



---

# Onderzoek naar de relatie van eikensterfte met droogte en bodemchemie

A. Oosterbaan, R. Bobbink en M. Decuyper



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

---





---

# Onderzoek naar de relatie van eikensterfte met droogte en bodemchemie

A. Oosterbaan <sup>1</sup>, R. Bobbink <sup>2</sup> en M. Decuyper <sup>3</sup>

1 Alterra, Wageningen UR

2 Onderzoekcentrum B-Ware Nijmegen

3 WUR Forest Ecology & Forest Management Group

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema Biodiversiteit terrestrisch.

Alterra Wageningen UR

Wageningen, november 2014

---

Alterra-rapport 2575

ISSN 1566-7197

---

Oosterbaan, A., R. Bobbink en M. Decuyper, 2014. *Onderzoek naar de relatie van eikensterfte met droogte en bodemchemie*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2575. 30 blz.; 11 fig.; 6 tab.; 11 ref.

Referaat In verband met verhevigde eikensterfte is onderzocht of er verband is tussen de eikensterfte en droogte en/of bodemchemie. Hiervoor is op tien locaties in een opstand met veel sterfte en een opstand met weinig sterfte de jaarringbreedte van de laatste 50 jaar vergeleken met weersgegevens van de dichtstbijzijnde weerstations, de hoeveelheid fijne wortels op 0-25 cm en 25-50 cm diepte bepaald en aan de hand van grondmonsters de bodemchemie gekarakteriseerd. Uit dit onderzoek is gebleken dat er een duidelijk verband is tussen de van tijd tot tijd optredende sterke groeivermindering van eiken en droogteperiodes. Niet alle sterke groeiverminderingen zijn hiermee te verklaren. Er zijn aanwijzingen dat het aantal vorstdagen in de lente ook een rol speelt. In opstanden met veel sterfte zitten gemiddeld bovenin het bodemprofiel meer wortels en onderin minder dan in opstanden met weinig sterfte. In opstanden met veel sterfte heeft de bodem in de meeste gevallen lagere gehalten aan uitwisselbaar Ca en/of K en/of Mg (dus een lagere buffercapaciteit). Het gehele proces van primaire oorzaken en secundaire factoren, die verantwoordelijk zijn voor de sterfte, is nog niet helder. Hiervoor is een breder en fundamenteeler onderzoek noodzakelijk. Voor het beheer van eikenbossen worden voorlopige adviezen gegeven.

Trefwoorden: zomereik, diktegroei, jaarringbreedte, fijne wortels, klimaat, basische kationen, bodemverzuring

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Het rapport is gecontroleerd door Dr. Ute Sass-Klaassen (Wageningen University/ Forest Ecology and Forest Management).



---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Doel en werkwijze</b>	<b>8</b>
	2.1 Doel van het project	8
	2.2 Werkwijze en uitvoering	8
<b>3</b>	<b>De diktegroei</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Correlatie tussen groei en droogte</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Correlatie tussen de hoeveelheid fijne wortels en de vitaliteit van de opstand</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Bodemchemie en de sterfte van zomereik</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Synthese</b>	<b>23</b>
	7.1 Conclusies uit dit onderzoek	23
	7.2 Discussie	23
	7.3 Adviezen voor het beheer van eikenbossen	24
	<b>Literatuur</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage 1 Opstandsgegevens</b>	<b>27</b>
	<b>Bijlage 2 Methodiek bodemchemie</b>	<b>28</b>



---

# Samenvatting

Vanwege verhevigde eikensterfte in de laatste jaren is een onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen het sterftepercentage en droogte, de hoeveelheid fijne wortels en de bodemchemische toestand. Vervolgens is gekeken wat hieruit kan worden geconcludeerd voor het toekomstig beheer van eikenbossen en hun voortbestaan.

Op tien locaties zijn een opstand met veel sterfte en een opstand met weinig sterfte met elkaar vergeleken. In elke opstand is in een proefvlak van 30 x 30 m het sterftepercentage vastgesteld en zijn steeds van drie heersende bomen boorkernen genomen en rondom deze drie bomen grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid fijne wortels op 0-25 cm en 25-50 cm diepte. Voorts zijn grondmonsters (mengmonster van 3 boringen) genomen van 0-20 cm voor de bodemchemische karakterisering.

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Er is een duidelijk verband tussen de van tijd tot tijd optredende groeivermindering van eiken en droogteperioden;
- Op de nattere bodemtypen zijn niet alle jaren met een sterke groeivermindering hiermee te verklaren;
- Er zijn aanwijzingen dat temperatuur (bijvoorbeeld het aantal vorstdagen in de lente) ook een rol speelt in de diktegroei van de zomer;
- In opstanden met veel sterfte zitten gemiddeld bovenin het bodemprofiel meer wortels en onderin minder dan in opstanden met weinig sterfte;
- In opstanden met veel sterfte heeft de bodem in de meeste gevallen lagere gehalten aan uitwisselbaar Ca en/of K en/of Mg (dus een lagere buffercapaciteit). Ook het Mn-gehalte en P-water is vaak lager.

Het gehele proces van primaire oorzaken en secundaire factoren, die verantwoordelijk zijn voor de sterfte, is nog niet helder. Hiervoor is een breder en fundamenteeler onderzoek noodzakelijk.

Voor het beheer van eikenbossen worden voorlopig de volgende adviezen gegeven:

- Plant nu geen of weinig eiken aan op zure, droogtegevoelige gronden met weinig basische kationen;
- Plant de eik gemengd met andere boomsoorten aan;
- Zorg dat de waterhuishouding op orde blijft;
- Merk de bij dunning te verwijderen bomen (blessen) in de tweede helft van juli of augustus;
- Haal niet ineens een onderetage van beuk of haagbeuk weg;
- Verbeter in eikenbossen met sterfte en een lage pH de buffercapaciteit in de bodem met een bemesting met calcium, kalium en magnesium (Dolokal of steenmeel en patentkali);
- Overweeg het onderplanten van zwaar aangetaste eikenbossen met een andere boomsoort, in combinatie met bemesting van de benodigde elementen.





---

# 1 Probleemstelling

De laatste jaren is er sprake van verhevigde sterfte van zomereiken in bossen en parken (Oosterbaan 2013). Eikensterfte kan de functievervulling van Nederlandse bossen in gevaar brengen, door schade aan de Natura2000-habitattypes beuken-eikenbossen met hulst (H9120), eiken-haagbeukbossen (H9160) en oude eikenbossen (H9190), aan landschap en recreatie, en aan het bosbedrijf dat in korte tijd veel (relatief jonge) eiken moet oogsten.

Vanuit het beleid is daarom behoefte aan meer duidelijkheid over de oorzaken.

Eikensterfte is een fenomeen dat al sinds ca. 1983 in ons land (maar ook in vele andere landen van Europa) optreedt (Oosterbaan en Borgesius 1986). De verklaring is toen gezocht in een combinatie van factoren, waaronder ongunstige weersomstandigheden (droogte en/of wateroverlast, vorst), herhaalde kaalvraat door insecten waardoor de eiken verzwakken en gevoelig worden voor secundaire aantasters, zoals honingzwam. Vanaf het begin van de eikensterfte (de jaren 1983/1984) komen de hoge sterftepercentages met name voor op nattere gronden met een sterk fluctuerende grondwaterstand (Oosterbaan *et al.* 1990). In een later stadium bleek dat de eikenprachtkever als secundair insect (dus ook op verzwakte bomen) een aanzienlijke rol kan spelen (Moraal 1997). Onderzoekcentrum B-Ware (Nijmegen) onderzocht de mineralenhuishouding van een aantal eikenbossen in het zuiden van Nederland en vond aanwijzingen dat een verstoorde mineralenhuishouding als gevolg van verzuring mede ten grondslag kan liggen aan de vitaliteitsproblemen van de eiken (Lucassen *et al.* 2014).

Er zijn dus meerdere mogelijke primaire oorzaken (verstoorde minerale huishouding, droogte en/of wateroverlast, herhaalde kaalvraat) en meerdere secundaire factoren (eikenprachtkever, honingzwam), maar hoe oorzaken en gevolgen precies in elkaar grijpen is niet duidelijk. In het totale verhaal zitten duidelijk nog kennisleemten.

Omdat met name zomereiken de laatste decennia gevoeliger lijken voor droogte (o.a. omdat sterfte de laatste tijd ook meer voor op hogere zandgronden voorkomt) en daar nog niet specifiek naar is gekeken is het gewenst hiernaar onderzoek te verrichten. De veronderstelde toegenomen droogtegevoeligheid van eiken zou enerzijds kunnen worden veroorzaakt doordat ze tegenwoordig meer verdampen, anderzijds doordat ze minder water kunnen opnemen. Een grotere verdamping is door de toenemende bladvraat door insecten niet waarschijnlijk. Een mogelijk afgenomen wateropnamecapaciteit zou veroorzaakt kunnen worden door afname van de hoeveelheid fijne wortels (hierop zitten ook de in symbiose met de eik levende mycorrhizas die de eik helpen bij de opname van water en mineralen). Daarom is het van belang een verkennend onderzoek uit te voeren naar de fijne wortels.

Tenslotte is het van belang meer inzicht te krijgen in de betekenis van de bodemchemische toestand van eikenbossen en de mogelijke rol bij de waargenomen verhoogde sterfte.

---

## 2 Doel en werkwijze

### 2.1 Doel van het project

Het uitgevoerde project heeft als doel gehad om de volgende vragen te beantwoorden:

- In hoeverre is de diktegroei van zomereiken gecorreleerd met droogte tijdens of voor het groeiseizoen?
- Wat is de correlatie tussen de hoeveelheid fijne wortels en het sterftepercentage van eikenopstanden?
- Wat is de correlatie tussen bodemchemische toestand en het sterftepercentage?
- Wat kan hieruit worden geconcludeerd voor het toekomstig beheer van eikenbossen en hun voortbestaan?

### 2.2 Werkwijze en uitvoering

In de eerste plaats is onderzocht in hoeverre de diktegroei van zomereiken op standplaatsen met verschillende bodemeigenschappen gecorreleerd is met optredende perioden van droogte. Hiervoor zijn 10 bosgebieden met eik in vijf provincies geselecteerd. Per gebied is een opstand (in de leeftijdsklasse 50-100 jaar) met relatief veel sterfte en een opstand met relatief weinig sterfte geselecteerd. In elke opstand zijn drie zo vitaal mogelijke eiken voor jaarringonderzoek bemonsterd. Deze opstanden zijn geselecteerd op basis van de landelijke inventarisatie van eikensterfte in 2013 (Oosterbaan 2013), aangevuld met eerdere voorstudies door B-WARE (Lucassen *et al.* 2013; Van den Berg *et al.* 2013). In eerste instantie zijn gebieden geselecteerd waar in 2013 veel sterfte is gemeld; hier is vervolgens in overleg met de beheerder een opstand met veel sterfte en een opstand met weinig sterfte bij gezocht. Tabel 1 geeft een overzicht van de onderzochte opstanden, hun stamtal en het sterftepercentage (het stamtal en sterftepercentage zijn vastgesteld in een proefvlak van 30 x 30 meter).

In elke opstand zijn vervolgens drie vitale bomen (in de opstanden met sterfte zo vitaal mogelijke bomen) geselecteerd. Van deze bomen is telkens een boorkern genomen waaraan de jaarlijkse diktegroei van de laatste 40-100 jaar is geanalyseerd. De ontwikkeling in de diktegroei is vervolgens gecorreleerd met de lokale gegevens over neerslag en temperatuur tot zover in het verleden als er data beschikbaar zijn.

In dit meer verkennend onderzoek is gekeken naar de fijne wortels. Hiervoor zijn steeds random rond de drie op diktegroei onderzochte bomen op 3 plekken bodemmonsters (met een gutsboor met een doorsnede van 19 mm, 0-25 cm en 25-50 cm diep) genomen. Van deze monsters is de hoeveelheid fijne wortels (< 2 mm; dood en levend) onderzocht, door ze uit te zeven, te wassen, te drogen (24 u, temp. 70°C) en te wegen.

De bodemchemische toestand is onderzocht door en op het lab van onderzoekcentrum B-Ware (Nijmegen). Hiervoor is per opstand een mengmonster (n=3) genomen van 2 lagen: 0-20 en 40-60 cm. Deze monsters zijn geanalyseerd op pH, het uitwisselbare deel van de kationen (Ca, K en Mg), de voor de bomen beschikbare ammonium- en nitraatconcentraties en de elementen Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si en Zn. Zie bijlage 2 voor een beschrijving van de methodiek.



---

**Tabel 2.1***De onderzochte opstanden, hun stamtaal en sterftepercentage.*

opstand	sterfte	n/ha	sterfte%
Aarnink 2j	weinig	180	0
Aarnink 2a	veel	100	67
Amerongen Rijnzijde	weinig	656	24
Amerongen 4b	veel	844	45
Hardenberg 1	weinig	333	7
Hardenberg 2	veel	720	42
Hoenderloo 366D	weinig	267	4
Hoenderloo 378A	veel	333	23
Liesbos 8f	weinig	544	12
Liesbos 12b	veel	300	41
Maasduinen 1	weinig	420	5
Maasduinen 2	veel	540	33
Oostereng 66e	weinig	211	0
Oostereng 36s	veel	344	23
Roggebotzand 464D	weinig	489	0
Roggebotzand 463C	veel	267	35
Slangenburg 1	weinig	278	0
Slangenburg 2	veel	111	40
Vught 1	weinig	200	15
Vught 2	veel	120	45

Op basis van de gevonden resultaten zijn verdere, voorlopige adviezen opgesteld voor het beheer van zomereikenbossen.

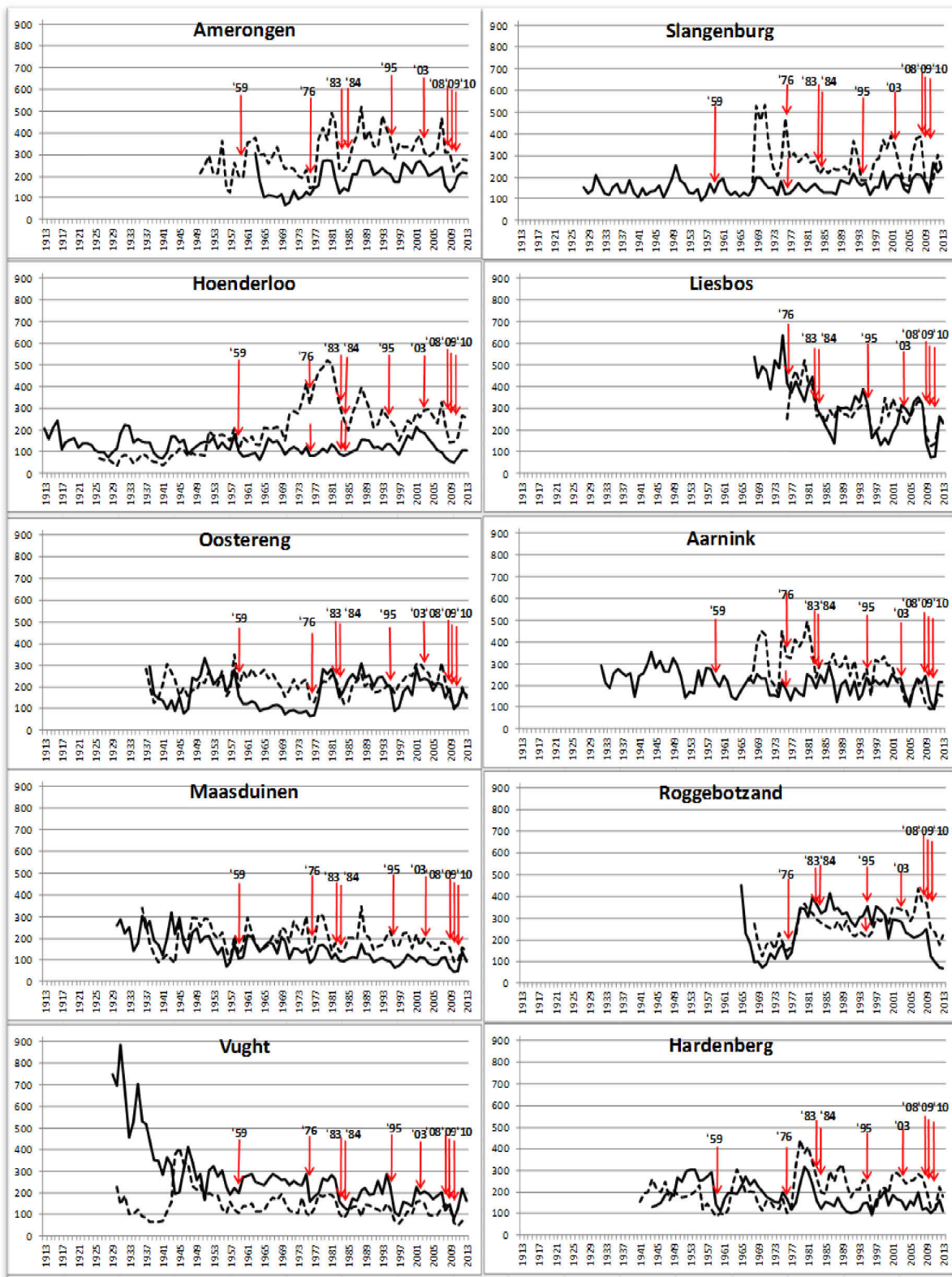
---

## 3 De diktegroei

De ontwikkeling van de jaarringbreedte van de onderzochte bomen is weergegeven in Figuur 3.1. Per opstand is steeds het verloop van het gemiddelde van de drie onderzochte bomen weergegeven. De grafieken laten een vergelijkbaar groeipatroon van eiken in opstanden met veel en weinig sterfte per gebied zien. Opvallend dat bijna in alle gebieden (m.u.v. Vught) de radiale groei van eiken in opstanden met weinig sterfte beter is. Hierbij moet wel worden opgemerkt, dat de verschillen gedeeltelijk ook aan andere effecten toe te schrijven zijn, zoals verschil in leeftijd (Slangenburger, Aarninck zijn ouder) en beheeringrepen in het verleden (bijvoorbeeld in 1977 in Oostereng en Amerongen). Echter, in de meeste gebieden is er de laatste decennia een systematisch verschil in jaarringbreedte tussen de opstanden met veel en weinig sterfte. Duidelijk is te zien dat de laatste 50 jaar de gemiddelde diktegroei van de bomen in de opstanden met veel sterfte wel parallel loopt aan die van de opstanden met weinig sterfte, maar wel steeds minder is geweest. In Figuur 3.1 is te zien dat dit geldt voor zes van de tien locaties. Bij enkele andere locaties (Liesbos, Roggebotzand en Oostereng) lopen de diktegroeilijnen door elkaar heen en in Vught groeide de opstand met veel sterfte zelfs beter dan de opstand met weinig sterfte.

Opvallend is dat de jaarringbreedte van veel eiken in opstanden met veel sterfte sinds 1959 (dit was een zeer droog jaar) onder die van de opstanden met weinig sterfte is geraakt en gebleven. Daarvoor lijken ze beter te hebben gegroeid, maar deze conclusie kan niet worden hard gemaakt omdat de curves van de gemiddelde groei voor de periode vóór 1959 niet op alle onderzochte opstanden gebaseerd is (sommige opstanden werden pas na 1959 aangelegd).

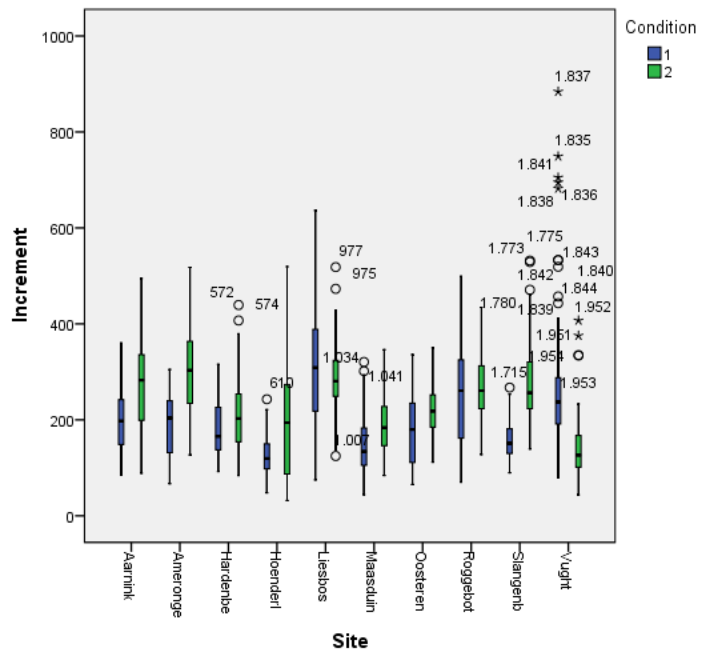
Figuur 3.2 geeft de resultaten van de Wilcoxon Signed Ranks Test weer: de gemiddelde jaarringbreedte, de mediaan en de spreiding. De spreiding is bij opstanden met veel sterfte veel groter dan bij opstanden met weinig sterfte. Uit de test is gebleken dat de gemiddelde jaarringbreedte over de periode van de laatste 50 jaar van de opstanden met veel sterfte significant minder is dan van opstanden met weinig sterfte ( $P < 0,001$ ; aantal waarnemingen = 625).



**Figuur 3.1** Gemiddelde jaarringbreedte in mm\*100 voor 3 eiken per opstand met veel sterfte (doorgetrokken lijn) en weinig sterfte (stippellijn); de rode pijlen duiden droge jaren aan.



Site		Veel-Weinig Sterfte
Aarnink	Z	-4,487 <sup>b</sup>
	P	.000
Amerongen	Z	-6,215 <sup>b</sup>
	P	.000
Hardenberg	Z	-2,710 <sup>b</sup>
	P	.007
Hoenderlo	Z	-5,222 <sup>b</sup>
	P	.000
Liesbos	Z	-1,291 <sup>b</sup>
	P	.197
Maasduinen	Z	-5,785 <sup>b</sup>
	P	.000
Oostereng	Z	-3,660 <sup>b</sup>
	P	.000
Roggebotzand	Z	-1,431 <sup>b</sup>
	P	.152
Slangenburg	Z	-5,810 <sup>b</sup>
	P	.000
Vught	Z	-7,261 <sup>c</sup>
	P	.000



**Figuur 3.2** De gemiddelde jaarringbreedte in opstanden met veel (conditie 1) en weinig sterfte (conditie 2) volgens de Wilcoxon Signed Ranks Test. De Figuur toont de dataverdeling (zogenaamd boxplot) met de mediaan (horizontale streep) en de box met de waarden tussen de 25- en 75-percentiel. De verticale lijnen tonen de standaardvariatie en de punten erboven vallen buiten de standaardvariatie limiet van 95%.

---

## 4 Correlatie tussen groei en droogte

De diktegroei van de onderzochte eiken is vergeleken met de weersgegevens van de dichtstbijzijnde weerstations van de KNMI, die data hebben verzameld over minimaal de laatste 50 jaar. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de geselecteerde stations.

---

Tabel 4.1

*De geselecteerde weerstations van KNMI.*

locatie	dichtstbijzijnde weerstation (data vanaf)
Aarnink	Twente (1951)
Amerongen	De Bilt (1902)
Hardenberg	Twente (1951)
Hoenderloo	Deelen (1951)
Liesbos	Gilze-Rijen (1951)
Maasduinen	Volkel (1951)
Oostereng	Deelen (1951)
Roggebotzand	De Bilt(1902)
Slangenburg	Twente (1951)
Vught	Volkel (1951)

In eerste instantie hebben we gekeken naar verbanden tussen sterke groeivermindering en droge jaren. De jaren met een extreem droge zomerperiode (juni, juli, augustus) waren 1959, 1976, 1983, 1984, 1995, en 2003 (KNMI-gegevens). Vooral in de jaren 1959 en 1976 trad veel droogteschade op aan landbouwgewassen doordat er een groot neerslagtekort optrad (verdamping meer dan neerslag). Het laatste decennium was dit was ook het geval in 2008, 2009 en 2010 (KNMI Weersgegevens).

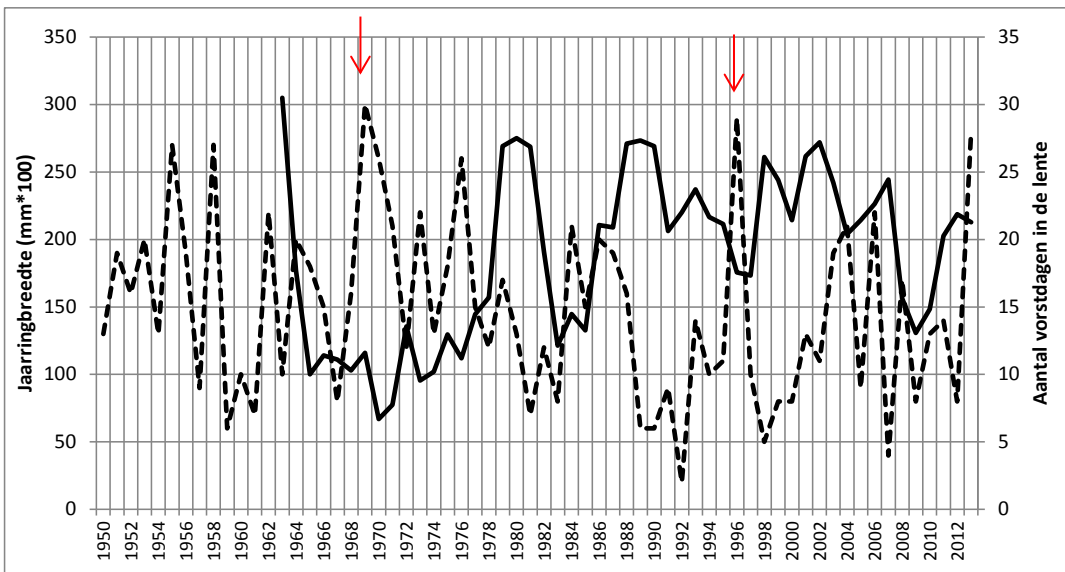
In Figuur 3.1 zijn de jaren met een droogteperiode in de het groeiseizoen in de jaarringrafieken van de afzonderlijke locaties aangeduid met een pijltje. In of direct na het jaar van droogte is in 90 % van de gevallen sprake van een groeivermindering. In de opstanden op hoge zandgronden (Amerongen, Hoenderloo, Oostereng en Maasduinen) is dit in alle droge jaren het geval. Op de relatief natte leemgronden (Slangenburg, Liesbos en Aarnink) is dit in een aantal jaren niet duidelijk het geval. Dit geldt ook voor Roggebotzand en Hardenberg (deze liggen op respectievelijk natte vaaggrond en veldpodzolgrond met bereikbaar grondwater). In de opstand met veel sterfte in Roggebotzand is volgens de beheerder de laatste jaren sprake geweest van vernatting (dit bleek niet uit de bodemboring).

Omdat het weer ook via temperatuur (met name voorjaarsvorst) of via extreem hoge neerslag in het groeiseizoen invloed kan hebben we met de data van de weerstations de correlatie onderzocht tussen de diktegroei en een aantal weersdata. We hebben achtereenvolgens gekeken naar de relatie tussen de diktegroei (jaarringbreedte) met:

- De hoeveelheid neerslag per groeiseizoen (maart t/m september).
- De hoeveelheid neerslag per lenteperiode (maart t/m mei).
- De lengteperiode van achtereenvolgende dagen met minder dan 2 mm neerslag.
- De maximale neerslag per dag in het groeiseizoen (maart t/m september).
- De gemiddelde temperatuur van het jaar.
- De gemiddelde temperatuur van het groeiseizoen.
- De maximum gemiddelde dagtemperatuur
- De minimum gemiddelde dagtemperatuur.
- Het aantal vorstdagen (temp onder nul) in het groeiseizoen.
- De minimum temperatuur in november (effect op het volgende jaar).

Per opstand is steeds gekeken in hoeverre de weersdata per jaar overeenkomen met de jaarringbreedte. Omdat de data geen normale verdeling vertonen is gebruik gemaakt van de niet-parametrische analyse test Kendall-Tau (vergelijkbaar met Spearman rang correlatie). De resultaten zijn vermeld in Tabel 4.2. In deze Tabel is, wanneer er sprake is van significantie, de correlatiecoëfficiënt weergegeven en de betrouwbaarheidswaarde (P-waarde). Factoren met een P-waarde die kleiner is dan 0,05 worden beschouwd als significant. Alle waarden erboven tonen geen correlatie aan.

Uit de test is gebleken dat er over de periode van de laatste 50 jaar (of over de periode dat er zowel jaarringen gemeten zijn als klimaatdata beschikbaar zijn) slechts op enkele locaties, enkele weerskenmerken een significant verband vertonen met de jaarringbreedte. Het lijkt er op dat de temperatuur i.h.a. meer verband houdt met de jaarringbreedte dan de neerslag. Een voorbeeld hiervan is de opstand met veel sterfte in Amerongen. Hier vertoont de jaarringbreedte een negatieve correlatie met het aantal vorstdagen in de lente: zie Figuur 4.1. In de jaren met veel vorstdagen in de lenteperiode (maart t/m mei) vertonen de eiken minder diktegroei.



**Figuur 4.1** Correlatie tussen aantal vorstdagen in de lente (stippellijn) en jaarringbreedte (doorgetrokken lijn) in de opstand met veel sterfte in Amerongen. De rode pijlen zijn enkele voorbeelden van jaren met veel late vorstdagen.



Tabel 4.2  
Resultaten van de Kendall-Tau-analyse (NS = niet significant).

Groei seizoenen											
Site	Conditie	Bodemtype	Temperatuur			Neerslag			Totaal	Dagelijks max.	Max. periode droogte dagen
			Gemiddeld	Gemiddeld min.	Gemiddeld max.						
Amerongen	Veel sterfte	Hoge zandgrond	26/0.007	27.3/0.005	19.9/0.04	NS	NS	NS	NS	NS	
Amerongen	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	NS	21/0.014	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Hoenderloo	Veel sterfte	Hoge zandgrond	NS	21.1/0.034	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Hoenderloo	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Oostereng	Veel sterfte	Hoge zandgrond	NS	21.1/0.027	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Oostereng	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	NS	24.7/0.013	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Slangenburg	Veel sterfte	Natte leemgrond	30.6/0.0001	25.1/0.004	27.2/0.002	NS	NS	NS	NS	NS	
Slangenburg	Weinig sterfte	Natte leemgrond	NS	NS	NS	NS	-23.4/0.036	NS	NS	NS	
Liesbos	Veel sterfte	Natte leemgrond	-20.1/0.049	-22.8/0.025	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Liesbos	Weinig sterfte	Natte leemgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Aarnink	Veel sterfte	Natte leemgrond	18.7/0.03	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Aarnink	Weinig sterfte	Natte leemgrond	-23.8/0.018	NS	-32.2/0.001	NS	NS	NS	NS	NS	
Roggebotzand	Veel sterfte	Kalkrijke zandgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Roggebotzand	Weinig sterfte	Kalkrijke zandgrond	26.3/0.01	29.9/0.003	24/0.019	NS	NS	NS	NS	NS	
Maasduinen	Veel sterfte	Vaaggronden	-30.1/0.003	NS	-33.5/0.001	NS	NS	NS	NS	NS	
Maasduinen	Weinig sterfte	Vaaggronden	-23.4/0.019	NS	-23.8/0.017	NS	NS	NS	NS	NS	
Vught	Veel sterfte	Vaaggronden	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Vught	Weinig sterfte	Vaaggronden	NS	NS	-20.2/0.044	NS	NS	NS	NS	NS	
Hardenberg	Veel sterfte	Veldpodzol	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Hardenberg	Weinig sterfte	Veldpodzol	NS	18.7/0.03	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

Significante P-waarden: P<0.05

Lente											Temperatuur voorgaande jaar		
Site	Conditie	Bodemtype	Temperatuur			Vorst	Neerslag			Totaal	Dagelijks max.	Max periode droogte dagen	Min. temperatuur in November
			Gemiddeld	Gemiddeld min.	Gemiddeld max.	Dagen met vorst							
Amerongen	Veel sterfte	Hoge zandgrond	26.9/0.005	24.5/0.011	24.3/0.012	-31.1/0.002	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Amerongen	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	17.5/0.041	20/0.02	NS	-17.4/0.045	17.9/0.036	NS	NS	NS	NS	NS	
Hoenderloo	Veel sterfte	Hoge zandgrond	21.9/0.028	24.4/0.015	NS	-20/0.048	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Hoenderloo	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Oostereng	Veel sterfte	Hoge zandgrond	24.3/0.015	28.2/0.005	20.1/0.045	-22.8/0.24	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Oostereng	Weinig sterfte	Hoge zandgrond	24/0.016	25.6/0.01	22.1/0.027	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Slangenburg	Veel sterfte	Natte leemgrond	21.5/0.013	17.1/0.048	17.6/0.042	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Slangenburg	Weinig sterfte	Natte leemgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Liesbos	Veel sterfte	Natte leemgrond	-25.9/0.011	-22.9/0.025	-26.6/0.009	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Liesbos	Weinig sterfte	Natte leemgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Aarnink	Veel sterfte	Natte leemgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Aarnink	Weinig sterfte	Natte leemgrond	-24.2/0.016	NS	-30.9/0.002	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Roggebotzand	Veel sterfte	Kalkrijke zandgrond	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Roggebotzand	Weinig sterfte	Kalkrijke zandgrond	31.7/0.002	27.1/0.008	29.1/0.004	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Maasduinen	Veel sterfte	Vaaggronden	NS	NS	NS	NS	NS	25.8/0.021	NS	NS	NS	NS	
Maasduinen	Weinig sterfte	Vaaggronden	NS	NS	NS	NS	NS	33.5/0.003	NS	NS	NS	NS	
Vught	Veel sterfte	Vaaggronden	NS	NS	NS	NS	NS	26.6/0.018	NS	NS	NS	NS	
Vught	Weinig sterfte	Vaaggronden	NS	NS	NS	NS	NS	24/0.032	NS	NS	NS	NS	
Hardenberg	Veel sterfte	Veldpodzol	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Hardenberg	Weinig sterfte	Veldpodzol	NS	22.3/0.01	NS	-20/0.023	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

---

## 5 Correlatie tussen de hoeveelheid fijne wortels en de vitaliteit van de opstand

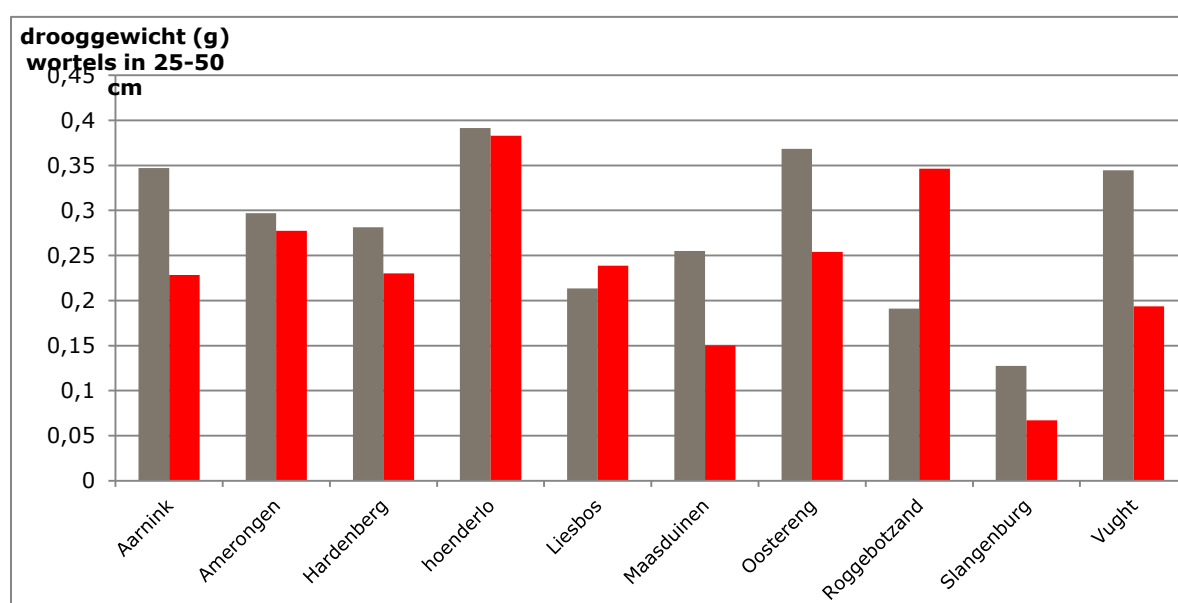
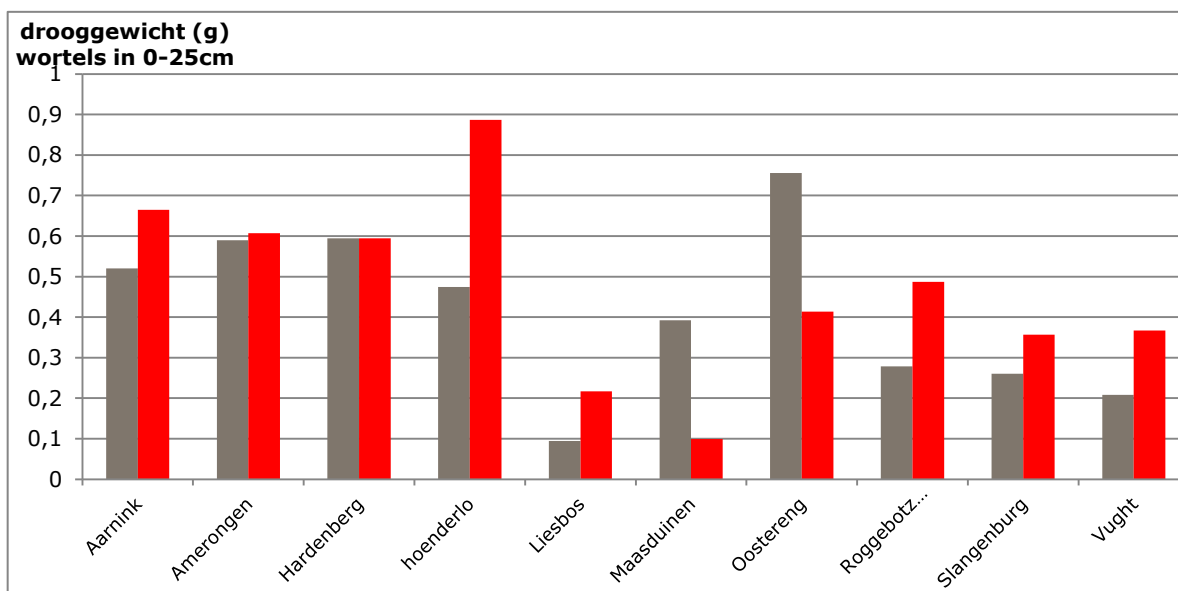
De hoeveelheid fijne wortels vertoont op beide onderzochte diepten (0-25 cm en 25-50 cm) een grote variatie. Deze hangt vermoedelijk o.a. samen met de verschillen in bodemtype. Op de hoge, drogere zandgronden van Hoenderloo en Oostereng is de hoeveelheid fijne wortels het grootst en op de sterk lemige gronden van het Liesbos het laagst (Tabel 5.1 en Figuur 5.1).

---

Tabel 5.1

*Hoeveelheid fijne wortels (< 2 mm) in de lagen 0-25 cm en 25-50 cm.*

locatie	sterfte	drooggewicht (g)	
		0-25 cm	25-50 cm
Aarnink	veel	0.66	0.23
Aarnink	weinig	0.52	0.35
Amerongen	veel	0.61	0.28
Amerongen	weinig	0.59	0.30
Hardenberg	veel	0.59	0.23
Hardenberg	weinig	0.59	0.28
Hoenderloo	veel	0.89	0.38
Hoenderloo	weinig	0.47	0.39
Liesbos	veel	0.22	0.24
Liesbos	weinig	0.09	0.21
Maasduinen	veel	0.10	0.15
Maasduinen	weinig	0.39	0.26
Oostereng	veel	0.41	0.25
Oostereng	weinig	0.76	0.37
Roggebotzand	veel	0.49	0.35
Roggebotzand	weinig	0.28	0.19
Slangenburg	veel	0.36	0.07
Slangenburg	weinig	0.26	0.13
Vught	veel	0.37	0.19
Vught	weinig	0.21	0.34

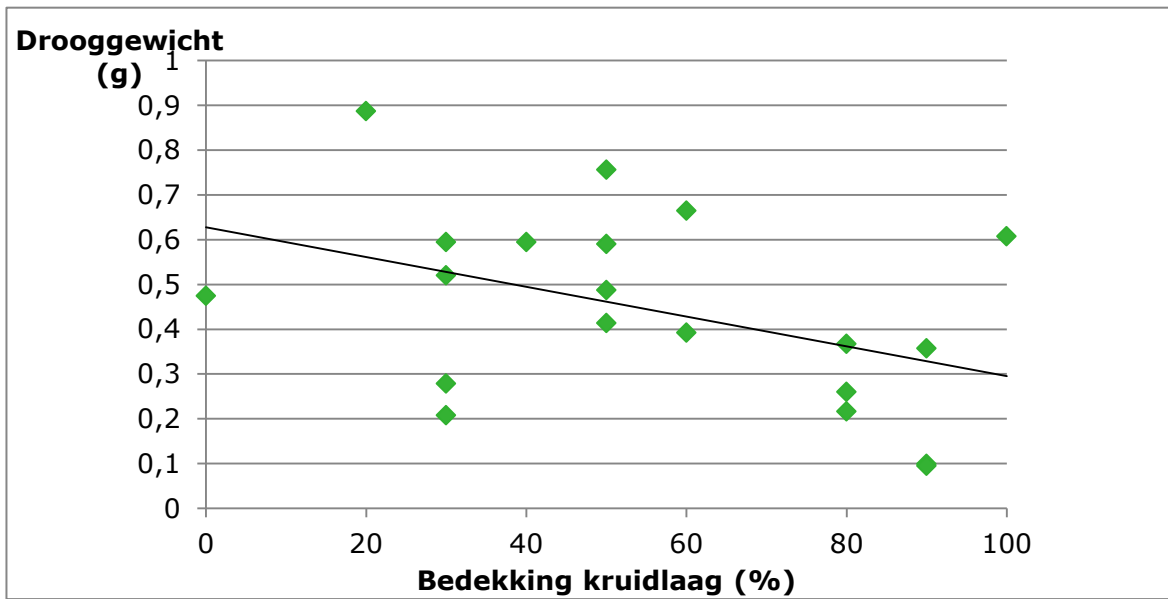


**Figuur 5.1** Drooggewicht fijne wortels in de laag 0-25 cm (Figuur boven) en 25-50 cm (Figuur onder) in opstanden met weinig sterfte (groen) en veel sterfte (rood).

De hoeveelheid fijne wortels, die een grote variatie vertoont, is in de laag van 25-50 cm meestal kleiner dan in de laag 0-25 cm. Het is een vrij algemeen beeld dat er meer fijne wortels bovenin het profiel zitten dan onderin.

In zeven van de tien gevallen is de hoeveelheid fijne wortels in de laag 0-25 cm in opstanden met veel sterfte groter en in acht gevallen in de laag 25-50 cm kleiner dan in relatief gezonde opstanden. Door de grote variatie blijken uit een statistische test (de Wilcoxon Signed Ranks Test) deze verschillen echter niet significant ( $P= 0,333$  en  $P=0,139$ ).

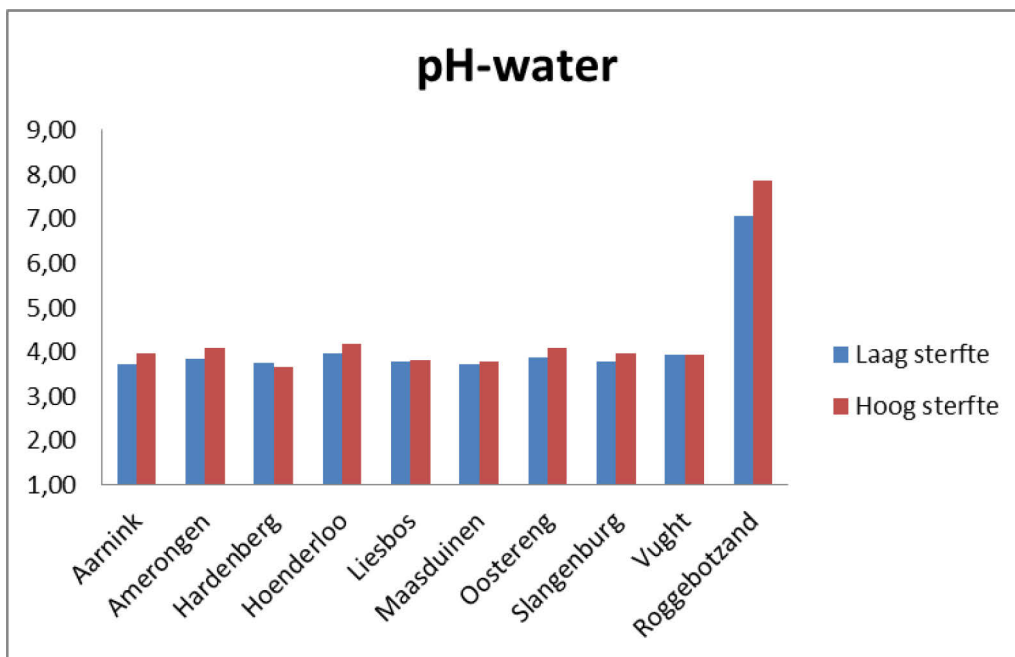
In opstanden met veel sterfte is de hoeveelheid fijne wortels in de laag 0-25 cm groter en in de laag 25-50 cm kleiner dan in relatief gezonde opstanden. Dit kan verschillende oorzaken hebben. De onderste wortels kunnen zijn afgestorven (door bijvoorbeeld droogte), zodat de bomen proberen hun vocht- en voedingsstoffenvoorziening op peil te houden door de vorming van meer fijne wortels bovenin het profiel. Mogelijk speelt ook mee dat opstanden meer ondergroei hebben; bij het uitwassen van de wortels zijn wortels van andere soorten zoveel mogelijk verwijderd, maar soms zijn de wortels niet goed van elkaar te onderscheiden. Overigens blijkt er niet een positieve relatie te zijn tussen de bedekking van de ondergroei en de hoeveelheid wortels, eerder een negatieve. (zie Figuur 5.2).



**Figuur 5.2** *Correlatie tussen de hoeveelheid fijne wortels en de ondergroei.*

## 6 Bodemchemie en de sterfte van zomereik

Van alle onderzochte bestanden is de pH-water 3,7 – 4,1 en zijn er geen verschillen in pH tussen bestanden met lage sterfte of met hoge sterfte van zomereik gevonden (Figuur 6.1). Opmerkelijk is dat de bodemchemie van Roggebotzand, in de Flevopolder, sterk afwijkt van de rest van de onderzochte bossen, met een pH tussen de 7 en 8. Aangezien het bos Roggebotzand wat bodemchemie betreft in vrijwel alle onderzochte parameters sterk verschilt van die van de negen andere bossen, is dit bos niet in de paarsgewijze toetsing van bestanden met lage of met hoge sterfte betrokken.

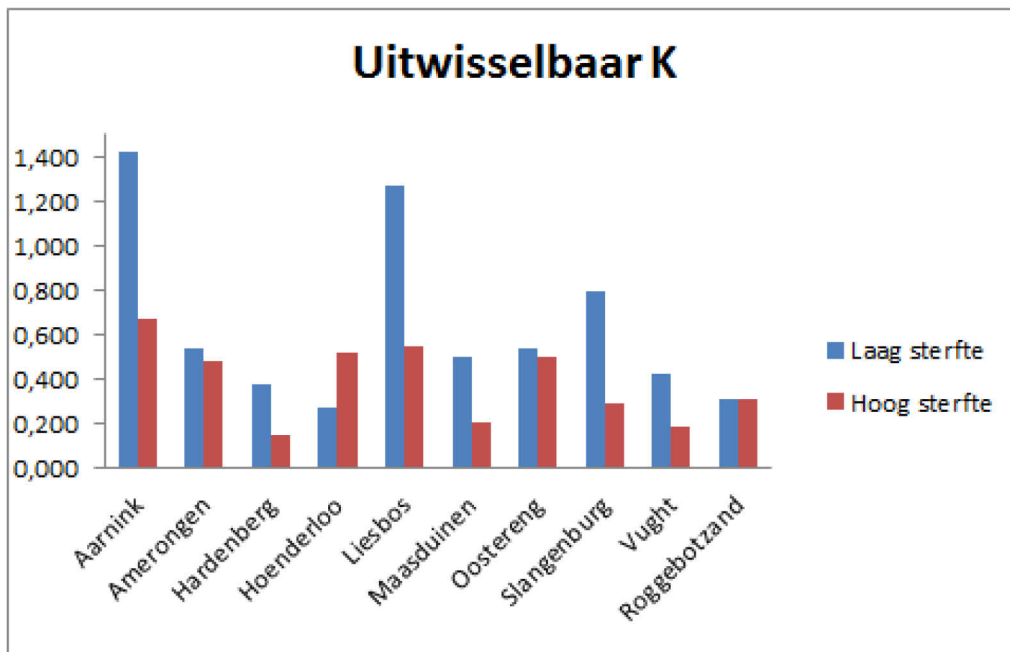


**Figuur 6.1** pH-water in de bovenlaag (0-20 cm) van de bodem in de tien onderzochte bestanden met hoog of laag sterftcijfer.

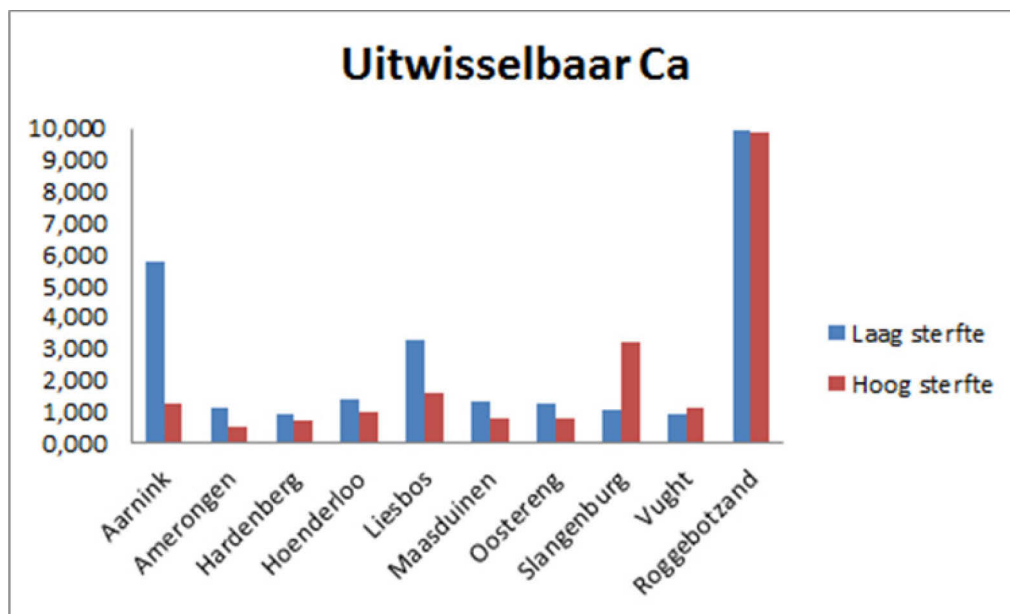
Bij het merendeel (acht of zeven) van de opstanden met veel sterfte van zomereik zijn de concentraties van uitwisselbaar K ( $p < 0,01$ ), en/of Ca (bijna significant  $p = 0,10$ ) en/of Mg ( $p = 0,05$ ) duidelijk lager dan de waarden in de bestanden met geen of weinig sterfte (Figuur 6.2 en 6.3). Wat verder nog opvalt is dat er ook bijna altijd lagere Mn-concentraties ( $p < 0,05$ ) (Figuur 6.5) en P-concentraties (P-water  $p < 0,05$ ) zijn aangetroffen in de bestanden met veel sterfte vergeleken met de gegevens van het bijbehorende perceel met lage sterfte.

Er zijn geen significante verschillen in beschikbaar N (ammonium en/of nitraat) of in Al/Ca-verhouding tussen de bestanden met hoge of lage sterfte gevonden.

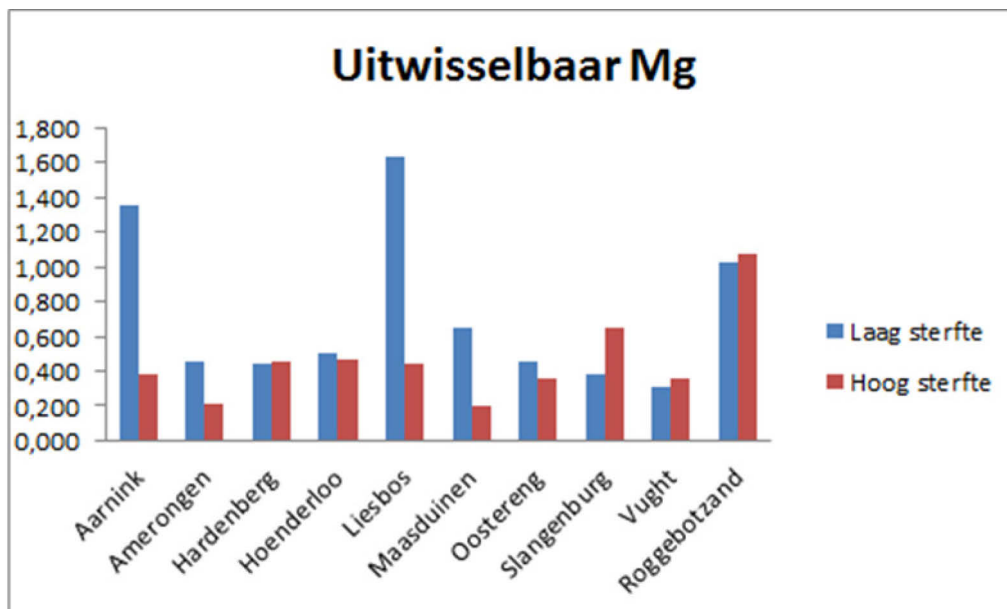




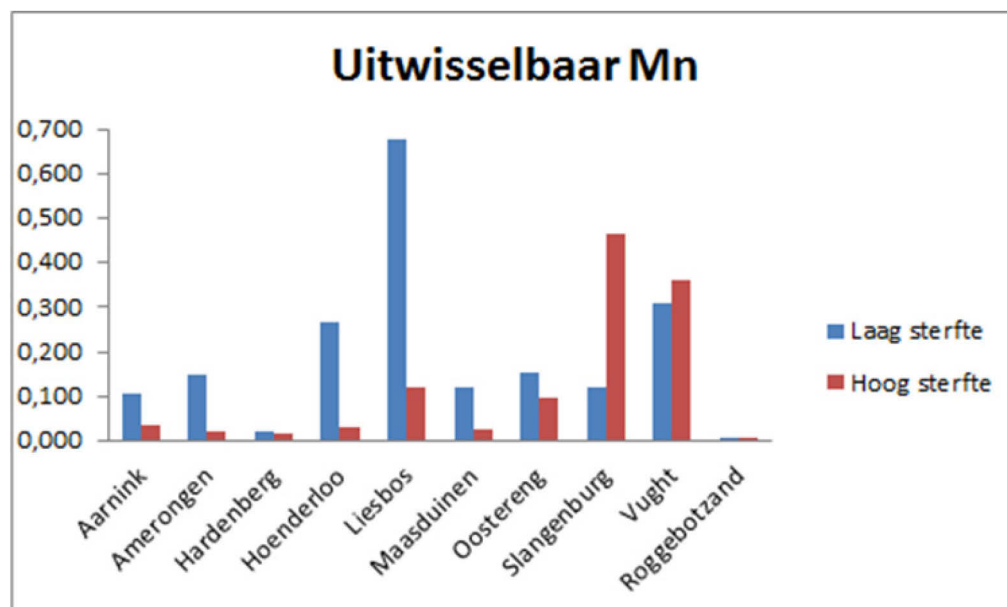
**Figuur 6.2** *Uitwisselbaar K-gehalte ( $\mu\text{mol} / \text{g}$  droge bodem) in de bovenlaag (0-20 cm) van de bodem in de tien onderzochte bestanden met hoog of laag sterftcijfer.*



**Figuur 6.3** *Uitwisselbaar Ca-gehalte ( $\mu\text{mol} / \text{g}$  droge bodem) in de bovenlaag (0-20 cm) van de bodem in de tien onderzochte bestanden met hoog of laag sterftcijfer.*



**Figuur 6.4** Uitwisselbaar Mg-gehalte ( $\mu\text{mol} / \text{g}$  droge bodem) in de bovenlaag (0-20 cm) van de bodem in de tien onderzochte bestanden met hoog of laag sterftecijfer.



**Figuur 6.5** Uitwisselbare Mn-gehalte ( $\mu\text{mol} / \text{g}$  droge bodem) in de bovenlaag (0-20 cm) van de bodem in de tien onderzochte bestanden met hoog of laag sterftecijfer.

Tenslotte is in Tabel 6.1 een overzicht gegeven van het verschil van enkele belangrijke bodemparameters in de bestanden met hoog sterftecijfer met de waarde in de situatie met laag sterfte van zomereik. Hieruit blijkt dat in zes van de tien onderzochte bosgebieden minimaal twee van de drie basische kationen lager zijn in de percelen met hoge sterfte. In twee bossen, Slangenburgh en Vught is dit niet het geval, daar is de hoog-sterfte situatie alleen uitwisselbaar K minimaal 2x lager dan in de gezonde bossituatie. Verder blijkt ook uit deze Tabel dat Roggebotzand, met zijn zeer hoge pH, duidelijk heel anders reageert dan de rest van de onderzochte bossen. Wel valt op dat in het eikenbos van Roggebotzand uitwisselbaar K wel laag is, en Mn extreem laag.

Tabel 6.1

Overzicht van 4 bodemchemische parameters in de hoog-sterfte bestanden, vergeleken met de waarde in de laag-sterfte situatie. -: lager +: hoger =: gelijk. Twee symbolen betekent dat de waarde minstens 100% lager of 100% hoger is dan in de bijbehorende laag-sterfte situatie.

	Ca-z	K-z	Mg-z	Mn-z	Opmerking
Aarnink	--	--	--	--	8x meer Fe in bestand met hoog sterftecijfer
Amerongen	--	-	--	--	
Hardenberg	-	--	=	=	
Hoenderloo	-	+	++	--	Mn 10x lager in hoog dan in laagsterfte bestand
Liesbos	--	--	--	--	
Maasduinen	-	--	--	--	
Oostereng (Wag)	-	=	-	-	Al/Ca van 2,1 naar 5,0 in hoog sterfte plot
Slangenburg	++	--	++	++	8x meer Fe in hoog
Vught	=	--	=	=	
Roggebotzand	=	=	=	=	Uitwisselbaar Kz laag; Mn extreem laag; laag org. stof (2%)

---

# 7 Synthese

## 7.1 Conclusies uit dit onderzoek

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is een duidelijk verband tussen de van tijd tot tijd optredende groeivermindering van eiken en droogteperioden;
- Op de nattere bodemtypen zijn niet alle jaren met een sterke groeivermindering hiermee te verklaren;
- Er zijn aanwijzingen dat temperatuur (bijvoorbeeld het aantal vorstdagen in de lente) ook een rol speelt in de diktegroei;
- In opstanden met veel sterfte zitten gemiddeld bovenin het bodemprofiel meer wortels en onderin minder dan in opstanden met weinig sterfte;
- In opstanden met veel sterfte heeft de bodem in de meeste gevallen lagere gehalten aan uitwisselbaar Ca en/of K en/of Mg (dus een lagere buffercapaciteit). Ook het Mn-gehalte en P-water is vaak lager;
- Eikensterfte doet zich ook voor op kalkrijke gronden.

## 7.2 Discussie

De resultaten van dit onderzoek dragen bij aan de inzichten omtrent de oorzaken van de eikensterfte, die momenteel lokaal zo hevig is dat beheerders zich afvragen hoe er verder mee om te moeten gaan.

De onderzochte eiken staan nu vrijwel alle op zure (of verzuurde) gronden (pH-water 3,7 – 4,1). Op deze gronden lijkt door verzuring de buffercapaciteit van de bodem zover te zijn afgenomen, dat de bomen gebrek krijgen aan Ca, K en Mg. In dit project zijn geen bladanalyses gedaan, zodat dit niet geverifieerd kon worden, maar dit is wel in ander onderzoek geconstateerd (Lucassen *et al.* 2014, Lucassen *et al.* 2014 in druk). Tekort aan K en met name Mg zorgt o.a. voor verminderde chlorofylconcentraties in bladeren, en daardoor minder fotosynthese en groei (o.a. Lucassen *et al.* 2014).

Dit kan een grotere droogtegevoeligheid tot gevolg hebben, doordat de opnamecapaciteit afneemt (verstoring van de mycorrhiza-samenstelling kan dit nog eens bevorderen).

De laatste 50 jaar hebben eiken op hoge gronden duidelijke groeidips in of na extreem droge perioden. Het lijkt er op dat de droogteperioden van 1983/1984, 1995 en 2008/2009/2010 een rol hebben gespeeld in de sterke vermindering van de vitaliteit en sterfte van eiken in de erop volgende jaren. Ook andere onderzoekers constateerden dat droogte oorzaak kan zijn van verzwakking die uiteindelijk kan leiden tot sterfte (Andersson *et al.* 2011, Thomas *et al.* 2002). Op nattere gronden zijn droogteperioden niet altijd terug te zien in de jaarringbreedte, maar hier kunnen andere weersinvloeden (bijvoorbeeld extreme neerslagpieken in het groeiseizoen, zoals die in 2011 zijn voorgekomen) negatieve gevolgen hebben gehad. Vanaf het begin van de eikensterfte (de jaren 1983/1984) komen de hoge sterftepercentages met name voor op nattere gronden met een sterk fluctuerende grondwaterstand (Oosterbaan *et al.* 1990). Ook andere weersomstandigheden (bijv. late voorjaarsvorst) kunnen de groei negatief hebben beïnvloed. Hiervoor werd in dit onderzoek een aanwijzing gevonden.

Bij de analyse van de oorzaken van de eikensterfte moet er verder rekening mee worden gehouden dat behalve weersomstandigheden ook insecten een rol in het verzwakkingsproces van de eiken kunnen hebben gehad. Primair door herhaalde kaalvraat door de kleine wintervlinder (in de jaren 2009 en 2010) was er landelijk sprake van zware aantasting; Moraal 2010), maar ook secundair (dus na

---

verzwakking of verlaagde resistentie) waarvan de eikenprachtkever momenteel de meest prominente is (Moraal 1997). Hetzelfde geldt voor schimmels; eikenmeeldauw, die het blad kan laten verdrogen, honingzwam, die verzwakte eiken kan laten afsterven en Phytophthora-soorten, waarvan de rol bij eikensterfte in ons land nooit is onderzocht, maar in andere landen als factor van belang wordt beschouwd (Jung, 1998, Jönsson 2004 ). Het gaat samengevat om een complex van oorzaken die verantwoordelijk zijn voor een sterke vitaliteitsafname en sterfte van onze eiken.

De tot nu toe uitgevoerde onderzoeken waren beknopt en toegepast van aard, zodat het gehele sterfteproces nog niet fundamenteel onderzocht is en verklaard kan worden. Voor een fundamentele doorgroning van het probleem zou een breder onderzoek opgezet moeten worden, waarbij gekeken wordt naar alle inmiddels gedetermineerde mogelijke oorzaken: bodem (zuurgraad, voedingstoestand/bodemchemie, vochtleverend vermogen, ontwatering/stagnerende lagen), klimaatgegevens (neerslag, temperatuur), bladvraat door insecten, andere insectenaantasting (o.a. eikenprachtkever), aantasting door honingzwam en mogelijk andere schimmels (o.a. Phytophthora-soorten) en toestand van de voor eik belangrijke mycorrhiza's. Met een dergelijk breed opgezet onderzoek kan:

- Wetenschappelijk onderbouwd worden geadviseerd waar het nog verantwoord is zomereik te planten;
- Worden uitgesloten of er "nieuwe" schade-organismen optreden;
- Groeiplaatsgericht advies worden gegeven over de best gerichte verdere behandeling van eikenbossen (aangetast en niet aangetast).

De sterfte is op sommige plaatsen zo hevig dat de vraag rijst hoe het bos verder beheerd moet worden. Zijn er nog reddingsmiddelen; bijvoorbeeld toediening van kalk, kalium en magnesium? En bij hoeveel sterfte heeft dit nog zin? Een andere vraag voor beheerders is wanneer in sterk uitgedunde opstanden het (onder)planten van andere soorten nog zin heeft en eventueel (via een betere bladvertering) een gunstige werking kan hebben op het bodemleven (eventueel in combinatie met bekalking).

## 7.3 Adviezen voor het beheer van eikenbossen

Voorlopig kunnen voor het beheer van eikenbossen de volgende adviezen worden gegeven:

### Nieuwe aanplant

- Plant nu geen of weinig eiken aan op zure, droogtegevoelige gronden met weinig basische kationen;
- Meng de eik bij aanplant altijd met een of meerdere andere soorten, zodat voor de toekomst een garantie is ingebouwd dat het bos in stand blijft. Hierbij kan uiteraard ook gebruik worden gemaakt van natuurlijke verjonging van andere soorten.

### Waterhuishouding

- Zorg dat de waterhuishouding op orde blijft. Met name op vochtige bodemtypen, in gebieden waar het water niet gemakkelijk afstroomt, is het van belang dat de watergangen op tijd worden geschoond. In perioden van extreme droogte moet het water vastgehouden kunnen worden.

### Beheer bestaande bossen

- Bij dunning moet voorzichtigheid worden betracht. Onderetages van beuk, haagbeuk of linde moeten niet worden verwijderd, omdat er dan plotseling veel licht en warmte op de eikenstammen komt en daarmee het gevaar van een invasie van de eikenprachtkever op de loer ligt.
- Het tekenen van een dunning (blessen) dient in het groeiseizoen (tweede helft juli of augustus) uitgevoerd te worden. Dan zijn de bomen hersteld van een eventuele kaalvraat door insecten en kan de vitaliteit van de kronen goed worden beoordeeld;
- In eikenbossen met sterfte en een lage pH wordt aangeraden de beschikbaarheid aan basische kationen (buffercapaciteit) in de bodem te verbeteren door middel van een bemesting met meststoffen die calcium, kalium en magnesium bevatten. Dit kan met een gift van 4 ton/ha van korrelvormige Dolokal (liefst met 20% Mg) en 100-200 kg patentkali (beste hoeveelheid moet

---

worden berekend aan de hand van het K-gehalte) of een andere makkelijk beschikbaar komende K-meststof. Voor opstanden die nog geen of weinig sterfte vertonen, maar wel lage kationenconcentraties in de bodem hebben, kan worden gedacht aan herstel van de mineralenbalans met K- en Mg-rijk steenmeel. Dit werkt langzamer en geeft daardoor minder risico op verzuuring (deze valt overigens met 4 ton Dolokal ook nog mee);

- In eikenbossen met veel sterfte kan worden overwogen één of meer andere boomsoorten (beuk, haagbeuk, linde, esdoorn e.d.) tussen de eiken te planten in combinatie met bemesting van de benodigde elementen (zie hierboven).

---

# Literatuur

Andersson, M., Milberg, P., & Bergman, K. O. (2011). Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.) Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science*, 68(1), 159-168.

Jung, T. 1998. Die Phytophthora-Erkrankung der europäischen Eichenarten, wurzelzerstörende Pilze als Ursache des Eichensterbens. Diss. Forstw. Fak. LMU-München; LINCOM Studien zur Forstwissenschaft 02, 138 S.

KNMI-gegevens. KNMI, De Bilt.

Lucassen E., L. van den Berg, R. Aben, R. Bobbink, J. van Diggelen, M. van Roosmalen, D. Boxman, L. van den Berg en J. Roelofs 2014. Bodemverzuring als aanjager van eikensterfte; gevolgen voor herstelmaatregelen. *Vakblad Natuur Bos Landschap* (2014) 103: 23-27.

Lucassen E., R. Aben, L. van den Berg, F. Smolders, J. Roelofs en R. Bobbink 2014. Bodemverzuring en de achteruitgang van de zomereik (*Quercus robur*) in Nederland. *Landschap* (in druk)

Moraal, L.G., 1997. Eikenprachtkever *Agrilus biguttatus* en eikensterfte: een literatuurstudie over aantastingen, levenswijze en verspreiding. IBN-Rapport 320. 24 p.

Moraal, L.G., 2010. Landelijke inventarisatie insectenplagen 2009: Eiken hebben het zwaar te verduren. *Tuin en Landschap* 32 (18): 36-39.

Oosterbaan, A. en Borgesius, J.J. 1986. Sterfte bij zomereik 1984/1985. Rapport "De Dorschkamp", nr. 464, 1986. 45 p.

Oosterbaan, A.; Nabuurs, G.J.; Maas, G.J. 1990. Een onderzoek naar verbanden tussen sterfte in zomereikenopstanden in Nederland en de grondwatertrap. Rapport De Dorschkamp Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer, Wageningen, nr. 601, 1990. 61 p.

Oosterbaan A. 2013. Eikensterfte; ernst, oorzaken en beheer. *Vakblad Bos, Natuur, Landschap* 11, 101, p 22-25.

Thomas, F.M., R. Blank & G. Hartmann, 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology* 32: 277-342.



# Bijlage 1 Opstandsgegevens

<i>opstand</i>	<i>sterfte</i>	<i>n/ ha</i>	<i>sterfte%</i>	<i>meng- soorten</i>	<i>ondergroei</i>	<i>Kruidlaag (soort en bedekkings- graad)</i>	<i>bodemtype</i>
Slangenburg 1	weinig	278	0	eerder fijnspar	lijsterbes, krent (5 m)	stekelvaren (80)	vergraven enkeerd
Slangenburg 2	veel	111	40		berk (4 m)	braam80, stekelvaren10	veldpodzol/enkeerd
Aarnink 2j	weinig	180	0		berk (10-15 m)	braam30	beekeerd/veldpodzol
Aarnink 2a	veel	100	67		beuk (10 m)	braam30, pijpestro30	beekeerd
Roggebotzand 464D	weinig	489	0		veldiep, vuilboom, meidoorn 4 m	stekelvaren20, gras10	vaaggrond
Roggebotzand 463C	veel	267	35		hazelaar (4 m)	braam40, varen10	vaaggrond
Oostereng 66e	weinig	211	0		lijsterbes, vogelkers (5 m)	braam30, stekelvaren20	holtpodzol
Oostereng 36s	veel	344	23		lijsterbes, vogelkers (6 m)	braam50	laarpodzol
Amerongen Rijnzijde	weinig	656	24		lijsterbes (4 m)	braam40, varen10	holpodzol
Amerongen 4b	veel	844	45	berk, Am eik	lariks, vogelkers (3 m)	bochtige sme100	haarpodzol
Hoenderloo 366D	weinig	267	4		beuk (10 m)		holtpodzol
Hoenderloo 378A	veel	333	23		beuk (10 m)	bosbes20	haarpodzol
Maasduinen 1	weinig	420	5			braam40, stekelvaren20	vaaggrond
Maasduinen 2	veel	540	33			braam80, stekelvaren10	vaaggrond
Hardenberg 1	weinig	333	7		lijsterbes, vuilboom (4 m)	pijpestro40	veldpodzol
Hardenberg 2	veel	720	42		fijnspar (8 m), douglas, lariks (2 m)	mos30	haarpozol
Vught 1	weinig						vaaggrond
Vught 2	veel						vaaggrond
Liesbos 8f	weinig	544	12			adelaarsvaren90	veldpodzol
Liesbos 12b	veel	300	41		esdoorn (8 m)	braam40, stekelvaren40	beekeerd/veldpodzol

---

## Bijlage 2 Methodiek bodemchemie

De bodemmonsters zijn na transport in het laboratorium onderzocht op zuurgraad, organische stof gehalte, vochtgehalte en nutriëntenbeschikbaarheid. Nutriëntenbeschikbaarheid werd bepaald aan de hand van 3 extractiemethoden: een waterextractie, een zoutextractie (met behulp van NaCl) en een bodemdestructie.

### *Verwerking bodemmonsters*

Het vochtgehalte en de bulk density werden bepaald na 48 uur drogen van een bekend volume vers bodemmateriaal in een stoof bij een temperatuur van 70°C. De verkregen droge bodems werden vervolgens 4 uur verast bij een temperatuur van 550°C voor een bepaling van het verlies aan gewicht door verbranding. Met de verkregen gewichten werd de fractie organisch materiaal (bepaald als gloeiverlies) en het vochtgehalte berekend..

### *Zoutextractie*

Deze extractie werd verricht met natriumchloride (0,2 M NaCl). Tijdens deze extractie worden ionen van het bodemadsorbtiecomplex verdrongen door natrium (kationen) of chloride (anionen). De waarden die na deze extractie gemeten worden zijn daardoor een goede indicator voor het uitwisselbare deel van de ionen en zeggen iets over de buffering van de bodem (m.n. uitwisselbaar Ca, K en Mg). Verder kunnen aan de hand van het zoutextract ook de voor de plant beschikbare ammoniumconcentraties van de bodem worden bepaald. Voor deze extractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0.2 M NaCl toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C tot analyse.

### *Waterextractie*

Deze extractie werd verricht met gedeïoniseerd water (Milli-Q). Tijdens deze extractie worden ionen uitgespoeld die niet vastgebonden aanwezig zijn in de bodem. De waarden die na deze extractie gemeten worden zijn daardoor een goede indicator voor de hoeveelheid nutriënten en ionen dat direct aanwezig is in het bodemvocht. Ook het gehalte aan beschikbaar nitraat wordt op deze wijze bepaald. Voor deze extractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml gedeïoniseerd water toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C tot analyse.

### *Destructie*

Door de bodem te destrueren is het mogelijk de totale gehalten van de meeste elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Bij de bodemdestructie werd 0,2 gram gedroogde en gemalen bodem afgewogen in een teflon cup. Vervolgens werd het samen met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups onder hoge druk en temperatuur gedestruerd in een magnetron. Hierbij werd stapsgewijs energie toegediend waarbij alle verweerbare bodemdeeltjes oplossen. Vervolgens worden de monsters verdund tot 100 ml. Het product is bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

### *Chemische analyse*

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S) als maat voor sulfaat, silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP Thermo Electron corporation IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) werden colorimetrisch bepaald met een Braun en Luebbe auto-analyzer II met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl<sup>-</sup>) en fosfaat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer II systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na<sup>+</sup>) en kalium (K<sup>+</sup>) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.

---

### *Statistische verwerking*

Verschillen in bodemchemische parameters tussen de bestanden met laag en hoog sterftecijfer werden getoetst met paarsgewijze statistiek. Indien normaal verdeeld werd getoetst met een paarswijze t-toets, anders met een paarsgewijze, verdelingsvrije toets ( $n=9$ ,  $p<0,05$ ). Alle statistische testen werden uitgevoerd in SigmaStat (versie 5). Gelet op het sterk afwijkende karakter van de bodemchemie in Roggbotzand en ter voorkoming van inhomogeniteit van de dataset is dit bosgebied buiten de statistische vergelijking gehouden.

---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2575  
ISSN 1566-7197



---

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2575  
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

