

# **Ontwikkeling van bodem, vegetatie, de voedingstoestand van bomen en de boomgroei in het Nederlandse bos: 1990-2000**

*Eindverslag Meetnet Bosvitaliteit*

H. Schoonderwoerd  
G. van Tol  
W. de Vries



landbouw, natuur en  
voedselkwaliteit

Directie Kennis, januari 2006

© 2006 Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport DK nr. 2006/dk037-O  
Ede, 2006

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de directie Kennis onder vermelding van code 2006/dk037-O en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling ir. H. Schoonderwoerd (Bureau Silve) , ir G. van Tol,  
dr. W. de Vries (Alterra)

Druk Ministerie van LNV, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Directie Kennis  
Bedrijfsvoering/Publicatiezaken  
Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41  
Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede  
Telefoon : 0318 822500  
Fax : 0318 822550  
E-mail : DKinfobalie@minlnv.nl

# Voorwoord

Alarmerende berichten over bossterfte als gevolg van luchtverontreiniging waren in de 80'er jaren aanleiding voor het inzetten van een actief beleid om luchtverontreiniging tegen te gaan en voor het opzetten van een meetnet bosvitaliteit. Inmiddels is de depositie van zwaveldioxide sterk afgenomen; de depositie van stikstof is nog steeds hoog, maar ook hier is sprake van een afname. De gevreesde bossterfte door verzuring bleef uit, maar uit de, in het kader van het meetnet bosvitaliteit, verzamelde gegevens blijkt wel dat met name de voedingsstoffenkringloop wordt verstoord door de hoge stikstofdepositie. Door de sterke afname van de verzurende ( $\text{SO}_2$ ) depositie neemt de zuurgraad van de bosbodems niet verder af.

Inmiddels wordt de invloed van de luchtverontreiniging op bossen niet meer gezien als een belangrijk beleidsonderwerp. Daarom is in 2003 besloten om de vijfjaarlijkse bemonstering van 200 bosopstanden stop te zetten, en de monitoringsactiviteiten te beperken tot een klein aantal meetpunten die in het kader van het EU programma Forest Focus moeten worden opgenomen.

De opnames die in 1990, 1995 en 2000 werden uitgevoerd in het meetnet bosvitaliteit leveren een schat aan gegevens over de invloed van depositie op de Nederlandse bosesystemen. De gegevens over de chemische samenstelling van de bodem, de vegetatie en de voedingstoestand van de bomen vormen ook een belangrijke referentie, die van groot belang is bij nieuwe vragen, bijvoorbeeld naar aanleiding van klimaatverandering, of als uitvloeisel van EU kaderrichtlijn bodem. Een eventuele heropname van de meetpunten kan dan waardevolle informatie leveren. Daarom is besloten deze gegevens samen te vatten in een werkdocument. Het document is opgesteld door H. Schoonderwoerd, met inhoudelijke bijdragen van W. de Vries (Alterra) en G. van Tol.

DE DIRECTEUR KENNIS,  
dr. J.A. Hoekstra MSc.



# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Doelstellingen en opzet van het Meetnet Bosvitaliteit</b>	<b>9</b>
1.1 Achtergrond en doelstellingen	9
1.2 Selectie van opstanden en meetprocedure	9
<b>2 De weersomstandigheden, de emissie en de depositie in de periode 1990-2000</b>	<b>13</b>
2.1 Het weer in de periode 1990-2000	13
2.2 Ontwikkelingen in emissie en depositie in de periode 1990-2000	13
<b>3 Bodemontwikkeling</b>	<b>17</b>
3.1 De strooisellaag (ectorganisch profiel)	17
3.1.1 Organische stof en nutriënten	17
3.1.2 Zuurgraad en kationen-uitwisselingscapaciteit in de strooisellaag	19
3.1.3 Zware metalen in de strooisellaag	19
3.2 De minerale bovengrond	21
3.2.1 Organische stof in de laag 0-30 cm	21
3.2.2 Nutriënten	21
3.2.3 Zuurgraad en kationen uitwisseling	22
3.2.4 Zware metalen	23
3.3 Bodemvocht	24
<b>4 Vegetatieontwikkeling</b>	<b>27</b>
<b>5 Voedingstoestand van de bomen</b>	<b>29</b>
<b>6 De groei van bomen en sterfte</b>	<b>33</b>
6.1 Groei	33
6.2 Sterfte	34
<b>7 Conclusies</b>	<b>35</b>
<b>Literatuur</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage Groei berekening</b>	<b>39</b>



# Samenvatting

In het kader van het Meetnet Bosvitaliteit zijn in 1995 bosopstanden geselecteerd voor bemonstering van de chemische samenstelling van de bodem, de voedingstoestand en de groei van de bomen en de vegetatieontwikkeling. Van deze opstanden werd ongeveer de helft al eerder op de zelfde wijze bemonsterd in 1990; de opnames werden in 2000 opnieuw uitgevoerd. De waarnemingen geven een beeld van de groei en de voedingstoestand van de bomen alsmede de ontwikkeling van bodem en vegetatie in de periode van 1990 - 2000.

## Opzet

In het kader van het Meetnet Bosvitaliteit zijn eens in de 5 jaar gegevens verzameld over vier aspecten van de bosontwikkeling: de groei van de bomen, de bosvegetatie, de bodemchemie en de blad- en naaldsamenstelling. In 1995 zijn daarvoor 200 opstanden geselecteerd op basis van hoofdboomsoort, leeftijd, geografische ligging en bodemtype. De bodems betreffen alle verzuringsgevoelige zandgronden. Van deze 200 opstanden zijn er 99 ook in 1990 opgenomen. In 2000 zijn 168 van de in 1995 geselecteerde bosopstanden opnieuw bemonsterd. De boomsoorten, die anno 2000 in het onderzoek zijn betrokken zijn inlandse eik (47 opstanden), beuk (25), grove den (37), douglas (22), Corsicaanse den (20) en fijnspar (17).

## Weersomstandigheden en depositie

De periode 1990 – 2000 werd gekenmerkt door een groot aantal warme jaren en een serie van drie opeenvolgende droge jaren (1995-1997).

De afname van de emissie en depositie van zwaveldioxide, die reeds voor 1980 is ingezet, zette in de periode tussen 1990 en 2000 verder door; de totale zure depositie nam af van ca 4500 mol per ha in 1990 tot 3100 mol in 2000.

De reducties in de emissies van stikstofoxiden en ammoniak zijn minder duidelijk terug te vinden in de deposities. De totale stikstof depositie bedroeg in 1990 en 1995 ca 3000 mol; in 2000 is dit afgenomen tot 2500 mol per ha.

## De bodem

De effecten van een afname in de depositie komen ook tot uiting in een verbetering van de chemische samenstelling van de bodem. Dit is vooral merkbaar in de strooisellaag, die het meest direct reageert op depositieveranderingen. Uit de metingen blijkt dat met name de gehalten aan stikstof en fosfor duidelijk zijn afgenomen. De gehalten van lood en cadmium vertonen een dalende trend in de periode 1990-2000. In de chemische samenstelling van de minerale bovengrond worden in de periode van 1990 – 2000 geen duidelijk significante veranderingen gemeten.

Met de afname van de emissie van zwaveldioxide neemt in het bodemvocht ook de concentratie van  $SO_4$  in de periode 1990- 2000 af met ruim 60 %. Ook leiden de reducties van stikstofemissie (met name bij ammoniak) tot een afname van de concentratie van stikstof ( $NH_4 + NO_3$ ) in het bodemvocht. De gemiddelde daling van Al in het bodemvocht is ook zeer aanzienlijk (ca 65%). De concentraties aan de basische kationen Ca, Mg en K in het bodemvocht zijn eveneens afgenomen en wel met ca 30%. Dit kan een gevolg zijn van het “opladen” van het adsorptiecomplex met basen door de verlaagde aluminium concentratie. Ook de verhoudingen van aluminium ten opzichte van basen als calcium, magnesium en kalium en van ammonium ten opzichte van magnesium zijn in het bodemvocht verder gedaald, hetgeen wijst op een verbetering van het wortelmilieu. De veronderstelde gemiddelde kritische Al/Ca verhouding ligt rond de 1 en de gemiddelde waarde van alle metingen ligt daar in 1990 boven. In 2000 ligt de Al/Ca verhouding op ca 0.6, en daarmee ruim beneden de kritische waarde.

### **De bosvegetatie**

De bosvegetatie is alleen in 1996 en 2000 opgenomen. Bij de opnames zijn in de kruidlaag 407 hogere plantensoorten en mossen aangetroffen. Tussen 1996 en 2000 zijn 54 soorten “verdwenen” en zijn 94 “nieuwe” soorten aangetroffen.

Gemiddeld over alle opstanden is tussen 1996 en 2000 het aandeel van de soorten van stikstofrijker bodems toegenomen. De verschuivingen in de individuele opstanden laten echter nog geen duidelijke trend zien.

### **Voedingstoestand van de bomen**

Er is een significant dalende trend in het stikstofgehalte van de naalden in de periode 1990-2000. Dit resulteert in een sterke afname van het aandeel opstanden met een hoog stikstofgehalte in de naalden. Opvallend is dat ook het fosforgehalte een significant dalende trend laat zien in de periode 1990-2000; met name in 2000 zijn de gehalten aanzienlijk lager dan in voorgaande jaren en is in bijna alle opstanden sprake van fosfaatgebrek. Er is geen verklaring voor deze plotselinge en sterke daling. Ook de gehalten van kalium en magnesium zijn afgenomen, alleen het calciumgehalte is toegenomen. Door deze – eveneens niet verklaarbare- afname van gehalten aan belangrijke nutriënten is er ondanks de afname van de hoge stikstofgehalten nog geen sprake van een duidelijke verbetering van de voedingstoestand.

### **De groei van de bomen en sterfte**

De groei van de bomen is bepaald door de diameter op borsthoogte (dbh) van de individuele bomen in 1995 en 2000 te meten. Op grond van deze metingen zijn nog geen uitspraken te doen over veranderingen in de groei. Ter vergelijking zijn voor de groei de gegevens gebruikt uit de periodieke HOSP inventarisaties. Daaruit blijkt dat douglas en Corsicaanse den over de periode 1984 – 2000 een lichte toename van de groei lieten zien. Eik, beuk en grove den vertoonden geen belangrijke variatie in de jaarlijkse groei. Bij de fijnspar is sprake van een duidelijke afname van de groei in de periode 1990-1995 en een voorzichtig herstel in de periode daarna.

Sterfte van bomen is in de periode 1996-2000 vooral opgetreden in eikenopstanden. Eikensterven is gedurende de periode 1990 – 2000 een algemeen voorkomend verschijnsel in geheel Europa en wordt toegeschreven aan een combinatie van ongunstige klimatologische omstandigheden en aantastingen door onder andere wintervlinder, prachtkever en honingzwam.



# **1 Doelstellingen en opzet van het Meetnet Bosvitaliteit**

## **1.1 Achtergrond en doelstellingen**

In de periode 1984-1994 is in Nederland jaarlijks een inventarisatie van de bosvitaliteit uitgevoerd. De basis voor dit Landelijk Vitaliteitsonderzoek was een steekproef van 3000 opstanden, die representatief waren voor het gehele Nederlandse bos. Bij deze vitaliteitsinventarisatie werden uiterlijke kenmerken van de kroon (kleur van het blad, bladbezetting) alsmede duidelijk zichtbare shadeoorzaken opgenomen. Doel van de inventarisatie was het jaarlijks beschrijven van de vitaliteitstoestand van het Nederlandse bos en van de jaarlijkse veranderingen daarin.

Om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van de waargenomen variaties in de vitaliteit, en om een beter beeld te krijgen van de effecten van luchtverontreiniging op bosesystemen is in 1995 de opzet van de jaarlijkse vitaliteitsinventarisatie ingrijpend gewijzigd. Naast bladverlies en -verkleuring worden ook gegevens verzameld over de chemische samenstelling van de bodem, de voedingstoestand en de groei van de bomen en over de ontwikkeling van de vegetatie. Het aantal opnamepunten is sterk teruggebracht en de gegevens worden niet meer jaarlijks, maar één maal per vijf jaar verzameld.

Het doel van het Meetnet Bosvitaliteit is (Reuver 1996):

1. Het volgen van de groei en de voedingstoestand als indicatoren van de vitaliteit van de belangrijkste boomsoorten.
2. Het vergroten van het inzicht in de kwaliteit van het bosesysteem en van de veranderingen die daarin optreden door het volgen van de vegetatieontwikkeling en het onderzoek naar de chemische eigenschappen van de bosbodem.
3. Het vergroten van het inzicht in de oorzaken van de vitaliteitstoestand van de bossen en de veranderingen daarin.

## **1.2 Selectie van opstanden en meetprocedure**

Uit het systematische netwerk van de 3000 punten van het landelijk vitaliteitsonderzoek zijn in 1995 200 punten geselecteerd. De keuze is beperkt tot bosopstanden op kalkloze zandgronden. Bij de selectie is gezorgd voor een evenwichtige verdeling over de verschillende regio's en de belangrijkste boomsoorten. Basis voor de selectie vormden 150 opstanden die reeds in 1990 door het Staringcentrum (nu Alterra) werden bemonsterd op de bodemsamenstelling (Hilgen 1995). Voor de verdeling over de boomsoorten zie tabel 1.

De meetpunten zijn nauwkeurig op kaart vastgelegd en in het veld met een speciale markering aangegeven.

Tabel 1 Overzicht van de verdeling van de plots over de boomsoorten

<b>Boomsoort</b>	<b>In 1990 opgenomen plots</b>	<b>Aantal plots 1995</b>	<b>Aantal plots 2000</b>	<b>Aantal plots gemeenschappelijk</b>
Grove den	35	42	37	30
Cors. den	13	20	20	13
Douglas	14	27	22	10
Lariks *	12	13	0	0
Fijnspar	13	20	17	12
Eik	23	51	47	19
Beuk	14	27	25	15
<b>Totaal</b>	<b>124</b>	<b>200</b>	<b>168</b>	<b>99</b>

\* de lariks is in 2000 niet meer opgenomen.

Het meetnet omvatte in 2000 nog 173 opstanden. Van deze 173 opstanden zijn er 168 ook in 1995 bemonsterd. De steekproef van opstanden die zowel in 1990, 1995 als in 2000 zijn bemonsterd bestaat uit 99 opstanden. Voor de vergelijkingen tussen de drie verschillende jaren is gebruik gemaakt van deze serie van gemeenschappelijke opstanden.

#### **Meetprocedure**

Per opstand zijn 25 bomen geselecteerd, die zich in 5 groepjes van 5 bomen verspreid over de opstand bevinden. De eerste 5 bomen zijn randbomen, de overige 20 (4 groepen) zijn bomen in bosverband. De geselecteerde bomen zijn alle medeheersende bomen en door hun verspreide ligging in de opstand geven zij een representatief beeld van de bomen, die de kroonlaag van de opstand vormen.

In de opstanden zijn in het centrum van de vier groepen bosbomen onzichtbare markeringen aangebracht die het mogelijk maken om de onderzoekslocaties exact terug te vinden. Dit is een belangrijk aspect van het meetnet, omdat hierdoor gegarandeerd wordt dat bodem- en bladmonstername en vegetatieopname bij elke opname op exact dezelfde plekken worden uitgevoerd. De individuele bomen rond de gemarkeerde locaties zijn op coördinaat gezet en voorzien van een nummer; daarmee is ook gegarandeerd dat de diametermetingen aan exact dezelfde bomen plaatsvindt.

Bij de bemonstering van de bodem zijn aparte mengmonsters verzameld van de strooisellaag en van de minerale grond. De strooisellaag is in 1990, 1995 en 2000 bemonsterd in twee lagen (LF en H, voor zover aanwezig) en geanalyseerd. Voor de minerale grond is in 1990 volgens de toen geldende standaardmethode de laag van 0-30 cm en de laag van 60-100 cm bemonsterd. Van de vaste fase is alleen de laag van 0-30 cm geanalyseerd terwijl bodemvocht geanalyseerd is in beide lagen. In aansluiting op Europese afspraken is in 1995 en 2000 alleen de laag 0-10 en 10-30cm bemonsterd en geanalyseerd.

De bodemmonsters zijn in het vroege voorjaar verzameld; de monsters voor de analyse van de chemische samenstelling van de strooisellaag en de minerale grond zijn in het laboratorium gedroogd en geanalyseerd. Een monster van een meetpunt bestaat altijd uit materiaal dat verspreid over het meetperk verzameld is (tenminste 10 stekken voor de strooisellaag en 20 stekken per monster voor de minerale laag), zodat de variabiliteit binnen een opstand wordt uitgemiddeld. De monsters voor het bepalen van de chemische samenstelling van het bodemvocht zijn op het laboratorium gecentrifugeerd, en vervolgens is de chemische samenstelling van het bodemvocht bepaald. Bemonstering en analyse werd in 1990 en 1995 uitgevoerd door Alterra, en in 2000 door het Centraal Bodemkundig Bureau te Deventer. Een uitgebreide beschrijving van de procedures voor de analyses in 1990 en 1995 is te vinden in de Vries en Leeters (2001).

Bladmonsters van eik en beuk zijn in augustus verzameld en de naaldmonsters van grove den, Corsicaanse den, douglas en fijnspar in het najaar (vanaf eind oktober), conform de richtlijnen van het Eindrapport Commissie Advies Bosbemesting (1990). Het

verzamelen van de monsters en de analyse werd in 1990 en 1995 uitgevoerd door Alterra, in 2000 door het Centraal Bodemkundig Bureau in Deventer. Bij de opname in 2000 zijn bij eik en beuk ook bemonsteringen uitgevoerd midden in het groeiseizoen, dus buiten de voorgeschreven periode; omdat de gehalten in de loop van het groeiseizoen wijzigen zijn deze gegevens niet gebruikt voor de vergelijkingen tussen de jaren.

De vegetatie is opgenomen binnen 4 (permanente) steekproefcirkels van elk 75 m<sup>2</sup> groot; bij deze opname zijn 4 lagen onderscheiden:

1. Boomlaag: alles hoger dan 6 meter.
2. Struiklaag: houtige gewassen hoger dan 1,5 m en lager dan 6 m.
3. Kruidlaag: alle hogere planten, voor zover niet in boom- of struiklaag.
4. Moslaag: alle mossen en lichenen op de grond en op dood hout; echte epifyten zijn niet opgenomen.

De bedekking van de boomlaag is geschat als kroonsluiting (procentuele bedekking van de kroonprojectie), terwijl die van de andere drie lagen is geschat als reële bedekking (projectie van alle levende delen op de grond). Het voorkomen van soorten is per laag geregistreerd. Voor aanvullende informatie rond de gevolgde procedures wordt hier verwezen naar Liebrand et al (2000).



## **2 De weersomstandigheden, de emissie en de depositie in de periode 1990-2000**

### **2.1 Het weer in de periode 1990-2000**

De weersomstandigheden bepalen in belangrijke mate het fysiologisch functioneren van bomen. Verdamping en fotosynthese, twee basale en sterk aan elkaar gekoppelde processen, worden direct beïnvloed door het weer. Hoeveelheid straling, luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, hoeveelheid neerslag en neerslagintensiteit zijn alle aspecten van het weer, die het verloop van transpiratie en fotosynthese (direct of indirect) mede bepalen. De effecten van het weer op de vitaliteit van de bomen zijn normaal gesproken van beperkte en tijdelijke aard. Maar extreme weersomstandigheden kunnen er voor zorgen, dat de vitaliteit voor langere tijd minder goed is. Omdat het bos geen eenjarig gewas is, maar een langlevend ecosysteem, werken extreem negatieve effecten ook meerdere jaren door. Het bos vertoont als het ware een geheugen. Gunstige weersomstandigheden zorgen natuurlijk juist voor een goede vitaliteit, met name als die gunstige omstandigheden zich gedurende een langere periode voordoen.

Het meest in het oog springende aspect van het weer in de periode 1990-2000 is het grote aantal warme jaren. Verder is er in de decade een vrij extreme afwisseling geweest van vrij droge jaren (1995-1997) en natte jaren aan het begin en einde van de negentiger jaren. Beide verschijnselen kunnen direct of indirect effect hebben op het welbevinden van boomsoorten. Vast staat dat droge zomers (zoals die van 1995) op de meeste standplaatsen van het Nederlandse bos in ieder geval de groei van de bomen negatief beïnvloeden. Jaarringanalyses van eik laten zien dat in 1995 en vooral in 1996 de groei van de eik zeer slecht is geweest.

Een gedetailleerde evaluatie van de weersomstandigheden voor verschillende boomsoorten op verschillende groeiplaatsen is op dit moment niet beschikbaar; hiervoor zou een nadere analyse gemaakt kunnen worden met behulp van de gegevens van de verschillende lokale weerstations van het KNMI.

### **2.2 Ontwikkelingen in emissie en depositie in de periode 1990-2000**

In een recente publicatie zetten de Vries et al (2002) de kennis omtrent de ontwikkelingen in emissie en depositie van zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), stikstofoxides ( $\text{NO}_x$ ) en ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) op een rijtje. De uitstoot van deze stoffen neemt af (tabel 2). Er is een dramatische reductie in de emissie van zwaveldioxide gerealiseerd. Zwaveldioxide is een sterk verzurende stof, die een van de belangrijkste veroorzakers was van de zure regen, die in de jaren zeventig van de vorige eeuw de kwaliteit van ecosystemen tot ver in Scandinavië aantastte. Zwaveldioxide kwam in grote hoeveelheden in het milieu door de industriële uitstoot en door de uitstoot via zwavelhoudende brandstoffen. De milieumaatregelen die zijn genomen om de emissies terug te dringen hebben dus een groot effect gehad.

Ook de emissies van stikstofoxiden en ammoniak zijn teruggebracht, zij het minder spectaculair. Niet alleen zijn die reducties minder groot, maar ze zijn ook nog van een veel recenter datum.

Tabel 2 Trends in emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak tussen 1950 en 2000 en de nationale emissiedoelstelling voor 2010 (NMP4) in kton.jr<sup>-1</sup>. (uit de Vries et al, 2002)

Jaar	Zwaveloxiden	Stikstofoxiden	Ammoniak
1950	510	175	105
1960	814	250	130
1970	810	410	180
1980	481	585	234
1990	202	574	231
1995	141	484	191
2000	91	421	157
2010	46	231	100

(Bron: Thomas e.a., 1988 voor data tot 1980 en Van Wee e.a., 2001 voor data vanaf 1980)

De hier weergegeven hoeveelheden uitgestoten SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub> betreffen emissies vanaf Nederlands grondgebied. Omdat de uitgestoten stoffen zich niet aan landsgrenzen storen is het zeker zo belangrijk om na te gaan hoeveel van deze stoffen er ook weer neerkomt.

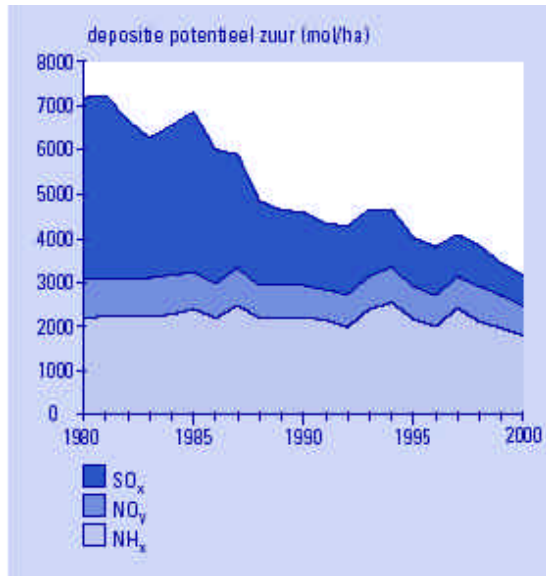
Deze depositie bepaalt in feite de milieubelasting van de betreffende stoffen en hun effect op de kwaliteit van onze ecosystemen.

Uit figuur 1 blijkt, dat de depositie van SO<sub>2</sub> gelijke tred houdt met de emissie ervan: de depositie is zeer sterk afgenomen. De depositie van NO<sub>x</sub> is ongeveer constant gebleven, terwijl de depositie van NH<sub>3</sub> pas recent (na 1997) een lichte daling vertoont.

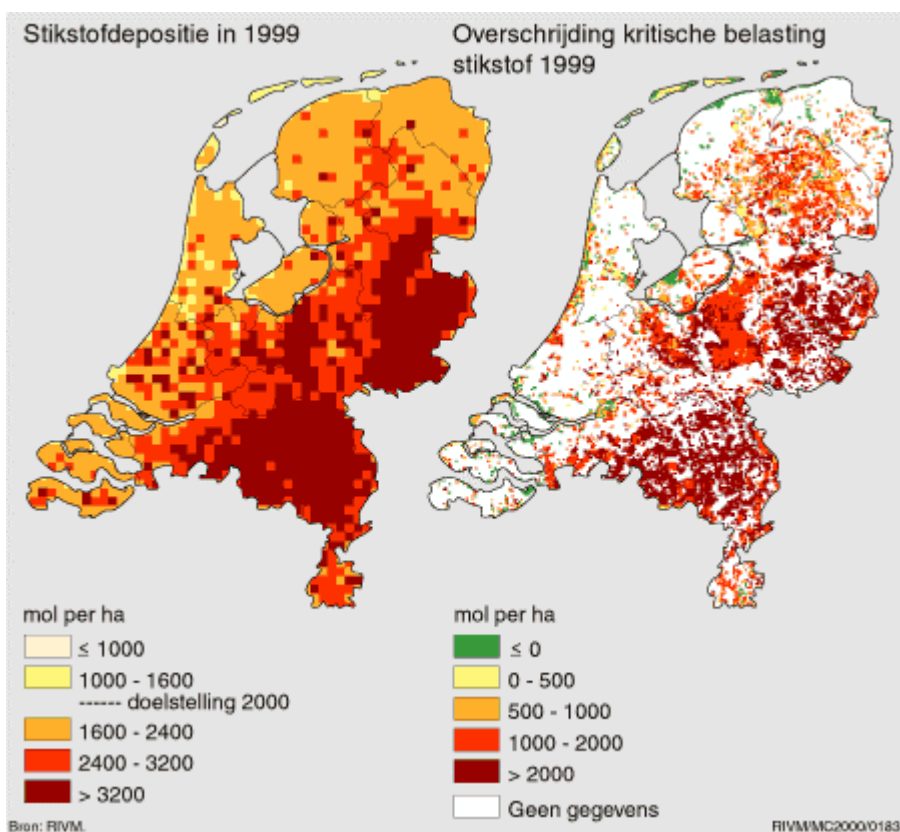
Volgens Hammingh (2001) kunnen de recente ontwikkelingen inzake de depositie van verzurende en vermestende stoffen als volgt worden samengevat:

1. De gemiddelde depositie van potentieel zuur is sinds 1995 ongeveer 20% gedaald tot 3.100 mol per ha. Dit niveau is nog altijd ruim boven de voor het jaar 2000 nagestreefde hoeveelheid van 2.400 mol per ha.
2. De gemiddelde depositie van de totale hoeveelheid stikstof (NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub>) bedraagt anno 2000 2.500 mol per ha. Dit is weliswaar 15% lager dan in 1995, maar ligt 55% hoger dan de nagestreefde waarde (1.600 mol per ha).
3. De concentraties zware metalen (zoals lood, cadmium, zink) vertonen eveneens een dalende trend. Er worden daarbij geen normen overschreden.

Dus de trends in de depositie van verzurende en vermestende stoffen zijn gunstig en de hoeveelheden neergeslagen stoffen per tijdseenheid nemen af. Maar het huidige depositieniveau ligt nog steeds ruim boven het niveau dat in eerdere beleidsnota's als wenselijk is aangemerkt. Het gevolg van deze hoge depositieniveaus is, dat anno 2000 in 90% van de Nederlandse natuurgebieden (zie figuur 2) de kritische belasting met stikstof meestal ruimschoots wordt overschreden (RIVM, 2001).



Figuur 1. De depositie van zwaveloxidenverbindingen,  $SO_x$  ( $SO_2$  en  $SO_4^{2-}$ ), stikstofoxiden,  $NO_y$  ( $NO$ ,  $NO_2$  en  $NO_3^-$ ) en ammoniak en ammonium  $NH_x$  ( $NH_3$  en  $NH_4^+$ ) tussen 1980 en 2000 (uit RIVM, 2001).



Figuur 2. Ruimtelijke verdeling van de stikstofdepositie en de overschrijding van de kritische belasting voor stikstof in 1999





## 3 Bodemontwikkeling

Bodemontwikkeling onder bos wordt van nature bepaald door de aard van de begroeiing, de eigenschappen van het moedermateriaal, het klimaat en het grondwater. Bovendien worden er allerlei stoffen via de lucht aangevoerd en door het bos 'onderschept' (de zogenaamde depositie). Deze stoffen bereiken op de een of andere manier de bosbodem: of ze slaan er direct op neer of ze slaan neer op de bladeren/naalden van de bomen en komen via blad-/naaldval op de bosbodem terecht. Eenmaal op de bosbodem komt de depositie terecht in de laag on- en halfverteerd organisch materiaal, die rust op de minerale grond. Traditioneel sprak men van de strooisellaag, tegenwoordig wordt deze laag door verschillende auteurs aangeduid als het ectorganisch profiel. Vervolgens komen de gedeponeerde stoffen door uitspoeling, vertering en omwerking (bodemdieren!) in de minerale grond. Effecten van depositie zijn dus waarneembaar in het ectorganisch profiel en in het bovenste gedeelte van de minerale bodem: het gaat daarbij om belangrijke parameters als het stikstofgehalte van de organische stof, de zuurgraad en de gehalten aan zware metalen.

De effecten van veranderingen in depositieniveaus worden niet direct zichtbaar in de vaste fase eigenschappen van strooisel- en minerale laag, maar komen eerder tot uiting in de chemische samenstelling van het bodemvocht (de Vries et al, 2002). Achtereenvolgens komen in dit hoofdstuk de ontwikkelingen (1990-1995-2000) in de chemische samenstelling van de strooisellaag (3.1), de minerale bovengrond (3.2) en het bodemvocht (3.3) aan de orde.

### 3.1 De strooisellaag (ectorganisch profiel)

Voor de vergelijking van de drie opname periodes zijn alleen de gegevens gebruikt van de 99 opstanden die in elke periode zijn opgenomen.

#### 3.1.1 Organische stof en nutriënten

De strooisellaag bestaat grotendeels uit organische stof. Door verschillende externe invloeden is echter ook vaak enige "vervuiling" met minerale delen in het profiel aanwezig. Dit kan veroorzaakt worden door de monsternamen zelf of andere kunstmatige verstoringen (bodembewerking, effecten van machines, het uitslepen van stammen e.d.), maar de menging van minerale delen en de organische stof kan ook het resultaat zijn van de activiteiten van allerlei dieren. Door deze effecten verschillen de monsters in het gehalte organische stof dat ze bevatten. Om de waarden voor stikstof, fosfor en kalium te standaardiseren worden alle gehalten uitgedrukt als gewichtspercentages van de droge organische stof.

#### Stikstofgehalte

Uit de resultaten van de monsteranalyses blijkt, dat het stikstofgehalte in de strooisellaag van de gehele steekproef een dalende trend vertoont. De afnemende waarden voor 1990, 1995 en 2000 verschillen significant van elkaar (zie tabel 3). De mediaanwaarde van het stikstofgehalte ligt in 2000 met 19,0 g/kg<sub>os</sub> opvallend veel lager dan in 1990 en 1995.

Tabel 3 Gehalten aan stikstof in de strooisellaag, per boomsoort (uitgedrukt in g N/kg droge organische stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	30	20,4	20,2	17,8
Cors. den	13	20,1	20,0	16,8
Douglas	10	23,5	22,4	20,5
Fijnspar	12	21,9	21,6	18,6
Eik	19	26,5	24,3	21,8
Beuk	15	23,5	21,4	21,1
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>22,0</b>	<b>21,3</b>	<b>19,0</b>

#### Fosforgehalte

Gemiddeld voor alle boomsoorten treedt tussen 1990 en 1995 een kleine, maar significante afname van het fosfor gehalte op; er zijn echter aanzienlijke verschillen tussen de boomsoorten. In 2000 is bij alle boomsoorten sprake van een opvallend sterke afname van het fosforgehalte ten opzichte van 1990 en 1995. In dezelfde periode neemt ook het fosforgehalte in de naalden bij de meeste boomsoorten flink af, terwijl het gehalte in de minerale grond juist stijgt. Gegeven de geringe mobiliteit van fosfor is de sterke afname van de gehalten in het strooisel niet goed te verklaren; een mogelijke verklaring kan gelegen zijn in het gebruik van andere extractie methoden bij de analyse van de strooisel monsters.

Tabel 4 Gehalten aan fosfor in de strooisellaag, per boomsoort (uitgedrukt in g P/kg droge organische stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	30	0,75	0,78	0,58
Cors. den	13	0,80	0,84	0,57
Douglas	10	0,93	0,84	0,63
Fijnspar	12	0,87	0,87	0,61
Eik	19	1,16	0,90	0,74
Beuk	15	0,90	0,84	0,72
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>0,85</b>	<b>0,83</b>	<b>0,62</b>

#### Kaliumgehalte

Een dalende trend treedt ook op voor kalium: De gevonden kaliumgehalten zijn in 1995 significant lager dan in 1990. Voor eik en beuk blijft het kaliumgehalte na 1995 vrijwel gelijk. Bij de naaldboomsoorten neemt het gehalte tussen 1995 en 2000 nog verder af.

Tabel 5 Gehalten aan kalium in de strooisellaag, per boomsoort (uitgedrukt in g K/kg droge organische stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	30	1,07	0,90	0,82
Cors. den	13	1,00	0,82	0,44 <sup>1</sup>
Douglas	10	1,10	0,80	0,64
Fijnspar	12	0,97	0,74	0,80
Eik	19	1,60	1,15	1,16
Beuk	15	1,33	1,02	1,07
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>1,11</b>	<b>0,96</b>	<b>0,90</b>

<sup>1</sup> opvallend lage waarde

### 3.1.2 Zuurgraad en kationen-uitwisselingscapaciteit in de strooisellaag

#### Zuurgraad

De strooisellaag is met een gemiddelde  $pH_{KCl}$  van 2,8 uitgesproken zuur; er is daarbij nauwelijks verschil tussen de boomsoorten. De strooisellaag is in de periode 1995-2000 nog iets verder verzuurd (de  $pH_{KCl}$  is in 2000 significant lager dan in 1995) Dat is vreemd, want de zuurdepositie is afgenomen en  $pH_{KCl}$  is een sterk gebufferde waarde. In de periode 1990-1995 was geen significant verschil aan te wijzen.

Voor de individuele boomsoorten geven de steekproeven geen duidelijke trend aan: de verschillen tussen 1995 en 2000 zijn gering en alleen voor grove den en beuk significant. Voor eik, fijnspar en Corsicaanse den is het significantieniveau marginaal en de verschillen voor douglas zijn niet significant. De verschillen tussen 1990 en 1995 zijn geen van alle significant.

Tabel 6 De zuurgraad in de strooisellaag, per boomsoort (uitgedrukt als  $pH_{KCl}$ , mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	30	2,8	2,8	2,7
Cors. den	13	2,9	2,8	2,8
Douglas	10	2,9	2,8	2,6
Fijnspar	12	2,8	2,8	2,6
Eik	19	3,0	2,9	2,9
Beuk	15	2,7	2,9	2,8
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>

#### Kationen-uitwisselingscapaciteit (CEC)

De CEC is in de periode 1990-1995 niet veranderd, maar in de periode 1995-2000 significant toegenomen. Voor vrijwel alle boomsoorten is sprake van een duidelijke stijging; alleen bij de beuk blijft de CEC ongeveer gelijk. De medianen voor de CEC-waardes liggen in 2000 op 314  $mmol_c/kg$ , in 1995 op 285  $mmol_c/kg$  en in 1990 op 291  $mmol_c/kg$ . Ondanks de stijging zijn de gevonden CEC waarden nog steeds als 'laag' te kwalificeren, maar dat is normaal voor zure bosgronden (De Vries en Leeters, 2001). Deze lage waarden zijn een gevolg van de zure omstandigheden in de bossen op zandgronden.

Tabel 7 De kationen uitwisselingscapaciteit (CEC) in de strooisellaag, per boomsoort (uitgedrukt in  $mmol_c/kg$ , mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	30	273	263	297
Cors. den	13	253	258	288
Douglas	10	299	294	314
Fijnspar	12	308	316	333
Eik	19	318	312	355
Beuk	15	324	343	340
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>291</b>	<b>285</b>	<b>314</b>

### 3.1.3 Zware metalen in de strooisellaag

De gehalten aan zware metalen in de strooisellaag worden beoordeeld aan de hand van achtergrond- en kritieke waarde en de door de overheid vastgestelde doelwaarde (zie tabel 8).

Tabel 8 Achtergrond<sup>1</sup>- en kritieke<sup>2</sup> waardes en doelwaardes<sup>3</sup> voor zware metalen gehalten in de strooisellaag (uit De Vries en Leeters, 2001)

	Gehalte (mg/kg)					
	Lood	Cadmium	Koper	Zink	Nikkel	Chroom
Achtergrondwaarde	15	0,35	5	35	10	2,5
Doelwaarde	114	1,8	54	147	20	50
Kritieke waarde						
Micro-organismen	500	3,5	20	300	50	30
Ongewervelden	150	10	100	500	-	-
Beide	150	3,5	20	300	50	30
Gemeten waarde						
1990	112	0,64	16	67	12	14
1995	94	0,55	14	62	6	14
2000	65	0,46	18	62	8	10

Het loodgehalte vertoont een sterk dalende trend. De mediaanwaarde van het loodgehalte neemt af van 112 mg/kg in 1990 tot 65 mg/kg in 2000. De afnemende trend in het loodgehalte is ook voor de afzonderlijke boomsoorten duidelijk, maar de verschillen tussen de meetjaren zijn niet altijd significant.

De afnemende loodgehalten in de strooisellaag leiden tot een verbetering van het milieu voor het bodemleven: in 1990 was nog in 20% van de onderzochte opstanden het loodgehalte groter dan de kritieke waarde voor ongewervelde dieren. In 2000 is dit aandeel gezakt tot 4%.

Het loodgehalte van de strooisellaag is in 13 % van de opstanden nog hoger dan de doelwaarde. In 1990 lag nog 46 % van de opstanden boven de doelwaarde.. Extreem hoge loodgehalten komen in de steekproef niet voor.

Het cadmiumgehalte vertoont (net als het loodgehalte) een significant dalende trend: de mediaanwaarde van het cadmiumgehalte in de strooisellaag daalt van 0,64 mg/kg<sub>os</sub> in 1990 tot 0,46 mg/kg<sub>os</sub> in 2000.

De afname van het cadmiumgehalte in de strooisellaag leidt niet tot een andere verdeling van de opstanden in relatie tot de kritieke waardes. Het cadmiumgehalte is in 97% van de onderzochte opstanden lager dan de doelwaarde, hetgeen ook al in 1990 het geval was. In 1% van de opstanden was en is het cadmiumgehalte ongunstig voor micro-organismen. Extreem hoge waardes zijn niet gevonden.

Het kopergehalte varieert in de periode 1990 - 2000. De mediaanwaardes liggen tussen 18 mg/kg en 14 mg/kg.

Het kopergehalte van alle onderzochte opstanden ligt lager dan de doelwaarde van 54 mg/kg. De doelwaarde ligt echter hoger dan de kritieke waarde voor micro-organismen, die al vanaf 20 mg/kg nadelige effecten van koper zouden ondervinden. Het aandeel opstanden, waarvan het kopergehalte in de strooisellaag hoger is dan deze kritieke waarde was in 1990 29%, in 1995 23% en in 2000 40%. Deze ontwikkeling zou dus nadelig voor het bodemleven kunnen zijn.

Het zinkgehalte is in de periode 1990- 1995 gedaald, maar daarna gelijk gebleven.

In 2000 is het zinkgehalte in 95% van de opstanden lager dan de doelwaarde van 147 mg/kg. In 1990 was dat aandeel nog 88%. In 1 opstand is een extreem hoog zinkgehalte gevonden.

<sup>1</sup> Achtergrondwaarde: gehalten aan zware metalen, die "van nature" kunnen voorkomen in niet door de mens beïnvloede profielen. De waardes zijn gebaseerd op metingen in strooisellagen in het noordelijkste deel van Zweden

<sup>2</sup> Kritieke waarde: maximum gehalte aan zware metalen zonder negatieve effecten op de aangegeven bodemorganismen

<sup>3</sup> Doelwaarde: na te streven maximum gehalte, gebaseerd op metingen in relatief weinig vervuilde gebieden in Nederland

Het nikkelgehalte in de strooisellaag is in de periode 1990-1995 significant afgenomen, maar is in de periode 1995-2000 weer significant toegenomen. Het nikkelgehalte is anno 2000 nog wel significant lager dan in 1990.

De doelwaarde voor nikkel bedraagt 20 mg/kg. In 2000 is in 98% van de opstanden het nikkelgehalte lager dan de doelwaarde. In 1990 was dit 95%. Kritieke waarden voor het bodemleven worden nergens overschreden.

Het chroomgehalte in de strooisellaag is in de periode 1990-1995 gelijk gebleven en in de periode 1995-2000 significant afgenomen. De doelwaarde voor chroom (50 mg/kg) wordt nergens overschreden. De iets lager liggende kritieke grens voor het bodemleven (30 mg/kg) wordt in een incidentele opstand overschreden.

## 3.2 De minerale bovengrond

Voor de minerale bovengrond zijn dezelfde parameters opgenomen als voor de strooisellaag.

### 3.2.1 Organische stof in de laag 0-30 cm

Op de relatief arme zandgronden is het gehalte aan organische stof een belangrijke factor voor de vocht- en voedselvoorziening van de vegetatie. In afwijking van andere eigenschappen, die voor de laag 0-10 cm worden gepresenteerd, wordt het organische stofgehalte voor de laag 0-30 cm gegeven. Dit in verband met de vergelijkbaarheid tussen de jaren 1990, 1995 en 2000.

De gevonden organische stofgehalten zijn voor 1990 en 2000 vrijwel gelijk. De mediaan van de waarnemingen ligt bij 3,7-3,8 % organische stof. De waarden, die in 1995 zijn gevonden liggen significant hoger (mediaan bij 4,0%). De oorzaak hiervan is niet bekend, maar mogelijk is bij de bemonstering systematisch een fractie van de strooisellaag meegenomen.

In 1995 en 2000 is ook de organische stof in de laag van 0-10 cm apart opgenomen. Uit de analyse van deze gegevens blijkt dat ook in dit geval het organische stof gehalte in 2000 (mediaan 4,2%) significant lager is dan in 1995 (mediaan 4,8%). Deze analyse laat ook zien dat het organische stof gehalte in de bovenste 10 cm duidelijk hoger is dan in de laag van 10-30 cm.

Tabel 9 Gehalten aan organische stof in de laag van 0 – 30 cm van de minerale grond, per boomsoort (mediaan waarde, uitgedrukt in %)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000
Grove den	31	3,3	3,7	3,5
Cors. den	13	2,1	3,1	2,7
Douglas	9	3,5	3,8	3,8
Fijnspar	12	4,6	4,7	4,0
Eik	20	5,4	5,0	4,7
Beuk	14	3,5	4,5	3,9
<b>Mediaan</b>	<b>99</b>	<b>3,8</b>	<b>4,0</b>	<b>3,7</b>

### 3.2.2 Nutriënten

De overige chemische eigenschappen van de minerale bovengrond betreffen alle de laag 0 – 10 cm. Bij de opnames in 1990 is de laag van 0-30 cm bemonsterd, in 1995 en 2000 de laag van 0- 10 cm. De hier gepresenteerde gegevens hebben daarom alleen betrekking op de 168 gemeenschappelijke plots die in 1995 en 2000 zijn opgenomen. de gehalten zijn uitgedrukt per kg organische stof gehalte is veranderd.

Een directe vergelijking tussen de gehalten in de laag van 0- 10 cm en de laag van 0- 30 cm is niet mogelijk. De Vries et al (2002) hebben echter de bodemgegevens uit 1995 omgerekend naar de totale gehalten van de laag van 0- 30 cm; op grond daarvan is voor de afzonderlijke nutriënten een indruk te geven van de trends sinds 1990.

### Stikstofgehalte

Het stikstofgehalte, berekend als aandeel van de organische stof is in de periode 1995-2000 gelijk gebleven. Weliswaar ligt de mediaan in 2000 met 21,5 mg/kg<sub>os</sub> iets hoger dan die in 1995 (21,0 mg/kg<sub>os</sub>), maar dit verschil is statistisch niet significant. Voor de periode 1990 – 1995 werd in de laag van 0- 30 cm een significante afname van het stikstof gehalte vastgesteld (De Vries et al., 2002).

Tabel 10 Gehalten aan stikstof in de laag 0- 10 cm van de minerale grond, per boomsoort (uitgedrukt in g N/kg droge organische stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1995	2000
Grove den	37	19,2	21,1
Cors. den	20	20,2	22,8
Douglas	22	21,0	20,6
Fijnspar	17	20,1	20,6
Eik	47	24,8	23,1
Beuk	25	20,7	21,6
<b>Mediaan</b>	<b>168</b>	<b>21,0</b>	<b>21,5</b>

### Fosforgehalte

Het fosforgehalte van de bovenste 10 cm van de minerale grond is ondanks de afname van het gehalte organische stof iets toegenomen: in 1995 was de mediaan gelegen bij 0,12 g/kg<sub>ds</sub>, terwijl die in 2000 0,14 g/kg<sub>ds</sub> bedraagt. Omdat fosfor niet exclusief gebonden is aan de organische stof, behoeft het fosforgehalte niet noodzakelijk gelijke tred te houden met het gehalte aan organische stof. Het is echter niet duidelijk wat de oorzaak is van de verhoogde fosforgehaltes. Voor de periode 1990 – 1995 werd een lichte daling van het fosforgehalte vastgesteld in de laag van 0- 30 cm (De Vries et al. 2002) De toename van het fosfor gehalte in 2000 is opmerkelijk door de eveneens in 2000 geconstateerde daling van de gehalten in de strooisellaag, en staat in schril contrast met de sterke afname van de gehalten in de naalden (zie hoofdstuk 5).

Tabel 11 Gehalten aan fosfor in de laag van 0-10 cm van de minerale grond, per boomsoort (uitgedrukt in g P/kg droge stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1995	2000
Grove den	37	0,10	0,12
Cors. den	20	0,08	0,11
Douglas	22	0,10	0,12
Fijnspar	17	0,10	0,12
Eik	47	0,19	0,17
Beuk	25	0,17	0,17
<b>Mediaan</b>	<b>168</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>

### 3.2.3 Zuurgraad en kationen uitwisseling

#### Zuurgraad

De zuurgraad van de bovenste 10 cm van de minerale bodem, uitgedrukt als de pH<sub>KCl</sub> is in tabel 12 weergegeven. Voor alle boomsoorten gezamenlijk geldt dat zowel het gemiddelde als de mediaan van de pH<sub>KCl</sub> in 2000 hoger is dan in 1995. De gepresenteerde verschillen zijn echter voor geen van de individuele boomsoorten significant.

De stijging van de mediaan van de pH<sub>KCl</sub> (van 3,10 naar 3,20) duidt op een lichte verbetering van de zuurgraad, maar het verschil is slechts marginaal significant (p=0,03).

Tabel 12 Vergelijking van de zuurgraad van de bovenste minerale grond in 1995 en 2000

Boomsoort	Aantal opstanden	1995		2000	
		0-10 cm		0-10 cm	
		Gemiddeld	Mediaan	Gemiddeld	Mediaan
Grove den	37	3,20	3,10	3,23	3,10
Cors. den	20	3,85	3,45	3,84	3,40
Douglas	22	3,12	3,10	3,22	3,15
Fijnspar	17	3,15	3,20	3,21	3,20
Eik	47	3,38	3,10	3,45	3,20
Beuk	25	3,34	3,00	3,27	3,10
<b>Totaal</b>	<b>168</b>	<b>3,33</b>	<b>3,10</b>	<b>3,37</b>	<b>3,20</b>

Opmerkelijk is dat de verbetering van de zuurgraad vooral te zien is in de mediaanwaarden van de eik en de beuk, en in mindere mate bij de douglas. Voor de periode 1990 – 1995 is eveneens een lichte stijging van de zuurgraad vastgesteld in de laag van 0- 30 cm (De Vries et al. 2002).

#### Kationen uitwisselingscapaciteit (CEC)

De kationen uitwisselingscapaciteit in de laag van 0-10 cm van de minerale grond is met een mediaanwaarde van 41 mmolc/kg<sub>d</sub>, aanzienlijk lager dan die van de strooisellaag (314 mmolc/kg). De resultaten van de monsteranalyses duiden op een toename van de CEC in de periode 1995-2000. Dit resultaat is niet direct in overeenstemming te brengen met de hiervoor geconstateerde afname van het organische stof gehalte, maar sluit wel aan bij de geconstateerde geringe stijging van de pH<sub>KCl</sub>. Opvallend is ook dat bij alle afzonderlijke boomsoorten een duidelijke stijging optreedt, met uitzondering van de beuk, die een flinke daling van de CEC laat zien.

Tabel 13 De kationen uitwisselings capaciteit in de laag 0-10 cm van de minerale grond, per boomsoort (uitgedrukt in mmolc/kg, gemiddelde)

Boomsoort	Aantal plots	1995	2000
Grove den	37	28,8	34,3
Cors. den	20	20,7	30,7
Douglas	22	28,7	39,8
Fijnspar	17	43,2	51,2
Eik	47	41,5	58,5
Beuk	25	49,4	36,2
<b>Mediaan</b>	<b>168</b>	<b>34,7</b>	<b>41,1</b>

#### 3.2.4 Zware metalen

De gehalten aan zware metalen (lood, cadmium, koper, zink, nikkel en chroom) in de laag van 0-10 cm van de minerale grond liggen op een veel lager niveau dan in de strooisellaag; Dat is vooral een gevolg van het feit dat zware metalen zeer vast zijn gebonden aan de organische stof. Dit geldt met name voor lood en koper, die nauwelijks mobiel zijn. Er zijn geen aanwijzingen voor veranderingen in de periode 1995 – 2000. Voor de periode 1990-1995 werd een significante afname vastgesteld in de gehalten van de metalen Pb, Cd, Cu en Zn (Leeters and de Vries, 2001). De gehalten in de minerale grond, die per boomsoort zijn weergegeven in tabel 14, liggen in de meeste gevallen rond of onder de detectiegrens.

Tabel 14 Gehalten aan zware metalen in 1995 en 2000, uitgedrukt in mg/kg droge stof

Boomsort	Lood		Cadmium		Koper		Zink		Nikkel		Chroom	
	1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000
Grove den	13	13	0,18	0,07	3,0	2,6	6,9	9,6	2,1	2,7	4,5	4,3
Cors. den	9	9	0,13	0,09	0,9	2,0	6,4	7,4	1,7	1,6	3,8	3,7
Douglas	12	13	0,12	0,12	1,2	2,9	5,9	8,4	2,3	2,9	4,0	4,6
Fijnspar	12	11	0,13	0,09	3,1	2,4	7,4	7,4	2,1	1,7	4,4	4,3
Beuk	22	16	0,09	0,09	3,4	3,8	11,0	12,5	3,6	4,5	6,6	5,5
Eik	18	18	0,08	0,13	3,6	3,8	15,1	12,0	2,9	3,1	6,0	6,8
Mediaan	13	14	0,12	0,11	2,9	3,1	7,9	9,8	2,4	2,4	4,8	4,7

### 3.3 Bodemvocht

In 1990, 1995 en 2000 zijn naast de normale bodembemonsteringen ook monsters verzameld voor het bepalen van de chemische samenstelling van het bodemvocht. Deze monsters zijn in het laboratorium gecentrifugeerd en vervolgens geanalyseerd. De resultaten zijn uitgewerkt en gerapporteerd door de Vries et al (2002); de belangrijkste gegevens zijn opgenomen in tabel 15.

Uit de resultaten blijkt dat er een dalende trend is in de concentraties van sulfaat en ammonium. Sinds 1990 is de gemiddelde afname in  $\text{SO}_4$  concentratie in het bodemvocht is ruim 60% terwijl over dezelfde periode de afname in de concentratie van ammoniumstikstof  $\text{NH}_4$  ongeveer 70% bedraagt. De concentratie van nitraat is na 1990 wel afgenomen, is in 1995 gelijk aan die in 2000.

Hoewel er geen eenduidige lineaire relatie is tussen N depositie en N concentratie in de bovengrond (omdat het weerjaar een sterke invloed heeft op een eenmalige meting in het voorjaar) wijst dit resultaat wel op een duidelijk depositiedaling van stikstof, zoals dit ook recent in de metingen van  $\text{NH}_3$  en  $\text{NO}_x$  concentraties in de atmosfeer is vastgesteld. De concentraties van aluminium in het bodemvocht is eveneens sterk gedaald na 1990, maar blijft tussen 1995 en 2000 op het zelfde niveau. Ook hier kan het weer van invloed zijn geweest.

De concentraties van calcium, magnesium en kalium in het bodemvocht zijn in 1995 duidelijk lager dan in 1990; in 2000 is weer een lichte stijging merkbaar, maar de gehalten liggen nog duidelijk lager dan in 1990.

Tabel 15 Gemiddelde concentraties en verhoudingen van belangrijke elementen in bodemvocht voor de minerale bovengrond in 98 bosopstanden op zandgrond in de periode 1990-2000

Element	Eenheid	Gemiddelde waarde		
		1990	1995	2000
$\text{SO}_4$	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	1.40	0.85	0.52
$\text{NO}_3$	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.74	0.57	0.57
$\text{NH}_4$	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.33	0.15	0.09
Al	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.87	0.35	0.31
Ca	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.68	0.38	0.50
Mg	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.32	0.17	0.22
K	$\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$	0.23	0.10	0.12
Al/Ca	$\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	1.24	0.97	0.59
Al/(Ca+Mg+K)	$\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	0.44	0.41	0.26
$\text{NH}_4/\text{NO}_3$	$\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	0.69	0.48	0.24
$\text{NH}_4/\text{Mg}$	$\text{mol}_c \cdot \text{mol}_c^{-1}$	2.37	2.21	0.81

(Bron: de Vries et al, 2002)



De dalingen van de bodemvochtconcentraties kunnen behalve door dalingen van de emissies ook veroorzaakt zijn door verschillen in hydrologische omstandigheden (Leeters en de Vries, 2001). De verhoudingen van verschillende elementen worden echter minder beïnvloed door verschillen in de hydrologie. De gevonden afname in de verhoudingen van aluminium ten opzichte van basen als calcium, magnesium en kalium en van ammonium ten opzichte van magnesium in het bodemvocht (tabel 15) wijst op een verbetering van het wortelmilieu als gevolg van een afname van de zwavel en stikstofdepositie. De veronderstelde gemiddelde kritische Al/Ca verhouding ligt rond de 1 en de gemiddelde waarde van alle metingen lag daar boven in 1990, dook er net onder in 1995 en daalde verder tot ca 0.6 in 2000. De afname in NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> verhouding in het bodemvocht wijst vooral op een betere omzetting van ammonium naar nitraat (nitrificatie), mogelijk als gevolg van een iets gunstiger milieu voor de nitrificeerders.



## 4 Vegetatieontwikkeling

In 1996 is voor de eerste keer de vegetatie in de opstanden opgenomen. Het is aannemelijk dat de samenstelling van de vegetatie bij deze eerste opname al beïnvloed is door de stikstofdepositie uit voorgaande jaren. In 2000 is deze vegetatieopname herhaald; de beide opnames zijn verwerkt en geanalyseerd (Liebrand et al, 2000). Kort samengevat levert de vergelijking de volgende resultaten.

In 1996 en 2000 tezamen zijn in de kruidlaag 407 hogere plantensoorten en mossen aangetroffen. In 1996 zijn 313 soorten aangetroffen, in 2000 353 soorten. Tussen 1996 en 2000 zijn 54 soorten verdwenen. In dezelfde periode zijn 94 'nieuwe' soorten aangetroffen.

De meeste soorten die verantwoordelijk waren voor de fluctuatie van het totaal aantal soorten tussen 1996 en 2000 zijn slechts in één of twee opstanden aangetroffen. Het betrof meestal soorten van bodems met een hogere stikstof-beschikbaarheid dan normaliter in de bossen op de löss- en zandgronden in Nederland wordt aangetroffen. Dit duidt op een toename van de beschikbare stikstof in de van oudsher voedselarme bosbodems in Nederland. Veel van deze soorten duiden bovendien op een lokale verstoring van het bodemprofiel waardoor een tijdelijke vestiging mogelijk was. De toename van het aantal soorten moet dan ook niet worden gezien als een duidelijke toename van de kwaliteit van de bossen op de löss- en zandgronden in Nederland.

In 1996 en 2000 tezamen zijn 39 zeldzamere soorten aangetroffen (variërend van uiterst zeldzaam tot vrij algemeen). Hoewel het aantal zeldzamere soorten verschilde voor beide onderzoeksjaren is het aandeel van de uiterst zeldzame tot zeldzame soorten gemiddeld over alle opstanden gelijk gebleven tussen 1996 en 2000. Het aandeel van de minder algemene soorten is licht afgenomen en het aandeel van de zeer algemene soorten licht toegenomen.

Gemiddeld over alle opstanden is de bedekking van de boomlaag, struiklaag en kruidlaag ongeveer gelijk gebleven en van de moslaag licht gestegen. Gemiddeld over alle opstanden is de hoogte van de boomlaag gestegen van 18,9 m naar 21,8 m. De hoogte van de struiklaag is gestegen van 1,7 m naar 2,0 m terwijl de hoogte van de kruidlaag vrijwel gelijk gebleven is.

Gemiddeld over alle opstanden is tussen 1996 en 2000 het aandeel van de soorten van zeer stikstofarme tot stikstofarme bodems afgenomen terwijl het aandeel van de soorten van matig stikstofrijke tot stikstofrijke bodems is toegenomen. Het aandeel van de soorten van sterk zure tot zure bodems is afgenomen evenals het aandeel van de soorten van zwak basische tot basische bodems. Het aandeel van de soorten van zwak zure bodems is daarentegen toegenomen. De toename van de stikstofbeschikbaarheid en de afname van de zuurgraad (toename van de pH) van de voorheen extreem stikstofarme en zure bodems leidt tot een steeds verder gaande nivellering van de milieu-omstandigheden in de bossen op de löss- en zandgronden in Nederland. Een belangrijke verklaring voor deze nivellering vormt de atmosferische depositie van stikstof.

Het aandeel van alle drie de vocht-indicatieklassen is licht toegenomen als gevolg van een afname van de indifferente soorten. Op basis van de ondergroei zijn geen wijzigingen in het vochtgehalte van de bodem waargenomen.

Het aandeel van volle schaduw- tot schaduwplanten is afgenomen en het aandeel van halfschaduw- en lichtplanten is toegenomen. Hoewel de bedekking van de boomlaag (gemeten als procentuele bedekking van de projectie van de kroonometrek op de grond) ongeveer gelijk gebleven is, lijken de bossen over het algemeen iets lichter te zijn geworden. Dit zou een gevolg kunnen zijn van het ouder en hoger worden van de bomen, waardoor meer licht op de bodem komt.

Het totale bestand van de opstanden die zowel in 1996 als in 2000 zijn opgenomen is, op basis van verschillen in vegetatiesamenstelling, onderverdeeld in acht clusters. De belangrijkste differentiërende factoren zijn stikstofbeschikbaarheid en zuurgraad van de bodem, hoeveelheid licht die tot de bodem doordringt en het vochtgehalte van de bodem. Zeven van de acht clusters representeren elk een successiestadium. Eén van de clusters correspondeert met een iets afwijkende (relatief vochtige) standplaats.

Tussen 1996 en 2000 is de ondergroei van 32 opstanden zodanig veranderd dat ze zijn verschoven naar een ander cluster; dit is 18% van de 182 onderzochte opstanden. Van de 32 verschuivingen waren er 16 (9% van de 182 opstanden) in de richting van een hogere stikstofindicatie (hogere voedselrijkdom) en een hogere zuurgraad (hogere pH) en 16 (9%) in de richting van een lagere stikstofindicatie en een lagere zuurgraad. Van de 32 verschuivingen waren er 6 (3%) bovendien in de richting van een hogere vochtindicatie (vernatting) en 9 (5%) in de richting van een lagere vochtindicatie (verdroging). Van de 32 verschuivingen waren er 4 (2%) bovendien in de richting van een hogere lichtindicatie (lager aandeel schaduwplanten) en 2 (1%) in de richting van een lagere lichtindicatie (hoger aandeel schaduwplanten).

De verschuivingen van de opstanden laten (nog) geen duidelijke trend zien. Hiervoor is de periode tussen de eerste en tweede onderzoeksronde te kort.

## 5 Voedingstoestand van de bomen

De voedingstoestand van de bomen wordt beoordeeld aan de hand van de gehalten aan nutriënten in blad en naald. Daartoe zijn blad- en naaldmonsters verzameld in het najaar van 2000, die vervolgens gedroogd en geanalyseerd zijn in het laboratorium. De resultaten van deze analyses worden vergeleken met die uit 1995 en 1990. Door een misverstand zijn voor het jaar 2000 nauwelijks waarnemingen van beuk en slechts een deel van de waarnemingen voor eik beschikbaar ; een belangrijk deel van de monsters is niet in de voorgeschreven bemonsteringsperiode verzameld.

Op basis van de verzamelde gegevens is onderzocht of er sprake is van verschillen in gehalten tussen de verschillende opnamejaren. Om de gevonden waardes beter te kunnen duiden is daarnaast een indeling van de opstanden uit het Meetnet Bosvitaliteit gemaakt in termen van “laag”, “normaal” en “hoog” gehalte voor het betreffende element; in de verschillende tabellen zijn per element de grenswaarden voor het ‘normale’ traject aangegeven. Deze trajecten zijn ontleend aan de OBN-richtlijnen voor mineraltoediening en bekalking (v.d. Burg en Schaap, 1995). Daarnaast is ook de onderlinge verhouding van de nutriënten van belang; met name bij hoge stikstofgehalten in blad en naalden treden vaak relatieve tekorten op aan andere elementen als kalium, magnesium en calcium.

Lage gehalten kunnen duiden op gebreksverschijnselen, en kunnen leiden tot verminderde groei en vitaliteit, en tot een grotere gevoeligheid voor aantastingen, lage wintertemperaturen of droogte.

### Stikstof

Het stikstof gehalte van de naalden en bladeren vertoont over de periode 1990- 2000 een duidelijk dalende trend. Deze trend sluit goed aan bij de gevonden daling van stikstof in het bodemvocht.

Tabel 16 Gehalten aan stikstof in blad en naalden per boomsoort (uitgedrukt in g N/kg droge stof, mediaan).

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000	‘normaal’ traject
Grove den	37	21	19	15	14 – 18
Cors. den	20	16	14	12	13 – 18
Douglas	22	22	19	20	14 – 18
Fijnspar	19	20	16	17	13 – 17
<b>Mediaan naaldbomen</b>	<b>98</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	
Eik	23	28	25	--	23 – 28
Eik Beperkt 2000	12		26	27	
Beuk	14	25	25	--	22 - 28
Beuk Beperkt 2000	4		28	26	
<b>Mediaan loofbomen</b>	<b>37/16</b>	<b>27</b>	<b>25/27</b>	<b>27</b>	

Voor de naaldboomsoorten neemt de mediaan van het stikstofgehalte af van 20 g/kg<sub>ds</sub> in 1990 tot 16 g/kg<sub>ds</sub> in 2000. Bij de loofboomsoorten lijkt het gehalte min of meer constant te blijven; het aantal bemonsterde opstanden in 2000 is echter heel klein.

De afname in het stikstofgehalte heeft met name bij grove den geleid tot een belangrijke verschuiving in de verdeling van de opstanden over de beoordelingstrajecten. In 1990 was het stikstofgehalte van de grove dennenopstanden

in het meetnet in 93% van de gevallen te kwalificeren als “hoog” en was resterende 7% “normaal”. In 2000 is die situatie compleet gewijzigd: nog slechts 19% van de opstanden heeft een hoog stikstofgehalte, 59% is normaal en 22% heeft zelfs een laag stikstofgehalte. Opmerkelijk is dat de lage stikstof gehalten bij de opname van 37 opstanden in 2000 sterk afwijken van de gemiddelde waarde van ca 20 g N/kg, die in 1999 en 2001 worden gevonden in de 5 grove dennenopstanden van het EU meetnet.

Bij douglas zijn geen lage stikstofgehaltenes gevonden: in 2000 heeft 45% een normaal en 55% een hoog stikstofgehalte. Ten opzichte van 1995 is de situatie voor douglas in dit opzicht verbeterd: destijds had nog 77% een hoog stikstofgehalte en was 23% normaal. Ook bij fijnspar zijn geen opstanden zijn gevonden met een laag stikstofgehalte in de naalden. In 2000 valt 24% in de klasse “hoog” en 76% in de klasse “normaal”. In 1995 viel 41% van de opstanden in de klasse “hoog” en 59% in de klasse “normaal”.

### Fosfor

Het fosforgehalte in de naalden vertoont een significant dalende trend in de periode 1990-2000. voor de naaldboomsoorten neemt de mediaan van het fosforgehalte af van 1,3 g/kg<sub>ds</sub> in 1990 tot nog slechts op 0,9 g/kg<sub>ds</sub> in 2000. Met name in 2000 is sprake van een opvallend sterke daling van het fosforgehalte, tot ruimschoots beneden de grens waarbij fosfor gebrek verwacht mag worden. Een verklaring voor deze sterke daling is niet beschikbaar; er zijn geen belangrijke veranderingen in de fosfor depositie en fosfor spoelt ook niet gemakkelijk uit. Bovendien lijkt het fosfor gehalte van de minerale grond toe te nemen. Ook in vergelijking met de gemiddelde waarden die in 1999 en 2001 in het EU meetnet worden gevonden in grove den en douglas (grove den, 5 opstanden, 1,35 en 1,6 mg P/g, en Douglas, 5 opstanden, 1,35 en 1,20 mg P/g ) zijn de hier gevonden lage waarden buitengewoon laag.

Bij de loofbomen blijft het fosfor gehalte in de periode 1990- 2000 ongeveer op hetzelfde niveau.

Tabel 17 Gehalten aan fosfor in blad en naalden per boomsoort (uitgedrukt in g P/kg droge stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000	‘normaal’ traject
Grove den	37	1,4	1,3	1,0	1,4 – 1,7
Cors. den	20	1,1	1,1	0,9	1,3 – 1,6
Douglas	22	1,1	1,2	0,9	1,4 – 2,2
Fijnspar	19	1,5	1,2	0,9	1,4 – 2,0
<b>Mediaan naaldbomen</b>	<b>98</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	
Eik	23	1,6	1,5		1,4 – 1,7
Eik Beperkt 2000	12		1,4	1,6	
Beuk	14	1,3	1,2		1,5 – 3,0
Beuk Beperkt 2000	4		1,3	1,2	
<b>Mediaan loofbomen</b>	<b>37/16</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4/1,4</b>	<b>1,5</b>	

De afname in het fosforgehalte van de naaldbomen weerspiegelt zich in de verdeling van de opstanden over de beoordelingstrajecten. Anno 2000 hebben de opstanden hoofdzakelijk een laag fosforgehalte: de aandelen opstanden die in de klasse “laag” vallen zijn voor grove den 100%, voor Corsicaanse den 90%, voor douglas 96% en voor fijnspar 94%. In 1995 lagen die aandelen, met name voor grove den, op een minder ongunstig niveau: grove den 54%, Pinus nigra 75%, douglas 86% en fijnspar 71%.

### Kalium

Het kaliumgehalte lag in 1995 (mediaan bij 6 mg/kg<sub>ds</sub>) op een vergelijkbaar niveau dan in 1990. In 2000 echter is het kaliumgehalte met een mediaan van 4,8 mg/kg<sub>ds</sub> significant lager dan in 1995 en ook significant lager dan in 1990.

De in 2000 gevonden afname leidt tot een toename van het aandeel opstanden met een laag kaliumgehalte. Vergeleken met de situatie in 1995 stijgt het aandeel opstanden met een laag kaliumgehalte voor grove den van 0% naar 57%, voor Corsicaanse den van 5% naar 50%, voor douglas van 18% naar 82% en voor fijnspar van 53% naar 100%.

Evenals de fosfor gehalten liggen ook de kalium gehalten van grove den en douglas in het EU meetnet in 1999 en 2001 aanzienlijk hoger dan de in 2000 vastgestelde waarden.

Tabel 18 Gehalten aan kalium in blad en naalden per boomsoort (uitgedrukt in g K/kg droge stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000	'normaal' traject
Grove den	37	5,8	6,0	4,9	5,0 – 7,0
Cors. den	20	5,8	5,8	5,0	5,0 – 7,0
Douglas	22	6,2	6,5	4,3	6,0 – 8,0
Fijnspar	19	5,5	5,9	4,0	6,0 – 8,0
<b>Mediaan naaldbomen</b>	<b>98</b>	<b>5,8</b>	<b>6,1</b>	<b>4,6</b>	
Eik	23	9,2	8,4		6,0 – 8,0
Eik Beperkt 2000	12		9,8	7,9	
Beuk	14	6,1	6,8		6,0 – 8,0
Beuk Beperkt 2000	4		8,4	5,7	
<b>Mediaan loofbomen</b>	<b>37/16</b>	<b>8,0</b>	<b>7,8/9,5</b>	<b>7,4</b>	

### Calcium

Het calciumgehalte is na een afname in de periode 1990-1995 (mediaan van 2,3 g/kg<sub>ds</sub> naar 2,0 g/kg<sub>ds</sub>) in de periode 1995-2000 weer toegenomen tot iets boven het niveau van 1990. Het verschil in calciumgehalte tussen 1990 en 2000 is echter niet significant. De fluctuaties in de calcium gehalten verlopen ongeveer parallel met de gehalten in het bodemvocht.

In 2000 heeft 46% van de grove dennenopstanden een laag calciumgehalte. Ditzelfde geldt voor 15% van de Corsicaanse dennen opstanden, 14% van de douglasopstanden en 18% van de fijnsparopstanden. De calciumgehalten in grove den (5 opstanden) in het EU meetnet liggen in 1999 en 2001 ongeveer op hetzelfde niveau als de hier in 2000 gevonden waarden. Voor douglas (5 opstanden) ligt het calcium gehalte in 1999 en 2001 met ca 2,9 mg Ca/g beduidend lager dan de hier voor 2000 gevonden waarde.

Tabel 19 Gehalten aan calcium in blad en naalden per boomsoort (uitgedrukt in g Ca/kg droge stof, mediaan)

Boomsoort	Aantal plots	1990	1995	2000	'normaal' traject
Grove den	37	2,2	1,9	2,0	> 1,5
Cors. den	20	1,2	1,0	1,9	1,0 – 1,5
Douglas	22	3,1	2,5	3,9	> 2,5
Fijnspar	19	2,8	2,6	2,9	> 2,0
<b>Mediaan naaldbomen</b>	<b>98</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	
Eik	23	4,4	4,6		3,0 – 17,0
Eik Beperkt 2000	12		5,4	6,8	
Beuk	14	5,0	4,6		> 4,0
Beuk Beperkt 2000	4		5,2	5,3	
<b>Mediaan loofbomen</b>	<b>37/16</b>	<b>4,6</b>	<b>5,4/4,6</b>	<b>6,4</b>	

### Magnesium

Het magnesiumgehalte is in 2000 (mediaan bij 0,7 g/kg<sub>ds</sub>) significant lager dan in 1995 en in 1990. De gehalten in 1995 en 1990 zijn vergelijkbaar (mediaan bij 0,8 g/kg<sub>ds</sub>). De fluctuaties in het Mg gehalte in blad en naalden lopen niet synchroon met de fluctuaties in de gehalten in het bodemvocht. De afname van het magnesiumgehalte gaat ook gepaard met een toename van het aandeel opstanden met een laag magnesiumgehalte. Vergeleken met 1995 neemt voor grove den dit aandeel toe van 24% tot 78%, voor Corsicaanse den van 5% tot 30%, voor douglas van 0% tot 9% en voor fijnspar van 6% tot 53%.

De magnesiumgehalten in grove den (5 opstanden) in het EU meetnet liggen in 1999 en 2001 iets hoger dan de hier in 2000 gevonden waarden. Voor douglas (5 opstanden) ligt

het magnesium gehalte in 1999 en 2001 met resp. 1,6 en 1,4 mg Mg/g beduidend hoger dan de hier in 2000 gevonden waarde van 1,1 mg Mg/g.

Tabel 20 Gehalten aan magnesium in blad en naalden per boomsoort (uitgedrukt in g Mg/kg droge stof, mediaan)

<b>Boomsoort</b>	<b>Aantal plots</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>'normaal' traject</b>
Grove den	37	0,7	0,7	0,5	0,7 – 1,0
Cors. den	20	0,7	0,8	0,7	0,6 – 1,0
Douglas	22	1,3	1,4	1,1	0,7 – 1,0
Fijnspar	19	0,7	0,8	0,6	0,7 – 1,0
<b>Mediaan naaldbomen</b>	<b>98</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,65</b>	
Eik	23	1,4	1,7		1,6 – 2,8
Eik Beperkt 2000	12		1,6	1,2	
Beuk	14	1,0	1,1		1,5 – 3,0
Beuk Beperkt 2000	4		1,3	0,9	
<b>Mediaan loofbomen</b>	<b>37/16</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5/1,5</b>	<b>1,1</b>	

#### **Overige elementen**

In zowel 1995 als in 2000 is naast de besproken macro-elementen nog een aantal analyses uitgevoerd. Uit deze analyses blijkt dat:

- het gehalte van koper en ijzer is toegenomen in de periode 1995-2000;
- het gehalte van natrium, zink en mangaan wijkt in 2000 niet af van de in 1995 gevonden waardes;
- het zwavelgehalte is gedaald in de periode 1995-2000;
- het aluminiumgehalte is gedaald, maar de daling is nauwelijks significant.



## 6 De groei van bomen en sterfte

De groei van de bomen is bepaald aan de hand van de diameter bijgroei in de periode 1996 – 2000. De bomen zijn genummerd en op coördinaat gezet, zodat het mogelijk is uit twee opeenvolgende dbh-metingen de dbh-toename te bepalen. De opzet van het meetnet is niet geschikt om op de gebruikelijke wijze de groei van de bomen te bepalen per oppervlakte-eenheid (bijvoorbeeld grondvlakbijgroei in m<sup>2</sup>/ha of volumebijgroei in m<sup>3</sup>/ha).

De eerste opname is uitgevoerd in de wintermaanden van 1995/1996, dus na het groeiseizoen van 1995. De tweede opname is uitgevoerd in het najaar van 2000 (dus na het groeiseizoen van 2000). De waargenomen toename in de dbh van de bomen is dus gerealiseerd in 5 groeiseizoenen.

Omdat in 1990 geen dbh-metingen zijn uitgevoerd is het niet mogelijk om een vergelijking uit te voeren tussen de groei van de periode 1990-1995 en 1996-2000. In het kader van het Meetnet Bosvitaliteit kan dus alleen worden berekend wat de gemiddelde groei van de individuele bomen is geweest in de periode 1996-2000. Om deze groei toch te kunnen duiden worden de cijfers vergeleken met gegevens uit de meetreeksen van de HOSP.

### 6.1 Groei

In tabel 21 worden per boomsoort de gemiddelde jaarringbreedtes gepresenteerd, zoals die in de drie HOSP-periodes 1984-1989, 1990-1994 en 1995-1999 zijn waargenomen. De HOSP-waardes worden vergeleken met de gemiddelde jaarringbreedte in de periode 1996-2000 van de medeheersende bomen uit het Meetnet Bosvitaliteit.

Tabel 21 Vergelijking gemiddelde jaarringbreedte Meetnet Bosvitaliteit en HOSP

Soort	Gemiddelde jaarringbreedte (mm)					
	Meetnet Bosvitaliteit			HOSP		
	N	1996-2000	n	1984-1989	1989-1994	1994-1999
Grove den	773	2,15	424	1,32	1,42	1,35
Cors./Oost. den	383	2,27	277	2,13	2,33	2,73
Douglas	410	4,10	227	2,97	3,40	3,96
Fijnspar	288	2,44	147	2,51	1,68	2,05
Eik	891	1,95	338	1,56	1,63	1,53
Beuk	575	2,30	422	2,28	2,16	2,28

Op grond van de gegevens uit HOSP blijkt dat in de periode 1984- 1999 met name de douglas en in mindere mate de Corsicaanse den, beter zijn gaan groeien. Grove den, eik en beuk vertonen een vrij gelijkmatige groei over deze periode. De groei van de fijnspar varieert, en lijkt zich na een terugval in 1989-1994 weer enigszins te herstellen.

Het ligt voor de hand om aan te nemen dat vergelijkbare tendensen zich ook voordoen in de opstanden van het meetnet bosvitaliteit. Zo valt op dat voor grove den, douglas en beuk de diktegroei in de opstanden uit het meetnet en uit de HOSP inventarisatie redelijk gelijk is. De groei van de fijnspar in het meetnet lijkt een wat beter, en de groei van Corsicaanse den en eik wat slechter dan de opstanden in de HOSP inventarisatie.

Voor de laatste twee soorten geldt echter dat de gemiddelde leeftijd van de opstanden in het meetnet nogal afwijkt van de opstanden in de HOSP inventarisatie (zie bijlage I). Bij de interpretatie van de gegevens moet ook rekening worden gehouden met het feit dat het dunningsbeheer een grote invloed heeft op de bijgroei.

## 6.2 Sterfte

Naast de groei van de levende bomen is ook de sterfte opgenomen. De geregistreerde sterfte geeft een minimum waarde, want dode bomen die bij beheersmaatregelen (oogst) worden verwijderd zijn niet in de opname vertegenwoordigd. De indruk is echter dat het aantal op deze wijze verwijderde bomen zeer gering is.

Tabel 22 Sterfte van boomsoorten in de periode 1996 - 2000

Boomsoort	Aantal bomen 1996	Aantal dood	Percentage dood in 2000
Grove den	925	15	1,6
Cors. den	504	14	2,8
Douglas	629	6	1,0
Fijnspar	468	10	2,1
Eik	1175	60	5,1
Beuk	724	6	0,8

Opmerkelijk is de hoge sterfte bij de eiken. De sterfte valt samen met een algemeen proces van "eikensterven" in Europa, en wordt in het algemeen toegeschreven aan een combinatie van ongunstige klimatologische omstandigheden en het voorkomen van algemene verzwakkende organismen op eik, zoals wintervlinder, prachtkever en honingzwam. Verder valt op dat ondanks de lage naaldbezetting van douglas toch relatief weinig sterfte op treedt. De wat hogere sterfte in Corsicaanse den en Fijnspar ligt in de lijn der verwachtingen, en sluit aan bij de gevoeligheid voor respectievelijk lage wintertemperaturen en droogte. In hoeverre ook de grotere beschikbaarheid van stikstof, en de verhoogde gehalten in de naalden daarbij een rol spelen is niet eenvoudig vast te stellen.

## 7 Conclusies

Volgens Hammingh (2001) kunnen de recente ontwikkelingen inzake de depositie van verzurende en vermestende stoffen als volgt worden samengevat:

1. De gemiddelde depositie van potentieel zuur is sinds 1995 ongeveer 20% gedaald tot 3.100 mol per ha. Dit niveau is nog altijd ruim boven de voor het jaar 2000 nagestreefde hoeveelheid van 2.400 mol per ha.
2. De gemiddelde depositie van de totale hoeveelheid stikstof ( NO<sub>x</sub> en NH<sub>y</sub> ) bedraagt in 2000 2.500 mol per ha. Dit is weliswaar 15% lager dan in 1995, maar ligt 55% hoger dan de nagestreefde waarde (1.600 mol per ha).
3. De concentraties zware metalen (zoals lood, cadmium, zink) vertonen eveneens een dalende trend. Er worden daarbij geen normen overschreden.

Hebben deze trends effect op het functioneren van de bossen in Nederland en zo ja, hoe werken die effecten dan uit? Uit de resultaten van het Meetnet Bosvitaliteit komen de volgende zaken naar voren:

### De strooisellaag

De effecten van een afname in de depositie komt ook tot uiting in een afname van de stikstof gehalten in de strooisellaag. Opvallend is dat ook de gehalten aan fosfor in 2000 ver beneden de waarden van 1990 en 1995 liggen; een verklaring voor deze sterke daling is niet aanwezig, maar gezien het ongeveer constante niveau van het fosforgehalte in de minerale grond zou sprake kunnen zijn van een afwijkende analysemethode voor de in 2000 verzamelde monsters. De gehalten van lood en cadmium vertonen ook een dalende trend in de periode 1990-2000.

### De minerale bovengrond

In vergelijking met de strooisellaag en het bodemvocht treden er in de minerale bovengrond slechts marginale veranderingen op in de periode 1995-2000. De afname van stikstof in de strooisellaag en in het bodemvocht leidde in de periode 1990-1995 ook tot een afname van het stikstofgehalte in de minerale grond. Deze daling lijkt zich in de periode 1995 – 2000 niet voort te zetten. Wel is er sprake van een lichte toename van de kationen uitwisselingscapaciteit (CEC), die waarschijnlijk samenhangt met een iets gestegen pH waarde.

### Bodemvocht

Er is een duidelijk dalende trend in de concentratie van sulfaat en ammonium in het bodemvocht. De gemiddelde afname in SO<sub>4</sub> concentratie in het bodemvocht is ruim 60%, de afname in de concentratie van stikstof (NH<sub>4</sub> + NO<sub>3</sub>) bedraagt bijna 40% . De concentratie van nitraat is in 1995 gelijk aan die in 2000. Hoewel er geen eenduidige relatie is tussen N depositie en N concentratie in de minerale bovengrond, vanwege de invloed van weerjaren, duidt dit resultaat wel op een duidelijke daling van de stikstofdepositie, zoals dit ook recent in de metingen van NH<sub>3</sub> en NO<sub>x</sub> concentraties in de atmosfeer is vastgesteld. De concentraties van aluminium, calcium, magnesium en kalium zijn voor de jaren 1995 en 2000 vergelijkbaar en beide lager dan die in 1990. Dat zou kunnen duiden op het "opladen" van het adsorptiecomplex.

De gevonden afname in de verhoudingen van aluminium ten opzichte van basen als calcium, magnesium en kalium en van ammonium ten opzichte van magnesium in het bodemvocht wijst op een verbetering van het wortelmilieu. Met name het risico voor toxische Al/Ca verhoudingen (Al/Ca > 1) is sterk afgenomen, en ligt in 2000 op ca 0,6. De afname in NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> verhouding in het bodemvocht wijst op een betere omzetting van ammonium naar nitraat, en dus op gunstigere omstandigheden nitrificatie.

Het bodemvocht laat dus een sterkere reactie op de afnemende deposities zien dan de vaste fase van strooisel- en minerale laag (zie ook de Vries et al, 2002).

### **Bosvegetatie**

De wijzigingen in de bosvegetatie wijzen nog niet op een afname van de stikstofbeschikbaarheid in de bosbodems in Nederland. Gemiddeld over alle opstanden is tussen 1996 en 2000 het aandeel van de soorten van zeer stikstofarme tot stikstofarme bodems afgenomen terwijl het aandeel van de soorten van matig stikstofrijke tot stikstofrijke bodems is toegenomen. Deze ontwikkeling draagt bij tot een verder gaande nivellering van de bosvegetaties op arme zandgronden.

### **Voedingstoestand van de bomen**

Er is een significant dalende trend in het stikstofgehalte van de naalden in de periode 1990-2000. Dit resulteert in een sterke afname van het aandeel opstanden met een hoog stikstofgehalte in de naalden, en draagt bij tot een meer evenwichtige voedingstoestand. Ook het fosforgehalte kent een significant dalende trend in de periode 1990-2000. Voor bijna alle opstanden ligt in 2000 het fosforgehalte in de naalden ver beneden de normale waarden. Ook de gehalten van kalium en magnesium zijn afgenomen, alleen het gehalte van calcium is toegenomen. Met name de sterke afname in 2000 van het fosforgehalte, maar ook de afname van het kalium- en magnesiumgehalte zijn niet goed te verklaren; het is niet uitgesloten dat in 2000 een afwijkende bemonsterings- of analysemethode is gehanteerd.

### **De groei van bomen en sterfte**

De diktegroei van de bomen kan op grond van de gegevens uit het meetnet nog niet worden beoordeeld. Op grond van andere inventarisaties (HOSP) blijkt dat douglas en Corsicaanse den in de periode 1984- 2000 wat beter zijn gaan groeien. Van eik, beuk en grove den blijft de jaarlijkse diktegroei ongeveer op het zelfde niveau. De fijnspar vertoont na een teruggang in de groei in de periode 1990-1995 weer een licht herstel.

In de periode 1996-2000 is een forse sterfte opgetreden van eik. Eikensterven is in de periode van 1990-2000 een algemeen verschijnsel in Europa, en wordt toegeschreven aan een combinatie van ongunstige klimatologische omstandigheden en het optreden van aantastingen door onder andere wintervlinder, prachtkever en honingzwam.

### **De weersomstandigheden**

De weersomstandigheden zijn een belangrijke bepalende factor voor de groei van bomen en het optreden van stress, en ook de samenstelling van het bodemvocht wordt erdoor beïnvloed. Gezien deze belangrijke rol van de weersomstandigheden valt het op dat er geen concrete gegevens zijn verzameld over bijvoorbeeld neerslag en temperatuur in het groeiseizoen.

# Literatuur

Burg, J. van de en W. Schaap. 1995. *Richtlijnen voor mineralentoediening en bekalking als effectgerichte maatregelen in bossen*. Rapport IKC Natuurbeheer nr 16, Wageningen.

Hammingh, P. (ed). 2001. *Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2000*. RIVM rapport 725301008, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Hilgen, P.R. (ed) 1995. *De vitaliteit van bossen in Nederland in 1995. Verslag meetnet Bosvitaliteit nr 1*. Rapport IKC Natuurbeheer nr. 20, Wageningen.

Leeters, E.E.J.M. en W. de Vries. 2001. *Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995*. Alterra rapport 424.2.

Liebrand, C.I.J.M., M.J.M.R. Vocks, A.A.M. de Goeij & M.C. Scherpenisse-Gutter, 2000. *Tweede opname van de ondergroei in het Meetnet Bosvitaliteit*. Intern rapport, Expertisecentrum van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Reuver, P.J.H.M. 1996. *De vitaliteit van bossen in Nederland in 1996. Verslag meetnet Bosvitaliteit nr 2*. Rapport IKC Natuurbeheer nr. 23, Wageningen.

RIVM. 2001. *Bouwstenen voor het NMP4. Aanvulling op de Nationale Milieuverkenning 5*. RIVM rapport 408 129 022, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Schoonderwoerd, H. 1990. *Bijgroeischaters voor individuele bomen in bosverband*. Rapport 10. Bureau Daamen & Schoonderwoerd, Maurik.

Schoonderwoerd, H. 2003. *Het Meetnet Bosvitaliteit 1995-2000: de groei van de bomen*. Stichting Bosdata.

Thomas, R., W.G. van Arkel, H.P. Baars, E.C. van Ierland, K.F. de Boer, E. Buijsman, T.J.H.M. Hutten & R.J. Swart, 1988. *Emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOS en NH<sub>3</sub> in Nederland en Europa in de periode 1950-2030*. RIVM rapport 758472002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Vries, W. de en E.E.J.M. Leeters. 2001. *Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 150 forest stands in the Netherlands in 1990*. Alterra rapport 424.1.

Vries, W. de, J.W. Erisman, A. van Pul, J. Duyzer, L.J.M Boumans, E.E.J.M. Leeters, J. Roelofs en A. van Hinsberg. 2002. *Effecten beleid voor verzuring op depositie en de kwaliteit van bodem en grondwater*. ArenA nr. 6, Het Dossier, pag. 82 t/m 85.

Wee, G.P. van, M.A.J. Kuijpers-Linde & O.J. van Gerwen, 2001. *Emissies en kosten tot 2030 bij het vastgestelde milieubeleid*. Achtergronddocument bij de nationale Milieuverkenning 5. RIVM rapport 408129013, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.



## Bijlage Groei berekening

Voordat een vergelijking wordt gemaakt tussen de groeicijfers uit het Meetnet Bosvitaliteit en die uit de HOSP is het van belang om na te gaan in hoeverre beide steekproeven van elkaar verschillen. Daartoe is in tabel 6.1 de gemiddelde dbh en de gemiddelde boomleeftijd van de bomen uit het Meetnet Bosvitaliteit en de HOSP weergegeven. De weergegeven informatie betreft alleen medeheersende bomen. Uit de totale HOSP-database is tevens geselecteerd op het terreintype 'gelijkjarig bos'.

Tabel 23 HOSP data vergeleken met data van het Meetnet Bosvitaliteit (peildatum 1999/2000)

BOOMSOORT	Meetnet Bosvitaliteit 2000			HOSP 1999		
	Aantal bomen	Dbh (mm)	Leeftijd (j)	Aantal bomen	Dbh (mm)	Leeftijd (j)
Grove den	773	278	64	424	286	82
Cors./Oost. den	383	233	49	277	267	71
Douglas	410	351	57	227	354	59
Fijnspar	288	223	47	147	240	50
Inlandse eik	891	281	110	338	311	82
Beuk	575	351	84	422	426	99

Uit tabel 23 blijkt, dat voor de soorten douglas en fijnspar de gemiddelde leeftijd en bijbehorende gemiddelde dbh uit de HOSP en uit het Meetnet Bosvitaliteit zeer goed overeen komen. Voor de andere soorten is dit minder het geval; de opstanden van grove den, Corsicaanse den en beuk in het meetnet bosvitaliteit zijn gemiddeld 15 tot 20 jaar jonger, en hebben ook een wat kleinere diameter. Daarmee is de directe vergelijkbaarheid van de groeicijfers uit beide meetnetten ook wat minder betrouwbaar.

De gemiddelde leeftijd van de eiken opstanden ligt duidelijk hoger, terwijl de gemiddelde diameter beduidend kleiner is; een vergelijking van de groeicijfers uit beide meetnetten is daarom niet verantwoord.