



Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek - Gaverstraat 4 - B-9500 Geraardsbergen - T.: +32 (0)54 43 71 11 - F.: +32 (0)54 43 61 60 - info@inbo.be - www.inbo.be

# **De kroontoestand van zomereik en grove den in het bosvitaliteitsmeetnet (Level 1)**

**Exploratieve analyse en modelmatige benadering van  
het blad-/naaldverlies in de periode 1987-2005**

**Geert Sioen, Pieter Verschelde, Paul Quataert, Peter Roskams**

**INBO.R.2010.62**

**Auteurs:**

Geert Sioen, Pieter Verschelde, Paul Quataert, Peter Roskams  
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

**Vestiging:**

INBO Geraardsbergen  
Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen  
[www.inbo.be](http://www.inbo.be)

**e-mail:**

[geert.sioen@inbo.be](mailto:geert.sioen@inbo.be)  
[pieter.verschelde@inbo.be](mailto:pieter.verschelde@inbo.be)  
[paul.quataert@inbo.be](mailto:paul.quataert@inbo.be)  
[peter.roskams@inbo.be](mailto:peter.roskams@inbo.be)

**Wijze van citeren:**

Sioen G., Verschelde P., Quataert P., Roskams P. (2010). De kroontoestand van zomereik en grove den in het bosvitaliteitsmeetnet (Level 1) - Exploratieve analyse en modelmatige benadering van het blad-/naaldverlies in de periode 1987-2005. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2010 (62). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

**D/2010/3241/478**

**INBO.R.2010.62**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid.

**Foto cover:**

Zomereik in het Leefdaalbos in Meise (proefvlak n° 311, september 2008)

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met:**

de Europese Commissie (Life+/FutMon) en het ICP-Forests programma van de Verenigde Naties.



**De kroontoestand van zomereik en  
grove den in het  
bosvitaliteitsmeetnet (Level 1) -  
Exploratieve analyse en  
modelmatige benadering van het  
blad-/naaldverlies in de periode  
1987-2005**

**G. Sioen, P. Verschelde, P. Quataert, P. Roskams**

## English abstract

Since 1987 the crown condition survey in the Flemish forests has been conducted on the basis of a systematic grid (Level I). This large scale survey was set up by international cooperation programmes of the United Nations (UNECE, CLRTAP, [www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)) and the EU (EC Regulation 3528/86, Forest Focus, FutMon). The aim of this study was to look at the relationship between crown condition and factors affecting forest health. The most important predictor variables used are plot characteristics (soil, litter), weather circumstances (precipitation, temperature), air pollution (deposition) and insect damage. The mean defoliation of the trees in a plot was taken as response variable. For this study a selection was made of the Level I plots with *Pinus sylvestris* (17 plots) or *Quercus robur* (31 plots). The crown condition data were collected from the yearly assessments during the period 1987-2005. Soil and litter samples were taken in the period 2003-2004. Meteorological data were collected from surrounding weather stations. Modelled deposition data for nitrogen (N) and sulphur (S) from the beginning of the period were used (1990).

The temporal variation of the defoliation between 1987 and 2005 shows a clear increase of the mean defoliation at the start of the survey. For *Quercus robur* an improvement of the crown condition starts from 1992 on. According to the used model this is for *Pinus sylvestris* the same, but from 1994 or 2000 on, where 1994 looks the most realistic.

Mixed Effect Models (LME) were used to explain the defoliation. Only a few predictors in the models proved to be meaningful. The impact of the variable 'year' always proved to be present. There was a substantial effect of insect damage on the defoliation of *Quercus robur*. A clear impact of sulphur and nitrogen deposition could not be shown. Also an impact of meteorological factors like precipitation or temperature could not be found.

Unfortunately there were a lot of uncertainties and the number of plots was small compared to the large number of variables. The time series was rather short and shorter for *Quercus robur* than for *Pinus sylvestris*. Moreover the number of oak plots was limited until 1995.

## Dankwoord

Het bosvitaliteitsmeetnet werd in 1987 opgericht. Tientallen mensen hielpen sindsdien gegevens verzamelen en verwerken. Graag een woord van dank aan de collega's voor het inrichten en onderhouden van de proefvlakken, de kroonbeoordelingen, het verzamelen van bodem- en strooiselstalen en interpreteren van de data, de labo-analysen, de verwerving en/of berekening van depositiegegevens en meteorologische data, de ondersteuning (IDC, GIS, BMK, facililty, communicatie,...). Voor de kroonbeoordelingen werd in de periode 1989-2005 dankbaar gebruik gemaakt van de samenwerking met het Agentschap voor Natuur en Bos.

# Inhoud

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>English abstract.....</b>                                   | <b>2</b>  |
| <b>1 Inleiding.....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>2 Methodiek.....</b>                                        | <b>5</b>  |
| 2.1 Keuze van responsvariabelen en verklarende variabelen..... | 5         |
| 2.2 Reductie van het aantal verklarende variabelen.....        | 5         |
| 2.3 Selectie van de data.....                                  | 5         |
| 2.4 Modelbouw .....                                            | 5         |
| <b>3 Exploratieve analyse .....</b>                            | <b>6</b>  |
| 3.1 Selectie van de proefvlakken .....                         | 6         |
| 3.2 Selectie van de verklarende variabelen .....               | 7         |
| 3.2.1 Kenmerken van de proefvlakken (beheer, ligging) .....    | 7         |
| 3.2.2 Kroonbeoordeling .....                                   | 7         |
| 3.2.3 Chemische eigenschappen van bodem en strooisel .....     | 8         |
| 3.2.4 Meteorologische data .....                               | 11        |
| 3.2.5 Klimaatindices.....                                      | 12        |
| 3.2.6 Depositie en overschrijding streefbelasting .....        | 15        |
| 3.3 Conceptueel model .....                                    | 18        |
| <b>4 Statistische modelbouw .....</b>                          | <b>19</b> |
| 4.1 Methode.....                                               | 19        |
| 4.2 Grove den .....                                            | 19        |
| 4.2.1 Verloop naaldverlies grove den .....                     | 19        |
| 4.2.2 Resultaten modelbouw grove den.....                      | 21        |
| 4.2.3 Conclusie modelbouw grove den .....                      | 29        |
| 4.3 Zomereik.....                                              | 30        |
| 4.3.1 Verloop bladverlies zomereik .....                       | 30        |
| 4.3.2 Resultaten modelbouw zomereik .....                      | 32        |
| 4.3.3 Conclusie modelbouw zomereik .....                       | 39        |
| 4.4 Bespreking resultaten grove den en zomereik .....          | 40        |
| <b>5 Besluit .....</b>                                         | <b>45</b> |
| <b>Literatuurlijst.....</b>                                    | <b>46</b> |
| <b>Lijst van figuren.....</b>                                  | <b>49</b> |
| <b>Lijst van tabellen.....</b>                                 | <b>50</b> |
| <b>Bijlagen.....</b>                                           | <b>51</b> |

# 1 Inleiding

Sinds 1987 wordt de gezondheidstoestand van de bossen in het Vlaamse Gewest jaarlijks geïnventariseerd op basis van waarnemingen in een systematisch meetnet, het Level I meetnet of bosvitaliteitsmeetnet. De bosvitaliteitsinventaris kadert in internationale samenwerkingsprogramma's van de EU en de Verenigde Naties ([www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)). In de Europese lidstaten werd de inventaris verplicht door EU Verordening 3528/86, betreffende de bescherming van de bossen in de Unie tegen luchtverontreiniging. De verordening werd opgevolgd door de verordening 'Forest Focus' en momenteel loopt de inventaris verder onder het Life+-project 'FutMon'.

Uit de resultaten van de jaarlijkse bosvitaliteitsinventaris blijkt dat de bosgezondheidstoestand aan wijzigingen onderhevig is en dat er aanzienlijke verschillen in de ontwikkeling van de gezondheidstoestand van de boomsoorten voorkomen. Er wordt aangenomen dat verschillende stressfactoren de gezondheidstoestand kunnen beïnvloeden (de Vries et al, 2003).

Het doel van deze studie is de relatie tussen bosvitaliteit en omgevings- en standplaatsfactoren in Vlaanderen te onderzoeken. Als kenmerk voor de bosvitaliteit wordt de blad- of naaldbezetting in de boomkroon genomen. Hoe hoger het blad- of naaldverlies, hoe slechter de kroonconditie of in ruimere zin, de vitaliteit. De belangrijkste standplaats- en omgevingsfactoren zijn bodem en strooisel, weersomstandigheden (neerslag en temperatuur) en luchtverontreiniging (depositie). Ook biotische factoren zoals insecten of schimmels kunnen een rol spelen. Voor deze studie werd een selectie gemaakt van de proefvlakken met grove den en zomereik omdat deze boomsoorten het best vertegenwoordigd zijn in het meetnet.

In het bosvitaliteitsmeetnet worden gegevens verzameld over stressfactoren enerzijds en data ter karakterisering van de bestanden en de standplaats anderzijds. Aan de hand van de resultaten van de beschrijvende trendanalyse (IBW.Bb.2005.002) kon reeds bepaald worden welke variabelen belangrijk zijn voor een geïntegreerde verwerking. Het blad- of naaldverlies is de responsvariabele die door vele factoren beïnvloed wordt. Naargelang de boomsoort varieert het belang van sommige variabelen. Uit de analyses blijkt bijvoorbeeld dat schimmelinfectie en insectenaantasting geen rol van betekenis spelen bij grove den. Bij zomereik is dit wat insectenaantasting betreft wel duidelijk het geval.

Voor deze studie werd beroep gedaan op de gegevens van de kroonbeoordelingen uit de periode 1987-2005. Er werden extra gegevens verzameld voor wat betreft bodemeigenschappen, meteorologie en depositie. Met een uitgebreide staalnamecampagne werden in de periode 2003-2004 bodem- en strooiselstalen in het volledige meetnet verzameld.

Naar aanleiding van het project 'Dynamische modellering van streefbelasting voor bossen in Vlaanderen', werden gemodelleerde depositiedata voor alle proefvlakken gegenereerd. Van een groot aantal weerstations van het KMI werden meteorologische data aangekocht. Er werd aan de hand van de ligging van de bosvitaliteitsproefvlakken een selectie gemaakt van 28 stations voor neerslaggegevens en 26 stations voor temperatuurdatab.

## **2 Methodiek**

### **2.1 Keuze van responsvariabelen en verklarende variabelen**

De jaarlijkse bosvitaliteitsinventaris focust op het blad- of naaldverlies van de steekproefbomen en het aandeel beschadigde bomen, dat daaruit afgeleid wordt. Het blad- of naaldverlies kan dan ook als belangrijkste variabele bij de kroonbeoordeling beschouwd worden. In dit onderzoek werd als responsvariabele gekozen voor het gemiddeld blad- of naaldverlies per proefvlak per jaar, voor de geselecteerde grove dennen en zomereiken (minstens 5 exemplaren). De bomen zijn namelijk per proefvlak gecorreleerd. Ze groeien allen op dezelfde plaats met dezelfde standplaatseigenschappen. Daarom wordt met een gemiddeld blad- of naaldverlies per proefvlak gewerkt. In bijlage 1 is het aantal bomen van deze soorten per proefvlak in het jaar 2005 weergegeven.

De uitgebreide lijst van de beoordeelde parameters tijdens de kroonbeoordelingen in de periode 1987-2005 is in bijlage 2 opgenomen. In eerste instantie werden deze variabelen opgesplitst in verklarende variabelen en responsvariabelen. Uit de beschrijvende trendanalyse van de resultaten in het meetnet (periode 1987-2001) bleek reeds dat bladverlies, aantal naaldjaargangen, kroonsterfte, bloei, zaadzetting, verkleuring, slijmuitvloeï en waterscheutvorming responsvariabelen zijn (IBW.Bb.R. 2005.002). Dat geldt ook voor de groei, die afgeleid wordt uit de jaarlijkse omtrekmetingen aan de steekproefbomen.

Als abiotische of niet-levende verklarende variabelen worden bodem en strooisel, depositie, weersomstandigheden en beheer opgesomd. Typische biotische of levende factoren zijn insectenaantastingen en schimmelinfecties.

### **2.2 Reductie van het aantal verklarende variabelen**

Het oorspronkelijk aantal verklarende variabelen lag veel te hoog en bovendien waren veel variabelen gecorreleerd. Daarom werd een beperking van het aantal variabelen uitgevoerd. Dit gebeurde voor een deel met behulp van PCA-analyse. De analyse gebeurde afzonderlijk voor grove den en zomereik.

### **2.3 Selectie van de data**

De kroonbeoordelingen werden in de periode 1987-2005 uitgevoerd. Omdat er in het begin van de periode nog geen beoordeling van de insectenaantasting was, werd de periode voor zomereik beperkt tot 1992-2005. Er werd ook een selectie van het aantal proefvlakken uitgevoerd (zie 3.1). De proefvlakken met grove den werden allen in het begin van de inventarisatieperiode ingericht. Meer dan de helft van de proefvlakken met zomereik kwamen pas in 1995 tot stand.

### **2.4 Modelbouw**

Met de geselecteerde variabelen werden voor beide boomsoorten afzonderlijk statistische modellen van het blad-/naaldverlies opgebouwd. De resultaten van deze modelbouw worden eveneens per boomsoort besproken.

## 3 Exploratieve analyse

### 3.1 Selectie van de proefvlakken

De studie spitste zich toe op de proefvlakken met grove den en zomereik. Alle proefvlakken met minstens 5 zomereiken of 5 grove dennen kwamen in aanmerking voor de analyse. In principe kwamen 20 proefvlakken met grove den en 33 proefvlakken met zomereik in aanmerking. De studie werd uiteindelijk op 17 plots met grove den en 31 plots met zomereik uitgevoerd. De lijst van de proefvlakken met hun plotnummer wordt in bijlage weergegeven. Voor een gedetailleerde beschrijving van de proefvlakken en de methodiek van de beoordeling van het blad-/naaldverlies wordt verwezen naar het rapport INBO.R.2007.5.

Volgende proefvlakken verdwenen uit de selectie:

Bij de opstart in 1995 werden in het proefvlak Lanaken (pv 812) 8 grove dennen geselecteerd (en 16 wintereiken). Door een dunning, waarbij vooral grove dennen uit het bestand verdwenen, daalde het aantal dennen in de steekproef vanaf 1999 tot drie. Omdat er vanaf 1999 minder dan 5 grove dennen waren, werd dit proefvlak niet in de analyse opgenomen. Door het omvormingsbeheer evolueert dit bestand naar een eikenproefvlak.

Het proefvlak Bocholt (pv 713) wijkt sterk af van de overige proefvlakken door de jonge leeftijd van de bomen. De eiken werden in de periode 1983-1984 aangeplant op voormalige vloeiveiden langs het kanaal Bocholt-Herentals. Het zijn de jongste eiken in de steekproef.

Het proefvlak Dilsen (pv 804) werd omwille van de afwijkende bodemeigenschappen uit de selectie gehaald. Volgens de bodemkaart is er een afwijkende textuur in dit dennenproefvlak (OB: opgehoogd). Aangezien dit het enige dennenproefvlak was met een niet-zandige textuur, werd het uit de analyse geweerd.

Ook het proefvlak Sint-Laureins (pv 202) wijkt af van de overige dennenproefvlakken. De grove dennen in dit bestand groeien in een fazantenkwekerij. De fazantenkweek brengt een hoge nutriënteninput met zich mee. De kruidvegetatie wijkt af van een normaal dennenbos en een strooisellaag ontbreekt (zie rapport INBO.R.2008.54).

Het proefvlak Leuven (pv 412) werd na een verkennende PCA-analyse uit de dataset gehaald (uitbijter). Het eikenproefvlak vertoont afwijkende standplaatseigenschappen, met name een hoge bodem-pH, hoge basenverzadiging,...

## 3.2 Selectie van de verklarende variabelen

### 3.2.1 Kenmerken van de proefvlakken (beheer, ligging)

Een aantal gegevens, bekomen uit de boskartering, zijn minder bruikbaar of kloppen slechts gedeeltelijk (vb. boomsoortensamenstelling, bosontwikkeling). De eigenschappen worden voor elk proefvlak in bijlage 1 weergegeven. Deze variabelen zijn allen categorische variabelen (indeling in klassen of 0/1). A priori werd geen enkele van deze plotkarakteristieken in de analyse opgenomen wegens weinig relevant of wegens verwantschap met andere variabelen die wel in de analyse zijn opgenomen.

### 3.2.2 Kroonbeoordeling

Tot 1995 werden in een veertigtal proefvlakken kroonbeoordelingen uitgevoerd. De eerste jaren waren er enkel gegevens over bladverlies en bladverkleuring. Vanaf 1990 werd gestart met een nieuw opnameformulier en een groter aantal te beoordelen kroonparameters.

Een aantal parameters zijn voor zomereik en grove den minder belangrijk. Dit bleek uit de beschrijvende trendanalyse en de jaarlijkse verwerking van de kroonbeoordelingsresultaten. Veel variabelen zijn responsvariabelen of gecorreleerde variabelen. Als belangrijkste factorvariabele bleef de insectenaantastingsgraad over. Deze categorische variabele werd omgezet in het aandeel bomen met insectenaantasting per proefvlak. Er werd daarbij geen rekening gehouden met de omvang van de aantasting (minimum aantastingsgraad 1: minstens 1% van de kroon met insectenaantasting).

Beoordelingsjaar, proefvlaknummer en boomsoort zijn vanzelfsprekend van groot belang. Bij de verwerking van de data werd de (referentie)leeftijd van de steekproefbomen in het jaar 2005 gebruikt (tabel 1). Er werd steeds bijgehouden welk beoordelingsteam de waarneming deed. Zo kon een opsplitsing gemaakt worden in data afkomstig van INBO-waarnemingen en data afkomstig van andere waarnemers (ANB).

Om correlatie met de kwadratische term te vermijden werd het jaartal gecentreerd (jaartal-2000). Omdat de respons bij grove den voor en na 1994 anders reageert, werd met dit jaar rekening gehouden bij de opbouw van een stapmodel (zie verder).

Tabel 1 Geselecteerde variabelen kroonbeoordeling

| afkorting  | Variabele                                                |
|------------|----------------------------------------------------------|
| Waarnemer2 | INBO of niet-INBO waarneming                             |
| Age2005    | gemiddelde leeftijd in 2005                              |
| propInsect | proportie van bomen met insectenschade                   |
| Jaar00     | meetjaar - 2000                                          |
| Jaar00sqrt | (meetjaar - 2000) <sup>2</sup>                           |
| jaarStE    | stapfunctie: (meetjaar-1994) als meetjaar <1994 anders 0 |
| jaarStL    | stapfunctie: (meetjaar-1993) als meetjaar >1994 anders 0 |

### 3.2.3 Chemische eigenschappen van bodem en strooisel

In de 10 internationale level I plots (waarvan 5 met grove den) werden in 1993 voor het eerst bodemanalyses uitgevoerd. Een algemene bodeminventaris werd in de winter 2003-2004 uitgevoerd. De data werden uit de resultaten van deze analyses gehaald en voor een deel ook uit de bodemkaart.

Om een mogelijk effect van zware metalen waar te nemen, werd de SMCI berekend (Strooisel Metaal Concentratie Index). Deze index is gebaseerd op de gehalten aan zware metalen in het strooisel.

Om het aantal bodemtextuurklassen te beperken, werd gekozen voor bodemtypes: zandig, lemig en kleiig. De drainageklassen werden niet weerhouden omdat de voorkeur naar de bodemtextuur ging en omdat de drainageklassen verouderd kunnen zijn (bodemkaart uit de jaren 1960).

Volgende bodemvariabelen werden in eerste instantie geselecteerd (tabel 2):

Bodemserie: kleiig, lemig, zandig

#### **0-50 cm:**

pH-CaCl<sub>2</sub>

cCEC

Ex-Bc

Bs

Ex-Al

%C

Ex-Ca/Al

#### **0-20 cm (stocks in topsoil):**

C (g/m<sup>2</sup>)

N(g/m<sup>2</sup>)

Exch Ca+Mg+K (keq/ha)

#### **strooisellaag (F+H):**

pH-CaCl<sub>2</sub>

gewicht strooisel (g/m<sup>2</sup>)

SMCI

SMCI-klasse (1 t.e.m. 4)

#### **FH+topsoil**

C/N-verhouding

Tabel 2 Geselecteerde bodemvariabelen

| afkorting  | variabele                                                           |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| plot       | proefvlaknummer                                                     |
| phcac12    | pH op bodem 0-50 cm                                                 |
| ccec       | berekende CEC op 0-50 cm (meq/100g)                                 |
| ex_bc      | uitwisselbare basische kationen op 0-50 cm                          |
| bs         | basenverzadiging op 0-50 cm                                         |
| ex_al      | uitwisselbaar Aluminium op 0-50 cm                                  |
| c          | % koolstof op 0-50 cm                                               |
| cg         | koolstof in g/m <sup>2</sup> op 0-20 cm                             |
| n          | stikstof in g/m <sup>2</sup> op 0-20 cm                             |
| exch_cat   | voorraad uitwisselbare kationen 0-20 cm (keq/ha, som van K, Ca, Mg) |
| c/n_fhtop  | C/N verhouding van humuslaag (FH) + toplaag                         |
| serie      | 1 = kleiige bodem<br>2 = lemige bodem<br>3 = zandige bodem          |
| phcac12_fh | pH Cacl op FH laag (strooisel)                                      |
| gewicht_fh | gewicht van de FH-laag (g/m <sup>2</sup> )                          |
| smci       | strooiselindex voor gehalte aan zware metalen (LFH)                 |
| smci_klas  | 0,21-0,40=1<br>0,41-0,60=2<br>0,61-0,80=3<br>>0,80=4                |
| ex_ca_al   | verhouding uitwisselbaar Calcium op Aluminium (op 0-50 cm)          |

Verschillende variabelen zijn gecorreleerd. Daarom werd hun aantal na PCA-analyse nog verder verminderd. Het aantal variabelen daalde uiteindelijk van 17 naar 7 (tabel 3).

Bij de bodemvariabelen ging de voorkeur naar volgende variabelen (keuze op basis van expertise/literatuur):

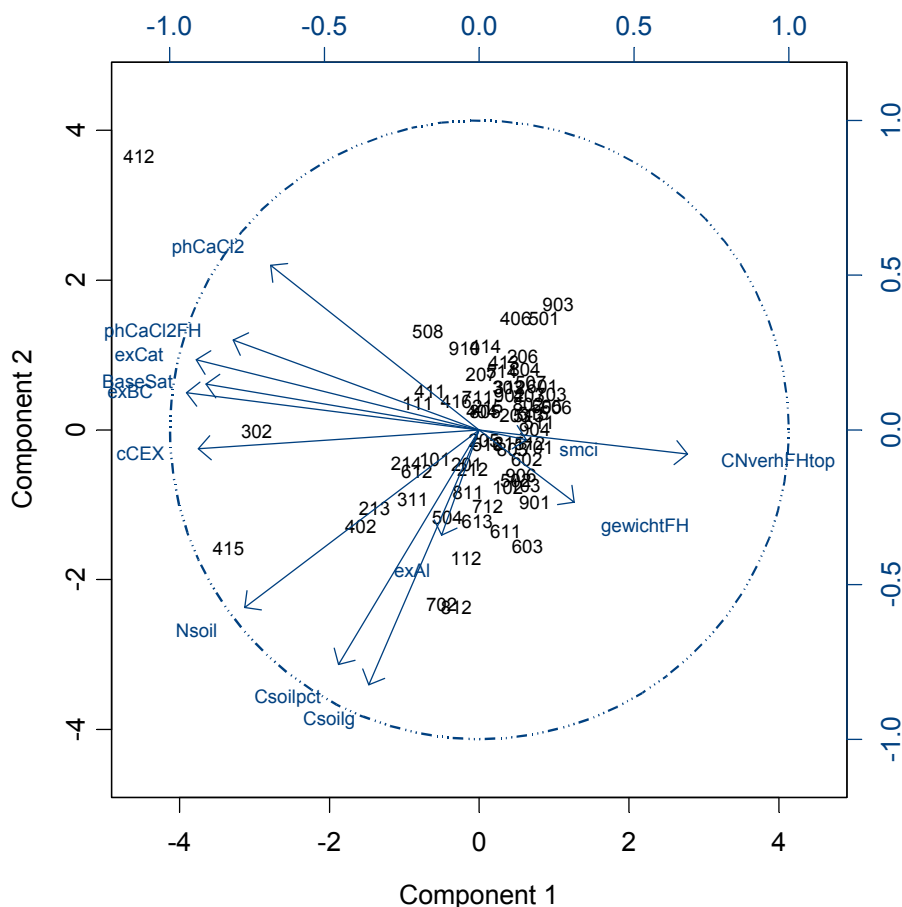
- Basenverzadiging en bodem-pH (reden: indicatie van buffercapaciteit, aanwezigheid van basische kationen, verzuringsgraad)
- Uitwisselbaar aluminium in de bodem (reden: aluminiumtoxiciteit)
- CEC bodem (indicator van de bodemtrofie)
- Stikstofvoorraad bodem (indicator voorraad organisch materiaal)
- Gewicht FH-laag (indicator van de snelheid nutriënten-turnover, humustype)

Er werd geopteerd om de bodem-pH, gemeten in een CaCl<sub>2</sub>-oplossing, te selecteren. Ondanks het feit dat de bodem-pH met verschillende andere bodemvariabelen gecorreleerd is, werd deze in de analyse gehouden. Bij de interpretatie van de resultaten werd hier rekening mee gehouden.

Een aantal strooiseleigenschappen bleek weinig bepalend te zijn en verdween uit de selectie. Het gewicht van de strooisellaag (FH-laag) werd uiteindelijk als enige strooiseleigenschap behouden.

Tabel 3 Definitieve lijst van geselecteerde bodemvariabelen

| afkorting    | variabele                                                  |
|--------------|------------------------------------------------------------|
| phCaCl2      | pH op bodem 0-50 cm                                        |
| logBaseSat   | basenverzadiging op 0-50 cm                                |
| logexAl      | uitwisselbaar aluminium op 0-50 cm                         |
| logNsoil     | stikstof in g/m <sup>2</sup> op 0-20 cm                    |
| soilType     | bodemtype (kleiig, lemig, zandig)                          |
| loggewichtFH | gewicht van de FH-laag (g/m <sup>2</sup> )                 |
| logexCaAl    | verhouding uitwisselbaar calcium op aluminium (op 0-50 cm) |



Figuur 1 PCA-analyse van de bodemvariabelen (alle proefvlakken)

Van elke groep parameters die in een PCA orthogonaal op elkaar stonden, werd één belangrijke parameter geselecteerd. Meteen valt op dat een grote groep variabelen aan elkaar gelinkt is: pH, pH-strooisel, uitwisselbare (basische) kationen, berekende CEC, basenverzadiging (figuur 1). Van deze groep werd de basenverzadiging als variabele behouden. Omdat de zuurtegraad van de bodem een belangrijke variabele is, werd pHCaCl<sub>2</sub>

weerhouden. Basenverzadiging en bodem-pH geven een indicatie van de buffercapaciteit van een bosbodem, de aanwezigheid van basische kationen en de verzuringsgraad.

Het gewicht van de strooisellaag (FH), de C/N verhouding (FH+toplaag) en de SMCI-index zijn variabelen die verbonden zijn met strooiseigenschappen. Van deze variabelen werd het gewicht van de strooisellaag (F+H) als enige variabele overgehouden. Het gewicht van de strooisellaag geeft een indicatie van het humustype en de snelheid van de nutriënten-turnover. De SMCI-index geeft de graad van verontreiniging met zware metalen weer. Een hoge verontreiniging zal in een tragere strooiselafbraak (en een hoger gewicht van de strooisellaag) resulteren.

Van de groep Csoilpct (% koolstof), Csoilg (koolstof in g/m<sup>2</sup>) en exAl werd de variabele 'uitwisselbaar aluminium' behouden. Omdat in veel studies de verhouding calcium/aluminium bestudeerd wordt, werd deze variabele ook weerhouden. De concentratie uitwisselbaar aluminium is een belangrijke variabele omdat bij een hoge concentratie er Al-toxiciteit kan optreden (beschadiging van de boomwortels).

De stikstofvoorraad in de bovenste 20 cm van de bodem werd eveneens als variabele weerhouden. Het is o.a. een indicator voor de voorraad aan organisch materiaal in de bodem. Aangezien koolstofvoorraad en stikstofvoorraad gecorreleerd zijn, is het beter de koolstofvoorraad niet op te nemen.

Tenslotte bleef ook de factorvariabele 'bodemtype' in de selectie.

### 3.2.4 Meteorologische data

De gebruikte data zijn dagelijkse waarden (totale neerslag, minimum- en maximumtemperatuur, gemiddelde temperatuur). De gegevens werden in eerste instantie aangekocht voor de plots met zomereik (34 proefvlakken) en de plots met grove den (19 proefvlakken).

Voor de Level I proefvlakken die in 1987 werden geïnstalleerd, werden meteorologische data vanaf 1986 aangekocht. Voor de plots die in 1995 werden geïnstalleerd, werden de data vanaf 1994 aangekocht. De meest recente waarnemingen dateren van 2005. De data werden per maand geaggregeerd. Uit de dagwaarden voor neerslag, minimumtemperatuur en maximumtemperatuur (gemiddelde dagtemperatuur werd niet gebruikt) werden 8 meteorologische parameters per maand berekend (tabel 4). Ontbrekende waarnemingen werden vooraf aangevuld met data van nabijgelegen KMI- weerstations.

Een aantal KMI-stations werd na verloop van tijd gesloten. De waarden werden aangevuld met data van naburige weerstations. De aanpassingen werden in een logboek bijgehouden. Temperatuur- en neerslagdata komen niet steeds van hetzelfde station. Een aantal stations geven enkel temperatuurdata en geen neerslagdata of omgekeerd. In de afgewerkte file kwam één proefvlak overeen met één KMI-stationnummer (hoewel de data niet altijd alleen van dit station kwamen). Elk proefvlak werd dus aan één weerstation gekoppeld.

Tabel 4 Meteorologische variabelen

| berekende maandwaarden | uitleg                        | omrekeningen                                                      |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| RRtot                  | totale neerslag (mm)          | sommen                                                            |
| n_zonderR              | aantal dagen zonder neerslag  | aantal tellen                                                     |
| Tmin                   | gemiddelde minimumtemperatuur | gemiddelde berekenen                                              |
| nTV                    | aantal vorstdagen             | aantal tellen waarbij min. temp. <0°C                             |
| som_TV                 | vorst-index                   | sommen (minimumtemperaturen voor dagen waarbij min. temp. <0°C)   |
| Tmax                   | gemiddelde maximumtemperatuur | gemiddelde berekenen                                              |
| nTH                    | aantal hittedagen             | aantal tellen waarbij max. temp. >=25°C                           |
| som_TH                 | hitte-index                   | sommen (maximumtemperaturen voor dagen waarbij max. temp. >=25°C) |

De meteorologische variabelen werden per maand berekend. Omdat een regressiemodel met 12 maandvariabelen per meteorologische parameter een te groot aandeel meteoparameters veroorzaakt, werd voor de modelbouw gekozen voor klimaatindices.

### 3.2.5 Klimaatindices

De berekende waarden werden in seizoenen gegroepeerd. Soms liepen deze seizoenen over verschillende jaren (vb. winterseizoen: van december tot en met februari).

- totale neerslag tijdens vegetatieperiode (van 1 april tot en met 30 september)
- totale neerslag tijdens het voorjaar (van 1 maart tot en met 31 mei)
- totaal aantal dagen zonder neerslag in het vegetatieperiode (april-september)
- totaal aantal dagen zonder neerslag in het voorjaar (maart-mei)
- aantal hittedagen in het voorjaar (maart-mei)
- hitte-index in het voorjaar (maart-mei)
- aantal hittedagen in het vegetatieperiode (april-september)
- hitte-index in het vegetatieperiode (april-september)
- aantal vorstdagen in het voorjaar (maart-mei)
- vorst-index in het voorjaar (maart-mei)
- aantal vorstdagen in de winter (van 1 december tot en met 28 (29) februari)
- vorst-index in de winter (december-februari)

Deze indices werden berekend per proefvlak en per meetjaar. Voor de analyse werd steeds rekening gehouden met het huidige jaar (x) en het vorige jaar (x-1) om de invloed op het bladverlies te bekijken.

Uit de verkennende analyse kwam een groot aantal correlaties tussen de klimaatindices naar voor. Het aantal klimaatindices werd daarom beperkt tot 7 (tabel 5).

Er is een hoge correlatie tussen de neerslaghoeveelheden (voorjaar, vegetatieseizoen) en het aantal dagen zonder neerslag in dezelfde seizoenen. Daarom werd enkel het aantal dagen zonder neerslag behouden. Hetzelfde geldt voor het aantal vorstdagen en de vorst-index en het aantal hittedagen en de hitte-index. Ook hier werd enkel het aantal dagen behouden.

Het aantal hittedagen tijdens het vegetatieseizoen werd uiteindelijk geweerd omdat dit aantal berekend werd voor de periode april-september van het jaar van de kroonbeoordeling. De kroonbeoordeling gebeurt bijna steeds in juli of augustus, waardoor een groot aantal hittedagen pas na de kroonbeoordeling komen, en dus geen effect meer kunnen hebben op het bladverlies in dat jaar. De parameter 'aantal hittedagen in het vorige vegetatieseizoen' werd wel behouden.

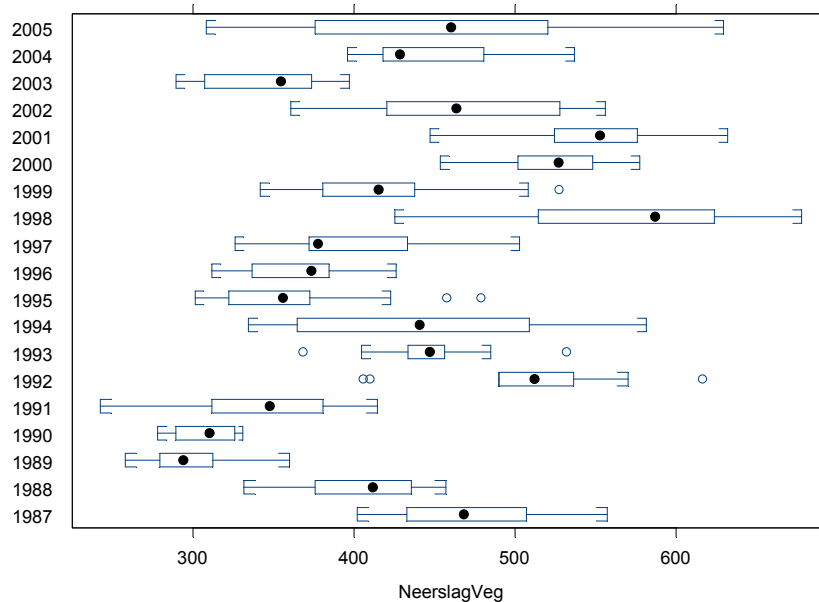
Eenzelfde redenering werd gevolgd voor het aantal dagen zonder neerslag in het huidige vegetatieseizoen. Ook hier werd enkel het aantal dagen zonder neerslag in het voorgaande vegetatieseizoen behouden.

Het aantal vorstdagen in de winter bleek een hoge correlatie met het aantal vorstdagen in het voorjaar te vertonen (0,6 voor grove den; 0,7 voor zomereik). Omdat het aantal vorstdagen in het voorjaar als belangrijkst aanzien wordt, werd enkel het aantal vorstdagen in het voorjaar behouden.

Tabel 5 Definitief geselecteerde klimaatvariabelen

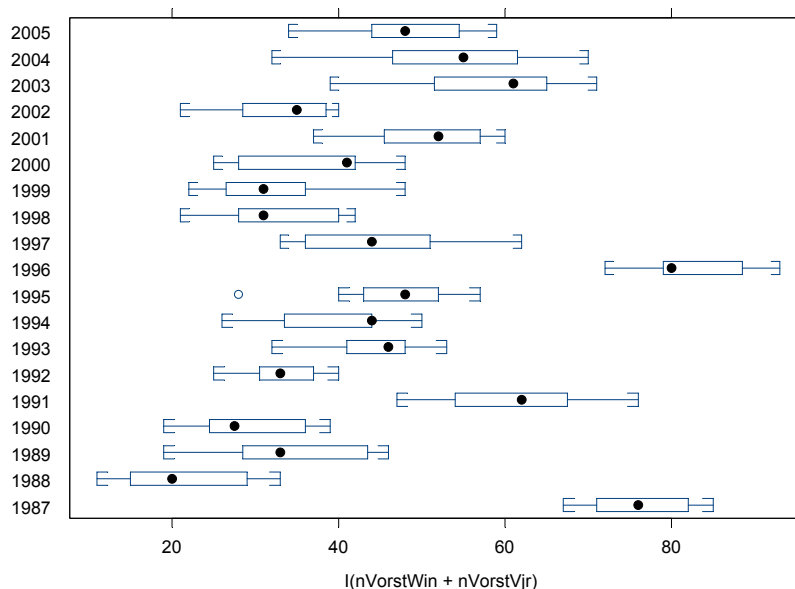
| afkorting    | variabele                                           |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| nVorstVjr    | aantal vorstdagen voorjaar                          |
| nHitteVjr    | aantal hittedagen voorjaar                          |
| nHitteVeg    | aantal hittedagen vegetatieseizoen                  |
| nHitteVeg1   | aantal hittedagen vorig vegetatieseizoen            |
| nZonderRVjr  | aantal dagen zonder neerslag voorjaar               |
| nZonderRVeg  | aantal dagen zonder neerslag vegetatieseizoen       |
| nZonderRVeg1 | aantal dagen zonder neerslag vorig vegetatieseizoen |

Bij een overzicht van de neerslaghoeveelheden in het vegetatieseizoen valt de lage gemiddelde neerslaghoeveelheid in de proefvlakken gedurende het vegetatieseizoen van 1989 op (april-september). De neerslaghoeveelheid is ook gedurende de daaropvolgende vegetatieseizoenen laag ('90 en '91). Ook de drogere zomers van 1995 en 2003 en de natte zomer van 1998 komen uit figuur 2 naar voor.



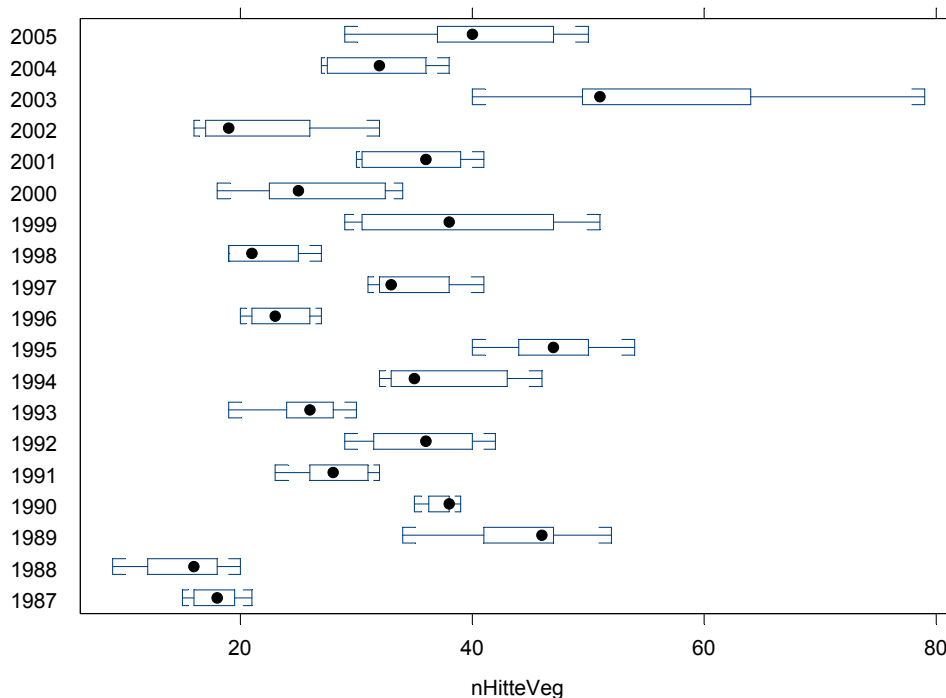
Figuur 2 Neerslaghoeveelheden tijdens het vegetatieseizoen (apr.-sep.) in de periode '87-'05

Opvallend is het hoog aantal vorstdagen in 1987 en 1996 (winter 1995-1996 + het voorjaar van 1996). Vanaf 1997 werden minder vorstdagen genoteerd (figuur 3).



Figuur 3 Aantal vorstdagen ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) in de winter (dec.-feb.) en het voorjaar (mrt-mei) in de periode 1987-2005

Het hoogste aantal hittedagen werd in de lente en de zomer van 2003 waargenomen (figuur 4). Het vegetatiesseizoen van 1987 en 1988 was opvallend koeler. Het aantal hittedagen in het vegetatiesseizoen, met een maximumtemperatuur van minstens 25°C, is zelden lager dan 20. Het aantal dagen bedraagt meer dan 40 in de warmste jaren: 1989, 1995 en 2003.



Figuur 4 Aantal hittedagen ( $T \geq 25^\circ\text{C}$ ) tijdens het vegetatiesseizoen (apr.-sep.) in de periode 1987-2005

### 3.2.6 Depositie en overschrijding streefbelasting

In het kader van het VMM-project 'Dynamische modellering van streefbelasting voor bossen in Vlaanderen', uitgevoerd door het INBO in opdracht van de VMM (Staelens, 2006), werd berekend hoe groot de overschrijding van de streefbelasting voor verzuring is in de level I proefvlakken. De berekeningen gebeurden op basis van de gemodelleerde depositiedata (o.a. uit het OPS-model van de VMM). In de meeste meetpunten is er effectief een overschrijding van de streefbelasting.

Voor de Europese rapportering werd aanbevolen om de EMEP-deposities te gebruiken, maar de OPS-deposities zijn nauwkeuriger voor Vlaanderen (afgaande op de doorvalmetingen). Deze worden ook in de MIRA-rapporten van de VMM gebruikt.

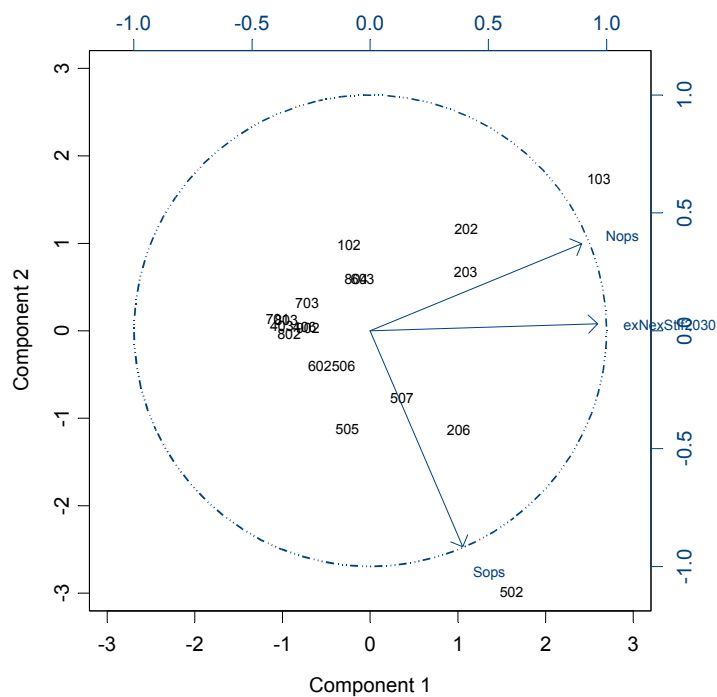
Eenzijds kan gebruik gemaakt worden van de overschrijding van de kritische lastfunctie voor verzuring, bv. door de actuele depositie volgens een regionaal model (OPS). Om de link te leggen met vitaliteit is een overschrijding van een streeflastfunctie zinvoller dan een overschrijding van de kritische last. Een streeflast zegt meer over de actuele verzuringstoestand van de bodem dan de kritische last. Daarnaast werd ook de gemodelleerde depositiehoeveelheid van N en S in de analyse opgenomen. Uiteindelijk

werden alleen de laatste twee variabelen weerhouden voor de analyse (tabel 6, figuur 5, figuur 6).

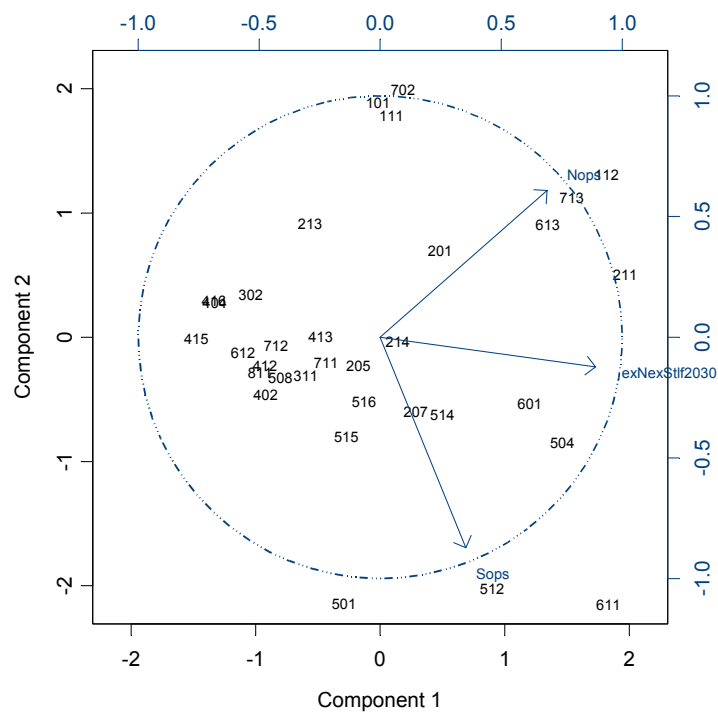
Er werd gekozen voor de gemodelleerde depositiegegevens uit 1990 omdat de depositie toen het hoogst was. Bovendien wordt de kroontoestand in de beschouwde periode beïnvloed door de depositie in het verleden en niet door de depositiehoeveelheid aan het eind van de periode (vb. 2002-2004).

Tabel 6      Geselecteerde variabelen voor depositie

| <b>afkorting</b> | <b>variabele</b>                                                     |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| logSOX1990       | gemodelleerde zwaveldepositie in 1990 volgens OPS model (eq/ha/jr)   |
| logN1990         | gemodelleerde stikstofdepositie in 1990 volgens OPS model (eq/ha/jr) |



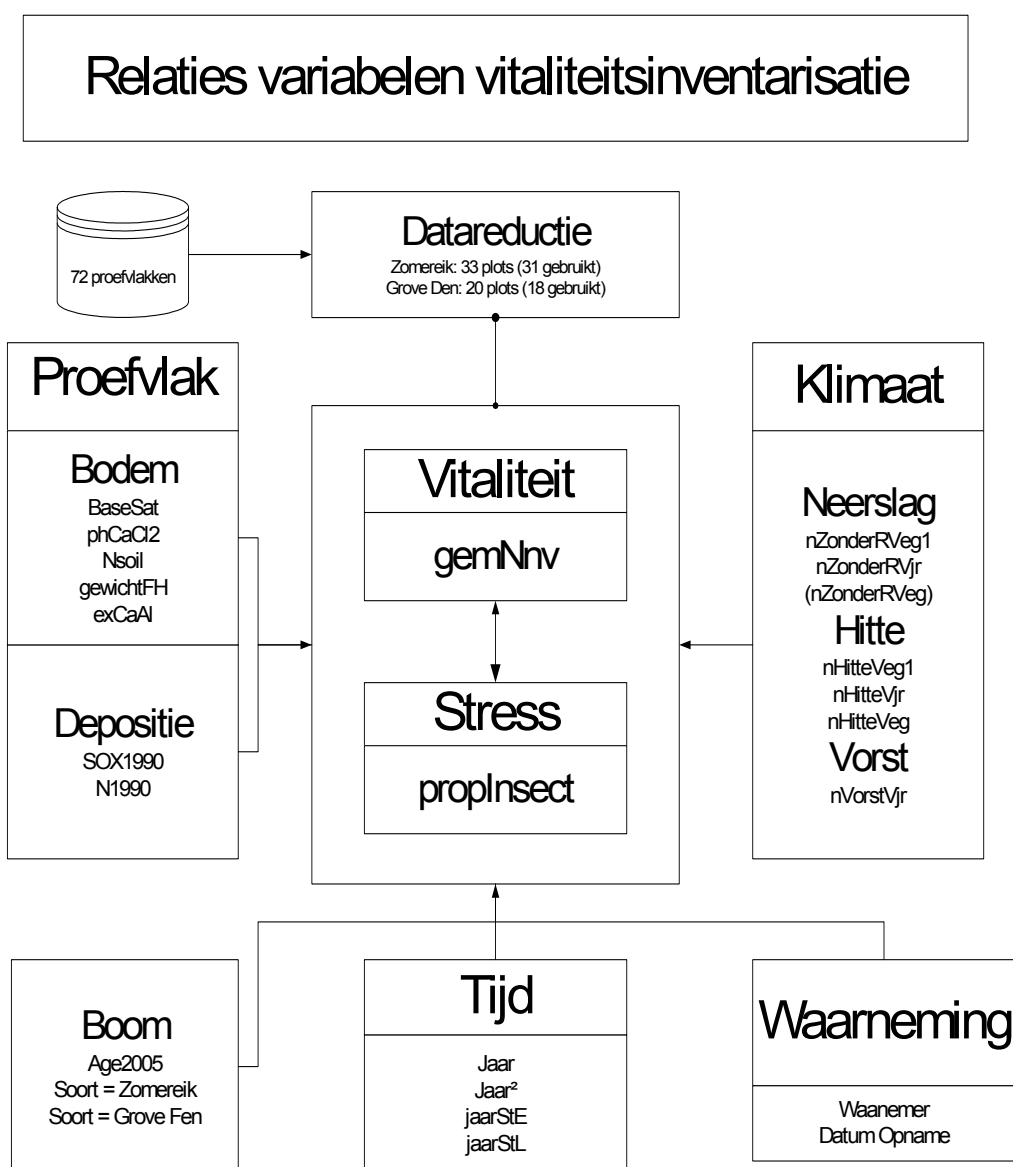
Figuur 5 PCA-analyse van de depositie in bosvitaliteitsproefvlakken met grove den



Figuur 6 PCA-analyse van de depositie in bosvitaliteitsproefvlakken met zomereik

### 3.3 Conceptueel model

Een conceptueel model helpt om de belangrijkste variabelen te selecteren. Het model schetst de mogelijke relaties tussen de variabelen (figuur 7). Een regressiemodel test welke relaties bepalend zijn voor het blad-/naaldverlies in de proefvlakken.



Figuur 7 Conceptueel model van de relaties tussen de variabelen in het bosvitaliteitsmeetnet

## 4 Statistische modelbouw

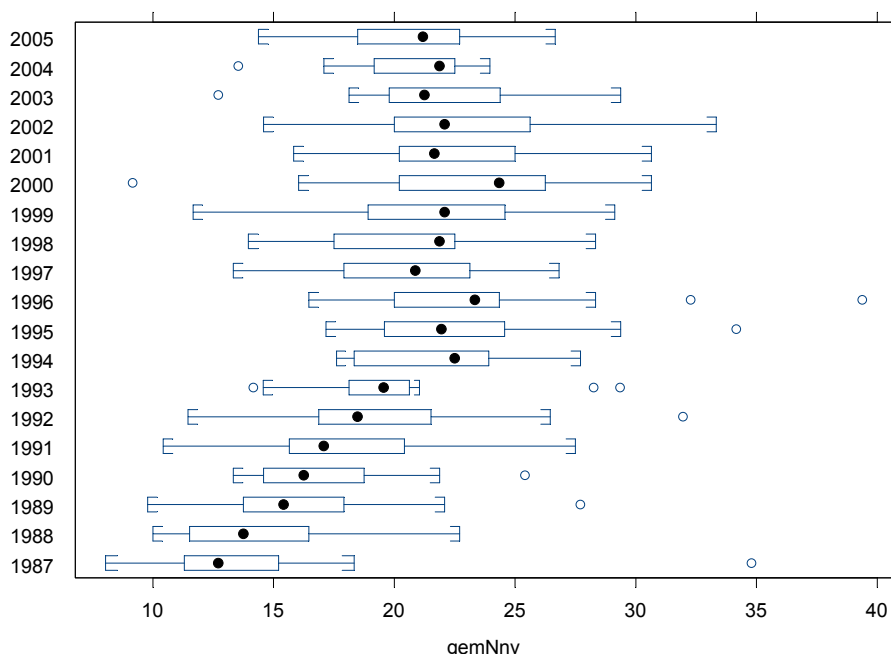
### 4.1 Methode

Na het onderzoek van de correlaties tussen de variabelen werd een Mixed Effect Model opgesteld (LME - Lineair Mixed Effects), afzonderlijk voor grove den en zomereik. In een eerste model werden alle variabelen gebruikt. Daarna werden de variabelen één voor één weer uit het model gehaald (backward stepwise regression). Uit dit proces werden één of meerdere modellen gegenereerd en deze overblijvende modellen werden verder geëvalueerd. Er werd een eindmodel gekozen en op dit model werd een residu-analyse uitgevoerd. Omdat het aantal proefvlakken (de statistische eenheid) eerder beperkt is, mocht het aantal variabelen niet te groot zijn (gevaar voor overfit van data). Daarom werd er vooraf veel aandacht aan de selectie van de variabelen besteed.

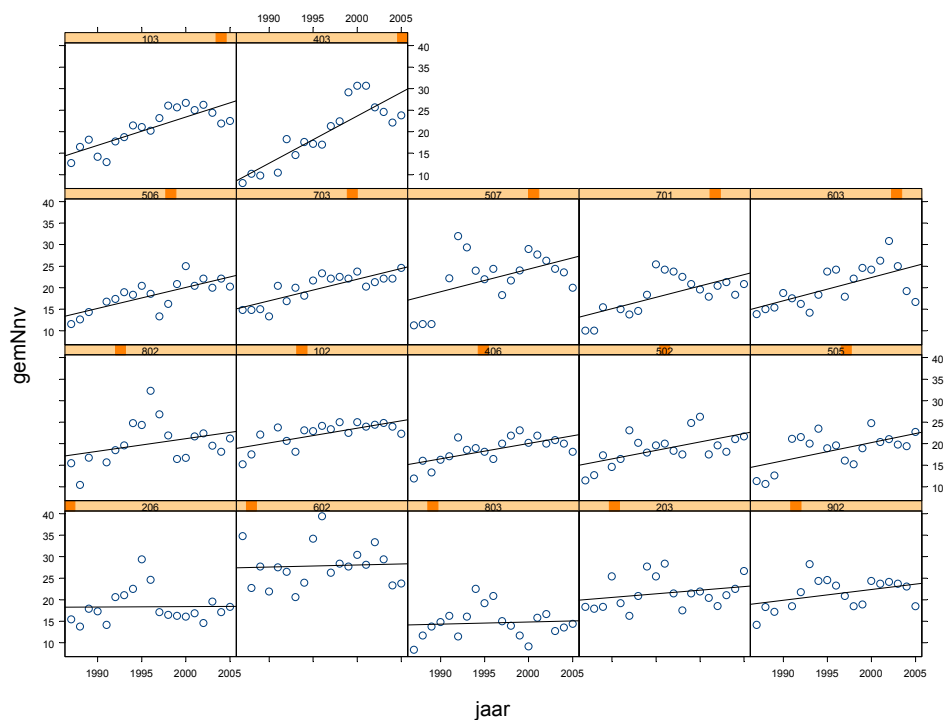
### 4.2 Grove den

#### 4.2.1 Verloop naaldverlies grove den

In totaal werd het verloop van het naaldverlies in 17 proefvlakken bekeken. Het aantal proefvlakken varieert weinig in de periode 1987-2005. In 1990 werd de kroonbeoordeling slechts in 10 proefvlakken uitgevoerd. Het algemeen verloop van het gemiddeld naaldverlies is stijgend, vooral in de periode 1987-1994 (figuur 8). Het verloop per proefvlak varieert. In sommige proefvlakken neemt het naaldverlies in de beschouwde periode nauwelijks toe, in andere veel meer (figuur 9). Opvallend is de knik in het gemiddeld naaldverlies vanaf 1994. In de beginperiode van de inventaris was er een duidelijke toename van het naaldverlies. Vanaf 1995 is er een stabielere toestand merkbaar.



Figuur 8 Gemiddeld naaldverlies grove den in de periode 1987-2005 (gemNnv: gemiddeld netto-naaldverlies)



Figuur 9 Gemiddeld naaldverlies grove den in de periode 1987-2005, opgesplitst per proefvlak

In vergelijking met het gemiddeld naaldverlies, vertonen de klimaatkarakteristieken van jaar tot jaar een veel grotere variatie. De plotkarakteristieken worden als constant beschouwd. Er worden geen gegevens over de evolutie van de bodemeigenschappen en de depositietrend in de analyse betrokken. Het gebeurt dat proefvlakken voor één of meerdere kenmerken afwijken van de rest van de proefvlakken. Omdat het aantal plots al vrij klein was, konden deze plots niet zomaar uit de analyse geweerd worden. De enige proefvlakken die omwille van sterk afwijkende bodemeigenschappen geweerd werden, zijn de proefvlakken Sint-Laureins (pv 202) en Dilsen (pv 804). Desondanks blijft het gevaar bestaan dat proefvlakken die voor één of andere plotkarakteristiek afwijken (zogenaamd uitbijters of outliers) het model sterk beïnvloeden (leverage points).

## 4.2.2 Resultaten modelbouw grove den

Voor de opbouw van het 'Mixed Model' werd een log-transformatie van het gemiddeld naaldverlies per proefvlak uitgevoerd ( $\log_{10}(\text{gemNnv})$ ). Deze transformatie zorgt voor een betere distributie van de residu's bij het model.

Volgende modellen komen in aanmerking voor het verklaren van de variatie van het naaldverlies (LME: linear mixed effects model):

### **~jaar00 (model 0)**

Dit model is het basismodel, dat niet voldoet aan de verwachting (slechte fit van de data). Het wordt verder niet besproken.

### **~jaar00+jaar00sqr (model 1)**

Dit model, het basismodel met een toegevoegde kwadratische term, past beter bij de data (parabool).

### **~jaar00+jaar00sqr+logexCaAl+Age2005 (model 2)**

Dit model werkt enkel wanneer de leeftijd en de Ca/Al-verhouding tegelijkertijd in het model opgenomen worden.

### **~jaar00+jaar00sqr+nHitteVeg+nHitteVeg1+nZonderRVeg1**

Dit model is enkel significant wanneer de laatste drie termen samen in het model voorkomen. Eerder werd reeds vermeld dat de term 'nHitteVeg' data bevat die na de beoordeling van het naaldverlies komen, omdat de kroonbeoordeling voor het einde van de vegetatieperiode gebeurt. Het vervangen van de termen 'nHitteVeg1+nZonderRVeg1' door de term 'nVorstVjr' resulteert in een gelijkwaardig model maar ook dan blijft het probleem i.v.m. de term 'nHitteVeg'.

### **~jaarStE (Random term: ~jaarStE|plot)**

Dit zogenaamde stapmodel is een alternatief model, waarbij de data gemodelleerd worden met een stapfunctie (= jaar00 als jaar < 1994, anders = 0). We nemen een random term op in het model, die toelaat dat de stapfunctie anders verloopt per plot (intercept en helling kunnen per plot variëren). Het random effect is sterker dan de verklarende kracht van de plotkarakteristieken.

Een aantal termen moet samen in het model opgenomen worden, zoals leeftijd en Ca/Al-verhouding enerzijds en aantal dagen zonder neerslag en aantal hittedagen anderzijds (beide in het voorgaande vegetatieperiode). Dit komt omdat er interne correlaties zijn (colineariteit). De ogenschijnlijke effecten verdwijnen wanneer één van de termen ontbreekt.

(Age2005 en logexCaAl:  $\text{cor} = -0.32$ ; nZonderRVeg1 en nHitteVeg1:  $\text{cor} = 0.43$ )

### Model 1: ~jaar00+jaar00sqr (model 1)

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel134

|  | AIC      | BIC       | logLik  |
|--|----------|-----------|---------|
|  | -709.082 | -671.5563 | 364.541 |

Random effects:

Formula: ~ (jaar00 + jaar00sqr) | plot

Structure: General positive-definite

|             | StdDev       | Corr          |
|-------------|--------------|---------------|
| (Intercept) | 0.0528406515 | (Intr) jaar00 |
| jaar00      | 0.0038853880 | 0.674         |
| jaar00sqr   | 0.0003653768 | 0.363 -0.444  |
| Residual    | 0.0678935222 |               |

Fixed effects: log10(gemNnv) ~ jaar00 + jaar00sqr

|             | Value     | Std.Error  | DF  | t-value  | p-value |
|-------------|-----------|------------|-----|----------|---------|
| (Intercept) | 1.347028  | 0.01385182 | 296 | 97.24554 | <.0001  |
| jaar00      | -0.001681 | 0.00163566 | 296 | -1.02767 | 0.3049  |
| jaar00sqr   | -0.001445 | 0.00016774 | 296 | -8.61669 | <.0001  |

Standardized Within-Group Residuals:

| Min       | Q1         | Med        | Q3        | Max      |
|-----------|------------|------------|-----------|----------|
| -3.587338 | -0.5709716 | -0.0209055 | 0.5549372 | 3.267855 |

Number of Observations: 315

Number of Groups: 17

**Alternatief model (stapmodel): ~jaarStE (Random term: ~jaarStE|plot)**

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel134

|  | AIC      | BIC       | logLik   |
|--|----------|-----------|----------|
|  | -709.325 | -686.8096 | 360.6625 |

Random effects:

Formula: ~ jaarStE | plot

Structure: General positive-definite

|             | StdDev     | Corr   |
|-------------|------------|--------|
| (Intercept) | 0.05019849 | (Intr) |
| jaarStE     | 0.01241928 | -0.116 |
| Residual    | 0.06949724 |        |

Fixed effects: log10(gemNnv) ~ jaarStE

|             | Value    | Std.Error  | DF  | t-value  | p-value |
|-------------|----------|------------|-----|----------|---------|
| (Intercept) | 1.330676 | 0.01305937 | 297 | 101.8944 | <.0001  |
| jaarStE     | 0.029558 | 0.00348217 | 297 | 8.4885   | <.0001  |

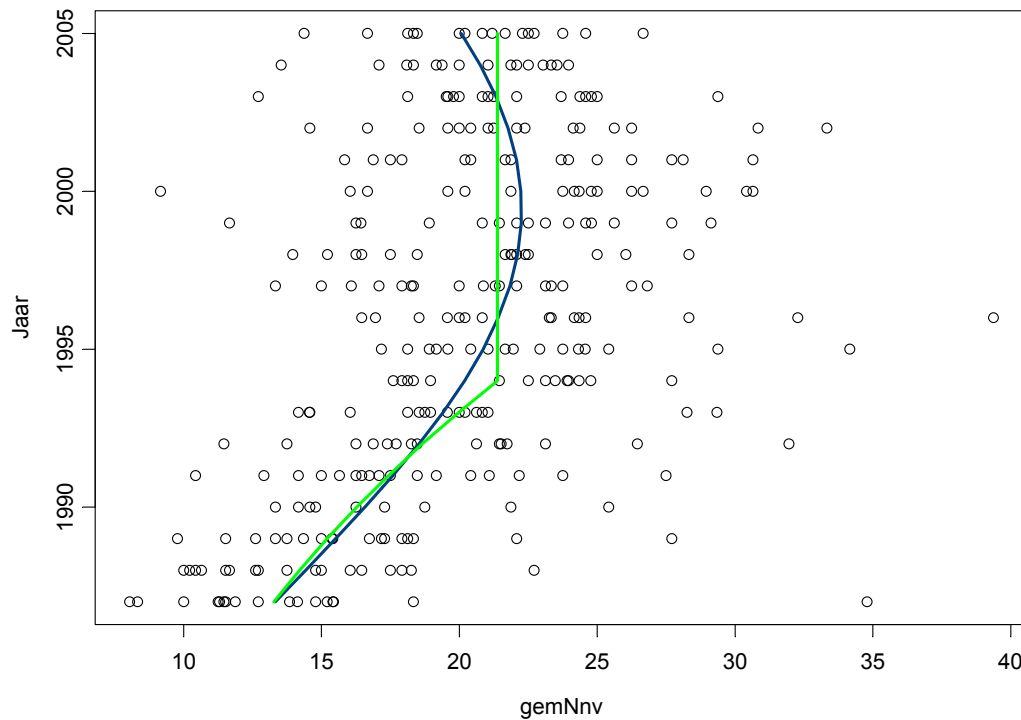
Standardized Within-Group Residuals:

| Min       | Q1         | Med        | Q3        | Max      |
|-----------|------------|------------|-----------|----------|
| -3.488472 | -0.6129021 | 0.01902517 | 0.5854993 | 2.981657 |

Number of Observations: 315

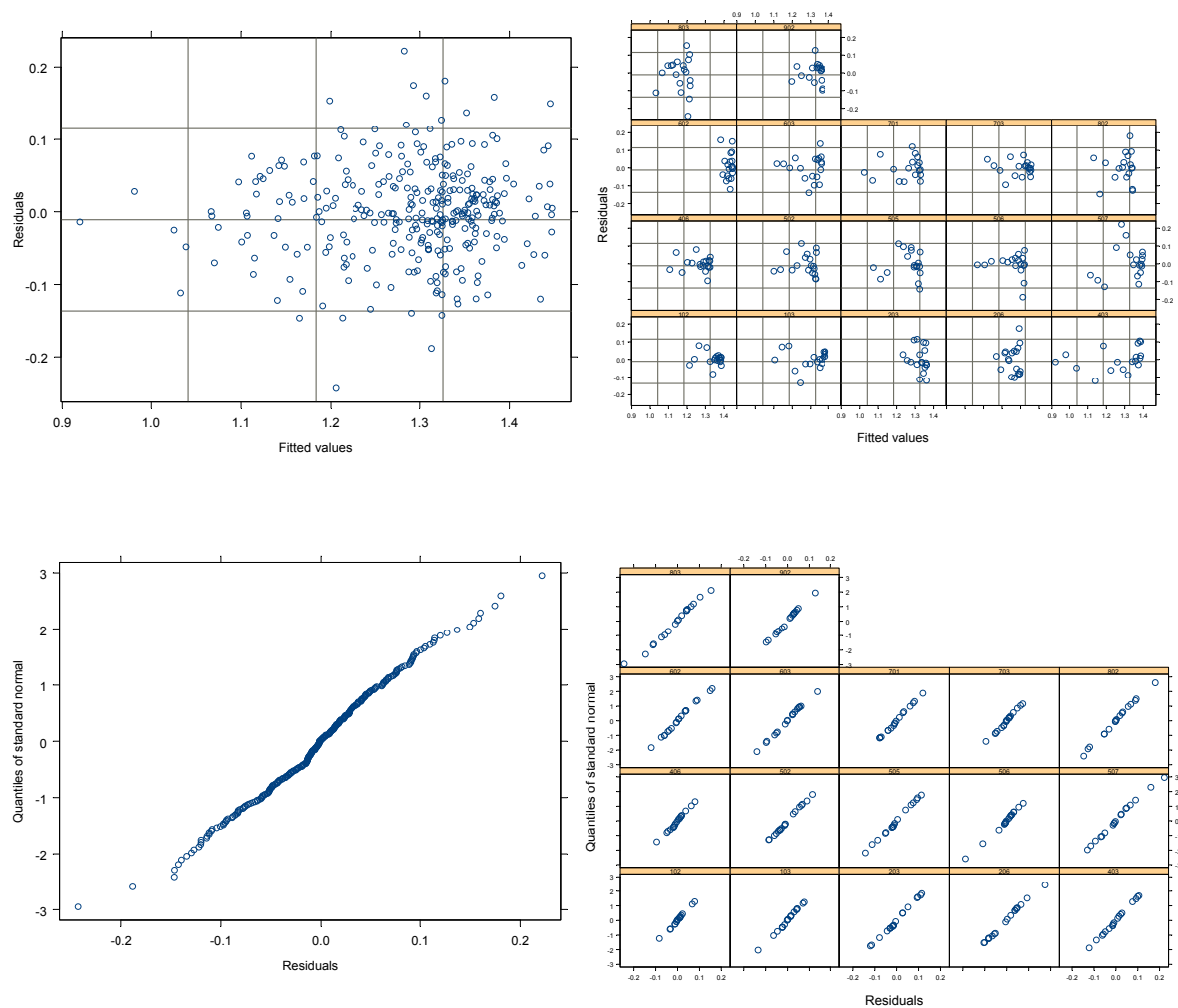
Number of Groups: 17

De resultaten van de modelbouw (model 1 en stapmodel) worden in figuur 10 weergegeven. De uitschieters (gemNnv) aan de rechterkant van de figuur hebben weinig invloed op het model omdat er een logtransformatie werd uitgevoerd.

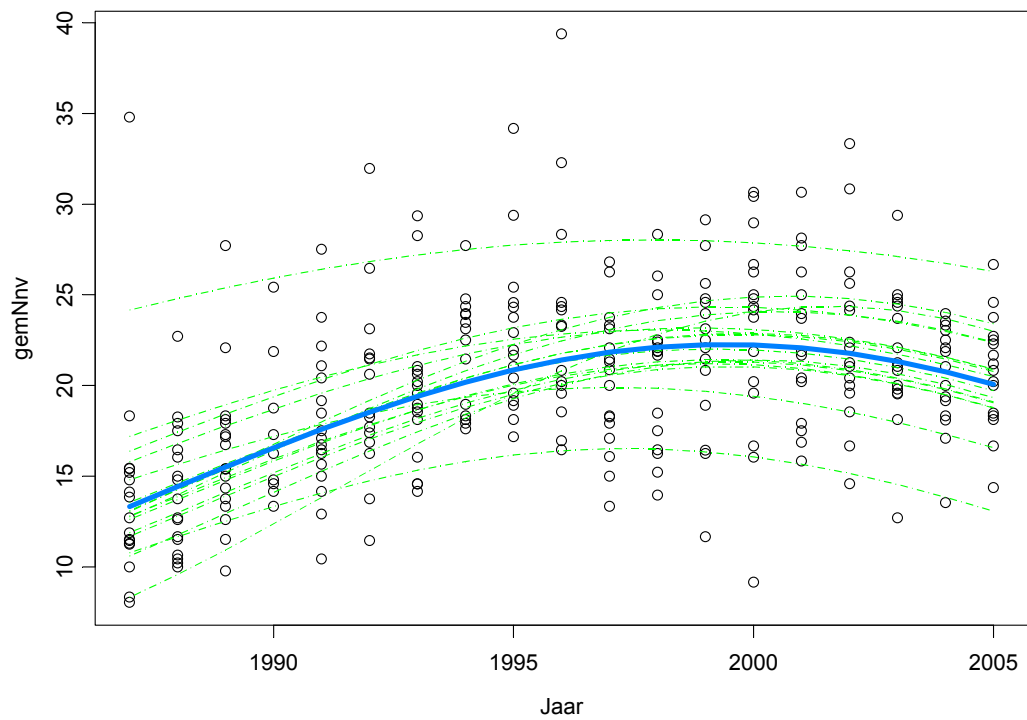


Figuur 10 Resultaat modelbouw: model 1 grove den (donkere lijn: model 1, groene lijn: stapmodel)

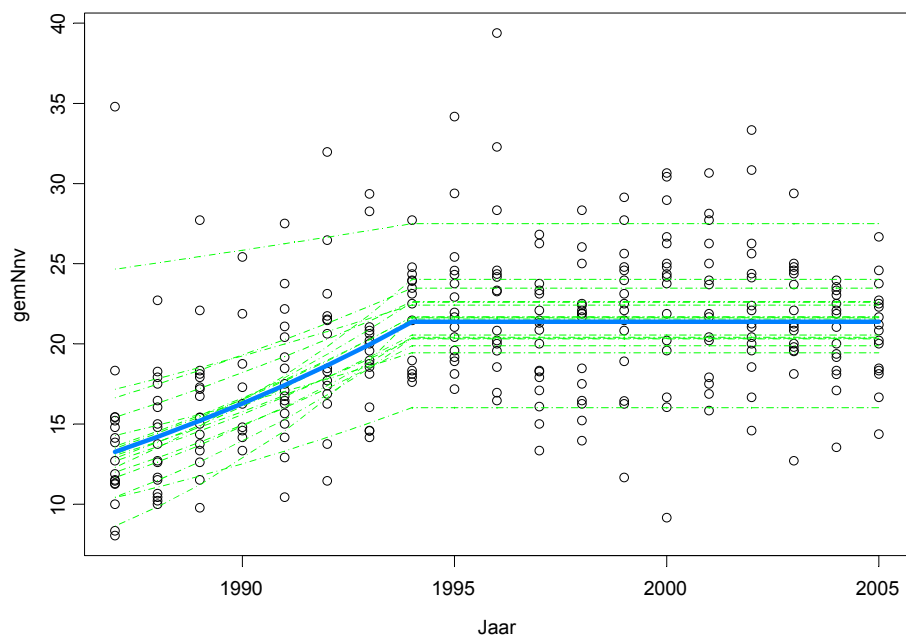
De residu-analyse toont aan dat het model een goed model is (figuur 11). Dit model geeft enkel een jaareffect weer. Dit toont aan dat de verklarende variabelen niet meer bijdragen dan een te verwachten variabiliteit tussen de verschillende plots. De resultaten van het fitten van het model worden in figuur 12 en figuur 13 weergegeven.



Figuur 11 Residu-analyse van model 1 - grove den

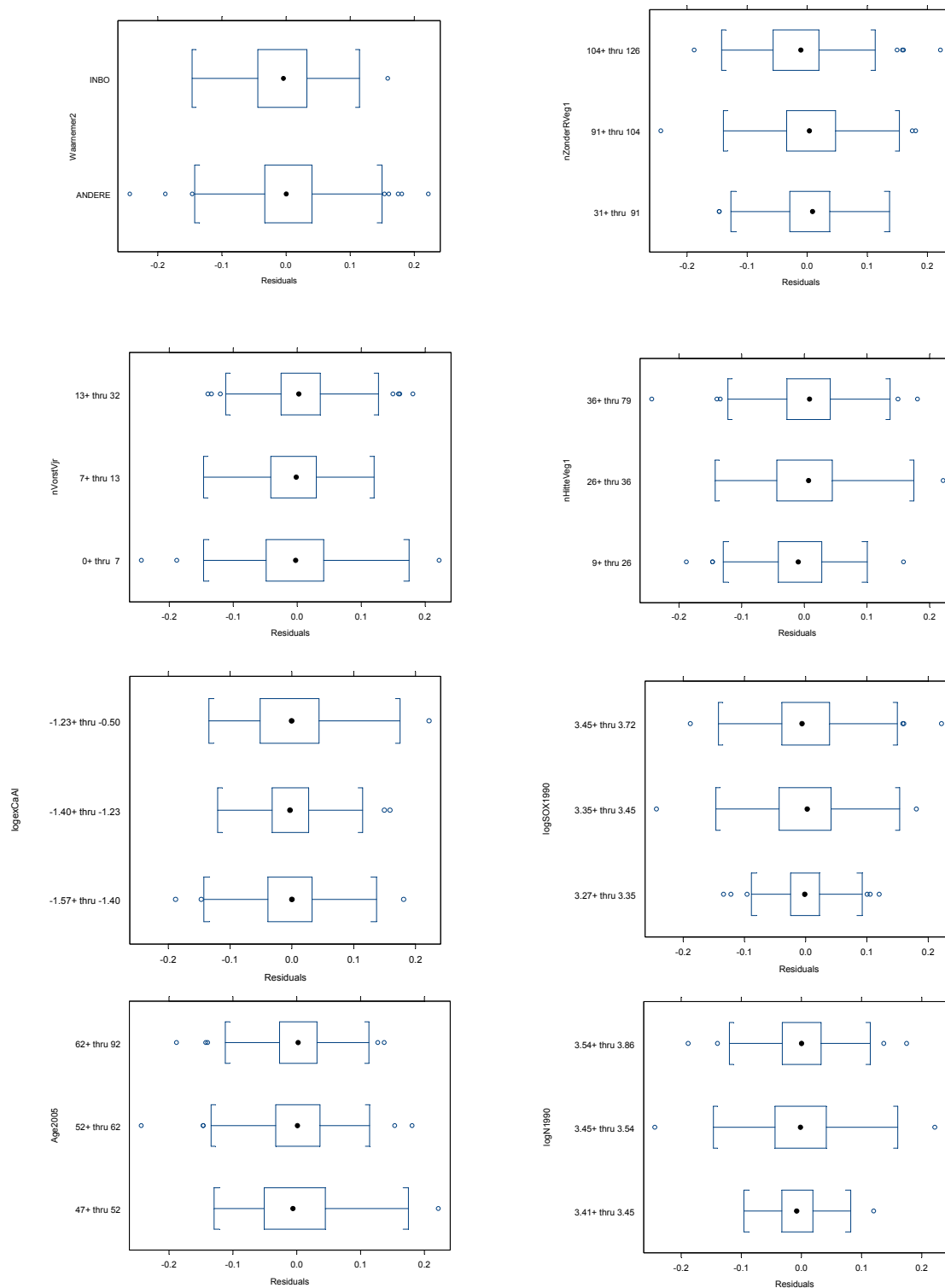


Figuur 12 Gefit model per plot (model 1 - grove den)



Figuur 13 Gefit model per plot (stapmodel - grove den)

Bij het testen van de residu's met de weggelaten variabelen blijkt dat het weglaten van deze variabelen geen effect had op de resultaten van het model (figuur 14).



Figuur 14 Testen residu's met weggelaten variabelen (model 1 - grove den)

## Model 2: ~jaar00+jaar00sqr+logexCaAl+Age2005 (model 2)

```
• Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood
• Data: dfrModell134
•      AIC      BIC    logLik
•    -710.4012 -665.3704 367.2006

• Random effects:
• Formula: ~ (jaar00 + jaar00sqr) | plot
• Structure: General positive-definite
•      StdDev   Corr
• (Intercept) 0.0458741397 (Intr) jaar00
•      jaar00 0.0038701552 0.758
•      jaar00sqr 0.0003621038 0.229 -0.461
•      Residual 0.0679046903

• Fixed effects: log10(gemNnv) ~ jaar00 + jaar00sqr + Age2005 + logexCaAl
•      Value Std.Error DF t-value p-value
• (Intercept) 1.351253 0.06725662 296 20.09100 <.0001
•      jaar00 -0.001683 0.00163896 296 -1.02714 0.3052
•      jaar00sqr -0.001445 0.00016788 296 -8.60872 <.0001
•      Age2005 -0.001988 0.00102750 14 -1.93459 0.0735
•      logexCaAl -0.091635 0.04234608 14 -2.16396 0.0482

• Standardized Within-Group Residuals:
•      Min      Q1      Med      Q3      Max
•    -3.4572 -0.5538888 -0.01811557 0.5601992 3.302527

• Number of Observations: 315
• Number of Groups: 17
```

### Opmerkingen bij dit model:

Het jaareffect neemt in de beginperiode toe en daalt in een latere periode. Het maximaal verschil in gemiddeld naaldverlies bedraagt een factor 0.6 tot 0.9

Leeftijd en calcium/aluminium-verhouding hebben een impact die met elkaar verbonden is. De termen Age2005 en logexCaAl moeten samen voorkomen, anders is het model niet meer significant. De leeftijd (Age2005) heeft een invloed op het gemiddeld naaldverlies (factor 0.65 tot 0.8). Bij een toenemende leeftijd neemt het naaldverlies af. Oudere dennen in de steekproef vertonen over het algemeen een betere kroonconditie dan jongere bomen.

De term logexCaAl is op zich niet significant, maar komt in het model voor omwille van de samenhang met de term Age2005. De term 'leeftijd' verliest namelijk zijn significantie wanneer de term calcium/aluminium-verhouding (logexCaAl) uit het model verdwijnt. Het maximaal effect van logexCaAl bedraagt 1.11 tot 1.39. Het gezamenlijk maximaal effect van Age2005 en logexCaAl op het naaldverlies bedraagt 0.83 tot 1.1.

Uit de studie van de weggelaten factoren blijkt nog een effect van nZonderRVeg1, maar in dit model is dit effect niet significant.

### 4.2.3 Conclusie modelbouw grove den

Uiteindelijk worden volgende modellen weerhouden:

#### **$\log_{10}(\text{gemNnv}) \sim (\text{jaar00} + \text{jaar00sqr}) \mid \text{plot (kwadratisch model)}$**

Het basismodel (model 1) is een model dat louter een beschrijving van de tijdsevolutie van het naaldverlies weergeeft (log-parabool jaar + jaar<sup>2</sup>). Het model bevat betrouwbare coëfficiënten maar het bevat geen voorspellingskracht.

Het uitgebreid model (model 2) verklaart meer variatie dan model 1 maar het verschil is niet groot. Het bevat een vrij artificiële constructie, namelijk het feit dat de termen Age2005 (leeftijd) en logexCaAl (verhouding Ca/Al-concentratie in de bodem) tegelijkertijd in het model moeten voorkomen en afzonderlijk van geen betekenis zijn.

#### **$\log_{10}(\text{gemNnv}) \sim \text{jaarStE} \mid \text{plot (stapmodel)}$**

In het alternatief model (stapmodel) is ook enkel de tijdsevolutie van belang, waarbij er na 1994 geen jaareffect meer waarneembaar is. Indien de termen Age2005 en logexCaAl in dit model opgenomen worden, hebben beiden een positief effect. Dit wil zeggen dat het naaldverlies afneemt bij toenemende leeftijd en bij een toenemende Ca/Al verhouding. De extra verklaring van de variabiliteit is echter miniem waardoor geconcludeerd kan worden dat deze extra variabelen niet echt noodzakelijk zijn.

Beide modellen geven een toename van het naaldverlies weer. Met het kwadratisch model is er een toename tot 2000, met het stapmodel tot 1994. Na deze jaren wordt een vlak verloop of een lichte vermindering van het naaldverlies waargenomen.

Het effect van de klimaatvariabelen is minder dan de verwachte random fluctuatie tussen de plots en er is ook geen duidelijk effect van de plotvariabelen (bodem, depositie).

## 4.3 Zomereik

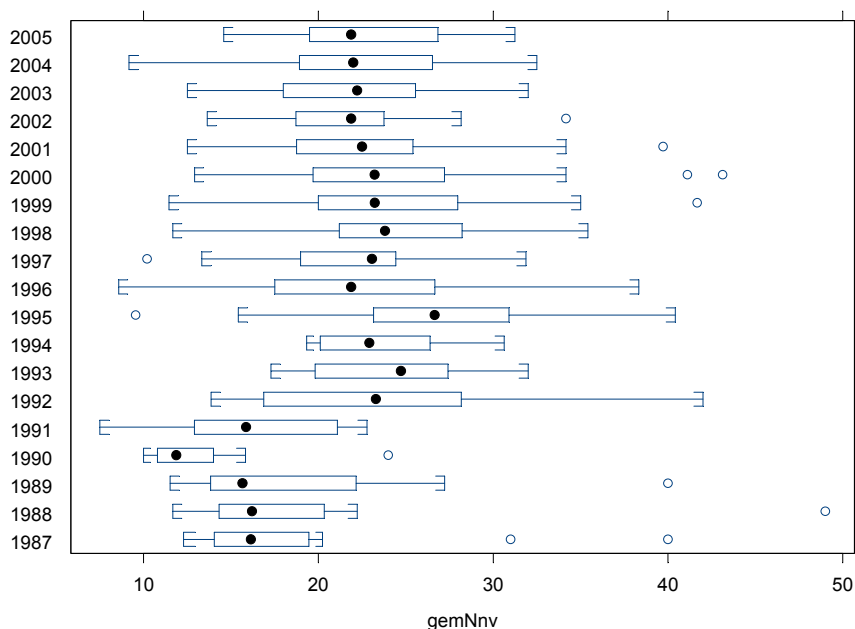
### 4.3.1 Verloop bladverlies zomereik

De data uit de periode 1987-1991 werden niet gebruikt in de analyse. In de beginperiode waren er minder proefvlakken met zomereiken en er was ook geen beoordeling van de insectenaantasting. Het vreemde verloop van het gemiddeld bladverlies in het begin van de jaren '90 bemoeilijktte eveneens de modelbouw voor de ganse periode. Voor de plotse toename van het bladverlies tussen 1991 en 1992 is er geen duidelijke verklaring. Omwille van deze anomalie in de dataset werden de gegevens pas vanaf 1992 in de modelberekeningen opgenomen. In 1995 kwam er een aanzienlijke uitbreiding van de steekproef voor zomereik (tabel 7). Tot en met 1994 waren er 11 of 12 proefvlakken met voldoende zomereiken, vanaf 1995 werden dat 33 proefvlakken (waarvan 31 voor deze studie weerhouden). Het aantal proefvlakken varieert omdat er enkel in 1992 en de periode 2003-2005 voldoende zomereiken in Merksplas (pv 601) beoordeeld werden. In 1996 werd één proefvlak niet beoordeeld (Pulle, pv 508).

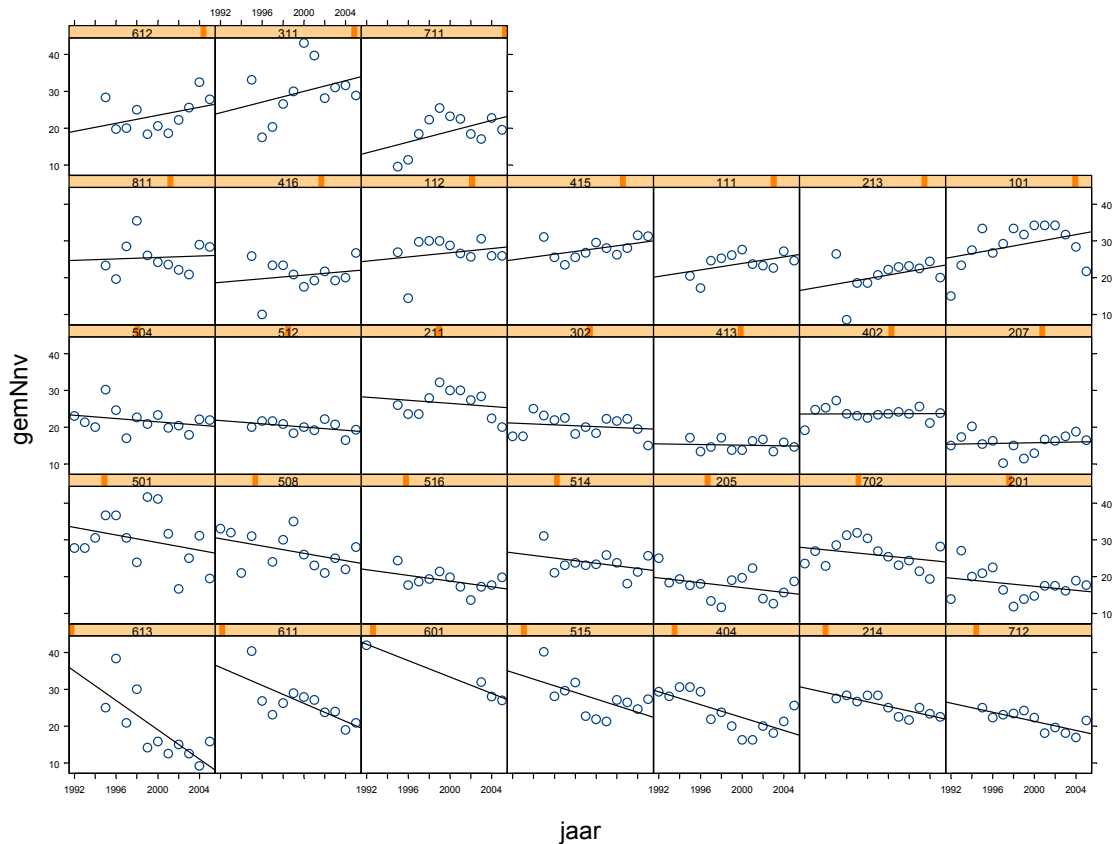
Tabel 7 Aantal geselecteerde proefvlakken met minstens 5 zomereiken

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
| 12   | 11   | 11   | 30   | 29   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 31   | 31   | 31   |

Afgezien van het hoog gemiddeld bladverlies in 1995 is er in de periode 1992-2005 een constant tot licht dalend gemiddeld bladverlies merkbaar (figuur 15). Bij een opsplitsing per proefvlak komen echter zowel stijgende als dalende trends naar voor (figuur 16). In sommige plots is er geen lineaire trend merkbaar.



Figuur 15 Gemiddeld bladverlies zomereik in de periode 1987-2005 (gemNnv: gemiddeld bladverlies)



Figuur 16 Gemiddeld bladverlies zomereik in de periode 1992-2005, opgesplitst per proefvlak

In vergelijking met de proefvlakken met grove den valt het wisselend verloop van het gemiddeld bladverlies op. De dennenproefvlakken kenden allen een toenemende trend van het gemiddeld naaldverlies in de periode 1987-2005, of op zijn minst een stabiel verloop. Bij zomereik zijn er zowel proefvlakken met een stabiel bladverlies als proefvlakken met een toenemend of afnemend gemiddeld bladverlies.

Net als bij grove den vertonen de klimaatkarakteristieken van jaar tot jaar een grote variatie. De schommelingen zijn groter dan de variatie van het gemiddeld bladverlies. De proefvlakgegevens en de depositiegegevens evolueren niet in de tijd. Per plot is er één meetwaarde voor deze gegevens. Voor wat de depositie betreft, zijn dat de gemodelleerde depositiedata uit 1990.

Bij een voorstudie van de proefvlakgegevens bleek dat er afwijkende proefvlakken waren. Twee proefvlakken werden uit de selectie geweerd. Door een logtransformatie op de bodem- en depositievariabelen uit te voeren, kon het probleem van de afwijkende plots gedeeltelijk opgelost worden. Het gevaar blijft echter dat deze plots het model beïnvloeden (leverage).

### 4.3.2 Resultaten modelbouw zomereik

Voor de opbouw van het 'Mixed Model' werd een angulaire transformatie van het gemiddeld bladverlies per proefvlak uitgevoerd: responsvariabele  $2/\pi * \sin(\sqrt{\text{gemNnv}})$ . Deze transformatie resulteert in een betere ligging van de residu's bij het model.

De random term in het model is  $\sim \text{jaar00}$  | plot: de distributie van de parameter jaar00 over de verschillende proefvlakken.

Volgende modellen komen in aanmerking voor het verklaren van de variatie van het bladverlies:

#### **$\sim \text{Jaar00}$ (model 0)**

Dit model is het basismodel.

#### **$\sim \text{Jaar00} + \text{propInsect}$ (model 1)**

Zowel het jaar als het aandeel bomen met insectenaantasting hebben een significant effect. Er is over de jaren heen een dalende lijn wat het bladverlies betreft en er is duidelijk een ongunstig effect door insectenaantasting. De coëfficiënten uit dit model blijven vrij stabiel, ook wanneer er andere variabelen toegevoegd worden. Er is sprake van een lichte afhankelijkheid tussen insectenschade en jaartal (de coëfficiënt voor 'jaar' wijzigt van -0.00125 naar -0.0015 na toevoeging van de term 'insectenaantasting').

#### **$\sim \text{Jaar00} + \text{propInsect} + \text{logSOX1990} + \text{logN1990}$ (model 2)**

Bij een toevoeging van de zwavel- en stikstofdepositie aan het model is er een aanwijzing (geen statistisch bewijs) dat deze factoren de gezondheidstoestand negatief beïnvloeden. Hun geschatte invloed verdwijnt echter wanneer één van beide niet meer voorkomt in het model. Beide moeten dus tegelijkertijd in het model opgenomen worden. Individueel hebben ze geen effect.

#### **$\sim \text{Jaar00} + \text{propInsect} + \text{logBaseSat} + \text{loggewichtFH}$ (model 3)**

Ook hier moeten de factoren 'basenverzadiging' en 'gewicht van de strooisellaag' tegelijkertijd in het model voorkomen. De vraag is in hoeverre deze effecten zinvol zijn. Beide toegevoegde factoren hebben een negatieve invloed op de kroontoestand en dat is in het geval van een hogere basenverzadiging moeilijk aanneembaar.

Nog een ander model wees op een mogelijk licht positieve invloed van het aantal dagen met vorst in het voorjaar ( $n\text{VorstVjr}$ ). Het model voldoet echter minder dan de modellen met een jaareffect en wordt verder niet besproken.

### Model 0 (basismodel): ~Jaar00

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel51Used

|  | AIC       | BIC       | logLik   |
|--|-----------|-----------|----------|
|  | -1437.033 | -1413.617 | 724.5163 |

Random effects:

Formula: ~ jaar00 | plot

Structure: General positive-definite

|             | StdDev     | Corr   |  |
|-------------|------------|--------|--|
| (Intercept) | 0.02917577 | (Intr) |  |
| jaar00      | 0.00318686 | 0.046  |  |
| Residual    | 0.02871052 |        |  |

Fixed effects: asinsqrtNnv ~ jaar00

|             | Value      | Std.Error   | DF  | t-value  | p-value |
|-------------|------------|-------------|-----|----------|---------|
| (Intercept) | 0.3096830  | 0.005482533 | 334 | 56.48540 | <.0001  |
| jaar00      | -0.0012636 | 0.000721267 | 334 | -1.75194 | 0.0807  |

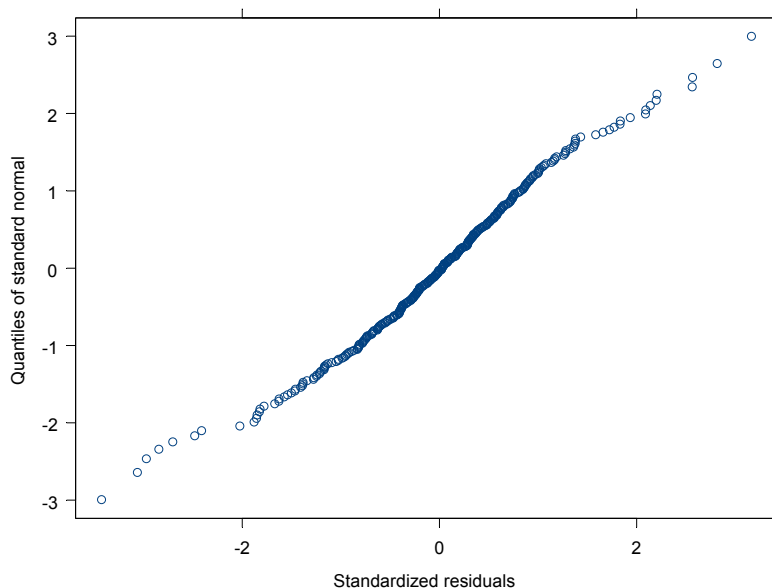
Standardized Within-Group Residuals:

|  | Min       | Q1         | Med        | Q3        | Max      |
|--|-----------|------------|------------|-----------|----------|
|  | -3.424625 | -0.5161813 | 0.02531836 | 0.5590516 | 3.164574 |

Number of Observations: 366

Number of Groups: 31

Dit model geeft de dalende trend voor de term 'jaar' weer. De sedert 1992 waargenomen afname blijft wel klein. Het random effect van de jaarterm is groot, wat betekent dat er per proefvlak zowel een stijging als een daling van het bladverlies kan voorkomen. De gestandaardiseerde residu's volgen een standaard normale verdeling (figuur 17).



Figuur 17 Normaliteit van de residu's bij model 0 - zomereik

Model 1 (jaar + insectenaantasting): **~Jaar00+propInsect**

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel51Used

|  | AIC       | BIC      | logLik   |
|--|-----------|----------|----------|
|  | -1444.758 | -1417.44 | 729.3792 |

Random effects:

Formula: ~ jaar00 | plot

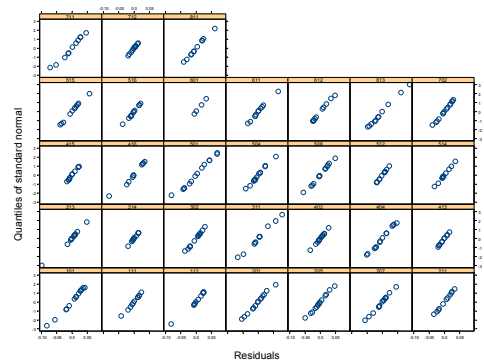
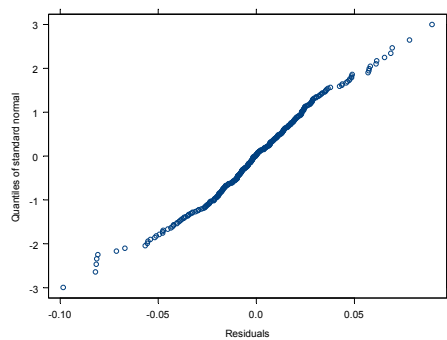
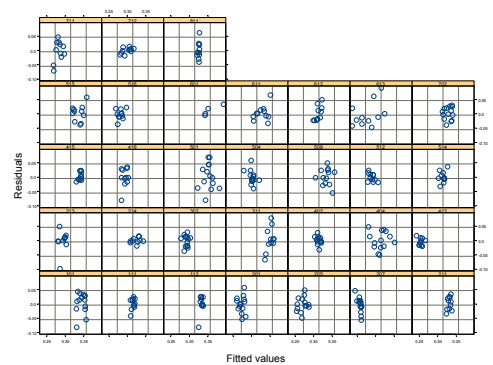
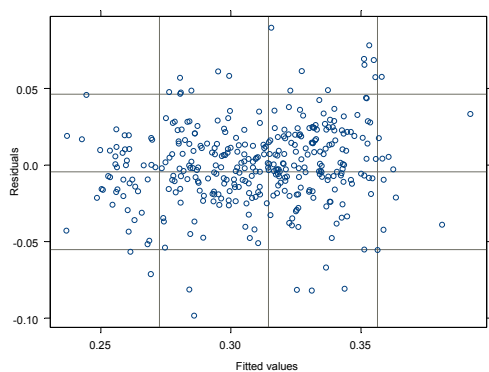
Structure: General positive-definite

|             | StdDev      | Corr   |
|-------------|-------------|--------|
| (Intercept) | 0.029285473 | (Intr) |
| jaar00      | 0.003075564 | 0.042  |
| Residual    | 0.028326507 |        |

Fixed effects: asinsqrtNnv ~ jaar00 + propInsect

|             | Value      | Std.Error   | DF  | t-value  | p-value |
|-------------|------------|-------------|-----|----------|---------|
| (Intercept) | 0.2966927  | 0.006893591 | 333 | 43.03892 | <.0001  |
| jaar00      | -0.0015057 | 0.000706826 | 333 | -2.13016 | 0.0339  |
| propInsect  | 0.0179903  | 0.005746162 | 333 | 3.13084  | 0.0019  |

Dit model is het krachtigste model. De insectenaantasting zorgt voor een toename van het bladverlies en heeft dus een negatieve invloed op de kroontoestand. De variabele 'propInsect' is ook gedeeltelijk gecorreleerd met de jaarterm (correlatie 0.20 in de data en 0.70 wanneer de insectenaantasting per jaar uitgemiddeld wordt). Uit de residu-analyse blijkt eveneens een normale verdeling (figuur 18).



Figuur 18 Residu analyse bij model 1 - zomereik

Modellen 2 en 3

**~Jaar00+propInsect+logSOX1990+logN1990 (model 2)**

**~Jaar00+propInsect+logBaseSat+loggewichtFH (model 3)**

De extra variabelen in deze modellen geven geen zekere effecten, omdat de variabelen steeds samen in het model opgenomen moeten worden.

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel51Used

|  | AIC       | BIC       | logLik   |
|--|-----------|-----------|----------|
|  | -1445.635 | -1410.512 | 731.8177 |

Random effects:

Formula: ~ jaar00 | plot

Structure: General positive-definite

|             | StdDev      | Corr   |
|-------------|-------------|--------|
| (Intercept) | 0.027710201 | (Intr) |
| jaar00      | 0.003101326 | 0.263  |
| Residual    | 0.028298323 |        |

Fixed effects: asinsqrtNnv ~ jaar00 + propInsect +  
logSOX1990 + logN1990

|             | Value      | Std.Error | DF  | t-value   | p-value |
|-------------|------------|-----------|-----|-----------|---------|
| (Intercept) | -0.2955512 | 0.2416987 | 333 | -1.222809 | 0.2223  |
| jaar00      | -0.0014985 | 0.0007117 | 333 | -2.105504 | 0.0360  |
| propInsect  | 0.0179676  | 0.0057354 | 333 | 3.132746  | 0.0019  |
| logSOX1990  | 0.0898398  | 0.0480281 | 28  | 1.870566  | 0.0719  |
| logN1990    | 0.0811709  | 0.0420105 | 28  | 1.932158  | 0.0635  |

Standardized Within-Group Residuals:

| Min       | Q1         | Med         | Q3        | Max      |
|-----------|------------|-------------|-----------|----------|
| -3.559715 | -0.5111098 | -0.02981823 | 0.5560334 | 3.119066 |

Number of Observations: 366

Number of Groups: 31

Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood

Data: dfrModel51Used

| AIC       | BIC       | logLik   |
|-----------|-----------|----------|
| -1445.101 | -1409.977 | 731.5505 |

Random effects:

Formula: ~ jaar00 | plot

Structure: General positive-definite

|             | StdDev      | Corr   |
|-------------|-------------|--------|
| (Intercept) | 0.027685546 | (Intr) |
| jaar00      | 0.003071359 | -0.306 |
| Residual    | 0.028338474 |        |

Fixed effects: asinsqrtNnv ~ jaar00 + propInsect +  
loggewichtFH + logBaseSat

|              | Value      | Std.Error  | DF  | t-value   | p-value |
|--------------|------------|------------|-----|-----------|---------|
| (Intercept)  | 0.1184161  | 0.07451784 | 333 | 1.589097  | 0.1130  |
| jaar00       | -0.0015156 | 0.00070843 | 333 | -2.139429 | 0.0331  |
| propInsect   | 0.0182167  | 0.00574699 | 333 | 3.169771  | 0.0017  |
| loggewichtFH | 0.0152714  | 0.00770209 | 28  | 1.982760  | 0.0573  |
| logBaseSat   | 0.0335150  | 0.01653311 | 28  | 2.027142  | 0.0523  |

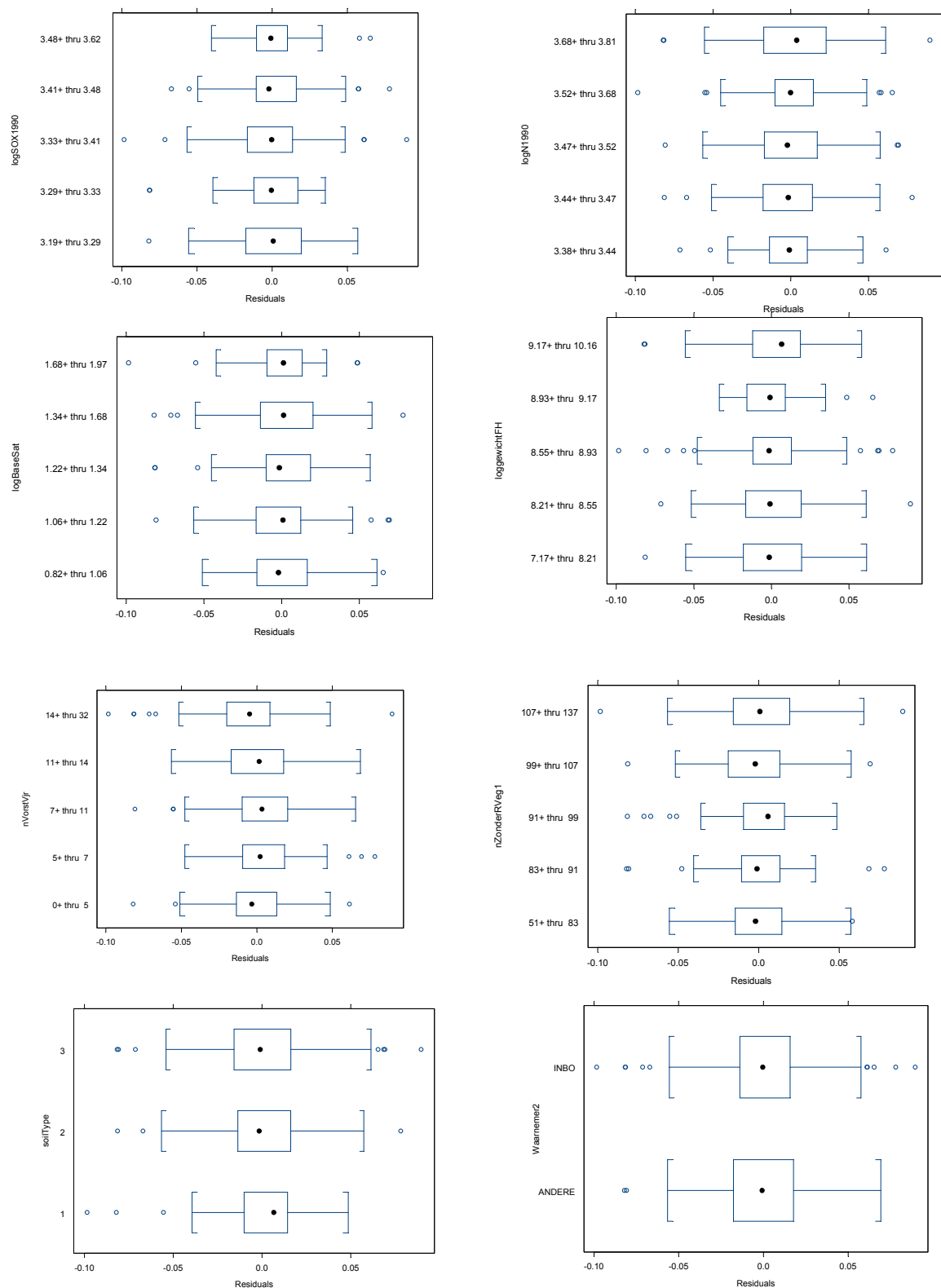
Standardized Within-Group Residuals:

| Min       | Q1         | Med         | Q3        | Max      |
|-----------|------------|-------------|-----------|----------|
| -3.446506 | -0.5287097 | 0.005122866 | 0.5429145 | 3.222074 |

Number of Observations: 366

Number of Groups: 31

Uit de studie van de residu's in vergelijking met de weggelaten variabelen (model 1) blijkt geen invloed van deze variabelen (figuur 19). Hieruit kan besloten worden dat er geen waarnemereffect is (geen afwijking tussen plots door INBO beoordeeld en overige plots) en dat er geen invloed van het bodemtype is.



Figuur 19 Residu's model 1 in vergelijking met weggelaten variabelen (model 1 - zomereik)

### 4.3.3 Conclusie modelbouw zomereik

De modellen verklaren slechts een deel van de totale variatie. De modelbouw wordt bemoeilijkt door het feit dat het bladverlies door erg veel factoren beïnvloed wordt. Bovendien vertonen een aantal factoren zelf een grillig verloop, zoals bijvoorbeeld de klimaatvariabelen. Model 1, waarbij enkel 'jaar' en 'insectenaantasting' als variabelen opgenomen werden, voldoet het best, met een niet-perfekte maar bevredigende normaliteit van de residu's.

Het effect van de factor 'tijd' blijkt gunstig. Het bladverlies neemt globaal gezien vanaf 1992 af, maar dit effect wordt afgezwakt door de insectenaantasting (die toeneemt). De afname van het bladverlies is globaal gezien klein. Er is niet alleen een 'van jaar tot jaar' variatie, maar er is eveneens een sterke variatie van plot tot plot.

Van alle plotkarakteristieken, meteo- en depositievariabelen blijkt enkel de graad van insectenaantasting een (negatieve) invloed te hebben. De overige verklarende variabelen hebben een veel onzekerder effect. Sommige hebben enkel een invloed wanneer ze samen met een andere variabele worden opgenomen (zwavel- en stikstofdepositie, strooiselgewicht en basenverzadiging). Bovendien is het effect niet altijd geloofwaardig (vb. negatief effect van een hogere basenverzadiging).

#### 4.4 Bespreking resultaten grove den en zomereik

Een studie op regionaal niveau heeft als nadeel dat er weinig variabiliteit is tussen de proefvlakken. Er is wel variatie in blad- of naaldverlies, maar veel van de verklarende variabelen variëren weinig. Een studie op grotere schaal (vb. Europa) heeft als voordeel dat er meer variatie is wat stressfactoren als luchtverontreiniging, bodemeigenschappen, meteorologie,... betreft (Klap et al., 2000). Een nadeel van deze grootschalige studies is dat een groot deel van de variatie verklaard wordt door het waarnemer- of landeneffect. Dit effect wordt veroorzaakt door een van land tot land verschillende methode voor de beoordeling van het bladverlies.

De jaartrend is de belangrijkste en bijna enige zekere parameter in de modellen voor zowel grove den als zomereik. De modellen verklaren weinig variantie en er zijn weinig predictoren die een significant effect aantonen. Met de huidige data bleken de klimaatsvariabelen bijvoorbeeld niet krachtig genoeg om het blad- en naaldverlies te verklaren. Multivariate methoden voor het zoeken naar relaties tussen bladverlies en verklarende variabelen werden in veel studies beschreven. In 2000 verscheen een overzicht van 23 studies waarvan de meeste het bladverlies proberen te verklaren aan de hand van een set uiteenlopende predictoren (Seidling, 2000).

Voor de eenvoud van de modellen en de interpretatie van de parameters werden in de modellen geen interactietermen opgenomen. Interacties zijn mogelijk tussen bijvoorbeeld bodemvariabelen en depositie of tussen depositie en meteorologische variabelen. Toch zijn er nog voorbeelden van statistische studies waarbij het aantal interactietermen sterk beperkt wordt (Klap et al., 2000).

Categorische variabelen werden zo veel mogelijk vermeden (te veel vrijheidsgraden). Alleen bodemtype (3 klassen) werd bestudeerd. De studie van de grove den beperkte zich tot zandige bodems en bij zomereik werd enkel gekeken naar de verdeling van de residu's per bodemtype, waarbij geen invloed van het bodemtype aangetroffen werd.

##### Toestand in Europa (Level I)

Het valt op dat de toenemende trend van het naaldverlies van grove den stopt in 1994. Ook op Europese schaal werd een toenemende trend tussen 1988 en 1994 waargenomen (UN/ECE and EC, 2001). Op Europees niveau is er een significant verband tussen de zwaveldepositie en de temporele en ruimtelijke variatie van het naaldverlies (UN/ECE and EC, 2002). Het is ook de enige statistisch significante predictor in de lineaire regressiemodellen voor de temporele variatie van het naaldverlies. Variabelen als neerslag, insectenaantasting en schimmelinfectie bleken minder variatie te verklaren. Een hoge neerslaghoeveelheid in de periode januari-juni zou een gunstig (maar niet significant) effect op de naaldbezetting hebben. Vooral in Oost-Europa is er een verbetering van de kroonconditie waarbij een link met de afnemende luchtverontreiniging gelegd wordt (Polen, Litouwen, Slowakije).

De geïntegreerde analyse van de internationale gegevens in de periode 1994-2000 kon geen statistisch significante predictoren voor de temporele variatie van het bladverlies bij eik vinden (UN/ECE and EC, 2003). Er waren wel aanwijzingen van een positieve invloed van neerslag op de bladbezetting, zowel in het voorjaar als in de zomer van het voorafgaande jaar.

Wat de ruimtelijke variatie betrof, was er een significante invloed van land (waarnemer), leeftijd, insectenaantasting en schimmelinfectie. Het in rekening brengen van

schimmelinfecties leidde echter tot onbetrouwbare resultaten. Er was ook een aanwijzing van een niet-significante ongunstige invloed van zwaveldepositie. Men veronderstelde dat er intercorrelaties waren, tussen insectenaantasting en schimmelinfectie, en tussen zwavel- en stikstofdepositie.

Een andere studie, waarbij multiple regressiemodellen werden opgesteld voor twee pilootgebieden in Europa, verwees naar bodemeigenschappen als significante predictor voor het bladverlies van eiken. Bosbodems met een hogere basenverzadiging en kationen uitwisselingscapaciteit zouden gerelateerd zijn aan een betere bladbezetting van de eiken (Seidling, 2001).

#### Standplaatsvariabelen en bestandskarakteristieken

Omdat er weinig plots zijn en de variabelen eigen aan de plots, vast liggen over de tijd, komt er niet zo veel naar voor uit de plotkarakteristieken (vb. bodemeigenschappen). Veel studies verwijzen naar de Ca/Al-verhouding in het strooisel of de bodem als verklarende variabele voor het bladverlies. Hoe meer aluminium aanwezig, hoe groter de kans op een slechte kroonconditie, zwakkere wortelgroei,... (Büttner, 1999). In deze studie zijn er aanwijzingen van een lager naaldverlies in proefvlakken met een hogere Ca/Al-verhouding in de bodem (0-50 cm). In het model waarin deze term voorkwam, moest ook de term 'leeftijd' opgenomen worden. Aluminium bleek in de voorstudie een krachtiger indicator dan de Ca/Al-verhouding.

Er zijn nog studies die bij een statistische analyse weinig standplaatskarakteristieken naar voor zien komen (vb. Klap et al., 2000). In de periode 1984-1994 werd in Nederland een grotere variantie van het bladverlies in de tijd (tussen de jaren) dan in de ruimte (tussen de plots) waargenomen. Daaruit werd besloten dat standplaatsfactoren een kleinere rol spelen in vergelijking met meteorologische variabelen (Hendriks et al., 2000).

Veel rapporten wijzen op een verminderde vitaliteit van oudere bomen (UN/ECE and EC, 1997). Dit kon in deze studie niet bevestigd worden. Er wordt aangenomen dat het effect van de leeftijd vermindert vanaf een leeftijd van 50 à 80 jaar, afhankelijk van de boomsoort (Klap et al., 2000). In de steekproef van het Vlaamse bosvitaliteitsmeetnet komen weinig jonge bomen voor. De meeste dennenbestanden zijn minstens 40 jaar oud en veel eikenbestanden zijn nog ouder. Het jongste eikenbestand (21 jaar in 2005) werd niet in de selectie opgenomen omdat het te veel afweek van de overige plots. Er komen ook weinig oude bomen voor (in 3 eikenplots is de leeftijd > 120 jr.). Het effect van de leeftijd is hierdoor moeilijk te beoordelen.

#### Luchtverontreiniging

In Vlaanderen waren de verzurende deposities begin de jaren 1990 het hoogst. De totale depositie van stikstof en zwavel is in de Vlaamse Level II proefvlakken aan een significant dalende trend onderhevig (Verstraeten et al., 2007).

In deze studie kon geen duidelijke relatie met het bladverlies aangetoond worden. Er werden in de analyse depositiecijfers van één jaar gebruikt (1990). Met jaarlijkse meetwaarden zouden we misschien wel een effect aangetoond hebben. Alle depositiewaarden zijn echter gemodelleerd en per meetpunt met elkaar gecorreleerd. Een meetpunt met een hoge gemodelleerde depositie in 1990 blijft een meetpunt met een hogere waarde in vergelijking met de andere meetpunten, ook wat de depositie in andere jaren betreft.

In de modellen met grove den komen zwavel- en stikstofdepositie geen enkele keer als verklarende variabele naar voor. Bij zomereik komen beide termen wel in één van de modellen voor en is er een aanwijzing van een negatieve invloed op de bladbezetting. Literatuurgegevens bevestigen dat het verklaren van de kroontoestand door depositievariabelen niet vanzelfsprekend is. Andere stressfactoren zoals droogte blijken meer variatie te verklaren. Er wordt aangenomen dat een correlatie met luchtverontreiniging vooral in bestanden met een hoog bladverlies teruggevonden wordt. Onder een zeker niveau van bladverlies zou de variatie veeleer verklaard worden door andere, natuurlijke stressfactoren (Klap et al., 2000). Klap et al. nemen aan dat stress door luchtverontreiniging meer in loofboomproefvlakken voorkomt, maar andere auteurs volgen deze stelling niet. In de studie van Klap et al. werd geen rekening gehouden met natuurlijke stressfactoren als insectenaantasting.

Sommige bronnen vinden weinig correlatie tussen luchtverontreiniging en bladverlies, andere juist wel. In Litouwen werd 58% van de variantie van het naaldverlies van grove den verklaard door luchtconcentraties en deposities van zwavel en ammonium. Meteorologische factoren (wintertemperatuur, neerslag in lente en zomer) zorgden voor een toename tot 65%, standplaats- en bestandsfactoren tot 79% (Augustaitis et al., 2007). De studie gebeurde in een periode met een sterke reductie van de zwaveldepositie (1994-2004). Ook Hendriks et al. zagen in Nederland een correlatie met zwavel- en stikstofdepositie, zowel bij eik als grove den (Hendriks et al., 2000). Zij vonden ook relaties tussen het bladverlies en insectenaantasting, temperatuur, neerslag (groe den), relatieve verdamping, beschikbaarheid van bodemwater en chemische bodemeigenschappen.

#### Meteorologische factoren en droogtestress

Op internationaal niveau is er een toename van het percentage beschadigde eiken (zomereik + wintereik) sedert de aanvang van de inventaris (UN/ECE and EC, 2001). In de beginperiode (1988-1991) bleef het bladverlies nog vrij stabiel, maar in de periode 1992-1998 was er een duidelijk negatieve trend. In Vlaanderen is er niet echt sprake van een toename tussen 1992 en 1998. Er is wel een hoog percentage beschadigde bomen in 1995 en een plotsse toename van het bladverlies in 1992.

Uit de KMI data blijkt dat de periode 1989-1991 de droogste vegetatieperioden (van 1 april t.e.m. 30 september) kende en dat had misschien een invloed op de toename van het bladverlies van de eiken in 1992. In deze studie werd de periode voor 1992 echter buiten beschouwing gelaten. In elk geval viel er, met uitzondering van 2003, de laatste 8 jaar meer neerslag tijdens het vegetatieseizoen. Het totaal aantal vorstdagen in de winter en het voorjaar vertoont minder opvallende verschillen. De meeste vorstdagen werden in 1987 en 1996 geteld (som van de maanden dec. t.e.m. mei). Ook het aantal hittedagen schommelt van jaar tot jaar, waarbij de warme lente- en zomermaanden van 1989, 1995 en 2003 opvallen. De jaren 1987 en 1988 telden opvallend minder hittedagen in het vegetatieseizoen.

Verschillende auteurs bespreken de invloed van droogtestress op de gezondheidstoestand van bomen (o.a. Bréda et al., 2006). De droogte maakt bomen gevoeliger voor ziekten als *Sphaeropsis sapinea*, *Armillaria spp.*, *Phytophthora spp.* en *Collybia fusipes* (Desprez-Loustau et al., 2006). Onder invloed van droogte kunnen bomen ook vatbaarder worden voor insectenaantasting (Rouault et al., 2006). Droogte wordt ook door de Vries et al. (2000) als belangrijke natuurlijke stressfactor beschreven, naast ziekten en aantastingen.

In Zwitserland werd een verband tussen droogte en bladverlies van eiken gevonden, maar was er geen verband met het naaldverlies van grove den (Zierl, 2004). Ook Klap wees op het kleine effect van droogtestress bij grove den (Klap et al., 2000). Seidling vergeleek de kroontoestand van bomen in twee pilootgebieden. Vlaanderen maakt deel uit van één van beide pilootgebieden. In een multiple regressiemodel bleken meteorologische factoren geen significante correlatie met het naaldverlies te vertonen (Seidling, 2001).

Extreme droogte wordt nochtans als een sterk verzwakkende factor aanzien in een Level II proefvlak met dennensterfte in de Rhone vallei (Dobbertin, 2005). De grove dennen vertoonden verhoogde droogtestress, ook onder invloed van maretak (*Viscum album ssp. austriacum*). Volgens Dobbertin heeft extreme zomerdroogte een onmiddellijke invloed op de diametergroei van de dennen. De invloed op de naaldbezetting was pas maanden later of helemaal niet merkbaar.

Grove den is bekend om zijn brede ecologische amplitude. De soort stelt weinig eisen wat klimatologische verhoudingen betreft. Een studie naar de invloed van klimaatsextremen concludeerde dat lage wintertemperaturen en voldoende neerslag een gunstige invloed op de naaldbezetting hadden (Callaert en Scheirlinck, 1997). De invloed van hoge temperaturen bleek eerder negatief.

Om het effect van ongunstige weersomstandigheden te onderzoeken, zijn variabelen als 'neerslaghoeveelheid', 'aantal hittedagen' of 'aantal dagen zonder neerslag' niet de meest geschikte variabelen. Droogtestress wordt door Van Leeuwen et al. uitgedrukt als de verhouding van de actuele op de potentiële transpiratie, berekend aan de hand van waterbalansmodellen (Van Leeuwen et al., 2000). Bij de berekening van deze relatieve transpiratie wordt rekening gehouden met meteorologische waarnemingen, standplaatsfactoren en bestandseigenschappen. De berekening bevat echter ook onzekerheden.

#### Insectenaantasting en meteorologische factoren

Veel auteurs wijzen op het complex van factoren die een zwakke kroonconditie van eiken of eikensterfte veroorzaken. Biotische en abiotische stressfactoren resulteren in een slechtere kroonconditie. Siwecki en Ufnalski stellen dat klimatologische factoren in Polen een belangrijke invloed hadden op de kroonconditie van de eiken in de jaren '80. Vooral droge jaren, met uitzonderlijk droge perioden in de maanden mei en juni, droegen bij tot eikensterfte (Siwecki and Ufnalski, 1998). In een literatuuroverzicht met betrekking tot oorzaak-gevolg relaties inzake bosvitaliteit wijzen Augustin & Andreae (1998) ook op de gevolgen van klimaatsextremen (droogte, vorstschade).

Uit de studie in het Vlaams bosvitaliteitsmeetnet blijkt vooral een ongunstige invloed van insectenvraat op de bladbezetting van zomereik. Meteorologische omstandigheden staan ongetwijfeld in relatie met insectenpopulaties maar in geen enkel van de beschouwde modellen werd een invloed van neerslag of temperatuur opgemerkt.

Ongunstige klimatologische omstandigheden en insectenvraat werden als belangrijkste factoren voor verzwakking van eiken in Nederland in de jaren '80 beschreven (Oosterbaan en Leffef, 1987). Uit een proef, waarbij eiken gevrijwaard werden van insectenaantasting, bleek een betere bladbezetting en meer diktegroei bij behandelde bomen (van den Berg en Oosterbaan, 1989). Een studie in Duitsland toonde aan dat insecten een invloed hebben op de hoeveelheid gevormd laathout. De insectenvraat bleek een grotere invloed te hebben dan meteorologische factoren (Von Ratburg en Riemer, 1999). Ook in Hessen toont een

geïntegreerde analyse van invloedfactoren dat insectenaantasting een belangrijke variabele voor het verklaren van het bladverlies is (Eichhorn et al., 2005). De impact van vraatschade in het voorjaar kan nog vergroot worden wanneer de nieuw gevormde scheuten door meeldauw (*Microsphaera alphitoïdes*) geïnfecteerd worden (Augustin en Andreae, 1998).

Führer (1998) beschrijft hoe complex eikensterfte is en stelt dat insectenpopulaties en droogtestress, eventueel in combinatie met vorstschade, de factoren zijn die aan de basis van de verzwakte gezondheidstoestand liggen. Bij naaldboomsoorten is dat anders. Daar zijn de oorzaken eerder luchtverontreiniging, voedingsstoffentekorten en een verstoorde nutriëntenbalans.

## 5 Besluit

De kroonbeoordelingen in het bosvitaliteitsmeetnet gingen in 1987 van start. Uit de studie van de temporele variatie van het bladverlies tussen 1987 en 2005 blijkt dat het blad- en naaldverlies in de beginperiode van de inventaris toeneemt. Voor zomereik is er vanaf 1992 sprake van een verbeterde toestand. Naargelang het gebruikte model is dat bij grove den vanaf 1994 of 2000 het geval, waarbij 1994 als meest realistisch aanzien wordt. In elk geval is er voor beide soorten een gunstige trend aan het eind van de beschouwde periode. De toename van insectenaantasting bij zomereik werkt de gunstige trend bij deze soort tegen.

LME-modellen (Lineair mixed effect models) werden ontwikkeld, waarbij in acht genomen werd dat elk proefvlak een andere tijdstrend kan vertonen. De modellen voor het verklaren van de variatie van het blad-/naaldverlies blijken slechts in beperkte mate aan de verwachtingen te voldoen. Naast de variabele 'jaar' blijken weinig predictoren in de modellen betekenisvol te zijn. Er is wel een duidelijke invloed van insectenaantasting op het bladverlies van de zomereiken. Bij grove den wordt een klein effect van de variabele 'leeftijd' in combinatie met de verhouding Ca/Al in de bodem aangetoond. Omdat deze beide variabelen samen in het model moeten voorkomen, wordt dit model niet als een sterk model beschouwd.

Het effect van de verzurende en vermestende deposities kon in deze studie onvoldoende aangetoond worden. Omdat de deposities in het begin van de beschouwde periode het hoogst waren, werden de gemodelleerde depositiedata voor zwavel en stikstof in het jaar 1990 als plotkarakteristieken in de modellen opgenomen. Maar omdat er slechts van één jaar data gebruikt werden, werden de depositievariabelen misschien vanuit een te statisch standpunt benaderd.

Uit literatuurstudie blijkt dat vooral de kroontoestand van zomereiken door weersomstandigheden beïnvloed wordt. Droogteperioden waren er vooral aan het eind van de jaren '80 en in de loop van de jaren '90. Vanaf 1998 namen de neerslaghoeveelheden tijdens het vegetatieseizoen toe, met uitzondering van het jaar 2003. Het effect van meteorologische factoren op de bladbezetting kon echter niet aangetoond worden.

Het aantal proefvlakken voor dit onderzoek was klein in vergelijking met het groot aantal variabelen. De meetreeks was vrij kort en veel korter voor eik dan voor grove den. Bovendien was het aantal eikenproefvlakken tot en met 1994 beperkt. Misschien kan een langere tijdreeks meer resultaten opleveren. Stressfactoren als 'droogte' zijn ook een betere predictor voor een analyse dan variabelen als 'neerslag' of 'temperatuur'.

Tot slot moet gesteld worden dat er heel wat onzekerheden bij de opbouw van de modellen waren. Het jaar-effect bleek echter steeds duidelijk aanwezig te zijn.

## Literatuurlijst

AGIV, Digitale versie van de Bosreferentielaag (Boskartering), 1990.

Augustaitis, A., Augustaitiene, I., Deltuvas, R., 2007. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Crown Defoliation in Relation to the Acid Deposition and Meteorology in Lithuania. Water, Air and Soil Pollution 182 (2007): 335-348.

Augustin, S., Andreae, H., 1998. Cause-effect-interrelations in forest condition - State of current knowledge. UN/ECE and ICP Forests.

Blank, R., Riemer, T., 1999. Quantifizierung des Einflusses blattfressender Insekten auf den Spätholz zuwachs der Eiche in Nordwestdeutschland. Forst und Holz, 54: 569-576.

Bodemkaart van België

Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. Ann. For. Sci. 63 (2006): 625-644.

Büttner, G., 1999. Aluminium-stress in niedersächsischen Waldböden. Forst und Holz, 1999, 54: 577-580.

Callaert, G., Scheirlinck, H., 1997. Klimatologische vereisten en risicobepaling voor klimaatsextremen van de voornaamste Europese boomsoorten. Universiteit Gent en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Bos en Groen.

Desprez-Loustau, M., Marçais, B., Nageleisen, L., Piou, D., Vannini, A., 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. Ann. For. Sci. 63 (2006): 597-612.

de Vries, W., Vel, E., Reinds, G.J., Deelstra, H., Klap, J.M., Leeters, E.E.J.M., Hendriks, C.M.A., Kerkvoorden, M., Landmann, G., Herkendell, J., Haussmann, T., Erisman, J.W., 2003. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. Forest Ecology and Management 174 (2003): 77-95.

de Vries, W., Klap, J.M., Erisman, J.W., 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part I: Hypotheses and approach to the study. Water, Air and Soil Pollution 119 (2000): 317-333.

Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: review. European Journal of Forest Research (2005). 124: 319-333.

Dumortier, M., De Bruyn, L., Hens, M., Peymen, J., Schneiders, A., Van Daele, T., Van Reeth, W., Weyembergh, G. en Kuijken, E. (red.), 2005. Natuurrapport 2005. Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid. Mededeling van het Instituut voor Natuurbehoud nr. 24, Brussel.

Eichhorn, J., Icke, R., Isenberg, A., Paar, U., Schönfelder, E., 2005. Temporal development of crown condition of beech and oak as a response variable for integrated evaluations. European Journal of Forest Research (2005) 124: 335-347.

Führer, E., 1998. Oak Decline in Central Europe: A Synopsis of Hypotheses. In: M.L. McManus and A.M. Liebhold, editors. Proceedings: Population Dynamics, Impacts, and Integrated Management of Forest Defoliating Insects. USDA Forest Service General Technical Report NE-247, 7-24.

Hendriks, C.M.A., Olsthoorn, A.F.M., Klap, J.M., Goedhart, P.W., Oude Voshaar, J.H., Bleeker, A., de Vries, F., van der Salm, C., Voogd, J.C.H., de Vries, W., Wijdeven, S.M.J., 2000. Relationships between crown condition and its determinating factors in The Netherlands for the period 1984 to 1994. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-rapport 161.

ICP-forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. [www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)

Klap, J.M., Oude Voshaar, J.H., de Vries, W., Erisman, J.W., 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part IV: statistical analysis of relationships. Water, Air and Soil Pollution 119 (2000): 387-420.

Langouche, D., Tiedemann, T., Van Ranst, E., Neiryndck, J., Langohr, R., 2001. Berekening en kartering van kritische lasten en overschrijdingen voor verzuring en eutrofiëring in bosesystemen in Vlaanderen. In: Neiryndck *et al.*, Bepaling van de verzurings- en vermetingsgevoeligheid van Vlaamse bossen met gemodelleerde depositiefluksen. Eindverslag VLINA 98/01.

Neiryndck, J., Roskams, P., 1999. Relationships between crown condition of beech (*Fagus sylvatica* L.) and throughfall chemistry. Water, Air and Soil Pollution. 1999, 116: 1-2, 389-394.

Oosterbaan, A., Leffef, F., 1987. Conditievermindering en sterfte van de zomereik (*Quercus robur* L.) in Nederland. Nederlands Bosbouwtijdschrift 59 (6): 186-192.

Rouault, G., Candau, J., Lieutier, F., Nageleisen, L., Martin, J., Warzée, N., 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. Ann. For. Sci. 63 (2006): 613-624.

Seidling, W., 2000. Multivariate Statistics within Integrated Studies on Tree Crown Condition in Europe - an overview. UN/ECE and EC. Geneva, Brussels.

Seidling, W., 2001. Integrative Studies on Forest Ecosystem Conditions. Multivariate Evaluations on Tree Crown Condition for two Areas with distinct Deposition Gradients. PCC of ICP Forests and Forest Soil Co-ordinating Centre (FSCC). UN/ECE and EC, Geneva, Brussels and Gent.

Sioen, G., Roskams, P., 2007. Basiskkenmerken van het bosvitaliteitsmeetnet in het Vlaamse Gewest; periode 1987-2005 (Level I). INBO.R.2007.5. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Sioen, G., Roskams, P., Genouw, G., Verschelde, P., 2008. Chemische voedingstoestand van grove den in twee proefvlakken van het bosvitaliteitsmeetnet. INBO.R.2008.54. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Sioen, G., Quataert, P., Roskams, P., 2005. Beschrijvende trendanalyse van de kroontoestand in het bosvitaliteitsmeetnet (Level I) in de periode 1987-2001. IBW Bb R 2005.002. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen. D/2005/3241/020

Siwecki, R., Ufnalski, K., 1998. Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. Eur. J. For. Path. 28 (1998): 99-112.

Staelens, J., Neiryndck J., Genouw G., Roskams P., 2006. Dynamische modellering van streeflasten voor bossen in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse

Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2006/03. Rapport INBO.R.2006.12. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

UN/ECE and EC, 1997. Forest Condition in Europe. Executive report. UN/ECE and EC. Geneva, Brussels.

UN/ECE and EC, 2001. Forest Condition in Europe. Results of the 2000 Large-scale Survey. Technical Report. UN/ECE and EC. Geneva, Brussels.

UN/ECE and EC, 2002. Forest Condition in Europe. Results of the 2001 Large-scale Survey. Technical Report. UN/ECE and EC. Geneva, Brussels.

UN/ECE and EC, 2003. Forest Condition in Europe. Results of the 2002 Large-scale Survey. Technical Report. UN/ECE and EC. Geneva, Brussels.

van den Berg, C.A., Oosterbaan, A., 1989. Insektenbestrijding in zomereik - de invloed op de vitaliteit. Nederlands Bosbouwtijdschrift, jrg. 61, n°11-12, 316-323.

Verstraeten, A., Sioen, G., Neiryck, J., Genouw, G., Coenen, S., Van der Aa, B., Roskams, P., 2007. Bosvitaliteitsinventaris, meetnet Intensieve Monitoring Bosccosystemen en meetstation luchtverontreiniging. Resultaten 2006. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2007. INBO.R.2007.47. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Leeuwen, E.P., Hendriks, K.C.M.A., Klap, J.M., de Vries, W., De Jong, E., Erisman, J.W., 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part II: estimation of stress induced by meteorology and air pollutants. Water, Air and Soil Pollution 119 (2000): 335-362.

Zierl, B., 2004. A simulation study to analyse the relations between crown condition and drought in Switzerland. Forest Ecology and Management, 188 (2204): 25-38.

## Lijst van figuren

|           |                                                                                                                               |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1  | PCA-analyse van de bodemvariabelen (alle proefvlakken).....                                                                   | 10 |
| Figuur 2  | Neerslaghoeveelheden tijdens het vegetatieseizoen (apr.-sep.) in de periode '87-'05 .....                                     | 14 |
| Figuur 3  | Aantal vorstdagen ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) in de winter (dec.-feb.) en het voorjaar (mrt-mei) in de periode 1987-2005..... | 14 |
| Figuur 4  | Aantal hittedagen ( $T \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) tijdens het vegetatieseizoen (apr.-sep.) in de periode 1987-2005 .....      | 15 |
| Figuur 5  | PCA-analyse van de depositie in bosvitaliteitsproefvlakken met grove den.....                                                 | 17 |
| Figuur 6  | PCA-analyse van de depositie in bosvitaliteitsproefvlakken met zomereik.....                                                  | 17 |
| Figuur 7  | Conceptueel model van de relaties tussen de variabelen in het bosvitaliteitsmeetnet.....                                      | 18 |
| Figuur 8  | Gemiddeld naaldverlies grove den in de periode 1987-2005 (gemNnv: gemiddeld netto-naaldverlies).....                          | 19 |
| Figuur 9  | Gemiddeld naaldverlies grove den in de periode 1987-2005, opgesplitst per proefvlak.....                                      | 20 |
| Figuur 10 | Resultaat modelbouw: model 1 grove den (donkere lijn: model 1, groene lijn: stapmodel) .....                                  | 24 |
| Figuur 11 | Residu-analyse van model 1 - grove den .....                                                                                  | 25 |
| Figuur 12 | Gefit model per plot (model 1 - grove den).....                                                                               | 26 |
| Figuur 13 | Gefit model per plot (stapmodel - grove den).....                                                                             | 26 |
| Figuur 14 | Testen residu's met weggelaten variabelen (model 1 - grove den) .....                                                         | 27 |
| Figuur 15 | Gemiddeld bladverlies zomereik in de periode 1987-2005 (gemNnv: gemiddeld bladverlies).....                                   | 30 |
| Figuur 16 | Gemiddeld bladverlies zomereik in de periode 1992-2005, opgesplitst per proefvlak.....                                        | 31 |
| Figuur 17 | Normaliteit van de residu's bij model 0 - zomereik.....                                                                       | 33 |
| Figuur 18 | Residu analyse bij model 1 - zomereik .....                                                                                   | 35 |
| Figuur 19 | Residu's model 1 in vergelijking met weggelaten variabelen (model 1 - zomereik).....                                          | 38 |

## Lijst van tabellen

|         |                                                                   |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 | Geselecteerde variabelen kroonbeoordeling .....                   | 7  |
| Tabel 2 | Geselecteerde bodemvariabelen.....                                | 9  |
| Tabel 3 | Definitieve lijst van geselecteerde bodemvariabelen.....          | 10 |
| Tabel 4 | Meteorologische variabelen .....                                  | 12 |
| Tabel 5 | Definitief geselecteerde klimaatvariabelen .....                  | 13 |
| Tabel 6 | Geselecteerde variabelen voor depositie.....                      | 16 |
| Tabel 7 | Aantal geselecteerde proefvlakken met minstens 5 zomereiken ..... | 30 |

## Bijlagen

### BIJLAGE 1

#### PLOTKARAKTERISTIEKEN

Weerhouden proefvlakken met minstens 5 grove dennen in de steekproef van het bosvitaliteitsmeetnet (toestand 2005)

| <b>nr.<br/>proefvlak</b> | <b>plaats</b> | <b>aantal ex.<br/>groe den</b> |
|--------------------------|---------------|--------------------------------|
| 102                      | Zerkegem      | 24                             |
| 103                      | Hertsberge    | 24                             |
| 203                      | Oosteklo      | 24                             |
| 206                      | Moerbeke      | 24                             |
| 403                      | Averbode      | 24                             |
| 406                      | Deurne        | 24                             |
| 502                      | Brasschaat    | 24                             |
| 505                      | Schilde       | 24                             |
| 506                      | Oostmalle     | 24                             |
| 507                      | Oelegem       | 24                             |
| 602                      | Beerse        | 24                             |
| 603                      | Arendonk      | 12                             |
| 701                      | Houthalen     | 12                             |
| 703                      | Opglabbeek    | 24                             |
| 802                      | Zutendaal     | 22                             |
| 803                      | Gellik        | 24                             |
| 902                      | Leopoldsburg  | 24                             |

Weerhouden proefvlakken met minstens 5 zomereiken in de steekproef van het bosvitaliteitsmeetnet (toestand 2005)

| <b>nr.<br/>proefvlak</b> | <b>plaats</b>    | <b>aantal ex.<br/>zomereik</b> |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| 101                      | Wijtschate       | 6                              |
| 111                      | Ieper            | 23                             |
| 112                      | Torhout          | 17                             |
| 201                      | Maldegem         | 22                             |
| 205                      | Gontrode         | 15                             |
| 207                      | Serskamp         | 24                             |
| 211                      | Wortegem-Petegem | 21                             |
| 213                      | Maldegem         | 8                              |
| 214                      | Maarkedal        | 6                              |
| 302                      | Halle            | 9                              |
| 311                      | Meise            | 22                             |
| 402                      | Perk             | 17                             |
| 404                      | Binkom-Lubbeek   | 8                              |
| 413                      | Lubbeek          | 12                             |
| 415                      | Tielt-Winge      | 20                             |
| 416                      | Zoutleeuw        | 6                              |
| 501                      | Kapellen         | 9                              |
| 504                      | Brecht           | 24                             |
| 508                      | Pulle            | 5                              |
| 512                      | Schilde          | 7                              |
| 514                      | Zandhoven        | 24                             |
| 515                      | Zoersel          | 24                             |
| 516                      | Herentals        | 22                             |
| 601                      | Merksplas        | 6                              |
| 611                      | Beerse           | 24                             |
| 612                      | Herselt          | 18                             |

|     |                   |    |
|-----|-------------------|----|
| 613 | Ravels            | 6  |
| 702 | Kinrooi           | 24 |
| 711 | Houthalen         | 22 |
| 712 | Meeuwen-Gruitrode | 13 |
| 811 | Genk              | 24 |

Legende kenmerken proefvlakken (volgende tabellen)

|         |                                                                                   |                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| plot    | volgnr. proefvlak                                                                 |                                         |
| naam    | gemeente/deelgemeente                                                             |                                         |
| gemengd | 0 homogeen<br>1 gemengd                                                           | > 17 ex. z.eik of gr.den                |
| eig     | eigenaarscategorie<br>1 openbaar<br>2 privé (incl. natuurvereniging)              |                                         |
| dunning | dunningen uitgevoerd voor winter 2004-2005<br>0 geen dunning(en)<br>1 dunning(en) |                                         |
| bosopp  | bosoppervlakte<br>1 klein<br>2 middelgroot<br>3 groot                             | < 5 ha<br>5 - ong.40 ha<br>> ong. 40 ha |
| bosrand | afstand tot bosrand<br>1 dicht<br>2 nabij<br>3 veraf                              | < 50 m<br>50-100 m<br>> 100 m           |
| oudbos  | 0 geen ferrarisbos<br>1 ferrarisbos                                               |                                         |
| landbs  | landbouwkundige streek<br>1 zandleemstreek<br>2 zandstreek<br>3 kempen            |                                         |

Kenmerken van de weerhouden proefvlakken met zomereik (zie legende in voorgaande tabel)

| plot | naam                 | gemengd | eig | dunning | bosopp | bosrand | oudbos | landbs |
|------|----------------------|---------|-----|---------|--------|---------|--------|--------|
| 101  | Wijtschate           | 1       | 2   | 0       | 1      | 1       | 1      | 1      |
| 111  | Ieper                | 0       | 1   | 0       | 3      | 2       | 1      | 1      |
| 112  | Torhout              | 1       | 1   | 0       | 3      | 3       | 1      | 2      |
| 201  | Maldegem             | 0       | 2   | 1       | 2      | 1       | 1      | 2      |
| 205  | Gontrode             | 1       | 1   | 0       | 2      | 1       | 1      | 1      |
| 207  | Serskamp             | 0       | 2   | 0       | 3      | 1       | 1      | 2      |
| 211  | Wortegem-Petegem     | 0       | 2   | 0       | 3      | 2       | 1      | 2      |
| 213  | Maldegem             | 1       | 2   | 0       | 2      | 1       | 1      | 2      |
| 214  | Maarkedal            | 1       | 1   | 1       | 2      | 3       | 1      | 1      |
| 302  | Halle                | 1       | 1   | 0       | 3      | 1       | 1      | 1      |
| 311  | Meise                | 0       | 2   | 0       | 2      | 2       | 1      | 1      |
| 402  | Perk                 | 1       | 1   | 1       | 3      | 3       | 1      | 1      |
| 404  | Binkom-Lubbeek       | 1       | 1   | 1       | 3      | 2       | 1      | 1      |
| 413  | Lubbeek              | 1       | 2   | 0       | 2      | 1       | 1      | 1      |
| 415  | Tielt-Winge          | 0       | 1   | 0       | 3      | 3       | 0      | 1      |
| 416  | Zoutleeuw            | 1       | 2   | 1       | 3      | 2       | 0      | 1      |
| 501  | Kapellen             | 1       | 2   | 0       | 2      | 1       | 0      | 3      |
| 504  | Brecht               | 0       | 1   | 1       | 3      | 2       | 0      | 3      |
| 508  | Pulle                | 1       | 2   | 0       | 3      | 1       | 0      | 3      |
| 512  | Schilde              | 1       | 2   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |
| 514  | Zandhoven            | 0       | 2   | 1       | 2      | 1       | 0      | 3      |
| 515  | Zoersel              | 0       | 2   | 0       | 3      | 1       | 1      | 3      |
| 516  | Herentals            | 0       | 1   | 0       | 3      | 1       | 0      | 3      |
| 601  | Merkspas             | 1       | 1   | 1       | 2      | 2       | 0      | 3      |
| 611  | Beerse               | 0       | 1   | 0       | 2      | 3       | 0      | 3      |
| 612  | Herselt              | 0       | 2   | 1       | 3      | 2       | 0      | 3      |
| 613  | Ravels               | 1       | 2   | 0       | 1      | 1       | 0      | 3      |
| 702  | Kinrooi              | 0       | 1   | 1       | 3      | 2       | 0      | 3      |
| 711  | Houthalen-Helchteren | 0       | 2   | 0       | 1      | 2       | 0      | 3      |
| 712  | Meeuwen-Gruitrode    | 1       | 1   | 0       | 3      | 1       | 0      | 3      |
| 811  | Genk                 | 0       | 1   | 1       | 3      | 2       | 1      | 3      |

Kenmerken van de weerhouden proefvlakken met grove den (legende in voorgaande tabel)

| plot | naam         | gemengd | eig | dunning | bosopp | bosrand | oudbos | landbs |
|------|--------------|---------|-----|---------|--------|---------|--------|--------|
| 102  | Zerkegem     | 0       | 2   | 1       | 3      | 2       | 0      | 2      |
| 103  | Hertsberge   | 0       | 1   | 1       | 3      | 1       | 0      | 2      |
| 203  | Oosteeklo    | 0       | 2   | 0       | 2      | 1       | 0      | 2      |
| 206  | Moerbeke     | 0       | 2   | 0       | 1      | 1       | 1      | 2      |
| 403  | Averbode     | 0       | 2   | 0       | 2      | 1       | 0      | 3      |
| 406  | Deurne       | 0       | 2   | 1       | 2      | 1       | 1      | 3      |
| 502  | Brasschaat   | 0       | 1   | 1       | 3      | 2       | 0      | 3      |
| 505  | Schilde      | 0       | 2   | 0       | 3      | 1       | 0      | 3      |
| 506  | Oostmalle    | 0       | 1   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |
| 507  | Oelegem      | 0       | 2   | 1       | 1      | 1       | 0      | 3      |
| 602  | Beerse       | 0       | 1   | 1       | 3      | 1       | 0      | 3      |
| 603  | Arendonk     | 1       | 1   | 1       | 2      | 2       | 0      | 3      |
| 701  | Houthalen    | 1       | 1   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |
| 703  | Opglabbeek   | 0       | 1   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |
| 802  | Zutendaal    | 0       | 1   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |
| 803  | Gellik       | 0       | 1   | 1       | 3      | 2       | 0      | 3      |
| 902  | Leopoldsburg | 0       | 1   | 1       | 3      | 3       | 0      | 3      |

## BIJLAGE 2

### VARIABELEN KROONBEOORDELING

**Proefvlak:** De meeste proefvlakken werden in 1987 of in 1995 ingericht. In enkele proefvlakken startte de inventarisatie in 1988, in een ander proefvlak in 1991. In de loop van de inventarisatieperiode verdwenen een aantal proefvlakken. De gegevens van deze proefvlakken werden niet weerhouden.

**Boomnummer:** Volgnummer van de bomen. In principe per proefvlak van 1 tot 24. Van zodra een boom gekapt, afgestorven of verdrongen is, wordt die vervangen. De vervanger krijgt een nieuw volgnummer, vanaf 25. Alle bomen werden in de analyse betrokken, dus niet enkel de bomen die de ganse periode in de bosvitaliteitsinventaris voorkwamen.

**Boomsoort:** Elke boomsoort heeft een internationaal soortnummer (referentie: Flora Europaea, manual ICP-Forests). Per proefvlak is een boomsoort voldoende vertegenwoordigd wanneer er minstens 5 exemplaren van de soort geselecteerd zijn. In uitzonderlijke gevallen komt het voor dat proefvlakken na verloop van tijd geen 5 bomen van een bepaalde soort meer bevatten. Dit is bijvoorbeeld het geval in het proefvlak Lanaken (pv 812), waar na enkele dunningen minder dan 5 genummerde grove dennen in de steekproef bleven.

**Jaar:** Jaar van de waarneming

**Omtrek:** De boomomtrek wordt tijdens de inventarisatie op 1,3 m hoogte gemeten. Uit de omtrektoename kan de jaarlijkse groei bepaald worden (cm).

**Naaldjaargangen:** aantal naaldjaargangen bij naaldbomen

Bruto naaldverlies: Percentage naaldverlies zoals op het terrein ingeschat. Wordt gecompenseerd naargelang het bloei-effect.

Netto naaldverlies/bladverlies: Belangrijkste criterium bij de kroonbeoordeling. Varieert van 0 tot 100% (dood). In stappen van 5% toegekend. Het netto naaldverlies wordt berekend uit het bruto naaldverlies en het bloei-effect.

Verkleuring: gedeelte van de kroon dat verkleuring vertoont

0 = 0-10% van de boomkroon met verkleuringverschijnselen

1 = 11-25%; 2 = 26-60%; 3 = 61-99%; 4 = 100% (dood)

Kroonsterfte: Aandeel dode twijgen en takken in de kroon

0 = geen; 1 = 1-10%; 2 = 11-30%; 3 = >30%

Waterscheuten: 0 = geen; 1 = enkel op de stam; 2 = enkel in de kroon; 3 = op de stam en in de kroon

Scheuren: 0 = geen scheurvorming op de stam; 1 = minstens 1 scheur

Slijm/-harsuitvloeï: 0 = geen uitvloeï; 1 = uitvloeï

Exploitatieschade: 0 = geen exploitatieschade; 1 = exploitatieschade

Insectenaantasting:

0 = geen aantasting

1 = 1-20% van de kroon aangetast

2 = 21-40% van de kroon aangetast

3 = >40% van de kroon aangetast

Schimmelinfectie (bladschimmels, vruchtlichamen op stam, andere symptomen):

0 = geen schimmelinfectie; 1 = schimmelinfectie vastgesteld

Opgerolde bladeren: 0 = geen opgerolde bladeren; 1 = opgerolde bladeren aanwezig

Zaadzetting: niet van toepassing (pas vanaf 2004 opgevolgd)

Leeftijd: Bij de start van de inventarisatie werd de leeftijd van de bomen geschat. Voor de analyse werd de leeftijd in één referentiejaar als basis genomen. Als referentiejaar werd 2005 genomen.

Leeftijdsklasse: klasse 1 = 0-20 jr., klasse 2 = 21-40 jr., ..., kl. 7 = >120 jr.).

Team: Enerzijds wordt het INBO als één team beschouwd. Onder de noemer niet-INBO vallen alle externe medewerkers (beoordelingsteams ANB).

## BIJLAGE 3

### BODEM- en STROOISELVARIABLEN

De data zijn beschikbaar voor de minerale lagen 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm en 40-80 cm en de strooisellaag. De strooisellaag bevat meestal de F+H laag. In een aantal gevallen werden L, F en H-laag afzonderlijk geanalyseerd (of L en F+H afzonderlijk).

#### parameterlijst:

- Mod-N (g/kg): Modified Kjeldahl stikstof
- pH-H<sub>2</sub>O
- pH-CaCl<sub>2</sub>
- TOC (g/kg): totale organische koolstof met TOC analyser
- Exch. Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn: uitwisselbare elementen met BaCl<sub>2</sub> (cmol(+)/kg)
- Extr. P, S (mg/kg): Aqua regia extraheerbare concentratie
- Zware metalen: Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb (mg/kg): Aqua regia extraheerbare concentratie
- Uitwisselbare zuurheid (cmol(+)/kg): titratie van BaCl<sub>2</sub>-extract
- Vrije H<sup>+</sup>: (cmol(+)/kg): titratie van BaCl<sub>2</sub>-extract
- CEC, BCE, BS: som kationen, som basische kationen, basenverzadiging
- Textuur (Belgisch, USDA): uit de bodemkartering

In totaal zijn er minstens 25 parameters per proefvlak en per laag. In de meeste proefvlakken werden 6 lagen (5 bodem- en 1 strooisellaag) onderscheiden.

Voor het project 'Dynamische modellering van streeflasten voor bossen in Vlaanderen' werden gemiddelden voor de minerale bodem tot 50 cm diep berekend en het aantal parameters werd beperkt tot onderstaande lijst. De L-laag werd slechts zelden geanalyseerd en daarom werd deze niet meegerekend. Indien F- en H-laag afzonderlijk geanalyseerd werden, werden de data samengebracht. Er werden dus gemiddelden berekend voor F+H-laag en voor de minerale laag tot 50 cm diep (Staelens, 2006).

#### **0-50 cm:**

*De 50 cm is voor het project 'Target Loads' gekozen als de diepte van de bewortelde zone, vnl. in analogie met de kritische lasten studie voor bos van Langouche et al. (2001).*

- dichtheid (g/cm<sup>3</sup>)
- pH-CaCl<sub>2</sub>
- pH-H<sub>2</sub>O
- mCEC (measured CEC)
- cCEC (meq/100g) (calculated CEC): *deze CEC werd gebruikt v*
- Ex-Bc
- Ex-Al
- Ex-rest (Fe, Mn, H<sup>+</sup>, Na): *normaal wordt Na bij de basische kationen gerekend, voor het 'Target Loads project' werd dit niet gedaan*
- %C

**0-20 cm (stocks):**

De 20 cm voor C, N en C/N werd opgelegd door de kritische lasten handleiding. De hoeveelheid uitwisselbare Ca/Mg/K werden berekend voor de bovenste 20 cm om te kunnen vergelijken met analyseresultaten van 1993.

- C-voorraad (g/m<sup>2</sup>)
- N-voorraad (g/m<sup>2</sup>)
- C/N (-)
- dichtheid (g/cm<sup>3</sup>)
- Exch Ca (keq/ha), Exch Mg (keq/ha), Exch K (keq/ha): *voorraad uitwisselbare basische kationen (K + Ca + Mg)*

De dichtheid is belangrijk voor het berekenen van gewogen gemiddelden en voor het berekenen van voorraden (stocks). Deze parameter werd verder niet gebruikt.

Referentie voor berekening gemiddelde concentraties: Rapport 'Dynamische modellering van streeflasten voor bossen in Vlaanderen', INBO.R.2006.12 (p. 43).

**strooisellaag (F+H):**

- pH-CaCl<sub>2</sub>
- pH-H<sub>2</sub>O
- gewicht strooisel (g/m<sup>2</sup>)
- C (g/m<sup>2</sup>)
- N(g/m<sup>2</sup>)
- C/N (-)

In totaal werden drie C/N-verhoudingen berekend:

- C/N FH (zie strooisellaag)
- C/N topsoil (zie 0-20 cm)
- **C/N FH+topsoil** *De voorkeur ging naar deze C/N verhouding (gewogen gemiddelde van bodem en strooisellaag). C/N is meest gebruikte parameter, deze hangt deels samen met bodemtextuur en boomsoort (Staelens, 2006: Tabel 5.14, p 57)*

Extra parameters:

- **basenverzadiging** van de bodemlaag (0-50 cm) (= verhouding Ex-BC op cCEC)
- **strooiselindex** voor zware metalen
- **textuur** uit de bodemserie: zandig, lemig, kleilig

Meer info over de strooiselindex voor zware metalen staat in NARA2005 (p. 219). De SMCI = strooisel metaal concentratie-index of SMPI strooisel metaal pool index, duidt de graad van verontreiniging aan op een schaal van 0 tot 1. De index is gebaseerd op de concentratie van de zes geanalyseerde zware metalen. De data voor de Level I-plots, die gebruikt werden voor de bijdrage in het NARA, werden door het FSCC (Forest Soil Co-ordinating Centre) berekend.

## BIJLAGE 4

### METEOROLOGISCHE DATA

- totale neerslag per maand
- aantal dagen zonder neerslag per maand
- Tmin: gemiddelde minimumtemperatuur
- Tmax: gemiddelde maximumtemperatuur
- nTH: aantal hittedagen ( $T \geq 25^{\circ}\text{C}$ )
- nTV: aantal vorstdagen ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ )
- som\_TH: hitte-index: som van de maximumtemperaturen voor dagen met minstens  $25^{\circ}\text{C}$  als maximumtemperatuur
- som\_TV: vorst-index: som van de minimumtemperaturen voor dagen met minimumtemperatuur  $< 0^{\circ}\text{C}$ .
- totale neerslag tijdens vegetatieseizoen (van 1 april tot en met 30 september)
- totale neerslag tijdens het voorjaar (van 1 maart tot en met 31 mei)
- totaal aantal dagen zonder neerslag in het vegetatieseizoen (apr.-sep.)
- totaal aantal dagen zonder neerslag in het voorjaar (maart-mei)
- aantal hittedagen in het voorjaar (maart-mei)
- hitte-index in het voorjaar (maart-mei)
- aantal hittedagen in het vegetatieseizoen (apr.-sep.)
- hitte-index in het vegetatieseizoen (apr.-sep.)
- aantal vorstdagen in het voorjaar (maart-mei)
- vorst-index in het voorjaar (maart-mei)
- aantal vorstdagen in de winter (van 1 december tot en met 28 (29) februari)
- vorst-index in de winter (dec.-feb.)

## BIJLAGE 5

### **GEMODELLEERDE DEPOSITIEDATA**

- 1 kritische last voor nutriënt-stikstof (CLnutN)
- 1 kritische lastfunctie (CLF) voor verzuring
- 3 streeflastfuncties (TLF) voor verzuring (voor drie doeljaren 2030, 2050 en 2100) met EMEP-depositiedata
- 3 streeflastfuncties voor verzuring (voor drie doeljaren 2030, 2050 en 2100) met OPS-depositiedata
  
- 2 overschrijdingen CLnutN: door verwachte EMEP-depositie in 2010 en door OPS-depositie in 2002-2004
- 2 overschrijdingen CLF verzuring: door verwachte EMEP-depositie in 2010 en door OPS-depositie in 2002-2004
- 3 overschrijdingen EMEP-TLFs door verwachte EMEP-depositie in 2010
- 3 overschrijdingen OPS-TLFs door OPS-depositie in 2002-2004