestelling meer efficiënt kan, door vooral op basis van de bodemgegevens te adviseren? Dit vereenvoudigt het veldwerk aanmerkelijk. Of: kan de diagnose meer landschappelijk geïnterpreteerd worden door voor elke boomsoort per bodemeenheid in het gebied een gelijkkluidend advies te geven, bijvoorbeeld op basis van het gemiddelde van die opstanden? Daardoor zou de uitvoering ook makkelijker worden, omdat niet meer per aparte opstand een mengsel van meststoffen hoeft te worden gemaakt. Een diagnose via meer biologische indicatoren zou ook oplossingen kunnen bieden. Dan zouden andere eigenschappen van het bos in aanmerking moeten worden genomen. Dit sluit ook aan bij de benadering om vanuit de groeiplaats te redeneren. Chapin et al., (1986) geeft goed aan waarom het bemestende effect van stikstof uit de depositie gevolgen heeft voor de concurrentieverhoudingen in de ondergroei. Planten van arme milieus reageren minder sterk dan verstoringssoorten op bemesting door toename van de groeisnelheid.

Daarvoor is, na overleg met specialisten, aanvullend multidisciplinair onderzoek, om te beginnen via literatuur, en multidisciplinair overleg nodig om te komen tot een verbeterde werkwijze. Het Deskundigenteam Bossen wordt verzocht deze aanbeveling verder uit te werken en aan te sluiten bij discussies in EU verband.

### **Kalk of gips?**

In Deelrapport A2 is uit literatuur gebleken dat gips een aantal voordelen heeft boven kalk. Gips bestaat uit  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{SO}_4^{2-}$ . De calcium is eerder op een grotere diepte in het profiel, wat gunstig is voor de beworteling en de opname van de calcium. In de Europese bossen zijn echter helaas geen experimenten uitgevoerd met gips, ook niet in grote proeven om verschillende vormen van kalk te vergelijken in effect. Daarom is een praktijkadvies nu niet mogelijk. Het is nu niet zeker of de blijvend lage pH, bij een verder goede voedingsstoffenvoorziening, voor problemen zorgt, bij de bomen of bij andere onderdelen van het ecosysteem (bijv. bodemfauna, mycorrhiza).

Gips is vrij makkelijk verkrijgbaar en goedkoper dan kalk. Veelal is het een reststroom uit de (voedings)industrie. In bepaalde gevallen is het door zware metalen en organische microverontreinigingen onbruikbaar in bossen. In andere gevallen is het in principe goed bruikbaar. Het Handboek meststoffen (Evers et al., 2000) geeft een aantal alternatieve soorten gips die op de Nederlandse markt verkrijgbaar zijn. In principe verhoogt gips het Elektrische Geleidingsvermogen (EGV, Engels: EC) in de bodem, omdat het een zout is. Bomen hebben hier waarschijnlijk geen last van, mogelijk andere plantensoorten in de ondergroei wel. Gips is overigens vaak onderdeel van een kalkmeststof, dus dan is dit potentiële nadeel niet groot.

## Hoofdstuk 6 Conclusies

### Uitgangssituatie in opstanden op verzuringsgevoelige bodems

In bijna 5000 opstanden die in de periode 1998 tot 2000 zijn gemeten bij particulier eigenaren en gemeenten blijkt dat 61% van alle opstanden fosforgebrek heeft, dus gemiddeld over alle boomsoorten. Kaliumgebrek is aanwezig in 35% van de opstanden, en magnesiumgebrek in 44% van de opstanden. De bodem is te zuur in 14% van de gevallen. In 18% van de opstanden blijkt stikstofgebrek aanwezig, een onverwacht percentage, terwijl dit in 43% van de opstanden in overmaat aanwezig is. In de verhouding met stikstof is in 60% van de gevallen de ratio voor fosfor te hoog, waarbij het fosforgehalte dus relatief te laag is ten opzichte van stikstof. Voor magnesium geldt ook dat de ratio met stikstof ongunstig is zelfs 92% van de opstanden. De kaliumvoorziening blijkt in verhouding met stikstof weinig problemen te geven: minder dan een procent scoorde te hoog voor stikstof. Er zijn soms grote verschillen per boomsoort. De snelgroeende boomsoorten als Japanse lariks en Douglas hebben bijvoorbeeld erg lage fosforgehalten, zodat ook de stikstof-fosforverhouding ongunstig scoort.

Op basis van de gehalten in de gemeten opstanden in deze periode is een vooronderzoek uitgevoerd om op basis van de gevonden variatie in de resultaten (en een aantal noodzakelijke aannamen over een vergelijkbare variatie in de herbemonstering) het aantal te herbemonsteren opstanden te berekenen. De herbemonstering is volgens die resultaten uitgevoerd in 2004 in 200 opstanden.

### Effecten van bemesting op de voedingstoestand

In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bemesting met fosfor, kalium of magnesium op het nutriëntengehalte in bladeren of naalden. Het gemiddelde effect van fosfor was positief, met een bijna significant effect ( $p = 0,06$ ). Het enige effect van bemesting dat significant was, was een daling van de bodem-pH. Er waren geen veranderingen in gehalten van andere elementen, waaronder stikstof. De meetvariatie is hoog, wat te zien is in figuur 2. Er konden geen andere conclusies worden getrokken, indien rekening werd gehouden met de waarde van de beginmeting, of indien naar aparte boomsoorten werd gekeken.

### Effecten van bekalking op de bodem-pH

In het onderzoek zijn geen significante effecten aangetoond van bekalking op de bodem-pH. Omdat de onbehandelde opstanden een sterkere verhoging van de pH lieten zien, was het gemiddelde effect zelfs negatief (maar dus niet significant). Ook het calciumgehalte in bladeren of naalden liet een negatieve, niet significante, verandering zien. De enige verandering die significant was, was een daling van het fosforgehalte. Er waren geen veranderingen in gehalten van de gemeten nutriënten, waaronder stikstof. De meetvariatie is hoog, wat te zien is in figuur 3. Er konden geen andere conclusies worden getrokken, indien rekening werd gehouden met de waarde van de beginmeting, of indien naar aparte boomsoorten werd gekeken.

### Verloop in onbehandelde opstanden

In het onderzoek zijn 101 opstanden in de herbemonstering gemeten die niet behandeld waren. Dit waren de controles uit de gebreksgroep en de te zure groep en de groep die voldoende had van alle elementen en waarvan de bodem-pH voldoende hoog was. Er zijn geen significante veranderingen opgetreden in de gehalten in bladeren of naalden of in de bodem-pH. Ook hier bleek de meetvariatie zeer groot, waardoor een opstand die in de beginmeting slecht had gescoord, een grotere kans had op verbetering. Een opstand die eerst goed had gescoord had juist een grote kans op verslechtering. Het gemiddelde fosforgehalte zit in de onbehandelde groep dicht bij de gebreksgrens.

### Vereenvoudiging van het bemestingsadvies is wenselijk

De stappen die aangegeven worden in het huidige bemestingsadvies, zijn erg exact en kleine verschillen in gehalten of een ratio kunnen al dan niet leiden tot een positief advies voor een bemesting. Gezien de meetvariatie die gevonden is in de gehalten, zou dit kunnen worden

gezien als een te grote mate van precisie. Waarschijnlijk zijn de exacte stappen in het huidige bemestingsadvies niet allen nodig. In het volgende hoofdstuk wordt een aantal voorstellen gedaan om het bemestingsadvies te kunnen verbeteren of vereenvoudigen. Een eerste alternatief ter overweging lijkt het gebruiken van de Europese richtlijnen voor elementengehalten en -verhoudingen, omdat de gebreksgrenzen scherper gedefinieerd zijn.

## Hoofdstuk 7 Aanbevelingen voor verbetering van de diagnose

### Hoe groot is in Nederland de veldvariatie van elementgehalte en bodem-pH?

In de discussie is aangegeven dat de veldvariatie voor problemen zorgt bij de interpretatie van een eenmalig monster. Het vermoeden is dat de gehalten in de bomen zelf een vrij grote rol spelen. Via een aantal steekproeven, monsters van aparte bomen en mengmonsters van verschillende delen van de kroon, binnen een klein aantal opstanden, kan worden vastgesteld hoe kritisch de bemonstering volgens het protocol is. De meting zou minimaal een tweetal seizoenen herhaald moeten worden bij dezelfde bomen, bij zeer verschillende weersomstandigheden minimaal drie jaar. Met de resultaten zouden de richtlijnen aangescherpt kunnen worden. Ervaringen van andere landen kunnen gebruikt worden via literatuur en persoonlijke contacten, maar dit moet voor Nederland zeker geverifieerd worden, omdat dit soort methodisch onderzoek hier weinig is uitgevoerd, zeker sinds de hoge stikstofgehalten zijn opgetreden.

### Is de gebreksgrens voldoende scherp?

Ondanks de gevonden meetvariatie, is onze indruk dat ook bij opstanden die elementgehalten hebben onder de gebreksgrens een acceptabele groei optreedt. Uit Deelrapport A1.2. blijkt dat de jaarringdikte gemiddeld tussen de twee en drie mm per jaar is, zowel voor als na de bemesting. Dit roept de vraag op of de gebreksgrens wel voldoende scherp is. Zijn er direct fysiologische problemen beneden deze grens, of zou de grens scherper gesteld kunnen worden? Via onderzoek zou aangesloten kunnen worden bij de internationale literatuur, zodat ook voor de Nederlandse omstandigheden deze grens vastgesteld kan worden. Dit biedt ook bij uitstek een kans om de fysiologie van (de bomen in) de opstand te vergelijken met andere indicatoren van bosvitaliteit, zoals bodemecologie, humusprofiel en vegetatie.

### Kan de diagnose versimpeld worden, via alleen een bodembeoordeling?

Op basis van alle metingen die bij de eigenaren zijn gedaan kunnen vele relaties die gebruikt zijn voor de Richtlijnen voor mineralentoediening en bekalking als effectgerichte maatregelen in bossen (Van den Burg & Schaap, 1995) nader bekeken worden. Op basis daarvan is een vereenvoudiging van de analyse wellicht mogelijk. Als alleen een bodemanalyse noodzakelijk is, betekent dit een grote besparing. Hiervoor zijn gegevens van ongeveer 10000 opstanden beschikbaar. Naast de in dit onderzoek gebruikte begin-analysen, zijn er van meerdere jaren gegevens beschikbaar. Wel moet bij deze studie goed worden gekeken of er voldoende bodemtypen voorkomen in de verzameling, zeker gezien de aangetroffen meetvariatie. Daarmee zouden de resultaten vertaald kunnen worden naar het hele Nederlandse bos. Om dit goed te kunnen doen, moet van elke opstand de locatie toe worden gevoegd om de bodemgegevens uit de Nederlandse bodemkaart te kunnen gebruiken.

## Literatuur

- Chapin, F.S. III, Vitousek, P.M. & Van Kleve, K. 1986 The nature of nutrient limitation in plant communities. *The American Naturalist* 127 (1): 48-58.
- Ciais, Ph., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, Chr., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P. Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, t. & Valentini, R. 2005 Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, vol 437: 529-533.
- De Vries, W., Reinds, G.J., Van Kerkvoorde, M.S., Hendriks, C.M.A., Leeters, E.E.J.M., Gross, C.P., Voogd, J.C.H. & Vel, E.M. 2000 Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. Technical report 2000. Forest Intensive Monitoring Coordinating Insitute FIMCI, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 191p.
- Demchik, M.C. & Sharpe, W.E. 2000 The effect of soil nutrition, soil acidity and drought on northern red oak (*Quercus rubra* L.) growth and nutrition on Pennsylvania sites with high and low red oak mortality. *Forest Ecology and Management* 136 (1-3): 199-207.
- Evers, M.A.A., Hensgens, V.R.C. & Pothoven, R. 2000 Handboek meststoffen. 2e herz. druk. Nutriënten Management Instituut NMI, Wageningen, 1192 p.
- Ewald, J. 2005 Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. in the Bavarian Alps. *Eur. J. Forest Res.* 124: 9-18.
- Grabarova, S. & Martinkova, M. 2001 Changes in mineral nutrition of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under the impact of drought. *Ekologia-Bratislava* 20: 46-60, suppl. 1
- Gregoire, N. & Fisher, R.F. 2004 Nutritional diagnosis in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) established stands using three different approaches. *Forest Ecology and Management* 203 (1-3): 195-208.
- Leeters, De Vries, Olsthoorn & Voogd, et al., in prep. Overview of 10 years monitoring in forests in the EU Level 2 programme (1995-2004). Alterra rapport, Wageningen.
- Luyssaert, S., Mertens, J. & Raitio, H. 2003 Support, shape and number of replicate samples for tree foliage analysis. *Journal of Environmental monitoring* 5 (3): 500-504.
- Luyssaert, S., Sulkava, N., Raitio, H. & Hollmen, J. 2003 Evaluation of forest nutrition based on large-scale foliar surveys: are nutrition profiles the way to the future? *Journal of Environmental monitoring* 6 (2): 160-167.
- Stefan, K., Fürst, A., Hacker, R. & Bartels, U. 1997 Forest foliar condition in Europe. Results of large-scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 207p.
- Tomlinson, G.H. 2003 Acidic deposition, nutriënt leaching and forest growth. *Biogeochemistry* 65 (1): 51-81.
- Van den Burg, J. 1994a Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 1. De effecten van kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van negen grovedennenopstanden en van een

- Corsicaanse-dennenopstand. Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 101, 138p.
- Van den Burg, J. 1994b Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 2. De effecten van fosfor-, kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van acht douglas- en acht zomereikencultures en opstanden Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 102, 81p.
- Van den Burg, J. 1994c Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 3. De effecten van kalium- en magnesiumbemesting en van bekalking op vitaliteitskenmerken en groei van twaalf herbebossingscultures. Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 103, 137p.
- Van den Burg, J. 1994d Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 4. De effecten van bekalking op vitaliteitskenmerken en groei van zes opstanden in de boswachterij St. Anthonis (1998 t/m 1991). Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 104, 89p.
- Van den Burg, J. 1994e Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 5. De effecten van fosfor-, kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van zes lariksoptanden. Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 105, 44p.
- Van den Burg, J. & Olsthoorn, A.F.M. 1994 Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 6. Overzicht en bespreking van de resultaten. Rapport Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen, No 106, 126p.
- Van den Burg, J. en W. Schaap 1995 Richtlijnen voor mineralentoediening en bekalking als effectgerichte maatregelen in bossen. Rapport IKC Natuurbeheer Nr. 16, 63p.
- Van Dijk, H.F.G. 1993 Excess nitrogen deposition: a stress factor in Dutch plantation forests. Ph.D thesis, Catholic University Nijmegen, Nijmegen, Netherlands, 125p.
- Van Dijk, H.F.G., Van der Gaag, M., Perik, P.J.M. & Roelofs, J.G.M. 1992 Nutrient availability in Corsican pine stands in the Netherlands and the occurrence of *Sphaeropsis sapinea*: a field study. *Canadian Journal of Botany* 70: 870-875.
- Weideman, J.G. 1961 Rapport over het onderzoek naar de resultaten van de fosfaatbemesting van lariksoptanden. Staatsbosbeheer, Afdeling Bosinrichting, Utrecht. 3 p. + 3 bijlagen.



## Steekproefopzet voor de herbemonstering

Jaap de Gruijter, statisticus Alterra.

Let op: Deze notitie omschrijft de statistische opzet van dit deelonderzoek. De namen van de behandelingen zijn later iets aangepast, dus verschillen in deze notitie soms met de hoofdstekst. De manier van berekening van het tekort aan een nutriënt leidt tot een *negatieve waarde bij voldoende hoge gehalten*. Dit kan tot misverstanden aanleiding geven. In de hoofdstekst is daarom een andere manier van noteren gebruikt.

### 1. Algemeen doel van de herbemonstering

Het doel van de herbemonstering is na te gaan of bekalking cq. bemesting effect heeft op de voedingstoestand en de zuurgraad van bossen.

### 2. Globale werkwijze

De opstanden in het beschikbare digitale bestand hebben elk één van de volgende vier behandelingen gekregen:

- 'Onbehandeld' (O): geen kalk en geen kunstmest toegediend;
- 'beMest' (M): geen kalk en wel kunstmest toegediend;
- 'beKalkt' (K): wel kalk en geen kunstmest toegediend;
- 'beKalkt en beMest' (KM): zowel kalk als kunstmest toegediend.

Door de voedingstoestand en de zuurgraad zowel voor als na de behandeling steekproefsgewijs te bepalen kan informatie worden verkregen over de effecten van de behandelingen M en K. Waargenomen verschillen kunnen echter ook zijn veroorzaakt door andere factoren dan de behandelingen. Om voor dergelijke effecten te corrigeren worden, in dezelfde perioden als de behandelde opstanden, ook de onbehandelde opstanden gemeten. Dit is het principe van een 'Before After Control Impact' (BACI) steekproefopzet.

### 3. Stand van zaken voorjaar 2004

Bekalking en bemesting zijn reeds uitgevoerd. Dit is gebeurd op basis van vrijwilligheid van boseigenaren; de behandelingen zijn dus niet via loting toegewezen (m.a.w. dit is een 'observationeel' onderzoek). Van alle opstanden is reeds de zuurgraad en de voedingstoestand vóór de behandeling bepaald. Er moet dus nu een steekproef worden opgezet alleen voor de herbemonstering na de behandeling.

De gegevens over de behandelingen zijn niet digitaal beschikbaar. Desalniettemin kan de populatie van opstanden in het digitale bestand worden geacht te bestaan uit vier subpopulaties O, M, K en MK, corresponderend met de behandelingen die de opstanden hebben gekregen.

### 4. Nadere specificatie van het doel

Het doel van de steekproef wordt nader gespecificeerd door achtereenvolgens vast te leggen: doelpopulatie, doelvariabelen, doelparameters, doelgrootheden, en het gewenste type statistisch resultaat (inference mode).

#### 4.1. Doelpopulatie

Alle opstanden in het beschikbare digitale bestand waarvan de pH- en nutriëntengegevens compleet aanwezig zijn. Dit deelbestand (5019 opstanden) vormt tevens het steekproefkader.

#### 4.2. Doelvariabelen

Er zijn twee doelvariabelen: het verschil in *voedingtekort* ( $V$ ) van een opstand vóór ( $v$ ) en na ( $n$ ) de behandeling, en het verschil in *zuurgraadtekort* ( $Z$ ) van een opstand vóór en na de behandeling.

Het verschil in het voedingtekort van een opstand vóór en na de behandeling (dus gepaarde waarnemingen) is gedefinieerd als:

$$D(V) = V_n - V_v$$

waarbij het voedingtekort van een opstand zèlf is gedefinieerd als het grootste van de tekorten van de afzonderlijke nutriënten (het Liebig principe, de wet van het minimum), uitgedrukt als percentage van de betreffende kritieke grens:

$$V_v = \max\{T_v(N), T_v(K), T_v(P), T_v(Mg)\}$$

voor de situatie vóór de bemesting, en

$$V_n = \max\{T_n(N), T_n(K), T_n(P), T_n(Mg)\}$$

voor de situatie na de bemesting. De tekorten voor nutriënt  $N$  worden berekend als

$$T_v(N) = \frac{\text{Kritieke grens } N - \text{Actueel gehalte } N \text{ voor beh.}}{\text{Kritieke grens } N} \times 100$$

$$T_n(N) = \frac{\text{Kritieke grens } N - \text{Actueel gehalte } N \text{ na beh.}}{\text{Kritieke grens } N} \times 100$$

Als er een voldoende gehalte is van een nutriënt, valt deze waarde dus negatief uit.

Het verschil in het zuurgraadtekort van een opstand vóór en na de behandeling is gedefinieerd als:

$$D(Z) = Z_n - Z_v$$

waarbij het zuurgraadtekort van een opstand zèlf is gedefinieerd als percentage van de betreffende kritieke grens:

$$Z_v = \frac{\text{Kritieke grens pH} - \text{Actuele pH voor beh.}}{\text{Kritieke grens pH}} \times 100$$

$$Z_n = \frac{\text{Kritieke grens pH} - \text{Actuele pH na beh.}}{\text{Kritieke grens pH}} \times 100$$

Als de pH is voldoende hoog is, valt deze waarde dus negatief uit.

#### 4.3. Doelparameters

Er is één doelparameter, namelijk het verschil in populatiegemiddelde van de behandelde groep opstanden (bemest, resp. bekalkt) en de onbehandelde groep.

#### 4.4. Doelgrootheden

De doelgrootheden zijn gedefinieerd als de combinatie van de doelparameter (het verschil in populatiegemiddelde) met de doelvariabelen  $D(V)$  en  $D(Z)$ . Dat komt neer op de volgende twee effecten.

- 1) Het *bemestingseffect* ( $E_m$ ), gedefinieerd als het gemiddelde van  $D(V)$  in de subpopulatie M (bemest), minus het gemiddelde van  $D(V)$  in de subpopulatie O (onbehandeld);
- 2) Het *bekalkingseffect* ( $E_k$ ), gedefinieerd als het gemiddelde van  $D(Z)$  in de subpopulatie K (bekalkt), minus het gemiddelde van  $D(Z)$  in de groep O (onbehandeld).

#### 4.5. Gewenst type statistisch resultaat

Een 95% betrouwbaarheidsinterval voor zowel het bemestingseffect als het bekalkingseffect.

#### 5. Nauwkeurigheidseisen

Halve breedte van het betrouwbaarheidsinterval voor het bemestingseffect: hier 10 procentpunten van de grenswaarde, en halve breedte van het betrouwbaarheidsinterval voor het bekalkingseffect: hier 5 procentpunten van de grens pH-waarde.

#### 6. Benodigde omvang van de steekproeven: Statistisch vooronderzoek

Om de aantallen opstanden te berekenen die moeten worden herbemonsterd, zodanig dat aan de gestelde nauwkeurigheidseisen wordt voldaan, zijn de beschikbare bodemchemische gegevens op de navolgende wijze statistisch bewerkt.

Het 95% betrouwbaarheidsinterval voor het *bemestingseffect* kan worden berekend met de formule:

$$\hat{E}_m \pm 1,96 \times \sqrt{V(\hat{E}_m)} .$$

Hierin is  $\hat{E}_m$  de te berekenen schatting van het bemestingseffect, en  $V(\hat{E}_m)$  is de variantie daarvan, waarvoor geldt:

$$V(\hat{E}_m) = \frac{V_M[D(V)]}{n_M} + \frac{V_O[D(V)]}{n_O} .$$

Hierin zijn  $V_M[D(V)]$ , resp.  $V_O[D(V)]$ , de varianties van  $D(V)$  in de subpopulaties M en O, en  $n_M$  en  $n_O$  zijn de daaruit te loten aantallen opstanden. (Hierbij is vooralsnog eenvoudigheidshalve aangenomen dat de opstanden enkelvoudig aselekt en onderling onafhankelijk worden geloot uit de subpopulaties M en O).

Uitgaande van de gestelde nauwkeurigheidseis (paragraaf 5), moeten  $n_M$  en  $n_O$  zò gekozen worden dat:

$$1,96 \times \sqrt{V(\hat{E}_m)} = 10 ,$$

ofwel:

$$V(\hat{E}_m) = \frac{V_M[D(V)]}{n_M} + \frac{V_O[D(V)]}{n_O} = \left( \frac{10}{1,96} \right)^2 = 26,0$$

Evenzo geldt ten aanzien van het *bekalkingseffect*:

$$V(\hat{E}_k) = \frac{V_K[D(Z)]}{n_K} + \frac{V_O[D(Z)]}{n_O} = \left( \frac{5}{1,96} \right)^2 = 6,5 . \quad [1]$$

Hierin is  $\hat{E}_k$  de te berekenen schatting van het bekalkingseffect, en  $V(\hat{E}_k)$  is de variantie daarvan, waarvoor geldt:

$$V(\hat{E}_k) = \frac{V_K[D(Z)]}{n_K} + \frac{V_0[D(Z)]}{n_0}$$

Hierin zijn  $V_K[D(Z)]$ , resp.  $V_0[D(Z)]$ , de varianties van  $D(Z)$  in de subpopulaties K en O, en  $n_K$  en  $n_0$  zijn de daaruit te loten aantallen opstanden.

Om de aantallen  $n_K$ ,  $n_M$  en  $n_0$  te kunnen berekenen zijn *a priori* schattingen nodig van de genoemde varianties. Het probleem hierbij is dat de verschilwaarden  $D(V)$  en  $D(Z)$  niet rechtstreeks uit het beschikbare cijfermateriaal zijn af te leiden, omdat:

1. gegevens over de behandelingen niet digitaal beschikbaar zijn, en
2. er vóór de herbemonstering nog geen gegevens over de toestand na de bemesting cq. bekalking voorhanden zijn.

Om toch een globale schatting van de benodigde aantallen te kunnen maken zijn de volgende aannamen gemaakt.

A1: Alle opstanden die op basis van de chemische analyses in aanmerking kwamen voor bemesting (d.w.z. één of meer nutriënten beneden de kritieke grens), maar niet voor bekalking, zijn inderdaad bemest en niet bekalkt.

A2: Alle opstanden die op basis van de chemische analyses in aanmerking kwamen voor bekalking (d.w.z. pH beneden de kritieke grens), maar niet voor bemesting, zijn inderdaad bekalkt en niet bemest.

A3: Alle opstanden die op basis van de chemische analyses niet in aanmerking kwamen voor bekalking of bemesting, zijn inderdaad niet bekalkt of bemest.

B1: Alle bemestingen hebben steeds het beoogde effect gehad, d.w.z. dat voor alle nutriënten de kritieke grens werd bereikt en de tekorten dus zijn opgeheven, maar niet meer dan dat. Dit impliceert  $\tilde{Z}_n = 0$ , en dus  $\tilde{D}(V) = -V_v$ . (De tildes ~ geven aan dat het *a priori* schattingen betreft.)

B2: Alle bekalkingen hebben steeds het beoogde effect gehad, d.w.z. dat voor de pH de kritieke grens werd bereikt en het zuurgraadtekort dus is opgeheven, maar niet meer dan dat. Dit impliceert  $\tilde{Z}_n = 0$ , en dus  $\tilde{D}(Z) = -Z_v$ .

Op basis van de aannamen A1, A2 en A3 en de voorhanden zijnde chemische gegevens zijn de subpopulaties 'Beoogd beMest' (BM), 'Beoogd beKalkt' (BK), en 'Beoogd Onbehandeld' (BO) gevormd. Vervolgens is op basis van de aanname B1 een *a priori* schatting van  $V_M[D(V)]$  berekend volgens:

$$\tilde{V}_M[D(V)] = V_{BM}[\tilde{D}(V)] = V_{BM}(-V_v) = V_{BM}(V_v),$$

waarin het subscript BM aangeeft dat het om de variantie binnen de subpopulatie 'Beoogd beMest' gaat. Uit de beschikbare gegevens is voor  $V_{BM}(V_v)$  de waarde 311 berekend, zodat

$\tilde{V}_M[D(V)] = 311$ . Tevens is uit de gegevens van 'Beoogd Onbehandeld' berekend:

$V_{BO}(V_v) = 136$ , zodat veilig aangenomen mag worden dat de variantie van de verschillen in voedingstekort 'voor' en 'na' bij de onbehandelde opstanden niet groter is dan die bij de bemeste opstanden. Als *a priori* schatting daarvoor is daarom dezelfde waarde aangehouden:

$\tilde{V}_0[D(V)] = 311$ . Invullen in vergelijking [1] levert dan:

$$\frac{311}{n_M} + \frac{311}{n_0} = 26,0.$$

Omdat de varianties aan elkaar gelijk zijn gesteld is het totaal aantal opstanden (en dus ook de kosten) minimaal als ook  $n_M$  en  $n_0$  aan elkaar zijn. Hieruit volgt tenslotte:

$$n_M = n_D = \frac{2 \times 311}{26,0} = 24.$$

Omdat voor de bovengenoemde berekening enkele onzekere aannamen moesten worden gemaakt, is het berekende aantal (24) veiligheidshalve ruim verdubbeld tot 50. Op analoge wijze is het aantal te herbemonsteren bekalkte opstanden berekend op  $n_k = 7$ , en veiligheidshalve vastgesteld op 25.

## 7. Steekproefopzet

Voor de berekening van de benodigde aantallen te herbemonsteren opstanden (paragraaf 6) is aangenomen dat een steekproefopzet van het type Enkelvoudig Aselect wordt toegepast. Dit houdt in dat van een gerandomiseerde lijst van alle opstanden de eerste 50 worden geselecteerd die onbehandeld zijn, de eerste 50 die bekalkt zijn, en de eerste 50 die bemest zijn. Echter, door een misverstand zijn de steekproeven op een iets andere, hierna beschreven wijze getrokken. Dit misverstand en de oplossing daarvoor is met het Deskundigenteam besproken op 24 maart 2005.

Uit de populatie van opstanden zijn eerst de volgende drie subpopulaties geselecteerd: Subpopulatie I, alle opstanden met voldoende hoge P-concentratie en pH (1699 percelen, ook genoemd "nietzuurnietgebek"); Subpopulatie II, alle opstanden met voldoende hoge P-concentratie en te lage pH (350 percelen, ook genoemd "zuurnietgebek"); Subpopulatie III, alle opstanden met te lage P-concentratie en voldoende hoge pH (2624 percelen, ook genoemd "gebeknietzuur").

'Voldoend hoog' betekent hier: gelijk aan of hoger dan de betreffende kritieke grens.

Uit deze subpopulaties zijn enkelvoudig aselect, zonder teruglegging, de volgende steekproeven getrokken.

Steekproef 1 uit subpopulatie I, ongeacht de behandeling:  $n = 50$ .

Steekproef 2k uit subpopulatie II: *bekalkt*, niet bemest:  $n = 25$ .

Steekproef 2o uit subpopulatie II: *onbekalkt*, niet bemest:  $n = 25$ .

Steekproef 3m uit subpopulatie III: *bemest*, niet bekalkt:  $n = 50$ .

Steekproef 3o uit subpopulatie III: *onbemest*, niet bekalkt:  $n = 50$ .

## 8. Statistische verwerking van de steekproefgegevens

Aangezien de steekproeven voor herbemonstering zijn getrokken uit subpopulaties die mede zijn gedefinieerd op basis van de P-concentratie, is het meer inzichtelijk om de behandelingseffecten te schatten als veranderingen in de nutriëntconcentraties (P, K en Mg) en de pH, i.p.v. de eenvoudigere opzet om veranderingen in voeding- en zuurgraadtekort te beoordelen, zoals voorgesteld in de paragrafen 4.2, 4.3 en 4.4 van deze bijlage.

De schattingen van de *bemestingseffecten* (ongeacht eventuele bekalking) worden berekend volgens:

$$\hat{E}_m = \hat{D}_{3m}(X) - \hat{D}_{3o}(X),$$

waarin  $X$  de P-, K- of Mg-concentratie of de pH voorstelt.  $\hat{D}_{3m}(X)$  is het gemiddelde in steekproef 3m (de bemeste opstanden) van de paarsgewijze verschillen tussen  $X$  vóór en  $X$  na bemesting:

$$\hat{D}_{3m}(X) = \frac{1}{n} \sum_{j \in 3m} D_j(X) = \frac{1}{n} \sum_{j \in 3m} (X_{tj} - X_{vj})$$

Het gemiddelde verschil  $\hat{D}_{30}(X)$  wordt op dezelfde manier berekend, maar dan binnen steekproef 3o.

De variantie van  $\hat{E}_m$  kan als volgt worden berekend:

$$\hat{V}(\hat{E}_m) = \frac{\hat{V}_{3m}[D(X)]}{n} + \frac{\hat{V}_{3o}[D(X)]}{n} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j \in 3m} [D_j(X) - \hat{D}_{3m}(X)]^2 + \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j \in 3o} [D_j(X) - \hat{D}_{3o}(X)]^2$$

Tenslotte volgt het 95% betrouwbaarheidsinterval uit:

$$\hat{E}_m \pm 1,96 \times \sqrt{\hat{V}(\hat{E}_m)}.$$

De schattingen van de *bekalkingseffecten* (ongeacht eventuele bemesting) worden op dezelfde manier berekend, maar dan uit de paarsgewijze verschillen in de steekproeven 2k en 2o.

## Bijlage 2

Overzicht van gehalten van een aantal elementen in bladeren of naalden en van bodemgegevens in 61 opstanden van een landgoed in het oosten van Friesland in 1997

Geel/lichtgrijs is een te laag gehalte van dat element (of pH). Bij Stikstof juist een te hoog gehalte.

Blauw/donkergrijs is een toegevoegd tekort gesignaleerd op basis van de ratio's met stikstof

N.B. Tekorten in de bodem leiden niet altijd tot een bemestingsadvies. Raadpleeg de richtlijnen zorgvuldig!

	Boomsort	Stikstof	Fosfor	Kalium	Calcium	Magnesium	Koper	pH	Fosfor	Koper
		Blad- en naaldanalyse:						Bodemanalyse:		
1	Beuk	28,7	1,1	5,44	3,82	1,2	6,5			
2	Beuk	25,8	1,1	5,1	2,66	1,11	5,1			
3	Beuk	28,4	1,2	5,38	6,7	1,74	7,2			
1	Douglas	18,3	1	5,11	2,91	1,13	1,4	3	42,4	3
2	Douglas	20,9	0,8	5,24	2,26	1,17	2,6	3,2	19,1	1,9
3	Douglas	18	1,2	5,54	2,52	1,45	1,7	3	10,7	<1,0
4	Douglas	16,3	1,5	8,99	4,07	1,64	1,8	3,4	73	5
5	Douglas	18,7	0,5	3,62	4,53	1,41	2	3,3	13	<1,0
1	Eik	26,7	1,2	5,86	4,89	2,64	7,8			
2	Eik	16,8	1,4	8,91	3,75	2,07	6,8			
3	Eik	19,8	1,2	11,1	2,68	1,83	6,7			
4	Eik	19,8	1,1	6,15	2,51	1,45	5			
5	Eik	26,3	1,6	4,82	3,28	1,98	7,7			
6	Eik	32,8	1,5	7,31	4,57	1,73	10,6			
7	Eik	25,1	1,3	7,54	4,17	1,58	7,3			
8	Eik	22,5	1,4	7,84	4,43	1,65	11,2			
9	Eik	17,6	1,3	8,87	3,8	1,46	9,8			
10	Eik	35,7	1,6	8,26	2,89	1,8	10,1			
11	Eik	43	1,1	6,68	3,72	1,91	5,5			
12	Eik	33,5	1	4,87	3,73	2,07	7,3			
13	Eik	24,6	1,2	7,17	6,62	1,77	8,4			
14	Eik	21,4	1	8,67	4,88	1,72	6,7			
15	Eik	22,9	1,3	4,31	2,34	1,36	4,5			
16	Eik	41,8	1,4	5,21	4,86	1,65	6,3			
17	Eik	27,6	2,3	4,62	7,2	2,85	8,1			
18	Eik	37,2	1,5	5,48	3,12	1,46	5,6			
19	Eik	33,1	1,4	6,32	5,01	2,55	6,3			
20	Eik	30,9	1,4	5,89	4,41	2,35	7,6			
21	Eik	28	1,1	6,33	5,51	1,57	5,9			
22	Eik	19,3	1	4,3	4,75	1,87	4,5			
23	Eik	31,1	1,4	4,96	4,93	1,88	5,1			
24	Eik	35	1,4	7,71	4,9	2,05	5,4			
25	Eik	25,2	2,3	6,05	5,52	1,21	7,2			
1	Fijnspar	25,9	0,6	4,22	1,06	0,73	3,9	3,4	11,8	<1,0
2	Fijnspar	20	1,9	8,2	2,84	1,17	2,1	3,3	37,8	1,1
3	Fijnspar	18,3	1,4	8,33	2,09	0,94	3	3	32,1	3,9
4	Fijnspar	15,9	0,7	5,37	1,96	0,51	2	3,3	14,1	<1,0
5	Fijnspar	16,1	1	5,6	1,75	0,7	2,1	3,4	18,9	<1,0
6	Fijnspar	27,8	1,7	6,59	3,75	1,15	1,2	2,6	28,7	2,1
7	Fijnspar	16,5	1,4	5,17	0,86	0,69	1,6	3,5	41,8	2,5
8	Fijnspar	12,1	1,4	5,49	2,14	0,96	1,6	3,4	23,1	1,2
9	Fijnspar	16,5	1,2	5,99	4,13	1,1	2,2	3,2	9,1	<1,0
10	Fijnspar	20,2	1	5,96	3,4	1,13	2,4	3,3	13,3	1
1	Japanse lariks	26	1,2	4,89	2,52	2,16	1,6	3,1	20	1,2
2	Japanse lariks	36	2,9	11,63	1,24	1,39	3,4	3	18,3	<1,0
3	Japanse lariks							3,5	88,9	6
4	Japanse lariks	28,6	1,7	5,95	3,04	1,95	2,9	3,2	60,2	5,8
5	Japanse lariks	24	1,3	6,66	3,83	1,77	5	2,9	46	5,6
6	Japanse lariks	36,8	1,4	6,72	2,51	1,27	3,5	3	27,6	2,2
7	Japanse lariks							2,9	33	5,4
8	Japanse lariks	31,5	1,2	7,29	1,85	1,08	3,4	3,2	41,5	4,7
9	Japanse lariks	26,2	1	4,31	2,52	1,39	3,4	2,9	26,3	2,3
10	Japanse lariks	29,3	1,1	4,21	3,27	1,24	3	2,8	26,2	3,3
11	Japanse lariks	29,6	1,2	5,63	3,56	2,36	3,8	3,1	34,5	3,4
12	Japanse lariks	17	1,4	5,24	5,41	2,62	1,9	3,2	28,1	1,2
13	Japanse lariks							3,2	19,5	1,7
1	Oriëntaalse spar	18,8	1	5,81	3,64	0,8	1,6	3,1	12,6	2
1	Sitkaspar	13,7	1,5	8,72	1,67	0,88	3,4	3,3	78,6	8,7
2	Sitkaspar	16	1,4	7,21	2,91	0,74	<1,0	3,1	68,1	6
3	Sitkaspar							3,5	25,6	
4	Sitkaspar	11,6	1,3	6,55	2,27	0,97	2,2	3,3	13,9	<1,0