

# o+bn

## Kennisnetwerk OBN

**Langetermijneffecten van  
bosbekalking en -bemesting:  
de Harderwijkerproef**



# Langetermijneffecten van bosbekalking en -bemesting: de Harderwijkerproef



*Biosphere Science  
Productions*



**Radboud University**



© 2018 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Monitoring OBN-17-DZ  
Driebergen, 2018

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

*Wijze van citeren:* Bobbink, R., A. van den Burg, E. Brouwer, B. van de Riet & H. Siepel (2018). Langetermijneffecten van bosbekalking en – bemesting: de Harderwijkerproef. Monitoring OBN-17-DZ. VBNE, Driebergen.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding

Samenstelling R. Bobbink, Onderzoekcentrum B-WARE  
A. van den Burg, Biosphere Science Productions  
E. Brouwer, Onderzoekcentrum B-WARE  
B. van de Riet, Onderzoekcentrum B-WARE  
H. Siepel, Radboud Universiteit

Foto voorkant Bramenzee, ruim 30 jaar na 9 ton kalkgift. Foto: Roland Bobbink

Oplage Deze publicatie is online gepubliceerd op [www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)  
Adres : Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen  
Telefoon : 0343-745250  
E-mail : info@vbne.nl

# Inhoudsopgave

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1    Achtergrond	8
1.2    Doel van het onderzoek	8
1.3    Onderzoeksgroep	9
1.4    Leeswijzer	9
<b>2 Proefopzet en methodiek</b>	<b>10</b>
2.1    Proeflocatie en -opzet	10
2.2    Heruitzetten proefvlakken	11
2.3    Vegetatieopnamen	12
2.4    Humusopbouw	13
2.5    Bodemchemie	13
2.6    Bodemfauna	15
2.7    Plantkwaliteit	15
<b>3 Vegetatie en paddenstoelen</b>	<b>17</b>
3.1    Ontwikkeling van de vegetatie	17
3.2    Conclusies	21
3.3    Paddenstoelen	22
3.4    Conclusies	26
<b>4 Humusopbouw</b>	<b>28</b>
4.1    Resultaten	28
4.2    Conclusie	29
<b>5 Bodemchemie</b>	<b>30</b>
5.1    Bodem-pH en organische stof	30
<i>OBN Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit</i>	3



5.2	Basische kationen en aluminium	31
5.3	Beschikbaar fosfaat en stikstof	33
5.4	Uitwisselbaar ijzer (Fe) en mangaan (Mn)	33
5.5	Conclusies	34
<b>6</b>	<b>Bodemfauna (mijten)</b>	<b>35</b>
6.1	Resultaten	35
6.2	Conclusie	38
<b>7</b>	<b>Effecten op plantkwaliteit</b>	<b>39</b>
7.1	Resultaten	39
7.2	Conclusie	42
<b>8</b>	<b>Synthese en slotconclusies</b>	<b>43</b>
8.1	Synthese	43
8.2	Slotconclusies	44
<b>9</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>45</b>
9.1	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	45
9.2	Aanbevelingen voor beheer	45
<b>10</b>	<b>Referenties</b>	<b>46</b>
	Bijlage 1: Vegetatieopnamen 2017	48
	Bijlage 2: Paddenstoeleninventarisatie 2017-18	49
	Bijlage 3: Relatie pH and Al-zout	50
	Bijlage 4: DBH van grove den	51

# Samenvatting

In het droog zandlandschap van Nederland is sprake van groot verlies van biodiversiteit. Eén van de hoofdoorzaken hiervan is de verzurende én vermestende werking van atmosferische depositie. Bosbekalking en mineralengiften (steenmeel) worden overwogen als maatregelen voor natuurherstel. Om inzicht te krijgen in de langetermijneffecten hiervan zijn op initiatief van het OBN-DT Droog Zandlandschap in 2017-2018 opnieuw metingen verricht aan de Harderwijkerveldproef. Deze proef, opgestart in 1985 en '86, is de enige goed opgezette bosbemestingsproef en -bekalkingsproef die nu nog beschikbaar is. Onderzocht is (1) of er effecten zijn op de vegetatie- en paddenstoelensamenstelling, (2) of er effecten zijn opgetreden in het humusprofiel, (3) of er veranderingen waarneembaar zijn in bodem-pH en bodemchemie, (4) of er een respons is opgetreden in de bodemfauna en (5) of er aanwijzingen zijn dat de behandelingen nog effect hebben op de huidige plantkwaliteit. Het betrof een beperkt onderzoek in het kader van OBN-vervolgmonitoring, met een focus op de kalktrappenproef (met resp. 0, 3, 6, 9, 18 ton  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ) en op P-, PCa- en PK-giften (factorieel deel). Ook waren er beperkingen in de onderzochte parameters. De samenstelling van de vegetatie is aanzienlijk veranderd door de toepassing van kalk. Acidofiele plantensoorten nemen af terwijl soorten uit meer gebufferde milieus toenemen. In de proefvlakken waar 6 ton/ha kalk of meer is uitgestrooid, is een dichte en hoge laag van braamstruiken ontstaan. De bekalkings- en additie-experimenten hebben niet geleid tot herstel van de karakteristieke mycoflora. Een kalkgift van 3 ton/ha heeft een gering effect op de omzetting van de F-laag in het humusprofiel, maar vanaf 6 ton neemt de dikte van de strooisellaag sterk af. Ook bodemparameters die gerelateerd zijn aan verzuring zijn significant beïnvloed: uitwisselbaar Ca en de basenverzadiging zijn evenredig verhoogd met de grootte van de kalkgift, terwijl uitwisselbaar Al juist is afgenomen. Hierdoor is vanaf een kalkgift van 3 ton/ha de Al:Ca-ratio al tot onder de 1 gedaald. Het nitraatgehalte van de bodem is door bekalking iets toegenomen, en de ammonium:nitraat ratio gedaald. Ook is er een negatief verband gevonden tussen plantbeschikbaar P (Olsen) en het niveau van bekalking. De bekalking heeft geleid tot een afname van herbivore (voornamelijk detritivore) bodemmijten, maar niet van de fungivoren. Bij beuk en zomereik zijn er verschillen waarneembaar tussen behandelingen, maar de relaties tussen kalkgift en chlorofylgehalte (eik) en bladgrootte (beuk) zijn niet eenduidig.

De effecten van de kalktrappenproef zijn na ruim 30 jaar nog steeds duidelijk zichtbaar in de vegetatiesamenstelling, bodemopbouw en -chemie en heeft ook implicaties voor de bodemfauna. Na bekalking is de afbraak efficiënter en de plantengroei meer uitbundig. Bij een kalkgift groter dan 3 ton/ha verandert het bos naar een onnatuurlijk, kalkrijk type. Lichte bekalking tot 3 ton/ha vermindert de negatieve effecten van de bodemverzuring, zonder dat de aard van het systeem sterk wordt aangetast. Onduidelijk zijn de effecten op de P-beschikbaarheid in het systeem. Het ontbreekt aan cruciale gegevens over P in de vegetatie en het verse strooisel. Er zijn voornamelijk na 30 jaar geen effecten waarneembaar in het factoriële deel van het experiment. Het rapport wordt besloten met adviezen voor vervolgonderzoek en het natuurbeheer.

# Summary

The dry sandy region of the Netherlands shows a major decline of biodiversity. One of the main causes is acidification and eutrophication due to atmospheric deposition. Forest liming and mineral additions (rock powder) are contemplated to restore degraded forest habitats. To investigate the long-term effects of such measures, the OBN Expert Group Droog Zandlandschap initiated in 2017-'18 follow-up research in the Harderwijkerveldproef. This experiment in a pine forest that started in 1985-'86 is the only sound and still available long-term experiment with liming and factorial addition of nutrients to improve forest ecosystems in the Netherlands. The aims of this research was to evaluate (1) the long-term effects on the vegetation composition and mushroom community, (2) the changes in humus form, (3) the impacts of the treatments on soil chemistry, (4) the responses of soil micro-arthropod fauna, and (5) the long-lasting effects on plant quality. A limited monitoring scheme was carried out, focusing on the liming experiment (with treatments ranging 0, 3, 6, 9, 18 ton  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ), and a part of the factorial additions of nutrients (P, PCa and PK additions). There were also limitations in parameters that could be determined.

The vegetation has changed considerably as a result of liming 30 years before. Plants typical of acidic soils declined whereas species of buffered soils increased. In plots in which 6 ton/ha chalk or more was applied, large bramble bushes developed, highly dominating the understory. None of the experimental treatments gave rise to a recovery of the characteristic mycoflora. Liming of 3 ton/ha had a limited effect on the F-layer in the organic soil profile, but from 6 ton/ha onwards, the organic layer had become increasingly shallow. Also soil chemistry parameters that are related to acidification were significantly altered: exchangeable Ca and base saturation were elevated proportionally to the level of liming, whereas exchangeable Al decreased. As a result from 3 ton lime/ha, the Al:Ca ratio had already decreased below unity. Nitrate levels slightly increased after liming and the ammonium:nitrate ratio decreased. In addition, a negative relationship was observed between the amount of lime and plant-available P (Olsen). Liming resulted in a decrease of herbivorous (mostly detritivorous) soil mites, but not so among fungivores. Beech and common oak show differences between treatments, but the relationships between liming and chlorophyll concentration (oak) and leaf size (Beech) were ambiguous.

The effects of the liming were very clear after 30 years in terms of vegetation, soil development, and soil chemistry, and also showed implications for the soil micro-arthropods. After liming, decomposition became more efficient and the vegetation more lush. If more than 3 ton/ha chalk is applied, the forest system changed into an unnatural calcareous version. Mild liming up to 3 ton/ha reduced the negative effects of soil acidification, without changing hardly the humus form and vegetation structure of the forest ecosystem. The effects on P availability in the system are not yet clear. Crucial information on P levels in the vegetation and leaf litter are lacking. So far, no effects such as with liming, were found in the factorial part of the experiment with additions of P, PCa or PK. Finally, recommendations have been presented for future research and for optimizing nature restoration.

# Dankwoord

Onze dank gaat uit naar de gemeente Harderwijk voor de toestemming om het onderzoek in hun bos te mogen uitvoeren. Met name willen wij Roel Janssen – sinds kort met pensioen – en zijn opvolger Gerjan van Boven (beheerder bossen en buitengebied, gemeente Harderwijk) bedanken voor hun hulp, inzet en enthousiasme. Het beschikbaar stellen van alle oorspronkelijke rapporten uit de tweede helft van de jaren tachtig/begin jaren negentig van de vorige eeuw en de hulp bij het terug vinden van de proefvlakken was daarbij van grote waarde. Voor assistentie bij het bodemchemische veld- en labwerk danken wij Jeroen Graafland, Deef van Hout, Sebastian Krosse en John Peters, voor hulp bij het humusonderzoek en de bladmetingen Bram Riksen en Hans van der Woude.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In het droog zandlandschap van Nederland is sprake van groot verlies van biodiversiteit, zowel wat planten als dieren betreft. Eén van de hoofdoorzaken hiervan is de verzurende én vermestende werking van atmosferische depositie van stikstof- en (voorheen) zwavelverbindingen. Al in de jaren tachtig van de vorige eeuw waren de gevolgen van verzuring een hot topic, en zijn maatregelen experimenteel uitgevoerd om de negatieve effecten te niet te doen. Het betrof in die tijd vooral bekalking of soms bemesting in bossen – veelal bossen met een productiedoel – om de boomgroei te verbeteren en het bossysteem te herstellen. In de laatste jaren is duidelijk geworden dat, ondanks de reductie van de N-depositie met 30-40%, de verzuring van de bodem (afname basische kationen, toename vrij aluminium, afname kationleverende mineralen en toename ammonium/nitraatratio) langzaam maar zeker is voort geschreden, met allerlei funeste gevolgen van dien voor plant en dier in droge bossen en heide. Dit alles betekent dat er zeer dringend behoefte is om deze te ver door geschoten bodemverzuring met herstelmaatregelen te niet te doen, de natuurbeheerders staan als het ware te popelen om de schade te herstellen. Bosbekalking (wederom) of slow-release mineralen gift (steenmeel) worden daarbij veelvuldig overwogen. Steenmeeltoediening is daarbij soms het toverwoord, omdat het – in principe – zowel de verdwenen hoeveelheid mineralen met basische kationen in de bodem, als ook de bezetting van het bodemcomplex met basische kationen kan opkrikken. Op dit moment loopt er flink wat onderzoek naar de effectiviteit van steenmeel – gemalen silicaten – in hei en bos, maar al het, Europees gezien unieke, onderzoek is nog relatief van korte duur (2-5 jaar). Kortom, een experiment waarin langetermijn effecten van bekalking of nutriëntengift in bos boven tafel kunnen komen, is zeer waardevol en leerzaam voor interpretatie van de uitkomsten van het lopende onderzoek.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Om inzicht te krijgen in de langetermijneffecten van bosbekalking of bosbemesting met nutriënten is op initiatief van het OBN-DT Droog zandlandschap een overzicht gemaakt van in het verleden uitgevoerde proeven (Van Dobben 2010). Hierbij is naar voren gekomen dat de enige goed opgezette proef – met replicatie!- die nu nog beschikbaar is, de Harderwijker Veldproef is die in 1985 en '86 is opgestart (Hekstra et al., 1990, Kuyper & de Vries 1990). Het is de bedoeling deze proefvlakken nu opnieuw in te meten en globaal te karakteriseren om de kansen voor diepgravend onderzoek naar langetermijneffecten in te schatten. In dit project met “vervolgmonitoring” staan de volgende vragen centraal:

- 1) Zijn er nog veranderingen waarneembaar in bodem-pH en bodemchemie (zoutextracten)?
- 2) Zijn er aanwijzingen dat de kalktrappenproef en bemestingsproef effecten hebben gehad op de ontwikkeling van het humusprofiel?
- 3) Wat zijn de effecten van de bekalkings- en bemestingsproeven op de vegetatiesamenstelling?
- 4) Zijn er aanwijzingen dat de bekalkings- en proeven nog effect hebben op de huidige plantkwaliteit (met name te meten in de ondergroei als functie van bladgroei en bladgroenontwikkeling)?
- 5) Hoe waardevol kan de Harderwijker veldproef zijn voor vervolgonderzoek naar de langetermijneffecten van het aanbrengen van verschillende kalkniveau's, en enkele andere elementen (P, K) op het bosesysteem?

De opzet van het huidige vervolg onderzoek is sterk bepaald – of beperkt – door de oorspronkelijke opzet. Het betreft een naaldhoutopstand (grove den), waarin eigenlijk 3 experimenten bij elkaar zijn uitgezet, met de behandelingen in triplo:

- a) Toediening van kalk (3-6-9-18 ton kalk/ha) plus controle (samen met b);
- b) Volledig factorieel experiment met P, K, Mg (als meststof) en Ca (als kalk); zelfde controle als bij a.
- c) Experiment met toediening van eendenmest en kalvermest.

Gelet op de huidige relevantie – grote problemen met bodemverzuring in het zandlandschap – is de proef met kalver- of eendenmest weggelaten en is het kalktrappenexperiment (12 proefvlakken plus 3 controles) volledig mee genomen. In dit experiment werd de bodem (tot ook heel hoge niveau's) in 1985/86 gebufferd, waardoor langetermijneffecten van herbuffering (en verzuuring) te bestuderen zijn in een gradiënt van opgebrachte kalk (van 3 tot 18 ton per ha). Het factoriële gedeelte moest ingekort worden tot die combinaties die iets toevoegen in de praktijk. De bemesting met P en de combinaties van P met K of met Ca zijn daarom in het huidige onderzoek betrokken (9 proefvlakken; controles zijn dezelfde als hierboven).

### **1.3 Onderzoeksgroep**

Dit project is uitgevoerd in het kader van OBN-vervolgmonitoring door een onderzoeksgroep bestaande uit dr. ir. Arnold van den Burg (BSP: Biosphere Science Productions) en drs. Bas van de Riet en dr. Roland Bobbink (Onderzoekcentrum B-WARE). De projectleiding beruiste bij laatst genoemde. Tijdens de loop van het onderzoek is het team – op vrijwillige wijze – uitgebreid met prof. dr. Henk Siepel (Dierecologie, Radboud Universiteit) en dr. Emiel Brouwer (B-WARE). Door deze uitbreiding kon in het onderzoek ook aandacht besteed worden aan het voorkomen van paddenstoelen en de microarthropoden in de bodem. Het project is begeleid door het OBN Deskundigenteam Droog zandlandschap: in het DT zijn twee presentaties over de opzet en de resultaten gegeven, terwijl ook een excursie voor het DT naar de locatie met de Harderwijker proeven is georganiseerd. Tenslotte is de concept rapportage in het DT besproken.

### **1.4 Leeswijzer**

In hoofdstuk 1 wordt de achtergrond van het project, het doel van het onderzoek met zijn vraagstellingen en het team van onderzoekers besproken. Vervolgens komt in hoofdstuk 2 de onderzoekslocatie te Harderwijk aan de orde, gevolgd door een beschrijving van de proefopzet en van de methodieken die in het huidige onderzoek zijn toegepast. In de vijf daarop opvolgende hoofdstukken worden de resultaten besproken over de vegetatiesamenstelling (inclusief paddenstoelen) (hoofdstuk 3), humusprofielen (hoofdstuk 4), bodemchemie (hoofdstuk 5), bodemmicroarthropoden (hoofdstuk 6) en tenslotte de plantkwaliteit van beuk en eik (hoofdstuk 7). Het rapport wordt besloten met een overzicht van de conclusies en de aanbevelingen voor vervolgonderzoek (hoofdstuk 8) en een lijst van referenties (hoofdstuk 9).

## 2 Proefopzet en methodiek

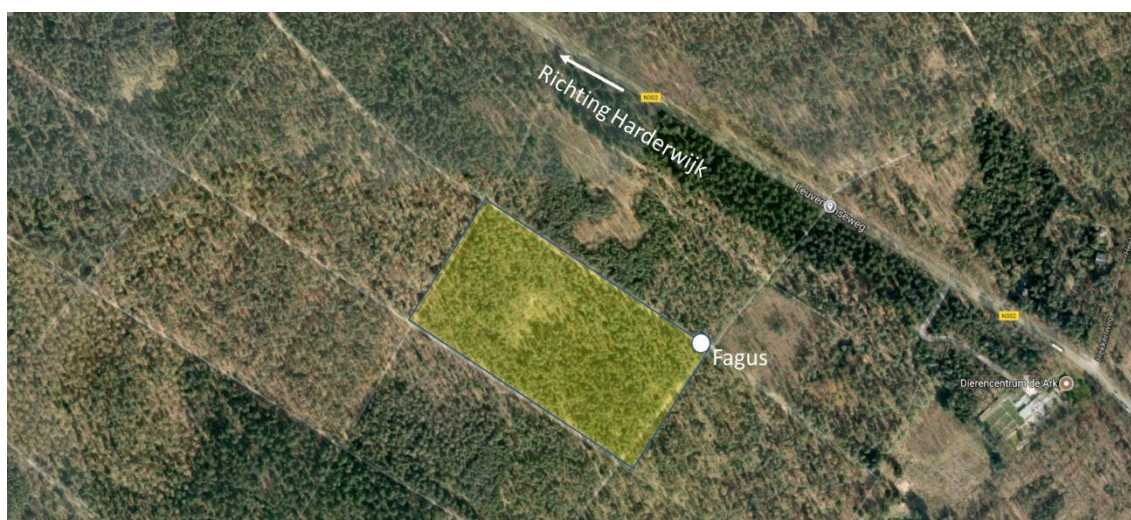
De Harderwijker bosbemestingsproef is opgestart op initiatief van de Christelijke Hogere Agrarische School te Dronten en de gemeente Harderwijk, met medewerking van verschillende organisaties uit de Wageningse onderzoekwereld. In Nederland staan veel bossen op vaak zure, voedselarme zandgronden met een (relatief) laag bufferend vermogen. Door de hoge depositie van zwavel- en stikstofverbindingen (zowel  $\text{NO}_x$  als  $\text{NH}_y$ ) werd toen al onderkend dat stikstof in overmaat aanwezig kon zijn, maar dat er door bodemverzuring ook tekorten van nutriënten als Ca, Mg, K en P zouden kunnen optreden. Dit was de aanleiding om in 1985 en '86 een combinatie van drie "bemestings"experimenten aan te leggen in een perceel met grove den in de gemeente Harderwijk. Het betrof een proef met verschillende nutriënten, een kalktrappenproef en een proef met kalver- of eendenmestgift.

### 2.1 Proeflocatie en -opzet

De drie proeven zijn grotendeels aangelegd in perceel 2-k van het gemeentebos op het voormalige "Harderwijkerveld" ( $52^\circ 20' \text{N} / 5^\circ 37' \text{E}$ ) (fig. 2.1). De perceelcodes van de Harderwijker gemeentebossen zijn terug te vinden op de beheerkaart uit 2011. Het perceel is vrijwel vlak en ligt rond de 17,5 m + NAP. Begin van de twintigste eeuw was dit terreingedeelte nog bedekt met (stuifzand)heide, waarop rond 1910 grove dennen (*Pinus sylvestris*) zijn aangeplant. Bij de start van de proeven waren de dennenbomen ca. 25 jaar oud en ongeveer 14 m hoog. Het was op dat perceel de tweede rotatie van grove den en de vegetatie werd bij de start als homogeen omschreven. De bodem bestond uit lichtlemig zand met een podzolprofiel. Bij aanleg was de pH-KCl van de bovenste 25 cm van de minerale laag 4,0, na verwijderen van het losse strooisel en de F-lagen.

De volgende drie proeven zijn met de behandelingen per toeval verspreid (in triplo) in een zogenaamd "latin square" in 1985 en 1986 uitgezet:

- bemestingsexperiment met volledig factoriele toediening van P, Ca, Mg en K en controle (samen met b) (15 behandelingen plus controle = 48 proefvlakken);
- kalktrappenexperiment (3-6-9-18 ton kalk) (12 proefvlakken);
- toediening van kalver- en eendenmest (12 proefvlakken; in perceel 1-j).



Figuur 2.1. Locatie van de Harderwijker Bosbemestingsproef (geel gearceerd). Bron: Google Maps.

Figure 2.1. Location of the Harderwijk forest liming and fertilization experiment (in yellow). Source: Google Maps.

Tabel 2.1. Overzicht van de hoeveelheden en vorm van de meststoffen en het tijdstip van toediening in de factoriele bosbemestingsproef (uit: Hekstra et al., 1990).

Table 2.1 Overview of the used amounts and form of lime or fertilizer and the timing of the addition

nutriënt	hoeveelheid kg/ha	vorm	tijdstip van toediening
P	25 (57 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	ruwfosfaat	herfst 85
	25 (57 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	tripelsuperfosfaat	herfst 85
K	100 (120 K <sub>2</sub> O)	kaliumsulfaat	voorjaar 86
Mg	100 (166 MgO)	kieseriet	voorjaar 86
CaCO <sub>3</sub>	3000 (1680 zbw)	koolzure landbouwkalk	herfst 85

De bemesting met K- en Mg-meststoffen is in het voorjaar van 1987 en 1988 herhaald tot een totaal van 100 kg K/ha, respectievelijk 100 kg Mg/ha. De gebruikte CaCO<sub>3</sub> bevatte circa 2 procent Mg.

In het bekalkingsexperiment zijn de volgende behandelingen (in ton CaCO<sub>3</sub>) toegediend: 3 t/ha, 6 t/ha, 9 t/ha en 18 t/ha. De behandeling met 6 en 9 ton is in 2x toegediend (najaar '85 en '86), terwijl die van 18 ton is afgerond in voorjaar 1987. De gebruikte vorm van bekalking was koolzure landbouwkalk. De proefvlakgrootte was 22 x 25 m (550 m<sup>2</sup>). De 60 proefvlakken van zowel het bemestings- als de kalktrappenproef waren uitgezet over perceel 2-k met een - nu verwaarloosde - brandsingel er tussen (fig.2.2).

## 2.2 Heruitzetten proefvlakken

Voor de OBN-vervolgmetingen aan de Harderwijkerproef was het noodzakelijk om 31-32 jaar nadat de Harderwijkerproef was opgestart de proefvlakken van het bekalkingsexperiment, de controle en de P, PCa en PK opnieuw te markeren. In april 2017 zijn op basis van de oude rapporten en kaarten (Dilz et al., 1988, 1990; Hekstra et al., 1990) en met hulp van de beheerder Roel Janssen de proefvlakken opnieuw uitgezet (fig. 2.2). Omdat het studiegebied min of meer rechthoekig is en wordt omgrensd door bospaden en met een brandsingel doorkruisd, was het goed mogelijk om met behulp van meetlinten, jalons - en drie personen - alle betrokken proefvlakken opnieuw in te meten. Ook de vegetatieverschillen in de bekalkingsproef maakte dit proces makkelijker. Een enkele keer werden nog oude markeringen aangetroffen van de oorspronkelijke hoekpunten, steeds binnen 1-1,5 m van de heringemeette nieuwe hoekpunten. Alle hoekpunten van de betreffende proefvlakken zijn vervolgens gemarkeerd met donkergrijze, kunststof paaltjes (70 cm) en met oranje markeerverf. Alle hoekpaaltjes langs de bospaden, waar veel wordt gewandeld door mensen met honden, zijn tot diep de bodem in geslagen, zodat ze slechts ca. 5 cm boven de grond uitstaken om uittrekken te voorkomen.

### Beheer 1990-2017

Na 1990 zijn er geen metingen meer uitgevoerd in de experimenten. Sindsdien is ook het beheer van dit type bossen in de gemeentebossen van Harderwijk geleidelijk veranderd (mond. med. Roel Janssen). Eerst was het beheer meer gericht op de houtproductie, maar geleidelijk aan werden natuurwaarden steeds belangrijker en is het beheer meer gericht op een overgang naar meer natuurlijk loofbos. Dit heeft betekend dat de boomlaag bestaande uit grove den in begin van deze eeuw (rond 2001) is gedund, en wel vlaksgewijs in de serie proefvlakken 1 t/m 30 en via toekomstbomendunning in de serie proefvlakken 31 t/m 60 (fig. 2.2.). Daarnaast is in 2002 een stuk kaalgekapt en daarna ingeplant met zomereik (*Quercus robur*) (mond. med. Roel Janssen). Het betrof hier proefvlak 24, 25, 34, 15 (deels) en (35 deels).



Opnamen 2017: Geel = kalktrappenproef paars = bemestingsproef; groen = controle  
het nummer in het midden is het oorspronkelijke PQ-nummer dat in 2017 ook weer is gebruikt.

		k=kalk / lime									
v e l d	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	
	PKCa	K	PKMg	Ca	PKCaMg	KMg	PCa	0	3 ton k	18 ton k	
	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	
k	P	PCaMg	KCaMg	Mg	CaMg	PK	PMg	KCa	6 ton k	9 ton k	
	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	
	PMg	KCa	PKCaMg	KMg	KCaMg	Mg	PCaMg	PKMg	9 ton k	3 ton k	
v e l	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
	PCa	CaMg	0	PK	Ca	K	PKCa	P	6 ton k	18 ton	
	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	
k	PK	0	CaMg	KCa	Mg	PKMg	P	K	9 ton k	3 ton k	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
	PKCaMg	PCa	KMg	PMg	KCaMg	Ca	PCaMg	PKCa	18 ton k	6 ton k	

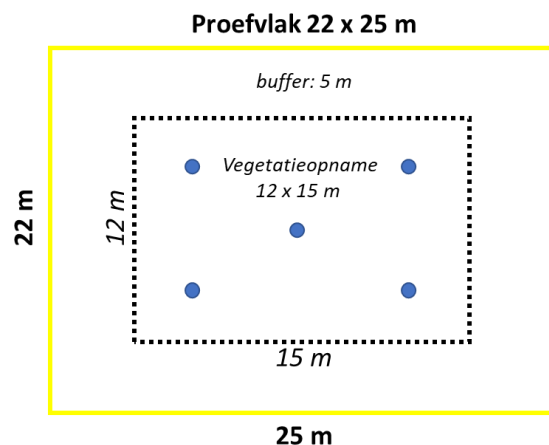
Fagus

Figuur 2.2. Proefopzet van de Harderwijk bosbemestingsproef met daarin aangegeven de permanente proefvlakken met de verschillende behandelingen. De gekleurde vlakken (paars, groen en geel) zijn in 2017 opnieuw uitgezet en later onderzocht. Naar: Dilz et al., 1988.

Figure 2.2. Experimental design of the forest fertilization experiment in Harderwijk indicating the different permanent quadrats (PQ's) and the treatments. The coloured quadrats (purple, green, yellow) indicate the PQ's that were investigated in 2017. After: Dilz et al., 1988.

## 2.3 Vegetatieopnamen

Op 18 & 19 juli en 3 augustus 2017 werd van 24 proefvlakken de vegetatie opgenomen volgens de methode van Braun-Blanquet. Daarvoor werd binnen het behandelde proefvlak (22 x 25 m) een opnamevlak van 12 x 15 m uitgezet met jalons. Daarmee werd een bufferzone rondom het opnamevlak aangehouden van 5 meter (fig. 2.3). Dit is gelijk aan de methode die oorspronkelijk werd gehanteerd.



Figuur 2.3. Proefvlak (22 x 25 m) met daarbinnen aangegeven het deel waarvan de vegetatieopname is gemaakt (12 x 15 m) en globale indicatie van de locatie waar een mengmonster is genomen voor de bodemchemische bemonstering (blauwe stippen). Rondom is een buffer aangehouden van 5 meter.

Figure 2.3. Permanent quadrat (22 x 25 m) with indication of the part where the vegetation relevé was taken (12 x 15 m). The blue dots indicate the location where subsamples for biogeochemical analyses were collected. A buffer 5 m around the sampled area was considered.

Binnen het opnamevlak werd een schatting gemaakt van de totale bedekking per laag (boomlaag, lage boomlaag/struiklaag, kruidlaag en moslaag) en vervolgens werd per soort de bedekking genoteerd. Van de drie dikste grove dennen in het opnamevlak werd de diameter op borsthoogte (DBH, diameter at breast height) bepaald met een boomdiameter. Tevens werd een foto van het kronendek en de vegetatie gemaakt. Alle vegetatie-opnamen zijn in het veld ingevoerd met behulp van TurboVegSD 1.1.6 (Wageningen Environmental Research) en een tablet computer (Samsung Galaxy Tab Active SM-t365). De vegetatiegegevens zijn verder verwerkt met de desktopversie TurboVeg 2.0 (Wageningen Environmental Research).

## **Paddenstoelen**

Bestudering van de mycoflora was oorspronkelijk niet gepland of begroot. Echter, ook verschuivingen in de samenstelling van de mycoflora kunnen sterk bijdragen aan het begrijpen van de processen die zijn opgetreden in de ruim 30 jaar na de behandelingen. Om een indruk te krijgen van deze verschuivingen zijn op 13 oktober 2017 en 3 november 2018 dezelfde proefvlakken bezocht waar ook de vegetatie is beschreven, maar is een smallere randzone van ongeveer 2 meter aangehouden. Er is alleen gelet op bodem- en strooiselbewonende paddenstoelen. Kleine ascomyceten zijn buiten beschouwing gelaten. Ook zijn diverse onzekere determinaties van taxonomisch moeilijke groepen niet meegenomen, met name enkele gordijnzwammen (*Telamonia*), satijnzwammen (*Entoloma*) en mosklokjes (*Galerina*), en zijn sommige soortcomplexen alleen als complex meegenomen.

## **2.4 Humusopbouw**

Als gevolg van bosbekalking vanuit een verzuurde uitgangssituatie is het te verwachten dat de afbraak van strooisel zal toenemen. In dit onderdeel willen we vaststellen bij welke kalkgift dit gebeurt in de kalktrappenproef en of bijvoorbeeld een P-gift (ook in combinatie met Ca en K) eenzelfde effect kan geven. Hiertoe zijn de humusprofielen in de verschillende proefvelden in beeld gebracht en opgemeten.

De proefvelden werden op 19 oktober 2017 bemonsterd met een 'humushapper'. Het humusprofiel en de direct hieronderliggende minerale bodem werden in het veld beschreven en opgemeten en er zijn foto's gemaakt ter referentie. Er werden 3 profielen gestoken per proefveld, dus 9 per behandeling.

## **2.5 Bodemchemie**

Het bodemchemisch onderzoek is uitgevoerd in alle vlakken waar ook de vegetatieopnamen zijn gedaan. Op 16 oktober 2017 werd in ieder proefveld een mengmonster verzameld met een bodemguts (5 steken) van de bovenste 25 cm van de minerale bodem in het centrale deel van het proefvlak (fig. 2.1). Hierbij werd eerst de strooisellaag verwijderd.

Op deze bodemmonsters zijn vervolgens de volgende bewerkingen uitgevoerd:

- bepaling drooggewicht en organische stofgehalte;
- Olsen-extractie voor plantbeschikbaar P;
- zoutextractie voor pH en overige plantenvoedingsstoffen en de hoeveelheid uitwisselbare basische kationen;
- strontiumextractie voor bepaling van de Cation exchange capacity (CEC) en basenverzadiging;
- bodemdestructie voor totaalgehalten elementen (onder meer Al-tot, Ca-tot, Fe-tot en P-tot).

## **Drooggewicht en organisch stofgehalte**

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal terug gewogen en het vochtverlies berekend. Dit alles werd in duplo uitgevoerd. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien van de monsters werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

## **Olsenextractie**

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l<sup>-1</sup> natriumbicarbonaat (NaHCO<sub>3</sub>) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,4 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

## **Zoutextractie**

Met een zoutextractie kunnen de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 mol l<sup>-1</sup> NaCl) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

## **Strontiumextractie**

Met een strontiumextractie kan de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal met 200 ml strontiumchloride (0,2 mol l<sup>-1</sup>), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard en bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

## **Destructie**

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Dit werd uitgevoerd door het materiaal na het drogen op 60°C te vermalen. Van het materiaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO<sub>3</sub>, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werden de monsters overgegoten in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml door toevoeging van milli-Q water. De destruatens werden vervolgens geanalyseerd op de ICP-OES.

## Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

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-OES, ICAP 6300 ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride ( $\text{Cl}^-$ ) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium ( $\text{Na}^+$ ) en kalium ( $\text{K}^+$ ) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

## Statistiek

De verschillen tussen de behandelingen zijn op significantie getoetst met ANOVA (GLM), aangevuld met een post-toest volgens Tukey binnen SPSS-24. Indien nodig, zijn de data log ( $x + 1$ ) getransformeerd. In dit rapport zijn de significanties t.o.v. de controle voor bodemchemie weergegeven als: \* :  $p < 0,05$  en (\*):  $p =$  tussen 0,05 en 0,10 (bijna significant).

## 2.6 Bodemfauna

De Harderwijkerkalktrappenproef is op 19 oktober 2017 bemonsterd op microarthropoden van de bodem. Van de totale proef zijn alleen de controlevelden en de velden met respectievelijk 3, 6, 9 en 18 ton/ha toegevoegde kalk bemonsterd en hier uitgewerkt. Per veld zijn vier monsters genomen van strooisellaag plus 100 cc minerale bodem (5 cm. diepte). De monsters zijn direct overgebracht op een Tullgren-extractie voor een periode van 7 dagen, waarbij de ge-extraheerde dieren werden opgevangen in 70% alcohol. Alle microarthropoden zijn vervolgens overgebracht in preparaten met 20% melkzuur voor opheldering en zoveel mogelijk tot op de soort gedetermineerd (Siepel & Van de Bund 1988). Nomenclatuur en identificatie van de belangrijkste groepen is op basis van Weigmann (2006) voor Oribatida, Karg (1993) voor Gamasina, Karg (1989) voor Uropodina en Bretfeld (1999), Potapow (2001), Dunger and Schlitt (2011) en Jordana (2012) voor Collembola.

De soorten werden gegroepeerd naar voedselgildes op basis van Siepel en De Ruiter-Dijkman (1993), met als belangrijkste groepen: herbivore grazers, herbivore browsers, fungivore grazers, fungivore browsers, herbofungivore grazers, opportunistische herbofungivoren en algemene predatoren. De grazers zijn in staat tot het verteren van de planten- (herbivoor) of schimmelcelwand (fungivoor). Browsers kunnen alleen de celinhoud verteren. In tegenstelling tot de opportunistische herbofungivoren kunnen de herbofungivore grazers dus naast de plantencelwand ook de schimmelcelwand verteren. Zoals gesuggereerd door Siepel en De Ruiter-Dijkman (1993) zijn dit soorten die vooral leven van dood hyphenmateriaal.

## 2.7 Plantkwaliteit

Naast veranderingen in de samenstelling en bedekking van de vegetatie zullen de behandelingen mogelijk ook effect hebben op de fysiologie van de aanwezige bomen. Verzuring en nutriëntengebreken kunnen ertoe leiden dat planten minder eetbaar worden voor herbivoren, zoals vlinderrupsen. Binnen het kader van deze monitoring is het niet mogelijk om dit te onderzoeken, maar wel is vast te stellen of de ontwikkeling van het blad (grootte, bladgroenconcentratie) anders verloopt bij verschillende behandelingen, wat verband zou kunnen houden met de bladkwaliteit voor fauna. Bij zomereiken waarvan bekend is dat de kwaliteit voor vlinderrupsen niet in orde is (van den Burg et al., 2014) is bijvoorbeeld gebleken dat de chlorofylconcentraties te hoog zijn ten opzichte van controlebomen met een goede rupsenbezetting (voortgangsrapportage OBN-project steenmeeltoepassing in bossen).



Omdat de beuk het beste over de plots vertegenwoordigd was, is deze boomsoort gekozen voor het meest gedetailleerde deel van dit deelonderwerp. Er is gekeken naar de scheutgroei, bladgroenontwikkeling en bladstrekking. Naar verwachting leveren minder zure, nutriëntenrijkere bodems grotere bladeren met een hogere chlorofylconcentratie (Minotta & Pinzauti, 1996). Omdat beuken bepaalde scheuten flink laten doorgroeien en andere niet, gaf deze methode te veel variatie waardoor het vinden van relaties met de behandelingen onmogelijk was. Naast beuken zijn er ook aanvullende metingen gedaan aan zomereiken, zodat de aansluiting met andere projecten (o.a. OBN - steenmeeltoediening in bossen) mogelijk beter wordt.

De te onderzoeken beuken werden nog voor het uitlopen van de bomen gemarkeerd. De geselecteerde bomen bevonden zich zoveel mogelijk in het centrale deel van de proefvelden, maar soms dicht bij de rand, omdat er simpelweg geen andere bomen beschikbaar waren. Per proefveld werden twee bomen aangewezen, zodat per behandeling 6 bomen werden onderzocht (indien beschikbaar). Zodra de bladeren zich ontrold hadden uit hun knoppen werden per boom 3 blaadjes individueel gemarkeerd aan verschillende zijden van de boom. Hierdoor konden op verschillende meetmomenten dezelfde blaadjes worden onderzocht. Omdat de beuken een lange periode kenden waarbinnen individuele bomen met het uitlopen van knoppen begonnen, werden nieuwe blaadjes zowel bij de eerste als de tweede meetronde geselecteerd en werd een extra meetronde aan het protocol toegevoegd, zodat ook van de laat uitgelopen blaadjes een afdoende meetreeks zou ontstaan. De chlorofylmetingen werden niet-destructief gedaan met een Apogee Chlorophyll Meter. De bladlengte werd gemeten met een elektronische schuifmaat. De meetronden vonden plaats op 4, 17 en 29 mei en 6 juni 2018. Van twee zomereiken per plot werden op 17 mei eveneens eenmalig 3 blaadjes gemeten, voor chlorofyl en bladlengte, net zoals bij de beuken.

Analoog aan eerder en ander onderzoek aan zomereiken was de opzet om op basis van de eerste metingen de ontwikkelingsleeftijd van het beukenblad in te schatten, zodat hiervoor gedurende de rest van de ontwikkeling gecorrigeerd kon worden. De grootte en mate van ontwikkeling verschilde echter al te veel op het moment dat de bladeren zich uit de knoppen ontrolden, zodat deze analysemethode niet beschikbaar was. Voor verschuivingen is de verdelingsvrije 2-steekproeftoets van Wilcoxon toegepast.

## 3 Vegetatie en paddenstoelen

### 3.1 Ontwikkeling van de vegetatie

#### Beschrijving van de vegetatie in 1985-1986

De bosbemestingsproef is in 1985/1986 gestart in een toendertijd 25-jarige opstand van grove den (*Pinus sylvestris*) op lichte zandgrond met een pH van circa 4 in de bovenste bodemlaag (0-2 cm). De ondergroei, alle vegetatie <1 meter, werd in december 1985 globaal opgenomen. Daarin valt op dat de vegetatie voornamelijk uit mossen bestond en vaatplanten slechts spaarzaam waren. De mossen die frequent tot abundant aanwezig waren zijn Gesnaveld klauwtjesmos (*Hypnum cupressiforme*), Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*), Boskronkelsteeltje (*Campylopus flexuosus*) en Bronsmos (*Pleurozium schreberi*). Van de vaatplanten zijn Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), struisgras (*Agrostis spec.*) en struikheide (*Calluna vulgaris*) het meest aanwezig (verspreid tot zeldzaam) (P.J. Keizer in anoniem 1987). In het daaropvolgende groeiseizoen (september 1986) werden verschillende andere soorten gevonden die eerder waarschijnlijk over het hoofd waren gezien. Kenmerkende vaatplanten van ongestoorde voedselarme zandgrond die in geringe aantallen in de PQ's werden aangetroffen zijn onder meer Zandzegge (*Carex arenaria*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Gewone veldbies (*Luzula campestris*) en Brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*) (H.F. van Dobben in anoniem 1987. Deze opnamen zijn echter gemaakt na toedienen van de behandelingen. Toen werden reeds effecten gezien van met name de minerale calciumgift op de samenstelling van de ondergoei in de vorm van een toename van ruigtesoorten, zoals Wilgenroosje (*Chamerion angustifolium*) en Rankende helmbloem (*Ceratocarpus claviculata*).

#### Vegetatie in 2017

Ruim 30 jaar later heeft zich in het bos een gedifferentieerde ondergroei ontwikkeld waarin naast de aangeplante dennen (nu ca. 19 m hoog) een duidelijke lage boomlaag, struik-, kruid- en moslaag heeft ontwikkeld. De in 1985/86 toegediende behandelingen laten in de bekalkte proefvlakken duidelijke effecten zien (tabel 3.1). Het aantal plantensoorten in de hoogste kalkbehandeling (18 ton/ha) is significant hoger dan in de controle (26 soorten vaatplanten versus 19 soorten). Verder is de bedekking van de struiklaag significant hoger in de PQ's behandeld met 6 en 9 ton kalk/ha (ook de 18 ton kalk/ha lijkt hoger, maar door de spreiding is dit niet significant). Dit wordt vooral bepaald door het grote verschil in bedekking door Gewone braam (*Rubus fruticosus* agg.). In de bemeste proefvlakken zijn geen significante verschillen gevonden tussen de behandelingen en de controle.

Tabel 3.1. Algemene vegetatiekenmerken (n=3) op basis van de opnamen in 2017. De bemestingsproef en de bekalkingsproef zijn los getoetst; in vet de waarden die significant verschillen van de controle (p<0,05).

Table 3.1. General characteristics of the vegetation (n=3) in 2017. The fertilization experiment and the liming experiment were tested separately. Significant differences are depicted in bold (p<0,05).

Algemene vegetatiekenmerken	P	PK	PCa	CTR	3 t kalk	6 t kalk	9 t kalk	18 t kalk
Aantal soorten vaatplanten	22,7 ± 2,9	21,3 ± 0,7	23,7 ± 1,2	19,0 ± 0,6	18,0 ± 2,1	17,3 ± 1,9	19,7 ± 1,5	<b>26,3 ± 1,2</b>
Aantal soorten mossen	4,3 ± 0,9	4,7 ± 0,3	4,0 ± 0,0	5,0 ± 0,6	5,7 ± 0,9	6,0 ± 0,6	5,0 ± 1,0	3,3 ± 0,7
Bedekking boomlaag (%) (incl. lage bomen)	36,7 ± 10,9	48,3 ± 9,3	45,0 ± 5,0	40,0 ± 5,0	45,0 ± 2,9	31,7 ± 6,0	31,7 ± 4,4	36,7 ± 7,3
Bedekking struiklaag (%) (incl. braam)	25,3 ± 5,0	17,5 ± 6,7	20,4 ± 4,4	21,7 ± 6,1	38,3 ± 13,6	<b>68,3 ± 4,4</b>	<b>73,3 ± 14,2</b>	60,0 ± 7,6
Bedekking kruidlaag (%) (excl. braam)	45,7 ± 11,9	28,3 ± 1,7	35,0 ± 5,0	16,7 ± 4,4	7,0 ± 1,5	15,0 ± 5,0	13,3 ± 4,4	20,0 ± 5,0
Bedekking moslaag (%)	55,0 ± 21,8	18,3 ± 4,4	46,7 ± 21,9	35,0 ± 5,0	10,0 ± 2,9	16,7 ± 9,3	20,0 ± 5,0	21,3 ± 12,3
Hoogte (hoge) struiklaag (m) (vnl bramen)	1,1 ± 0,5	1,1 ± 0,4	0,7 ± 0,2	1,1 ± 0,2	0,6 ± 0,1	1,2 ± 0,0	1,3 ± 0,3	1,5 ± 0,1
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm)	30,0 ± 0,0	30,0 ± 0,0	29,3 ± 1,7	26,7 ± 3,3	33,3 ± 3,3	30,0 ± 0,0	40,0 ± 10,0	46,7 ± 16,7
DBH (cm)	33,9 ± 1,9	31,7 ± 1,7	33,7 ± 2,1	32,1 ± 1,1	36,5 ± 1,6	33,1 ± 1,3	33,4 ± 1,1	33,7 ± 2,1

In de soortensamenstelling van de vegetatie is te zien dat sommige plantensoorten een duidelijke voorkeur hebben voor bepaalde behandelingen (tabel 3.2, hierin is met kleurblokken aangegeven welke groepen een hogere frequentie en/of bedekking hebben). De bemeste proefvlakken verschillen wederom weinig van de controle, maar in de kalktrappenproef zijn duidelijke verschillen zichtbaar.

In de bekalkte proefvlakken is een aantal soorten die er (nagenoeg) ontbreken of een veel lagere abundantie hebben in vergelijking met de controle-vlakken (rode vlakken in tabel 3.2). Het gaat om soorten van zure zandgronden, zoals Struikheide (fig. 3.1), Bochtige smele, Blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*) en Bronsmos. Daarnaast hebben een aantal andere soorten een groter aandeel in de vegetatie van de controle in vergelijking met de kalktrappen, zoals Smalle stekelvaren (*Dryopteris carthusiana*), Gewoon gaffeltandmos, Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) en juvenielen van Douglasspar (*Pseudotsuga menziesii*).

In de opnamen zijn ook mossen en vaatplanten gevonden die juist een sterke voorkeur hebben voor de bekalkte proefvlakken (blauwe vlakken in tabel 3.2). Het gaat om soorten die kenmerkend zijn meer gebufferde bodems, zoals Groot heksenkruid (*Circaea lutetiana*), Mannetjesvaren (*Dryopteris filix-mas*), Wilde kardinaalsmuts (*Euonymus europaeus*), Dwergmispel (*Cotoneaster integerrimus*) en Gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*). Andere soorten laten veel hogere bedekkingen zien in de kalktrappenproef in vergelijking met de niet-bekalkte PQ's. Het meest in het oog springend is de aanwezigheid van forse braamstruiken in de proefvlakken met 6, 9 of 18 ton kalk/ha. Gewone braam (*Rubus fruticosus* agg.) is dominant geworden met 65-71% bedekking en 1,2 – 1,5 m hoogte (tabel 3.1; fig. 3.2 en 3.3). Daarnaast worden veel ruigtesoorten aangetroffen. Het gaat in dit geval om Geel nagelkruid (*Geum urbanum*), Koninginnekruid (*Eupatorium cannabinum*), Gewoon vingerhoedskruid (*Digitalis purpurea*), Grote brandnetel (*Urtica dioica*) en Bitterzoet (*Solanum dulcamara*) (fig. 3.1). Opvallend is dat in de hoogste kalkbehandelingen (6, 9 en 18 ton/ha) relatief veel soorten aangetroffen worden die in geen enkele andere behandeling zijn aangetroffen (bijlage 1). Dit zijn soorten van gebufferde bodems, waaronder Zachte naaldvaren (fig. 3.1), Breedbladige wespenorchis (*Epipactis helleborine*), Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*) en Kruisbes (*Ribes uva-crispi*), en ruderaal soorten als Jacobskruiskruid (*Senecio jacobaea*), Akkerdistel (*Cirsium arvense*) en Kleefkruid (*Galium aparine*).

Uit het bovenstaande blijkt dat het bekalken van 32 jaar geleden nog steeds duidelijk zichtbare effecten heeft op de vegetatiesamenstelling. Het is goed mogelijk dat de ontwikkeling van deze dichte ondergroei het voorkomen van soorten ook beïnvloedt. Hoewel het niet specifiek onderzocht is, zouden soorten als Gewoon thujamos (*Thuidium tamariscinum*) en Gerimpeld boogsterrenmos (*Plagiomnium undulatum*) kunnen profiteren van een gunstiger microklimaat. Ook hebben Wilde zwijnen onder de hoge braamstruiken hun slaappleatsen gemaakt.

Tabel 3.2. Synoptische tabel van de vegetatieopnamen gemaakt in juli en augustus 2018 in de Harderwijk bosbestedingsproef. De soorten zijn gestructureerd in groepen gebaseerd op een duidelijke voorkeur voor een behandeling. CTR = controle, P = fosfor, PK = fosfor + kalium, PCa = fosfor + calcium. Per soort is aangegeven de frequentie (aantal opnamen; 1-3) en de gemiddelde bedekkingsklasse (I = 0-1%; II = 1-2%; III = 2-3%; IV = 3-4%; V = 4-8%; VI = 8-18%; VII= 18-38%). Soorten met frequentie <1 zijn buiten beschouwing gelaten. Zie bijlage 1 voor de complete opnamen.

Table 3.2. Synoptic table based on the vegetation survey in the Harderwijk Forest Fertilization experiment, July-August, 2018. Species are structured into groups based on their preference for certain treatments. For each species the frequency of occurrence (number of relevés; 1-3) and the average cover class is given (I = 0-1%; II = 1-2%; III = 2-3%; IV = 3-4%; V = 4-8%; VI = 8-18%; VII= 18-38%). N = total number of relevés. Species with a frequency <1 are not depicted. Appendix 1 gives an overview of all vegetation data per plot.

Wetenschappelijke naam	P	PK	PCa	CTR	3t kalk	6t kalk	9t kalk	18t kalk	Nederlandse naam
<i>Deschampsia flexuosa</i>	3 - VII	3 - VII	3 - VI	3 - VI	1 - IV	2 - III	-	-	Bochtige smele
<i>Rhamnus frangula</i>	2 - II	2 - III	3 - II	3 - I	-	-	-	-	Sporkehout
<i>Calluna vulgaris</i>	3 - III	3 - III	2 - III	1 - IV	-	-	-	-	Struikhei
<i>Ceratocarpus claviculata</i>	2 - IV	3 - III	2 - III	2 - III	-	-	-	-	Rankende helmblom
<i>Pleurozium schreberi</i>	1 - IV	-	2 - IV	3 - IV	-	-	-	-	Bronsmos
<i>Rumex acetosella</i>	2 - III	1 - II	2 - III	1 - III	-	-	-	-	Schapenzuring
<i>Carex pilulifera</i>	2 - III	3 - II	1 - IV	2 - III	1 - III	-	-	-	Pilzegge
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3 - V	3 - III	1 - IV	2 - IV	-	-	1 - III	-	Blauwe bosbes
<i>Dryopteris carthusiana</i>	3 - V	3 - VI	3 - V	3 - V	3 - IV	3 - III	2 - III	3 - III	Smalle stekelvaren
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3 - II	3 - II	3 - III	3 - II	2 - II	1 - II	2 - II	1 - II	Douglasspar
<i>Prunus serotina</i>	1 - II	1 - II	2 - III	-	2 - II	-	-	-	Amerikaanse vogelkers
<i>Dicranum scoparium</i>	-	2 - IV	1 - IV	1 - IV	2 - IV	-	-	-	Gewoon gaffeltandmos
<i>Ilex aquifolium</i>	-	-	1 - II	2 - I	-	-	-	-	Hulst
<i>Rubus fruticosus ag.</i>	3 - VII	3 - VII	3 - VI	3 - VI	3 - VII	3 - VIII	3 - IX	3 - IX	Gewone braam
<i>Fagus sylvatica</i>	3 - II	2 - II	2 - III	3 - III	3 - VI	3 - II	3 - V	2 - VI	Beuk
<i>Dryopteris dilatata</i>	3 - III	3 - V	3 - II	3 - II	3 - IV	3 - IV	3 - IV	3 - IV	Brede stekelvaren
<i>Brachythecium rutabulum</i>	1 - IV	1 - IV	1 - IV	-	3 - IV	2 - IV	2 - IV	3 - IV	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis epigejos</i>	1 - IV	1 - III	1 - IV	-	2 - IV	2 - V	3 - IV	3 - VI	Duinriet
<i>Moehringia trinervia</i>	1 - III	-	1 - II	-	-	2 - V	2 - V	3 - V	Drienermuur
<i>Digitalis purpurea</i>	1 - IV	-	1 - III	-	1 - III	2 - V	2 - V	1 - IV	Gewoon vingerhoedskruid
<i>Cotoneaster integerrimus</i>	1 - II	-	-	-	1 - II	-	2 - II	1 - II	Wilde dwergmispel
<i>Dryopteris filix-mas</i>	-	-	1 - III	-	-	3 - III	3 - III	3 - II	Mannetjesvaren
<i>Atrichum undulatum</i>	-	-	-	-	1 - IV	1 - IV	1 - IV	1 - IV	Groot rimpelmos
<i>Plagiommium undulatum</i>	-	-	-	-	1 - IV	2 - IV	1 - IV	1 - IV	Gerimpeld boogsterrenmos
<i>Solanum dulcamara</i>	-	-	-	-	2 - II	1 - III	1 - II	3 - III	Bitterzoet
<i>Thuidium tamariscinum</i>	-	-	-	-	2 - IV	1 - IV	2 - IV	-	Gewoon thujamos
<i>Epilobium tetragonum</i>	-	-	-	-	1 - II	-	-	1 - V	Kantige basterdwederik s.l.
<i>Euonymus europaeus</i>	-	-	-	-	-	1 - II	-	1 - III	Wilde kardinaalsmuts
<i>Circaea lutetiana</i>	-	-	-	-	1 - II	2 - II	2 - III	3 - IV	Groot heksenkruid
<i>Urtica dioica</i>	-	-	-	-	-	-	2 - III	2 - IV	Grote brandnetel
<i>Eupatorium cannabinum</i>	-	-	-	-	-	-	-	3 - III	Koninginnenkruid
<i>Geum urbanum</i>	-	-	-	-	-	-	-	3 - III	Geel nagelkruid
<i>Pinus sylvestris</i>	3 - VII	3 - VI	3 - VIII	3 - VII	3 - VII	3 - VII	3 - VII	3 - VII	Grove den
<i>Betula pendula</i>	3 - VII	3 - VIII	3 - VII	3 - VII	3 - VII	3 - VI	3 - VI	3 - V	Ruwe berk
<i>Sorbus aucuparia</i>	3 - IV	3 - III	3 - III	3 - IV	3 - III	3 - III	2 - III	3 - III	Wilde lijsterbes
<i>Amelanchier lamarckii</i>	3 - V	3 - III	3 - III	3 - III	3 - II	3 - III	2 - III	3 - III	Amerikaans krentenboompje
<i>Larix decidua</i>	3 - III	2 - III	3 - VI	3 - III	3 - II	-	1 - III	3 - III	Europese lork
<i>Quercus robur</i>	2 - III	3 - IV	3 - II	3 - III	3 - II	2 - II	2 - II	2 - III	Zomereik
<i>Betula pubescens</i>	2 - II	1 - II	1 - III	1 - I	2 - III	-	1 - III	2 - III	Zachte berk
<i>Quercus rubra</i>	-	1 - III	1 - III	1 - III	1 - III	-	-	1 - II	Amerikaanse eik
<i>Agrostis capillaris</i>	3 - IV	2 - V	3 - V	2 - V	3 - IV	3 - V	3 - V	3 - V	Gewoon struisgras
<i>Carex arenaria</i>	1 - V	1 - III	2 - III	1 - III	1 - V	1 - III	2 - III	2 - III	Zandzegge
<i>Chamerion angustifolium</i>	2 - III	-	3 - III	-	-	3 - III	1 - III	2 - IV	Wilgenroosje
<i>Epilobium montanum</i>	-	1 - III	1 - II	-	-	1 - II	1 - II	2 - IV	Bergbasterdwederik
<i>Rubus corylifolius</i>	-	1 - II	-	-	1 - II	-	-	1 - II	Hazelaarbraam
<i>Holcus lanatus</i>	-	1 - III	-	-	-	-	2 - II	-	Gestreepte witbol
<i>Galium aparine</i>	-	-	1 - III	-	-	-	-	2 - III	Kleefkruid
<i>Eurhynchium praelongum</i>	2 - IV	2 - IV	1 - IV	2 - IV	2 - IV	3 - IV	2 - IV	3 - IV	Fijn laddermos
<i>Polytrichum formosum</i>	3 - IV	3 - IV	2 - IV	2 - IV	2 - IV	3 - IV	2 - IV	1 - IV	Fraai haarmos
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	3 - IV	3 - IV	3 - IV	2 - IV	2 - IV	2 - IV	3 - IV	1 - IV	Groot laddermos
<i>Hypnum jutlandicum</i>	3 - IV	3 - IV	2 - IV	1 - IV	2 - IV	2 - IV	1 - IV	-	Heideklauwtjesmos
<i>Rhytidiadelphus loreus</i>	-	1 - II	-	-	-	1 - II	-	1 - II	Riempjesmos
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	-	-	-	1 - IV	-	1 - IV	1 - IV	-	Gewoon haakmos



Figuur 3.1. Voorbeelden van plantensoorten die werden aangetroffen in de proefvlakken. Struikheide (boven, links) is een soort van zure, voedselarme bodems en werd alleen gevonden in de niet-bekalkte PQ's. Bitterzoet is een ruigtesoort die alleen werd gevonden in de bekalkte proefvlakken (onder, links). Van de zeldzame Zachte naaldvaren (rechts), een soort van kalkhoudende bodems, werden 3 exemplaren gevonden in een bekalkt proefvlak (6 ton kalk). Foto's: Bas van de Riet, 19 juli/3 augustus 2017.

Figure 3.1. Examples of characteristic plant species. *Calluna vulgaris*, characteristic of nutrient-poor, acidic soils; *Solanum dulcamara*, a eutraphent species only found in lime-treated PQ's. And the rare *Polystichum setiferum*, which was found in one PQ treated with 6 ton lime. Photo's: Bas van de Riet, July 19./August 3., 2017.

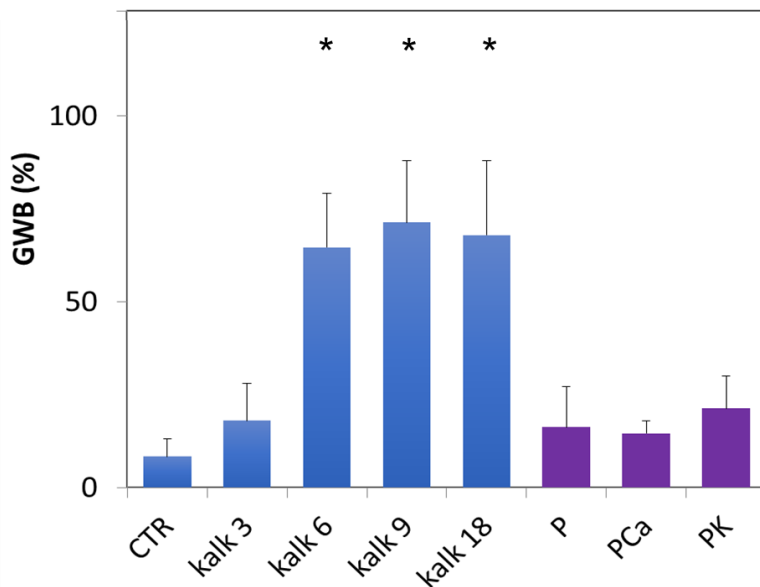


Figure 3.2. Gemiddelde werkelijke bedekking ( $\pm$ SE) van Gewone braam (*Rubus fruticosus* agg.). \* = significant verschillend van controle. n=3.

Figure 3.2. Average cover ( $\pm$ SE) of European blackberry (*Rubus fruticosus* agg.). \* = significantly different from control. n=3.





Figuur 3.3. Gewone braam (*Rubus fruticosus* agg.) in twee PQ's waaraan 32 jaar geleden verschillende dosis kalk is toegediend. Boven 3 ton kalk per hectare, onder 9 ton kalk per hectare. Foto's: Roland Bobbink, 18/19 juli 2017.

Figure 3.3: European blackberry (*Rubus fruticosus* agg.) in two permanent quadrats to which 32 years ago two different amounts of lime were applied. Above 3 ton lime/ha; below 9 ton lime/ha. Photos: Roland Bobbink, July 18./19., 2017.

## 3.2 Conclusies

- De samenstelling van de vegetatie is aanzienlijk veranderd door de toepassing van kalk (4 niveau's) in 1985 en 1986. Meer acidofiele plantensoorten nemen af in bedekking of zijn verdwenen in de proefvlakken met bekalking, terwijl soorten uit meer

gebufferde milieus toenemen. Dit effect is het minst in de proefvlakken die met 3 ton zijn behandeld;

- In de proefvlakken waar ruim 30 jaar geleden 6 ton kalk of meer is uitgestrooid, is de bedekking van braam zeer hoog geworden, ook zijn deze bramenstruiken prominent in de hoogte gegroeid;
- De proefvlakken waar alleen P of PK is toegediend, is de vegetatie maar weinig verschillend van de vegetatie in de controleproefvlakken. Wel zijn enige soorten toegenomen die ook wat meer bedekken in de bekalste proefvlakken.

### 3.3 Paddenstoelen

#### **Uitgangssituatie en kenmerkende soorten**

Doel van het onderzoek is om de langetermijneffecten van het gebruik van nutriënten en kalk op voedselarme bossen op kalkloze zandgronden beter in beeld te krijgen. Uitgangspunt is dat deze bossen door verzuring, en later ook door stikstofdepositie, veel van hun biodiversiteit hebben verloren. De vraag is in hoeverre de destijds toegepaste behandelingen hebben bijgedragen aan het herstel van deze biodiversiteit. Voor paddenstoelen zijn hierbij enkele complicaties aanwezig. Tijdens de toediening van kalk of meststoffen bestond het bos uit een 25 jaar oude dennenaanplant op voormalige heide en stuifzand. Er was dus sprake van een zeer jong bos met een nog weinig ontwikkelde humuslaag. Nog in de jaren vijftig werden veel van dit soort aanplanten gekenmerkt door de aanwezigheid van veel ectomycorrhiza-paddenstoelen van zeer stikstofarme bodem. Bijvoorbeeld Tolzwam (*Coltricia perennis*), Cantharel (*Cantharellus cibarius*) en vele ridderzwammen (*Tricholoma*), stekelzwammen (*Hydnum*, *Hydnellum*, *Phellodon*), slijmkoppen (*Hygrophorus*), truffels (*Rhizopogon*, *Elaphomyces*) en gordijnzwammen (*Cortinarius*). Naarmate er meer strooiselophoping plaatsvindt, maken deze soorten plaats voor soorten van matig stikstofarme bodems. Aangezien dit proces door verzuring en stikstofdepositie overal is verstoord, is er geen goed beeld om welke soorten het gaat. Met name oudere sparren- en naaldbossen in grote boscomplexen in Drenthe en op de Veluwe, en de dennenaanplanten op de Waddeneilanden geven wellicht de beste indruk (tab. 3.3). De in deze tabel genoemde soorten kunnen worden beschouwd als doelsoorten voor het spontane gemengde loofbos van vooral den en berk dat zich op de proeflocatie ontwikkeld heeft.

Bij aanvang van de proef zijn 37 soorten bodembewonende paddenstoelen aangetroffen in de proefvlakken (Kuyper & de Vries, 1990). Twee soorten zijn kenmerkend voor het stikstofarme pionierstadium met weinig strooisel: Dennenslijmkop (*Hygrophorus hypothejus*) en Witbruine ridderzwam (*Tricholoma albobrunneum*). Deze zijn slechts in 4, respectievelijk 1 proefvlak aangetroffen, met enkele exemplaren. De mycoflora van de strooisellaag was al beter ontwikkeld, hiervan zijn 14 van de 38 in tabel 3.3 genoemde soorten aangetroffen. Van de bovengenoemde doelsoorten waren zeer frequent waanwezig: Paardenhaartaailing, Gestreepte trechterzwam, Kleine bloedsteelmycena, Oranjebruine korrelhoed, Dennensatijnzwam en Kleefsteelmycena.



Tabel 3.3. Enkele vrij zeldzame tot algemene, opvallende, bodembewonende soorten die kenmerkend zijn voor oudere dennen- en berkenbossen op zure bodem met een goed ontwikkelde ectorganische laag die matig of niet met extra stikstof is verrijkt.

Table 3.3. Overview of common and relative rare soil-dwelling fungi that are characteristic of pine and birch forests with a well-developed ectorganic layer under low nitrogen enrichment.

<i>Amanita fulva</i>	Roodbruine slanke amaniet	<i>Inocybe lanuginosa</i>	Wolvezelkop
<i>Amanita gemmata</i>	Narcisamaniet	<i>Inocybe napipes</i>	Bruine knolvezelkop
<i>Amanita porphyria</i>	Porfieramaniet	<i>Lactarius helvus</i>	Viltige maggizwam
<i>Auriscalpium vulgare</i>	Oorlepelzwam	<i>Lactarius rufus</i>	Rossige melkzwam
<i>Boletus edulis</i>	Eekhoortjesbrood	<i>Lactarius trivialis</i>	Forse melkzwam
<i>Clitocybe ditopa</i>	Kleinsporige trechterzwam	<i>Leccinum versipelle</i>	Oranje berkenboleet
<i>Clitocybe vibecina</i>	Gestreepte trechterzwam	<i>Marasmius androsaceus</i>	Paardehaartaailing
<i>Cortinarius anomalus</i>	Vaaggegordelde gordijnzwam	<i>Mycena cinerella</i>	Grijze mycena
<i>Cortinarius bolaris</i>	Roodschubbe gordijnzwam	<i>Mycena epipterygia</i>	Kleefsteelmycena
<i>Cortinarius croceus</i>	Geelplaatgordijnzwam	<i>Mycena metata</i>	Dennenmycena
<i>Cortinarius delibutus</i>	Okergele gordijnzwam	<i>Mycena sanguinolenta</i>	Kleine bloedsteelmycena
<i>Cortinarius rubellus</i>	Fraaie gifgordijnzwam	<i>Rhodocollybia maculata</i>	Roestvlekkenzwam
<i>Cortinarius scaurus</i>	Olijfplaatgordijnzwam	<i>Russula betularum</i>	Roze berkenrussula
<i>Cortinarius semisanguineus</i>	Pagemantel	<i>Russula caerulea</i>	Papilrussula
<i>Cystoderma jasonis</i>	Oranjebruine korrelhoed	<i>Russula emetica</i>	Braakrussula
<i>Elaphocordyceps ophioglossoides</i>	Zwarte truffelknotszwam	<i>Russula paludosa</i>	Appelrussula
<i>Entoloma cetratum</i>	Dennesatijnzwam	<i>Russula sardonica</i>	Duivelsbroodrussula
<i>Entoloma turbidum</i>	Zilversteelsatijnzwam	<i>Suillus bovinus</i>	Koeienboleet
<i>Gymnopus perforans</i>	Sparrenstinktaailing	<i>Tylopilus felleus</i>	Bittere boleet

### Huidige mycoflora

In totaal zijn op 13 oktober 2017 en 2 november 2018 ongeveer 95 soorten paddenstoelen op naam gebracht, deels met hulp van microscopische kenmerken (tab. 3.4). De overlap in soorten tussen beide bezoekdata was groot, wat doet vermoeden dat een goede indruk is verkregen van de mycoflora. Volledig is de inventarisatie allerminst, met slechts 2 twee bezoekdata. Daarnaast zijn er in bossen ook veel soorten die wel als mycelium in de bodem aanwezig zijn, maar niet of nauwelijks vruchtlichamen vormen.

In de controle-proefvlakken heeft de dennenaanplant zich in de periode na de behandeling geleidelijk verder ontwikkeld naar een gemengd bos. Verschillen met de proefvlakken die alleen met nutriënten zijn verrijkt (fosfor, kalium, calcium) zijn er vrijwel niet meer. De waargenomen paddenstoelen in de controlevlakken en de met nutriënten behandelde vlakken zijn bijna allemaal algemene soorten van sterk zuur en met stikstof verrijkt bos. Wel zijn er enkele accenten te ontdekken. Er zijn diverse soorten satijnzwammen waargenomen, een groep met soorten die sterk achteruit gegaan zijn, vermoedelijk mede door luchtverontreiniging. Daarnaast zijn er ook enkele soorten waargenomen die in de jaren tachtig van de vorige eeuw zeldzaam waren, maar vermoedelijk door de afgenomen verzuring weer zijn teruggekeerd: Oorlepelzwam (*Auriscalpium vulgare*) en Narcisamaniet (*Amanita gemmata*). Vliegenschwam (*Amanita muscaria*) is alleen gevonden in de met nutriënten behandelde proefvlakken en de laagste kalk-behandeling. Deze soort lijkt als enige een voorkeur te hebben voor een toegenomen voedselrijkdom, alhoewel dit in mindere mate ook voor Geelwitte russula (*Russula ochroleuca*) lijkt te gelden.

De effecten van bekalking op de mycoflora zijn na 32 jaar nog heel duidelijk aanwezig. Bijna de helft van de waargenomen soorten heeft een voorkeur voor de oorspronkelijke, sterk zure bodem of de met kalk verrijkte bodem (tab. 3.4). Zelfs de laagste bekalking van 3 ton per hectare heeft na al die tijd nog een duidelijk effect; satijnzwammen en mosklokjes komen hier niet meer voor en vaalhoeden en vezelkoppen zijn juist wel soms al aanwezig. Soorten van de laatste twee geslachten mijden sterk zure bodems. Het bekalkings-effect is duidelijker naarmate er in het verleden meer kalk is toegediend; kalkminnende soorten zijn hier frequenter en talrijker waargenomen.

Tabel 3.4. Overzicht van de waargenomen vruchtlichamen van paddenstoelen in de proefvlakken in 2017 en 2018. Er is gewerkt met 4 klassen: 1 = 1-10 vruchtlichamen, 2 = 11-100 vruchtlichamen, 3 = 101-1000 vruchtlichamen, 4 = >1000 vruchtlichamen per proefvlak. In het (licht-)rood zijn soorten aangegeven met een (zwakke) voorkeur voor niet bekalkte proefvlakken, in het (licht-)blauw de soorten met een (zwakke) voorkeur voor bekalkte proefvlakken. Doelsoorten (tabel 3.3) zijn vetgedrukt. Soorten die slechts in 1 of 2 proefvlakken zijn gevonden, zijn weggelaten (bijlage 2).

Table 3.4. Overview of the fungi species, found in the plots with different treatments in 2017 and 2018. The number of carpophores is given in 4 classes: 1 = 1-10; 2 = 11-100; 3 = 101-1000 and 4: >1000. Speseis in (light) redwith a (weak) preference for the unlimed plots, in (light) blue for the limed plots. Target species are indicated in bold.

13-10-2017 en 2-11-2018	Factoriele proef									Kalktrappenproef																	
	19	28	53	14	23	50	20	27	45	30	54	9	11	31	52	1	22	42		12	32	41	2	21	51		
Behandeling	Controle			P			P + K			P + Ca			3 ton kalk			6 ton kalk			9 ton kalk			18 ton kalk					
<b>Entoloma cetratum s.l.</b>	1,0				1,0		1,0																			<b>Dennensatijnzwam</b>	
Galerina camerina	2,0				1,0		1,0			1,0	1,0	1,0														Dennemosklokje	
Galerina hypnorum	1,0				1,0							1,0														Geelbruin mosklokje	
<b>Marasmius androsaceus</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0		1,0	2,0				1,0											<b>Paardehaartaailing</b>	
Galerina pumila		2,0			1,0			1,0	1,0		1,0	1,0			1,0											Honinggeel mosklokje	
Lactarius necator	2,0				1,0				1,0		1,0								1,0							Zwartgroene melkzwam	
Galerina vittaeformis	1,5	1,5			1,0	1,0	2,0	1,0		2,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0						1,0				Barnsteenmosklokje	
<b>Mycena metata</b>	1,5	1,0			1,0	1,0	3,0	1,0	1,5		1,0		1,0	1,0		1,0							1,0			<b>Dennemycena</b>	
<b>Mycena epipterygia s.s.</b>	2,5	2,0	2,0		3,0	1,5	2,5	2,5	1,5	2,0	1,5	2,5	2,5	1,0	2,0	2,0	1,5		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		<b>Graskleefsteelmycena</b>	
Laccaria amethystina				1,0												1,0						2,0		1,5	2,0	Amethystzwam	
Cortinarius umbrinolens								2,0	1,0			1,0						1,0	1,0	2,0	2,0			1,0		Bietengordijnzwam	
Rickenella fibula							1,0	1,0					1,0					1,0	1,0			1,0	1,0			Oranjegeel trechtertje	
Rickenella swartzii					1,0															1,0					1,0	Paarshartrechttertje	
Russula ochroleuca										1,0	1,0		1,0	1,0	1,0			2,0	1,0			1,0				Geelwitte russula	
Hebeloma mesophaeum													1,0							1,0			1,0	1,0	1,0	Tweekleurige vaalhoed	
Gymnopus dryophilus s.s.															1,0						2,0					Eikebladzwammetje	
Inocybe sindonia															1,0										1,5	2,0	Blonde vezelkop
Clitocybe nebularis														0,8								2,0	1,0	1,5		Nevelzwam	
Lycoperdon nigrescens																1,0	1,5		1,0							Zwartwordende stuifzwam	
Mycena leptoccephala																		1,0				1,0	1,0			Stinkmycena	
Inocybe mixtilis s.l.																1,0			1,0	1,0		1,0	1,5	1,0		Gele & vale knolvezelkop	
Lactarius deliciosus s.s.														0,8								1,0		2,0		Smakelijke melkzwam	
Lactarius glycosmus													1,0					1,0		1,0						Kokosmelkzwam	
Laccaria laccata s.s.																		1,0		1,0	1,0		1,0	1,0		Gewone fopzwam	
Cortinarius paleaceus s.l.																						2,0	1,0		1,0	Pelargoniumgordijnzwam	
Hebeloma crustuliniforme s.l.																						1,5		1,5	1,5	Radijsvaalhoed e.a.	
<b>Amanita gemmata</b>		1,0	1,0		1,0					2,0			1,0	1,0						1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>Narcismaniet</b>	
Amanita muscaria					1,0			1,0	1,0	1,0	1,5		1,0	2,0	1,0											Vliegenzwam	
<b>Auriscalpium vulgare</b>	1,3	0,8		1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	<b>Oorlepelzwam</b>	
Baeospora myosura	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	3,5	3,5	3,0	2,5	3,0	2,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,5	2,5	2,5	3,0	2,5	2,5	3,5		Muizestaartzwam	
Boletus badius	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Kastanjeboleet	
Clitocybe clavipes		1,0			1,0					1,0				1,0	1,0	2,0						1,0	1,0	1,0		Knotsvoetrechtterzwam	
Clitocybe metachroa	1,0		1,0														1,0	1,0		1,0	1,0					Tweekleurige trechterzwam	
Rhodocollybia butyracea	2,0	1,0			1,0		1,0	1,0					2,0	1,0				1,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5		Botercollybia		
Hygrophoropsis aurantiaca	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,5	2,0	1,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	3,0	2,0		1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Valse hanekam	
<b>Inocybe lanuginosa s.l.</b>							1,0			1,0			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					1,0	<b>Wolvezelkop</b>	
<b>Inocybe napipes</b>		1,0	1,0				1,0										1,0		1,0	1,0	1,0		1,0			<b>Bruine knolvezelkop</b>	
Laccaria bicolor	1,0	1,0	1,0		1,0			2,0	2,0	1,0	1,0				2,0		1,0	1,0		1,0		1,0	1,0			Tweekleurige fopzwam	
Laccaria proxima	2,0	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Schubbige fopzwam	
Lactarius hepaticus	1,5	1,5	2,5	1,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0		Levermelkzwam	
Lactarius theiogalus	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	1,5	1,5	2,0		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0		Rimpelende melkzwam	
Mycena abramsii	1,0						1,0	1,0	1,0	1,0													1,0		1,0	Voorjaarsmycena	
Mycena amicta	0,5	1,0	1,5	1,0	1,5		2,0	1,0			1,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5		Donzige mycena	
Mycena galopus v. galopus	2,0	1,5	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0		Melksteelmycena	
Mycena galopus v. nigra		1,0				1,0	1,0											1,0		1,0				1,0		Melksteelmycena	
Paxillus involutus	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Gewone krulzoom	
<b>Russula betularum</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						1,0			<b>Roze berkerussula</b>	
Scleroderma citrinum			2,0	1,0	2,0		1,0	2,0	2,0	2,0	1,0		1,0				1,0				1,0		1,0			Gele aardappelbovist	

Kalkrijke omstandigheden zijn schaars in de bossen op de Veluwe, behalve in de berm van schelpenfietspaden door het bos. In de vorige eeuw zijn hiervan honderden kilometers aangelegd; recent worden deze paden steeds meer vervangen door betonstroken. In de loop van tientallen jaren heeft zich in de meestal niet meer dan een meter brede uitspoelzone ter weerszijden van het fietspad een kalkminnende of in ieder geval zuurmijdende mycoflora gevestigd. Op de Oostereng, tussen Renkom en Bennekom, is deze mycoflora systematischer in beeld gebracht over een lengte van enkele kilometers. Wanneer het aantal waarnemingen van een soort in de kalkrijke zones langs het fietspad wordt vergeleken met het aantal waarnemingen in een even brede zone van het aangrenzende bos, kan een indruk worden verkregen van de mate waarin een soort kalkminnend of zuurmijdend is. In tabel 3.5 is deze verhouding weergegeven voor alle soorten die ook in Harderwijk zijn waargenomen. De overeenkomsten zijn opvallend. Alleen de Geelwitte russula (*Russula ochroleuca*) heeft in Harderwijk een lichte voorkeur voor de bekalkte proefvlakken, terwijl deze juist de kalkrijke randen van het fietspad mijdt. Ook in Drenthe en op Terschelling is geconstateerd dat langs schelpenfietspaden door bossen op zure zandgrond zich een kalkminnende mycoflora heeft

gevestigd (Arnolds e.a., 2015, Brouwer e.a., 2009). Opvallende aspecten zijn ook daar kluifjeszwammen (*Helvella*), bekerzwammen (*Peziza*), vezelkoppen, parasolzwammen (*Lepiota* en verwante geslachten), aardsterren (*Geastrum*) en ook bijzondere mycorrhiza-paddenstoelen zoals de smakelijke melkzwam (*Lactarius deliciosus*). Op Terschelling is bovendien geconstateerd dat de beschikbaarheid van fosfaat langs de kalkrijke paden lager is dan in het aangrenzende bos.

Tabel 3.5 Verspreiding van een aantal paddenstoelsoorten langs een kalkrijk schelpenfietspad tussen Renkum en Bennekom, in 2008. Weergegeven is het aantal waarnemingen langs het schelpenpad, en het aantal waarnemingen in het aangrenzende, niet door kalk beïnvloede bos. Weergegeven zijn alleen de soorten die ook in Harderwijk waargenomen zijn. Met kleur is de pH-voorkeur weergegeven zoals deze in Harderwijk kon worden afgeleid. Waarnemingen E. Brouwer.

Table 3.5. Distribution of fungi near a cycle pad of calcium carbonate-rich shells ("Pad") or in the neighbouring forest without the influence of the calcium carbonate. For colors: see table 3.4.

	Bos	Pad		Bos	Pad
<i>Hebeloma crustuliniforme</i> s.l.	0	14	<i>Collybia dryophila</i>	4	6
<i>Inocybe sindonia</i>	0	11	<i>Inocybe napipes</i>	1	1
<i>Melanoleuca polioleuca</i>	0	11	<i>Lactarius blennius</i>	1	1
<i>Baeospora myosura</i>	3	21	<i>Russula fellea</i>	1	1
<i>Auriscalpium vulgare</i>	0	9	<i>Lactarius quietus</i>	4	5
<i>Geastrum triplex</i>	0	9	<i>Clitocybe nebularis</i>	2	2
<i>Mycena speirea</i>	0	6	<i>Scleroderma citrinum</i>	2	2
<i>Pluteus cervinus</i>	0	6	<i>Paxillus involutus</i>	3	3
<i>Rickenella fibula</i>	0	6	<i>Cortinarius paleaceus</i>	1	0
<i>Rickenella setipes</i>	1	8	<i>Laccaria amethystina</i>	1	0
<i>Inocybe mixtilis</i> sl.	0	4	<i>Marasmius androsaceus</i>	1	0
<i>Mycena leptcephala</i>	2	8	<i>Amanita gemmata</i>	3	2
<i>Laccaria laccata</i>	1	4	<i>Lactarius theiogalus</i>	9	8
<i>Amanita muscaria</i>	0	2	<i>Hygrophoropsis aurantiac</i>	2	0
<i>Hebeloma mesophaeum</i>	0	2	<i>Boletus badius</i>	4	2
<i>Inocybe lacera</i>	0	2	<i>Lactarius hepaticus</i>	5	3
<i>Mycena galopus</i>	16	30	<i>Amanita rubescens</i>	6	3
<i>Boletus chrysenteron</i> s.l.	0	1	<i>Mycena epipterigia</i>	5	2
<i>Cortinarius hemitrichus</i>	0	1	<i>Clitocybe clavipes</i>	5	2
<i>Galerina vittaeformis</i>	0	1	<i>Lactarius rufus</i>	3	0
<i>Peziza badia</i>	0	1	<i>Russula betularum</i>	4	0
<i>Collybia butyracea</i>	3	6	<i>Russula ochroleuca</i>	18	2

Om de waargenomen verschuivingen beter te kunnen begrijpen zijn de paddenstoelen ook ingedeeld naar functionele categorie. Hierbij is onderscheid gemaakt in 6 groepen en een restcategorie:

- Ectomycorrhiza vormende paddenstoelen
- Vruchtlichamen van soorten die ruwe humus afbreken, vaak in ectorganische lagen
- Vruchtlichamen van soorten die fijnere humus afbreken, die vaak vermengd is met de zandondergrond
- Soorten die vers (blad-)strooisel afbreken; hierbij zijn de twee soorten die op dennenkegels groeien als aparte categorie meegenomen
- Soorten die samenleven met mossen

Vervolgens is voor elke functionele groep een schatting gemaakt van de in de vruchtlichamen aanwezige biomassa op 13 oktober 2017, het tijdstip met de meeste paddenstoelen. Het aantal vruchtlichamen is afgeleid van de genoteerde frequentieklasse: 1 = 1, 2 = 10 en 3 = 100. Voor het gewicht is een indeling gemaakt in 3 gewichtsklassen, waaraan een factor 1, 10 of 100 is toegekend. Gewichtsklasse 1 bestond vooral uit mycena's en mosklokjes. Gewichtsklasse 3 uit amanieten, boleten, melkzwammen en russula's. De overige soorten zijn meest toegedeeld aan klasse 2. Zo ontstaat een indicatief getal (zonder eenheid) voor de biomassa per groep per klasse (tab. 3.6).

Tabel 3.6 Schatting van de biomassa (zonder eenheid) van de vruchtlichamen van paddenstoelen uit verschillende functionele groepen, gebaseerd op talrijkheid en op uit de literatuur bekende grootte van de vruchtlichamen (zie tekst).

Table 3.6. Estimated carpophore biomass of 7 functional groups of fungi, based upon the number of carpophores in the different treatment and the mean carpophore weight (derived from literature)

	mycorrhiza	fijne humus	ruwe humus	strooisel	mos	dennenkegel	Overig
Controle	6097	0	403	85	7	102	4
P	2443	0	70	75	1	43	4
P + K	6873	0	70	175	4	73	4
P + Ca	6547	0	40	112	5	13	4
3 ton kalk/ha	1603	0	443	23	1	77	33
6 ton kalk/ha	1263	37	370	15	0	80	0
9 ton kalk/ha	1573	0	400	14	0	50	0
18 ton kalk/ha	1687	70	1133	13	1	80	70
Niet bekalkt	5490	0	146	112	4	58	4
Bekalkt	1532	27	587	16	0	72	26

Wat meteen opvalt is dat de grootste biomassa aanwezig was in vruchtlichamen van mycorrhiza-vormende soorten. In de bekalkte vlakken is de biomassa van deze groep kleiner. Voor de afbrekers van ruwe humus is geen duidelijk verschil waargenomen, er lijkt een trend naar enige toename bij bekalking te zijn. Dit is wel in tegenstelling tot vlakken die recent bekalkt zijn. Zowel in pijpenstro-velden als in eikenbos is hier een sterke toename waargenomen van trechterzwammen en parse schijnridder (Wallis de Vries, 2018). Soorten die fijne, met de grond gemengde humus afbreken zijn in Harderwijk alleen waargenomen in de bekalkte vlakken. De ruimte voor soorten die vers gevallen bladeren en naalden verteren, lijkt na bekalking af te nemen. Ook de samenleving met mos lijkt te wijzigen door bekalking. Er is een sterke afname van mosklokjes (*Galerina*), maar een lichte toename van trechertjes (*Rickenella*). De afbraak van dennenkegels lijkt niet echt beïnvloed te worden door bekalking. Wel is opvallend dat de Oorlepelzwam (*Auriscalpium vulgare*) vrijwel overal aanwezig is, terwijl deze soort op het hoogtepunt van de verzuring vrij zeldzaam was geworden op de zandgronden.

### 3.4 Conclusies

Uit de waarnemingen van 2017/2018 kunnen de volgende conclusies worden afgeleid:

- Evenals voor de vegetatie geldt voor de mycoflora dat er nauwelijks nog een effect te bespeuren valt van de bemesting (P, PK of PCa) die 32 jaar geleden heeft plaatsgevonden. Dit ondanks de duidelijke reactie die na 2 jaar was geconstateerd (Kuyper & de Vries, 1990).
- Wel is er nog heel duidelijk een bekalkingseffect aanwezig, dat het sterkst is bij de hoogste kalkdosering (18 ton/ha), maar ook nog aanwezig is bij de laagste dosering (3 ton/ha). Het aantal doelsoorten voor zure, voedselarme bossen neemt af, daar komen soorten van kalkhoudende bodem voor in de plaats.
- De veranderingen onder de saprophyten als gevolg van bekalking lijken samen te hangen met de manier waarop humus wordt afgebroken. In de onbekalkte situatie is er een grotere rol weggelegd voor mycorrhizavormers en voor soorten die vers gevallen blad en naalden afbreken. In bekalkte situaties is de rol van afbrekers van ruwe en fijne humus groter.
- De sterke uitbreiding van humusafbrekers die 1-8 jaar na bekalking van eikenbos en pijpenstrovelden is gevonden, wordt niet (meer?) gevonden in Harderwijk

- Een overeenkomende verandering in soortensamenstelling kan ook worden aangetroffen langs tientallen jaren oude schelpenfietspaden door de bossen van de Veluwe.

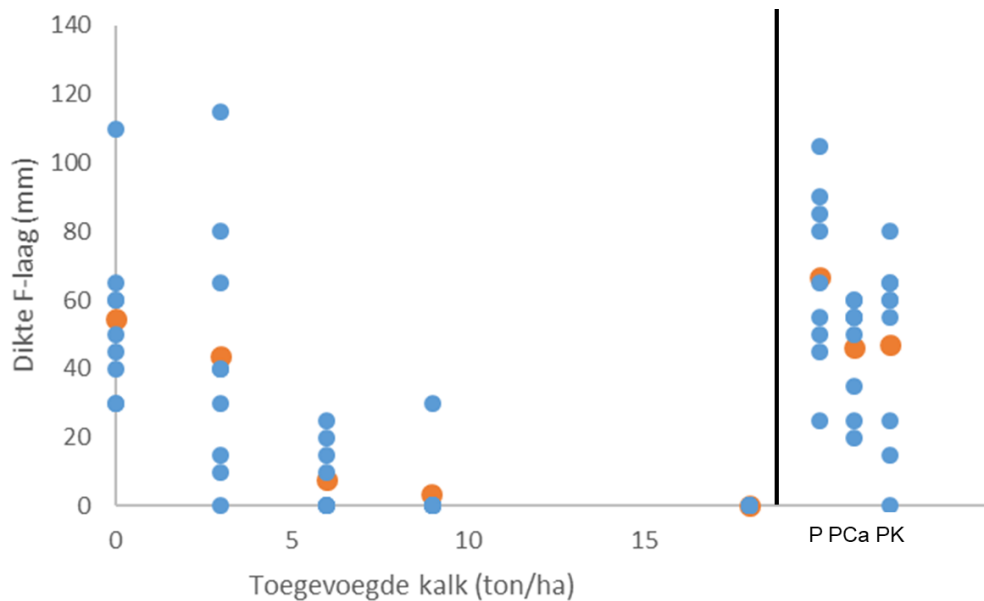
Belangrijk is ook of de behandelingen hebben bijgedragen aan het herstel of de ontwikkeling van een mycoflora van oudere dennen- en berkenbossen op kalkloze zandgrond die niet door verzuring en stikstofverrijking zijn aangetast. Bij aanvang van de proef waren in de zes controleproefvlakken (inclusief de drie proefvlakken uit het mest-toedieningsexperiment) 10 van de doelsoorten uit tabel 3.3 aanwezig. In 2017/2018 zijn in de drie controleproefvlakken 11 doelsoorten waargenomen, dus hier lijkt weinig verandering plaats te vinden. We kunnen de waarnemingen uit de overige proefvlakken, waar alleen nutriënten zijn toegediend, erbij nemen als compensatie voor de geringere inventarisatie-inspanning. Dan zijn in totaal 13 doelsoorten waargenomen, maar vrijwel allemaal in lage dichtheden.

- Hieruit kan voorzichtig de conclusie getrokken worden dat door het ouder worden van het bos en de vestiging van loofhoutbomen, de bijbehorende mycoflora zich verder heeft ontwikkeld in de controleproefvlakken en de proefvlakken waar alleen nutriënten zijn toegediend.
- In de bekalkte plots zijn in totaal 10 doelsoorten aangetroffen, maar met een nog lagere frequentie dan in de controle- en bemestingsproefvlakken. Bekalking lijkt dus eerder te leiden tot een afname van kenmerkende soorten, dan tot een herstel.
- Belangrijkste conclusie is dat de nutriëntengift geen langdurend effect heeft op de mycoflora, met de vliegenzwam als mogelijke uitzondering.
- Bekalking stimuleert de ontwikkeling van een mycoflora die ook kan worden gevonden op kalkhoudende zandgronden in de duinen of langs schelpenfietspaden op kalkloos zand, maar leidt niet tot herstel of ontwikkeling van de karakteristieke en soortenrijke mycoflora van bossen op kalkloze, voedselarme zandgronden.

# 4 Humusopbouw

## 4.1 Resultaten

Met een hogere kalkgift neemt de omvang van de F-laag af (fig. 4.1). Aanvankelijk neemt de variantie sterk toe, maar bij hoge kalkgift bestaat de F-laag niet meer (fig. 4.2). Bosbemesting met P en de combinaties P+Ca en P+K hebben niet geleid tot een afname van de F-laag.



Figuur 4.1 Relatie tussen de behandelingen en de dikte (mm) van de F-laag.  
Figure 4.1. Relationship between the treatments and the depth (mm) of the F-layer.



controle

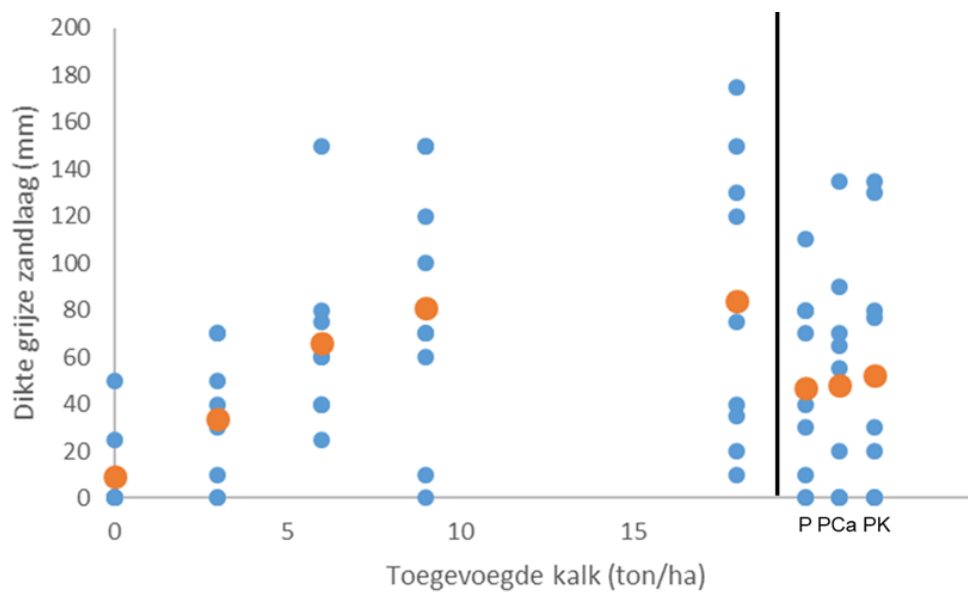


18 ton kalk/ha

Figuur 4.2. Opbouw van de strooisellaag in de controle en na bekalking met 18 ton. Foto: Arnold van den Burg.

Figure 4.2. Soil profiles of a control and high lime treatment. Photo: Arnold van den Burg

Bij een goede strooiselomzetting zal ook meer fijn organisch materiaal inspoelen in de minerale bodem, waardoor een grijze laag in de minerale bodem ontstaat. De dikte hiervan neemt toe bij een hogere kalkgift, maar de variantie in de dikte van deze laag is groot (fig. 4.3). Bosbemesting met P (en combinaties) lijkt wel een effect te hebben op het inspoelen van fijn organisch materiaal, deze lijkt toe te nemen bij P-gift vergeleken met de controle (fig. 4.3).



Figuur 4.3. Relatie tussen de behandelingen en de dikte de grijze zandlaag onder het organisch profiel.  
Figure 4.3 Relationship between treatments and the depth (mm) of a grey sand layer directly under the ectorganic layer.

## 4.2 Conclusie

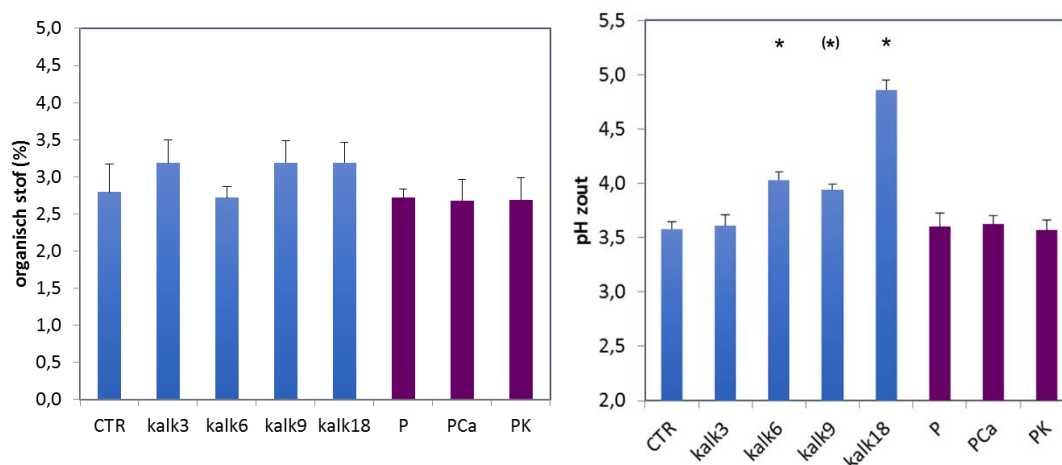
- Bij een kalkgift van 3 ton per hectare is – visueel - de F-laag van de bodem – de ecto-organische laag - goeddeels intact gebleven. Vanaf 6 ton en hoger is de strooisellaag op de bodem sterk veranderd of helemaal verdwenen;
- P-bemesting – al of niet met Ca of K - lijkt een licht effect te hebben op de aard van strooiselomzetting, maar niet zozeer op de snelheid daarvan.



## 5 Bodemchemie

### 5.1 Bodem-pH en organische stof

Het organische stof gehalte van de bovenste minerale bodemlaag (0-25 cm) is vrijwel niet beïnvloed door de onderzochte bemesting of de verschillen in bekalking, en bedraagt gemiddeld 2,7 – 3,2% (fig. 5.1). De pH van het zoutextract is daarentegen wel significant veranderd door de bekalking met giften vanaf 6 ton kalk per ha of hoger. Ruim 30 jaar na 6 ton kalk/ha is de pH-zout 4,0, en bijna 4,9 in de hoogste bekalking (18 ton/ha), vergeleken met 3,6 in controle en alle andere behandelingen. De pH-zout is bij 3 ton kalk per ha (kalk3 of PCa) in 2017 gelijk aan de waarde die in de controle is gemeten (3,6) (fig. 5.1).



Figuur 5.1. Het organische stof gehalte (% LOI) en pH-NaCl (gem.  $\pm$  s.e.) van de bovenste 25 cm van de minerale bodem (najaar 2017). \*=significant verschillend van de controle ( $p < 0,05$ ), (\*)=bijna significant verschillend van de controle ( $p = 0,05 - 0,10$ )

Figure 5.1 Organic matter content (% LOI) and pH-NaCl (mean  $\pm$  s.e.) of the 0-25 cm layer of the mineral soil. \*= significantly different with control treatment ( $p < 0.05$ ); (\*)= nearly significant from control treatment ( $p = 0.05-0.10$ ).

Ter vergelijking zijn ook de pH- $\text{CaCl}_2$  uit 1989, 3 jaar na begin van het experiment, weer gegeven in figuur 5.2, zowel voor het strooisel als voor de bovenste 25 cm van de minerale bodem. Hierin is duidelijk te zien dat toendertijd de pH van de minerale bodem niet of nauwelijks (18 ton kalk/ha) was verhoogd door bekalking, terwijl pH van de organische toplaag (los strooisel en F-laag) wel sterk (2 tot 3 eenheden!) was verhoogd, vergeleken met de controle. Hierbij is het opmerkelijk dat de pH- $\text{CaCl}_2$  in het strooisel ook in 1989 bij 3 ton kalk of PCa (met Ca = 3 ton kalk) precies gelijk is (5,7). Kortom, 3 jaar na bekalking waren de pH-effecten vrijwel alleen doorgedrongen in de strooisellaag, maar 30 jaar verder ook sterk in de minerale bodem.

De huidige pH-NaCl van de minerale bodem is 3,6 in de controle, P- of PK-behandeling, terwijl de pH- $\text{CaCl}_2$  30 jaar geleden 4,1 – 4,2 was in dezelfde bodemlaag: dit is een indicatie dat in deze 30 jaar de bodem verder verzuurd is, aangezien het verschil in pH door het verschil in extractiemethode gemiddeld 0,1-0,2 is.

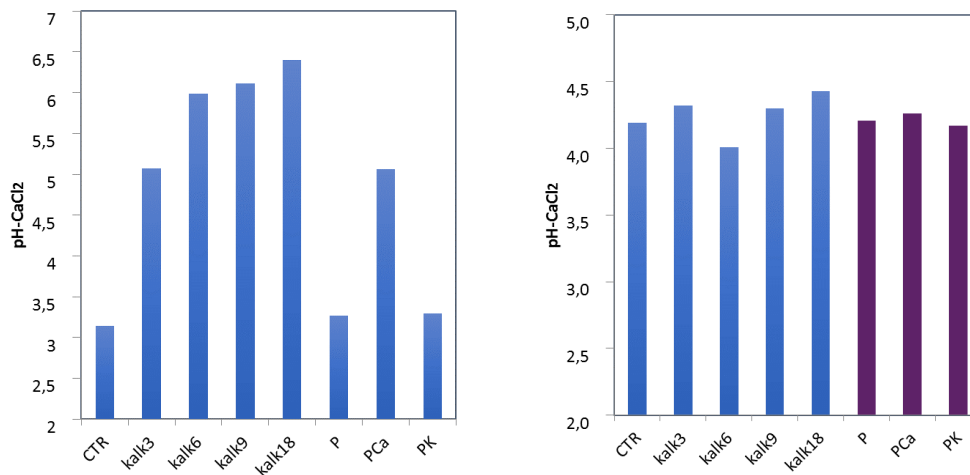


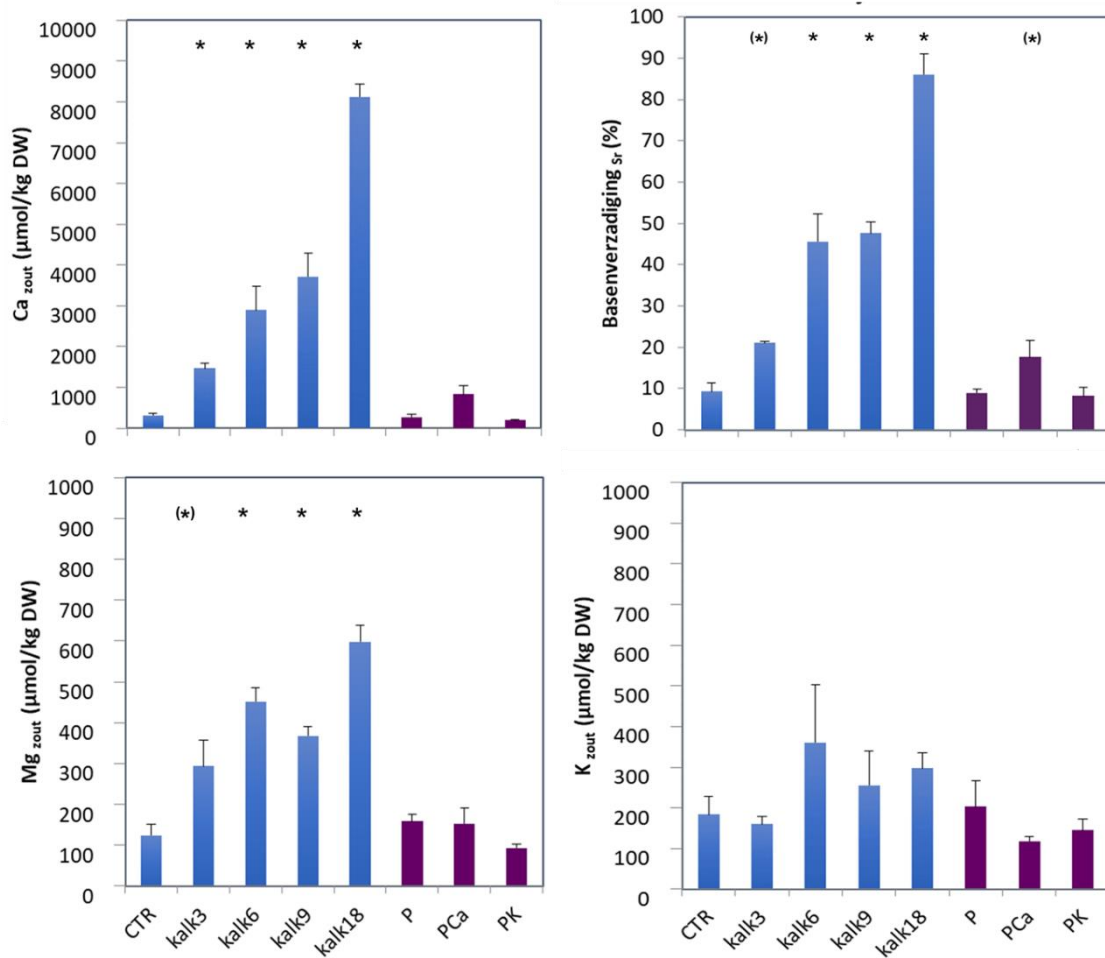
Figure 5.2. pH-CaCl<sub>2</sub> in 1989 in het strooisel (links) en in de bovenste 25 cm van de minerale bodem (naar Hekstra et al., 1990).  
 Figure 5.2. Soil pH in 1989 after extraction with 0.01N CaCl<sub>2</sub> in the litter layer (left) and in the 0-25 cm layer of the mineral soil (right).

## 5.2 Basische kationen en aluminium

De concentratie uitwisselbaar calcium in de minerale bodem is zeer sterk beïnvloed door de bekalking van ruim 30 jaar geleden: in alle kalktrappen is het gehalte significant hoger dan in de controle (of P en PK), waar de waarde rond de 300  $\mu\text{mol Ca/kg}$  droge bodem lag, overigens een zeer lage waarde (fig. 5.3). Bekalking met 3 ton/ha heeft de concentratie uitwisselbaar calcium verhoogd tot ongeveer 1450  $\mu\text{mol Ca/kg}$  droge bodem, terwijl dit in de hoogste bekalkingsbehandeling boven de 8000  $\mu\text{mol Ca/kg}$  droge bodem uit is gekomen. Door bekalking is ook de concentratie uitwisselbaar magnesium significant (of bijna significant) hoger geworden (300 – 600  $\mu\text{mol Mg/kg}$  droge bodem), vergeleken met slechts 145  $\mu\text{mol Mg/kg}$  droge bodem in de controle (fig. 5.3). Dat door bekalking ook de de Mg-concentratie licht is toegenomen, en oploopt met toenemende kalkgift, kan worden toegeschreven aan het feit dat er 2% Mg in de toegediende kalk zat (Hekstra et al., 1990). De concentratie uitwisselbaar kalium is daarentegen door geen van de behandelingen significant veranderd, er is een lichte trend aanwezig dat de kaliumconcentraties in de 3 hoogste kalkgiften iets hoger zijn dan in de controle (fig. 5.3). Daar is de concentratie met ongeveer 180  $\mu\text{mol K/kg}$  droge grond zeker niet hoog te noemen. Overigens, de toediening van 100 kg K per/ha 32 jaar geleden heeft zeker geen verhoging van de uitwisselbare kaliumconcentratie gegeven. Tenslotte is ook de basenverzading van de onderzochte bodemlaag bepaald: in de proefvlakken zonder kalkgift (controle, P en PK) is de basenverzadiging zeer laag (8-9%), bij 3 ton kalk (kalk3 & PCa) per ha is deze gestegen tot rond de 20%, bij 6 ton gift of hoger is de basenverzadiging gestegen tot 45% of hoger (fig. 5.3).

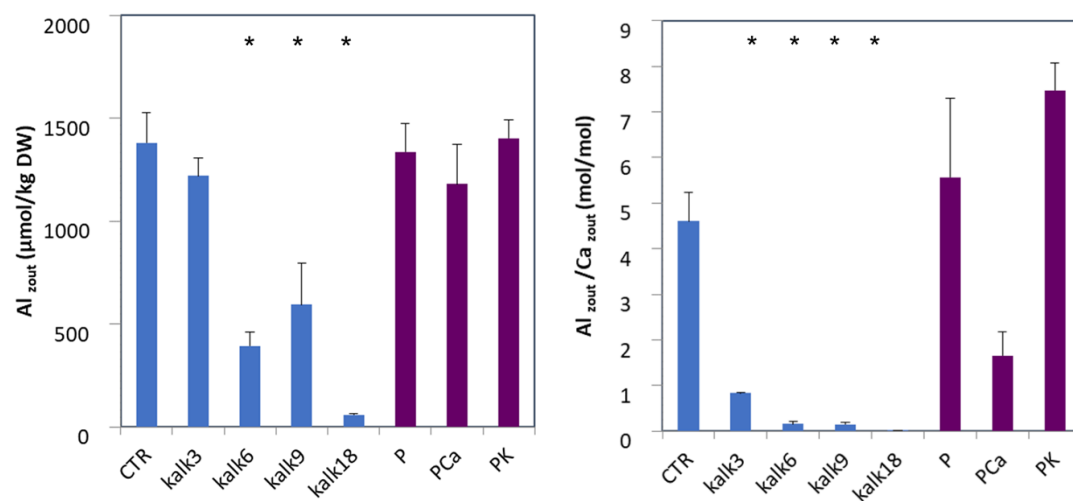
Naast de concentraties van basische kationen als belangrijk parameter bij bodemverzuring is ook de uitwisselbare concentratie aluminium van groot belang voor de gevolgen van bodemverzuring. De bekalking van ruim 30 jaar geleden heeft er voor gezorgd dat in de drie hoogste kalktrappen (6,9 en 18 t/ha) de concentratie uitwisselbaar aluminium significant is gedaald, vergeleken met relatief hoge waarden (1400 – 1500  $\mu\text{mol Al/kg}$  droge bodem) in de bodem van de controle, en P- en PK-behandeling. Drie ton kalk (kalk3 & PCa) heeft nauwelijks geleid tot een verlaagde concentratie van aluminium (fig.5.4). Ook is er een zeer significant verband gevonden tussen uitwisselbaar aluminium en de pH-zout (bijl. 3). De mate van bodemverzuring in relatie tot vegetatie- en plantontwikkeling wordt vaak uitgedrukt in de Al/Ca-ratio. Deze maat wordt steeds hoger bij doorgaande bodemverzuring, terwijl bij herstelmaatregelen deze maat zou moeten dalen. In de bodem van de onbehandelde proefvlakken is de Al/Ca-ratio net iets minder dan 5, terwijl 32 jaar na bekalken voor alle

kalkgiten de ratio significant onder de 1 is gedaald. P- of PK-gift heeft hier geen invloed op (fig. 5.4).



Figuur 5.3. Uitwisselbare calcium, magnesium en kalium concentraties (μmol/kg droge grond) na zoutextractie en de basenverzadiging, gemeten met SrCl<sub>2</sub>-extractie in de bovenste 25 cm van de minerale laag.

Figure 5.3. Exchangeable concentration calcium, magnesium, potassium (μmol/kg dry soil) after extraction with 0.2 N NaCl, and base saturation (%; after extraction with 0.2 N SrCl<sub>2</sub>) in the top 25cm of the mineral soil.



Figuur 5.4. Uitwisselbare aluminium concentraties (μmol/kg droge grond) na zoutextractie en de Al/Ca-ratio (zoutextractie; mol:mol) in de bovenste 25 cm van de minerale laag.

Figure 5.4. Exchangeable concentration aluminium (μmol/kg dry soil) after extraction with 0.2 N NaCl and the Al/Ca ratio (mol/mol) after the same extraction.

### 5.3 Beschikbaar fosfaat en stikstof

Naast de verzuringsgerelateerde parameters van de bosbodem kunnen de concentraties beschikbaar stikstof (nitraat en ammonium) en fosfaat van groot belang zijn voor de ontwikkeling en samenstelling van de vegetatie. De concentraties anorganisch stikstof zijn laag, al is er wel een verband met bekalking: vooral de nitraatconcentraties in de minerale bodem lijkt toe te nemen met toenemende kalkgift (bijna significant voor een gift van 18 ton/ha). De andere bemestingen (P, PCa & PK) hadden geen invloed op de N-beschikbaarheden na 32 jaar (fig. 5.5).

Plantbeschikbaar P, gemeten via Olsen-extractie, wordt negatief beïnvloed door bekalking: echter, in de bodem van de 18-ton kalkbehandeling is de waarde gehalveerd t.o.v. de controle ( $p < 0,05$ ), terwijl de lagere waarden in de behandeling met 6 of 9 ton niet significant verschillend zijn van de controle. Ook moet worden opgemerkt dat bij een kalkgift van 3 ton (kalk3 of PCa) geen verschil werd gevonden met de controle. In de bemestingsproef (P, PCa & PK) waar 32 jaar geleden fosfaat (100 kg P/ha) is toegediend, werd geen enkel verschil in plantbeschikbaar P gevonden in de minerale bodem, vergeleken met de waarden in de bodem van de controleproefvlakken. Mogelijk is de hoeveelheid P in de strooisellaag wel verhoogd, maar dit kon in dit onderzoek niet worden gemeten.

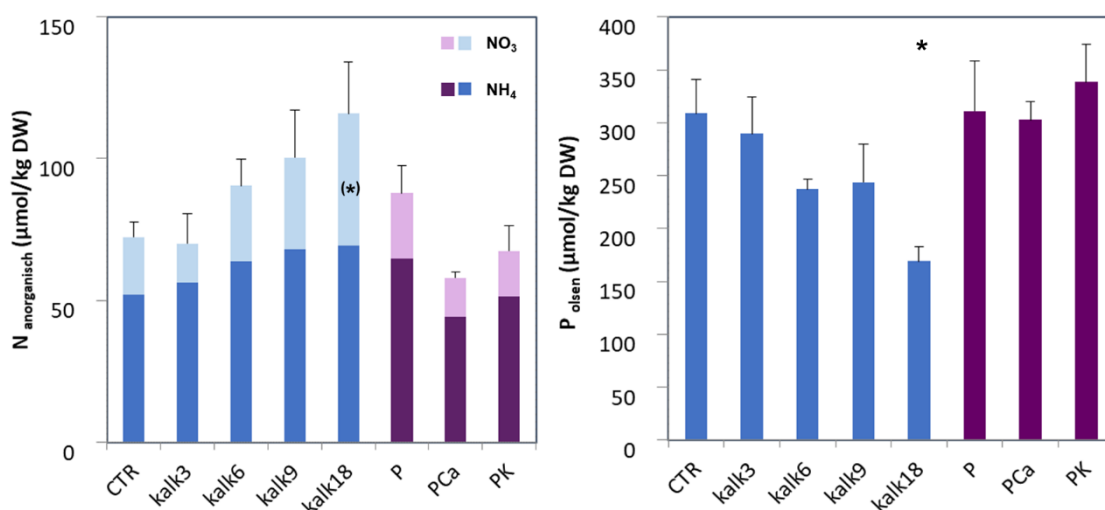
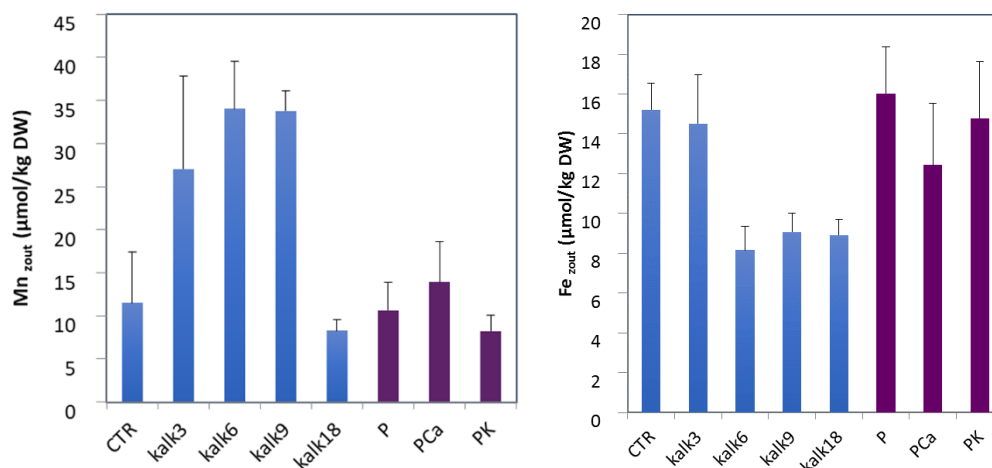


Figure 5.5. Beschikbaar ammonium en nitraat ( $\mu\text{mol/kg}$  droge grond) na zoutextractie en plantbeschikbaar P (Olsenextractie;  $\mu\text{mol/kg}$  droge grond) in de bovenste 25 cm van de minerale laag. Figure 5.5. Exchangeable concentration ammonium and nitrate ( $\mu\text{mol/kg}$  dry soil) after extraction with 0.2 N NaCl and plant-available P ( $\mu\text{mol/kg}$  dry soil) after Olsen-extraction.

### 5.4 Uitwisselbaar ijzer (Fe) en mangaan (Mn)

Ook bij uitwisselbaar ijzer en mangaan zijn na 32 jaar trends gevonden die er op wijzen dat de concentraties van deze elementen zijn veranderd door hoge kalkgiften (6 ton/ha of hoger), waarbij uitwisselbaar mangaan lijkt toe te nemen bij 6 en 9 ton, maar niet bij 18 ton kalk. Het verschil tussen genoemde behandelingen is bijna significant. In tegenstelling tot mangaan is de uitwisselbare ijzerconcentratie juist verlaagd bij de drie hoogste kalkgiften, vergeleken met de controlebehandeling ( $p < 0,05$ ). In de bodem proefvlakken van het bemestingsexperiment werden geen verschillen gevonden, vergeleken met de onbehandelde controle (fig. 5.6).



Figuur 5.6. Uitwisselbare mangaan- (links) en ijzerconcentraties ( $\mu\text{mol/kg}$  droge grond) na zoutextractie in de bovenste 25 cm van de minerale laag.

Figure 5.6. Exchangeable concentration manganese and iron ( $\mu\text{mol/kg}$  dry soil) after extraction with 0.2 N NaCl.

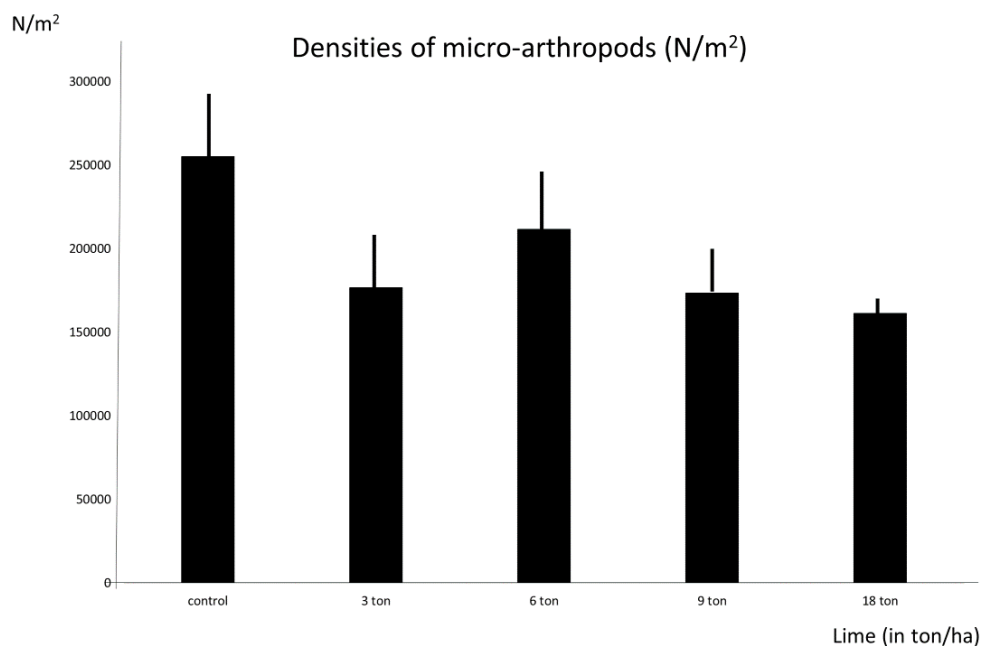
## 5.5 Conclusies

- 31-32 jaar na bekalking zijn bodemparameters die gerelateerd zijn aan verzuring in de bovenste 25 cm van de minerale bodem significant beïnvloed: uitwisselbaar Ca en de basenverzadiging zijn verhoogd door kalkgift, terwijl uitwisselbaar aluminium nu juist is afgenomen bij bekalking. Hierdoor is ook de Al:Ca-ratio tot onder de 1 gedaald bij bekalking. Ook de magnesiumconcentraties zijn licht gestegen door de toegepaste kalk;
- De antiverzuringseffecten in de bodem zijn groot tot zeer groot in de behandelingen met 6 of meer ton kalk/ha, terwijl de veranderingen bij 3 ton kalkgift gematigd zijn;
- Beschikbaar ammonium is niet of nauwelijks veranderd door de verschillende kalkgiften terwijl nitraat lijkt toe te nemen met kalkgift (dus een trend van dalend ammonium/nitraat ratio). Verder is er een negatieve verband gevonden tussen beschikbaar P (Olsen) en het niveau van bekalking;
- Bemesting met P of PK heeft niet geleid tot aantoonbare veranderingen in de gemeten bodemchemieparameters na 31-32 jaar;
- de bodem in de PCa-behandeling (waar de Ca in gelijke vorm en hoeveelheid als in kalk3 is gegeven) is veelal vergelijkbaar veranderd t.o.v. de controle als de kalkgift met alleen 3 ton kalk.

## 6 Bodemfauna (mijten)

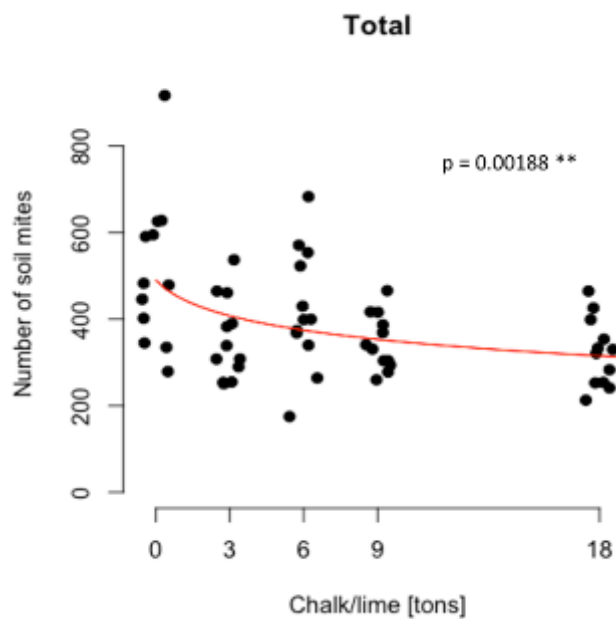
### 6.1 Resultaten

In totaal zijn 23.487 individuen gedetermineerd met een totaal van 129 soorten. De dichtheden in de controle plots (ca. 255.000/m<sup>2</sup>) zijn vergelijkbaar met normale dichtheden in droge bosbodems (Siepel 1996). In Figuur 6.1 zijn de totale dichtheden weergegeven voor alle behandelingen en vervolgens uitgesplitst voor resp. alle microarthropoden, herbivore grazers en browsers samen, fungivore grazers en browsers samen, herbofungivore grazers en browsers samen, herbofungivore grazers en opportunistische herbofungivoren (fig. 6.2 t/m 6.6).

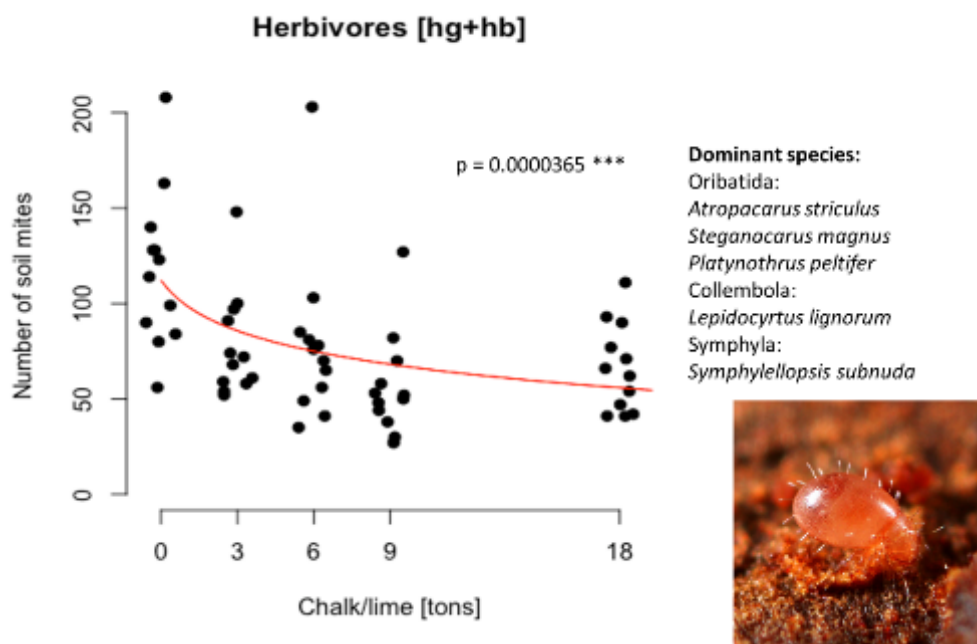


Figuur 6.1. Dichtheden microarthropoden per m<sup>2</sup> voor alle onderzochte behandelingen in het bekalkingsexperiment.

Figure 6.1 Densities of soil micro-arthropods per m<sup>2</sup> in all plots of the lime treatments.

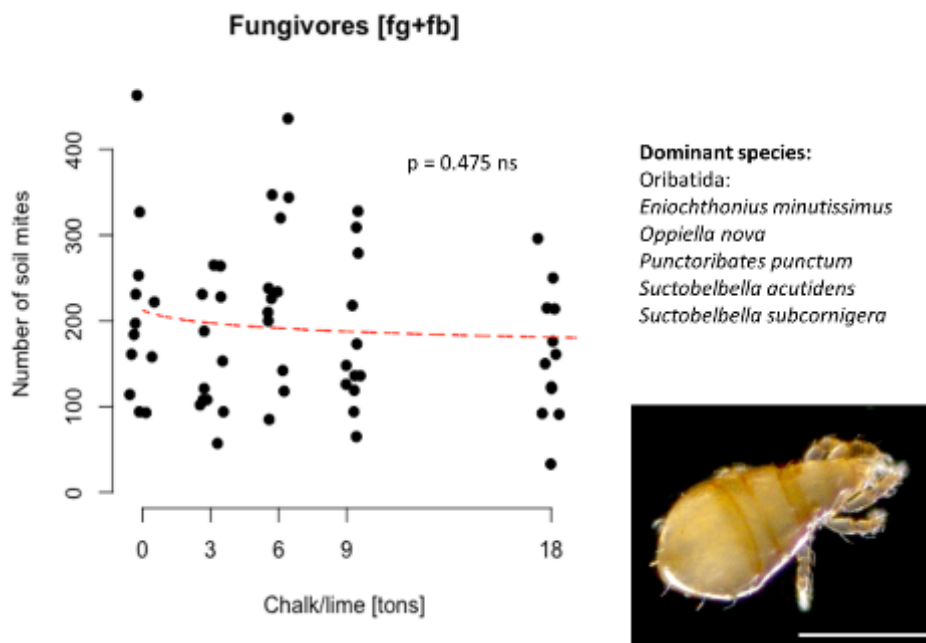


Figuur 6.2. Aantallen microarthropoden uitgezet tegen de toegediende hoeveelheid koolzure kalk.  
 Figure 6.2 Numbers of micro-arthropods in relation to lime applications.

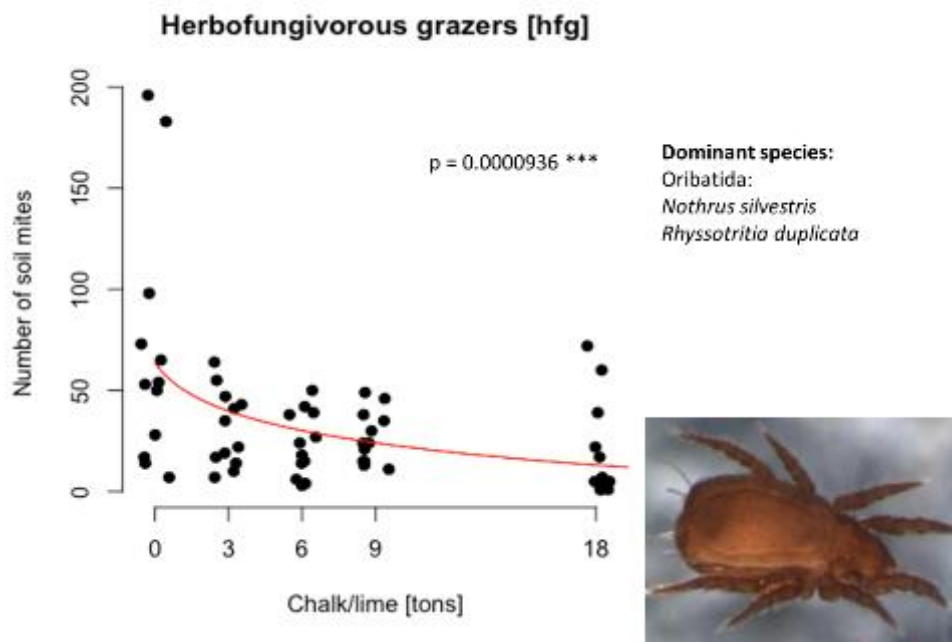


Figuur 6.3. Aantallen herbivore grazers en browsers uitgezet tegen de toegediende hoeveelheid koolzure kalk.  
 Figure 6.3. Numbers of herbivores (grazers and browsers together) in relation to lime applications.

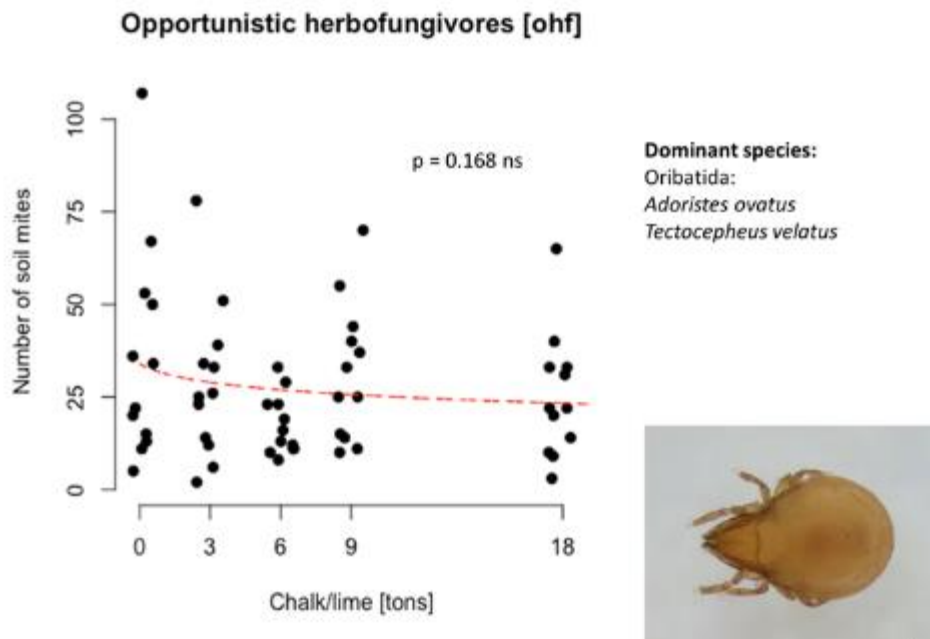




Figuur 6.4. Aantallen fungivore grazers en fungivore browsers uitgezet tegen de toegediende hoeveelheid koolzure kalk. Deze mijten eten de volledige schimmel.  
 Figure 6.4. Numbers of fungivores (grazers and browsers together) in relation to lime applications.



Figuur 6.5. Aantallen herbofungivore grazers uitgezet tegen de toegediende hoeveelheid koolzure kalk. Deze mijten eten dode celwanden van schimmels en plantaardig materiaal.  
 Figure 6.5 Numbers of herbofungivores in relation to lime applications. These mites feed on dead hyphae and plant material.



Figuur 6.6. Aantallen opportunistische herbofungivores uitgezet tegen de toegediende hoeveelheid koolzure kalk. Het voedsel van deze mijten bestaat uit de inhoud van schimmelcellen en plantaardig materiaal.

Figure 6.6. Numbers of opportunistic herbofungivores in relation to lime applications. These mites feed on plant material and active fungi.

## 6.2 Conclusie

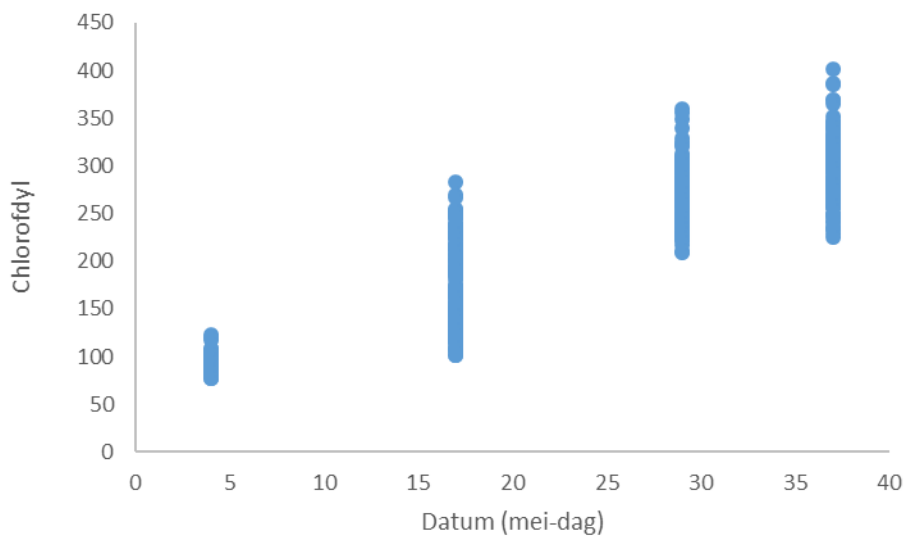
Uit de resultaten blijkt een duidelijk negatief effect van kalktoevoeging op de aantallen en samenstelling van de bodemmicroarthropoden. Het negatieve verband tussen aantallen microarthropoden en het toedienen van kalk wordt vooral verklaard door de herbivoren. Het betreft zowel de strikte herbivoren als de herbofungivore grazers. De herbofungivore grazers eten dode hyphen met een extreem hoge N:P ratio (fosfaatgehalte van hooguit 0,15% (*Aspergillus* sp.; Ruiz-Herrera 1967) tot 1.8% (*Penicillium notatum*; Applegarth 1967)) en zijn van plantenmateriaal afhankelijk om andere voedingsstoffen, zoals P, aan te vullen. Schimmeleters die celinhoud met een N/P-ratio van ca. 15, eten (de opportunistische herbofungivoren en overige fungivoren), kunnen uit de inhoud van de hyphen voldoende voedingsstoffen onttrekken.

# 7 Effecten op plantkwaliteit

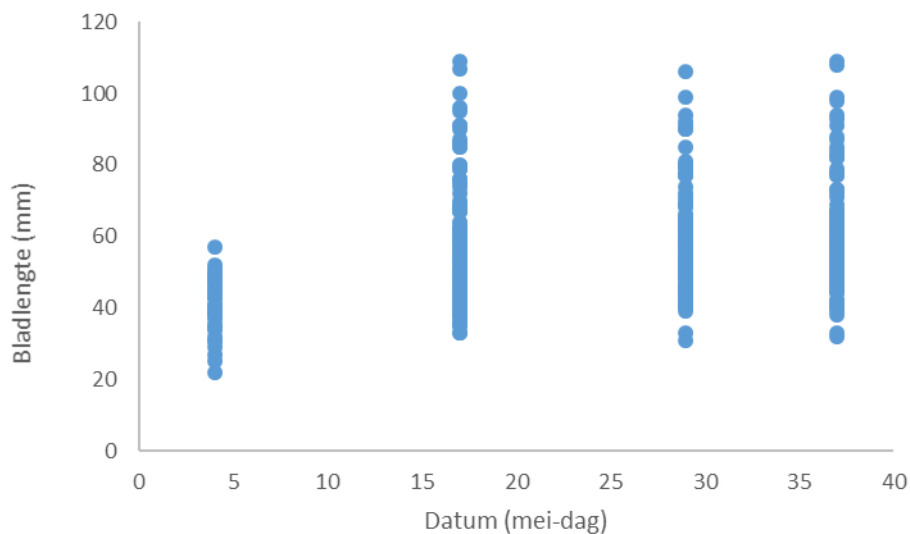
## 7.1 Resultaten

### Ontwikkeling van beuken

Gedurende de eerste 3 meetmomenten nam het chlorofylgehalte van de beuken toe (fig. 7.1). Deze ontwikkeling was vanaf het derde meetmoment nagenoeg voltooid, want bij het vierde meetmoment waren de chlorofylgehalten vrijwel niet verder toegenomen. De bladstrekking was vanaf het tweede meetmoment al voltooid (figuur 7.2).

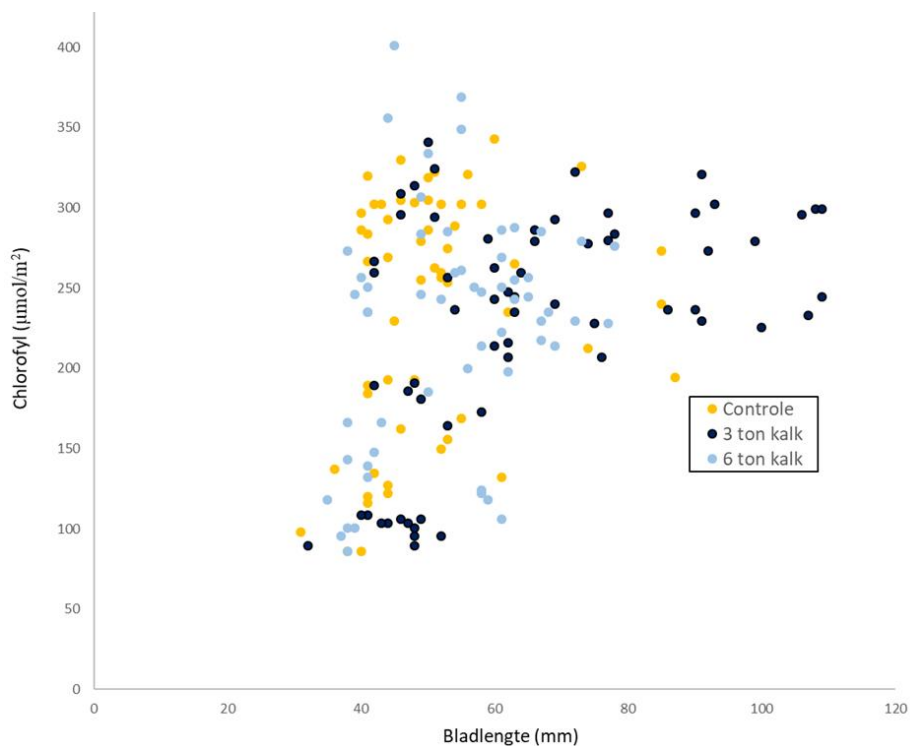


Figuur 7.1. Ontwikkeling van de chlorofylconcentraties ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ) in het beukenblad.  
Figure 7.1. Development of chlorophyll concentration ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ) in beech leaves.



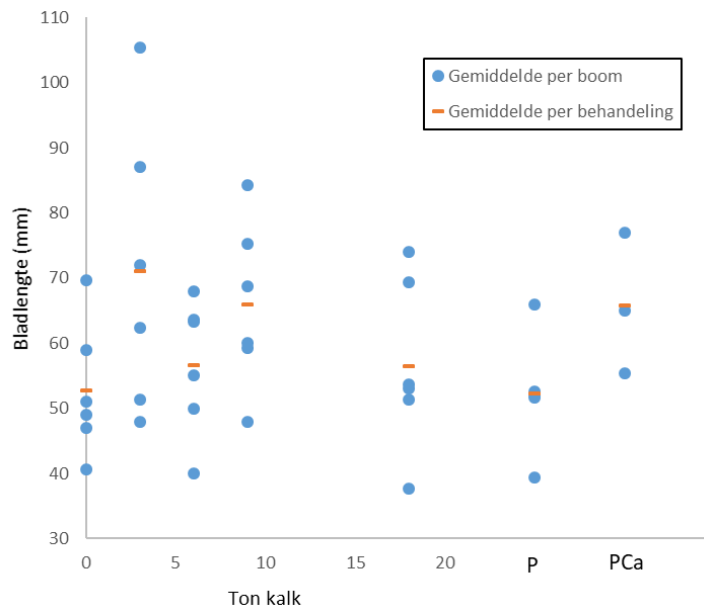
Figuur 7.2. Ontwikkeling van de lengte van het beukenblad.  
Figure 7.2. Development of leaf length (mm) in beech trees.

Het jonge blad (zoals gemeten bij de eerste meting voor het individuele blaadje) had een bladlengte die varieerde tussen de 30 en 65 mm en chlorofylgehalten onder de 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  (figuur 7.3). Op basis van deze varianties is de ontwikkelingsleeftijd van het blad niet goed te bepalen. In het volgroeide blad waren er geen verschillen tussen behandelingen in het chlorofylgehalte, maar wel in bladlengte (cf. Minotta & Pinzauti, 1996, Jonard et al. 2015). Sommige behandelingen, met name de 3 ton/ha kalkgift leidden tot meer grote bladeren. De gegevens per blad laten zien dat alle beuken kleine blaadjes maken, maar dat met name bij de behandeling met 3 ton/ha ook veel meer grote bladeren werden gemaakt. Op basis van individuele blaadjes levert dit significante verschillen op tussen behandeling 3 ton/ha kalkgift en 0, 6 en 18 ton/ha kalkgift. Op basis van boomgemiddelden (figuur 7.4) leverde alleen de vergelijking tussen de controle en 3 ton/ha kalkgift een significant effect op. De grote natuurlijke variantie in bladgrootte binnen een boom maakt het moeilijk conclusies te trekken. Voor de behandelingen P en P+Ca is de steekproefgrootte te klein voor enige statistische analyse. In de proefvelden van behandeling P+K konden in totaal maar twee beuken worden gemeten, dus deze zijn achterwege gelaten.



Figuur 7.3. Relatie tussen bladlengte en de chlorofylconcentratie voor 3 van de behandelingen (beuk). Bij een beperkte kalkgift ontwikkelen zich meer grote bladeren. Elk punt is een blaadje tijdens één van de meetronden; de meeste blaadjes komen 3 of 4 keer voor in deze weergave.

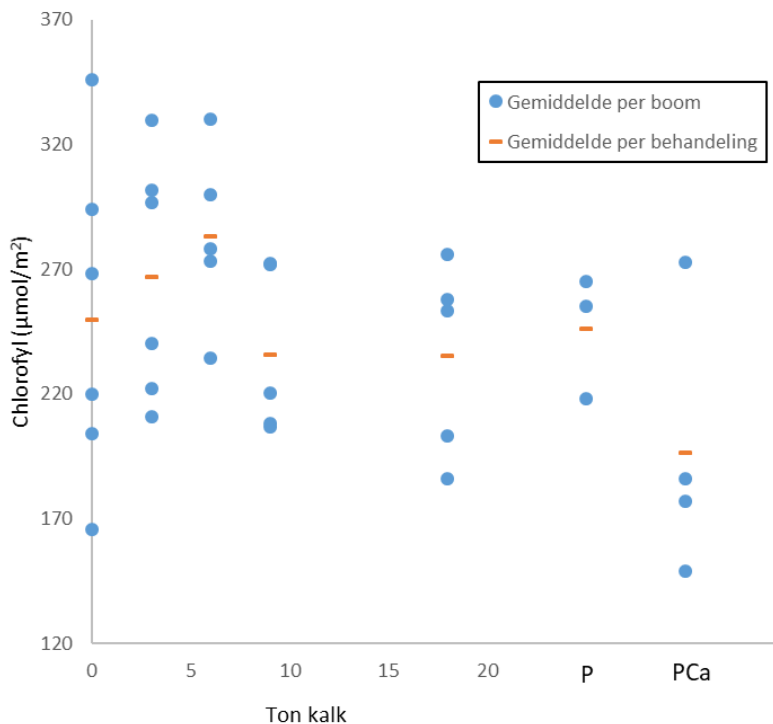
Figure 7.3 Relationship between leaf length and chlorophyll concentration for 3 of the treatments (beech). At 3 ton chalk per hectare more larger leaves are formed. Each leaf is represented 3 or 4 times in this graph.



Figuur 7.4. Effecten van de behandelingen op de gemiddelde bladlengten per boom (*Fagus sylvatica*).  
 Figure 7.4 Treatment effects on leaf lengths averaged per tree (*Fagus sylvatica*).

#### Chlorofyl in eiken

Analoog aan het onderzoek voor de OBN steenmeeltoedieningsproeven zijn er bij de zomereik geen behandelingseffecten op bladgrootte. In de gemiddelde chlorofylconcentratie lijkt wel een optimum te zitten, met statistisch significante verschillen tussen enerzijds de behandeling met 6 ton kalk/ha en anderzijds de 9 ton kalk/ha en 18 ton kalk/ha behandelingen (p-waarde is respectievelijk 0.025 en 0.05) (figuur 7.5).



Figuur 7.5. Effecten van de behandelingen op de gemiddelde chlorofylconcentraties per boom (zomereik).  
 Figure 7.5. Treatment effects on leaf chlorophyll concentrations (Common Oak), averaged per tree (common oak).

## **7.2 Conclusie**

- Voor beide boomsoorten (beuk en zomereik) zijn er verschillen waarneembaar tussen behandelingen, maar de relaties tussen kalkgift en chlorofylgehalte (eik) en bladgrootte (beuk) zijn niet eenduidig.

## 8 Synthese en slotconclusies

### 8.1 Synthese

Ruim dertig jaar na de toediening zijn er met name in de kalktrappenproef veel effecten waarneembaar, zoals deze hiervoor zijn beschreven. Deze willen we hier in samenhang bespreken, zodat de conclusies en aanbevelingen beter worden onderbouwd.

Rondkijkend in de kalktrappenproef zien we een ander bosecosysteem vanaf een kalkgift van 6 ton/ha met een geheel andere ondergroei. De sterke dominantie van hoge braamstruiken is opvallend. In de bodem is ook het nagenoeg verdwijnen van de F-laag in het humusprofiel een teken dat het systeem echt verandert na een hoge kalkgift. De nutriëntenstapeling die in de controleplots in de F-laag besloten ligt, wordt bij hogere kalkgift vrijgemaakt, waardoor er meer voedingsstoffen beschikbaar zijn voor de groei van planten. De bramen lijken hiervan te profiteren. Na bekalking is de afbraak dus efficiënter en de plantengroei meer uitbundig.

De afname van de F-laag, leidt niet automatisch tot een grotere beschikbaarheid van nutriënten in de bodem. Ca en Mg nemen toe, omdat deze stoffen bij de behandeling zijn opgebracht. Het gehalte anorganische stikstof neemt ook iets toe, mogelijk door de betere omzetting van strooisel en de overmaat die als gevolg van stikstofdepositie in het systeem aanwezig is. De gehalten beschikbaar aluminium en ijzer nemen af, waarschijnlijk door complexatie in de vorm van hydroxiden en andere minder oplosbare minerale verbindingen. Hetzelfde geldt voor Mn, maar dit nutriënt is ook in zuur milieu minder beschikbaar. Hierdoor ontstaat er voor Mn een optimumcurve in de beschikbaarheid en fysiologisch functioneren van de plant. Mangaan is een belangrijk element voor de stikstof- en eiwithuishouding in planten en kan via deze route een belangrijke stempel drukken op de waardplantkwaliteit voor herbivoren (Van den Burg et al., 2014). De metingen aan bladontwikkeling zijn ook indicatief voor een optimum, maar vanwege de grote spreiding (en beperkte opzet) ontoereikend om dit te kunnen concluderen.

Ook het plantbeschikbaar fosfor laat een daling zien in de kalktrappenproef. Dit is een combinatie van verhoogde plantopname (minder toxisch Al in oplossing, meer wortels) en van complexatie in de bodem in de vorm van calcium- of aluminiumzouten. Omdat de bekalking is toegepast in een verzuurde situatie met veel vrij beschikbaar aluminium, is het mogelijk dat relatief veel fosfaat in nagenoeg onoplosbare aluminiumzouten is vastgelegd (Haynes 1992). Dit zou de resultaten in de bodemfauna en paddenstoelen in belangrijke mate kunnen verklaren. Door het verdwijnen van de F-laag en het verhelpen van de aluminiumtoxiciteit, zou de P-status van de planten echter verbeteren (Haynes 1992). Het is dus niet eenvoudig vast te stellen wat het effect van bekalking is geweest op de P-status van het bos. Het P-gehalte van de strooisellaag kon in deze studie helaas niet gemeten worden.

Het ligt voor de hand te veronderstellen dat veel bossen, waaronder de opstanden van de Harderwijker veldproef, oorspronkelijk N en P gecolimiteerd waren (cf. Jonard et al., 2015). Door stikstofdepositie is de N-limitatie opgeheven en lijkt de P-limitatie versterkt te worden. Door verzuring en uitspoeling kunnen echter ook andere mineralen, waaronder Ca, K, Mg en Mn, limiterend zijn geworden. In de kalktrappenproef zijn de effecten van verzuring (deels) gemitigeerd, waardoor de effecten van de oorspronkelijk aanwezige P-limitatie mogelijk beter naar voren komen. De bodemfauna kan sterk op de P-status van de bodem reageren (Siepel



et al., 2018), maar om het exacte mechanisme hiervan inzichtelijk te maken is het wenselijk het P-gehalte van het blad- en het strooiselmateriaal te meten.

## **8.2 Slotconclusies**

1) De effecten van de kalktrappenproef zijn na 30 jaar duidelijk zichtbaar in de vegetatiesamenstelling, bodemopbouw en bodemchemie en heeft ook implicaties voor de bodemfauna.

2) Bij een grote kalkgift ( $\text{CaCO}_3$ ), groter dan 3 ton/ha, verdwijnt de F-laag en verzuuring door bramen wordt opvallend. Hiermee verandert het bos naar een onnatuurlijk, kalkrijk type voor de hogere zandgronden van Nederland.

3) Lichte bekalking tot 3 ton / ha vermindert de negatieve effecten van de bodemverzuring, zonder dat de aard van het systeem sterk wordt aangetast, al zijn er wel veranderingen zichtbaar in de samenstelling van de paddenstoelen en van de micro-arthropoden. Het effect op de zuurgraad is na 30 jaar gering, maar het effect op de Al/Ca-ratio is groot.

4) Er zijn vooralsnog geen duidelijke effecten meer waarneembaar na 30 jaar in het factoriële deel van het experiment.

## 9 Aanbevelingen

### 9.1 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In het huidige onderzoek is slechts een tipje van de sluier opgelicht, het lijkt zinnig om in de nabije toekomst aanvullende metingen uit te voeren zodat de langetermijn processen beter kunnen worden gekwantificeerd:

- Chemie van naalden of bladeren en hout van grove den, beuk, en zomereik. En van de dominante bramen;
- Aanvullende bodemchemie: ook van de strooisel- en de F-laag en de diepere minerale bodemlaag (25-50 cm);
- Jaarringanalyse van de periode voor bekalking of bemesting (voor 1986), in de periode 1987 – 2000 (voor dunning) en de periode 2002 tot heden (na dunning). Inclusief chemische analyse van genoemde jaarringperioden;
- Aanvullende bodemmesofauna analyse (potwormen & regenwormen; slakjes);
- Analyse van de samenstelling van de bodemmicro-organismen (schimmels en bacteriën) met DNA-technieken, zodat bijvoorbeeld de hoeveelheid ectomycorrhizaschimmels of nitrificerende bacteriën (incl. Archaeae);
- Is een kalkgift van 3 ton/ha voldoende voor de overleving van huisjesslakken en/of kalkminnende miljoenpoten?
- Selectie proefvlakken: minimaal controle & kalktrappenproef, en een deel van het bemestingsexperiment (P, PK, PMg, PMgK, eventueel K en Mg alleen). Aangezien in het bemestingsexperiment Ca is toegediend als kalk (3 ton) verdient het aanbeveling om alle behandelingen met Ca te laten vallen. En gelet op de tot nu toe gevonden zeer kleine verschillen met de controle, en beperking van de kosten lijkt in de toekomst een selectie van 4 (of 6) behandelingen optimaal.

### 9.2 Aanbevelingen voor beheer

- 1) Teveel kalk (> 3 ton / ha) heeft een groot risico op negatieve effecten voor het ecosysteem.
- 2) Lichte bekalking (tot 3 ton / ha) werkt enkele aspecten van bodemverzuring effectief tegen en is duurzaam (in ieder geval 30 jaar merkbaar).
- 3) Het probleem is niet (alleen) een calciumtekort of een lage bodem pH, maar ook gebreken aan andere nutriënten. Het gebruik van pure kalk als meststof is hierom af te raden. Bepaalde typen steenmelen en/of schelpgruis zijn waarschijnlijk beter om te geven al of niet in combinatie met aanvullende kalk. Hiertoe lopen nog verschillende experimenten.
- 4) Het geven van minerale meststoffen werkt de effecten van verzuring tegen, maar is niet zaligmakend, omdat de effecten van vermesting blijven bestaan.

## 10 Referenties

- Anoniem (1987). Bemestingsproef in het gemeente bos van Harderwijk, 1985 en 1986. Rapport Gemeente Harderwijk & ??.
- Arnolds, E., R. Chrispijn & R. Enzlin (2015) - Ecologische Atlas van Paddenstoelen in Drenthe
- Bergsma, H., J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A. Jansen & L. Krul (2016). Tandrot in de bodem. *Bodem* 26(1): 27-29.
- Bergsma, H., J. Vogels, A. van den Burg & R. Bobbink (2018). Is de bodemverzuring in Nederland onomkeerbaar? Door chronische verzurende depositie zal de natuur op droge zandgronden niet vanzelf herstellen. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 15(144): 4-8.
- Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.L. Weijters (2017). Bodemverzuring in droog zandlandschap: na het zuur geen zoet? *Landschap* 34 (2): 61-69.
- Bobbink, R. & M. Weijters (2018). Verschil in effecten op natuur van gereduceerd versus geoxideerd stikstof. *Lucht maart 2018*: 23-27.
- Bretfeld, G. (1999). Symphypleona. Synopses on Palaearctic Collembola, Vol. 2 (W. Dunger, Ed), Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz.
- Brouwer, E., M. Braat, B. van Hoek, R. Noteboom, C. Oplaat, R. Peijper, M. de Smits & P.Klok (2009). WAD'N GEZWAM! De invloed van schelpenpaden op de paddenstoelendiversiteit van Terschelling. *Coolia* 51 (1): 7-17.
- Brouwer E. & P. Klok (2018). Graslandfungi in het bos, een intrigerende puzzel. *Coolia* 61(2):75-78
- de Vries, W., P. Bolhuis, A. van de Burg & R. Bobbink (2017). Doorgaande verzuring van bosbodems – oorzaken en gevolgen voor het bosecosysteem. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 14(137): 32-35.
- Dilz, K., A. Hekstra, A van Diest & J. van den Burg (1988). Bemestingsproef in het gemeentebos van Harderwijk, 1987. Rapport NMI, p/a Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Dilz, K., A. Hekstra, A van Diest & J. van den Burg (1990). Bemestingsproef in het gemeentebos van Harderwijk, 1988 - 1989. Rapport NMI, p/a Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Dunger, W. & B. Schlitt (2011). Tullbergiidae. Synopses on Palaearctic Collembola, Vol. 6/1 (W. Dunger, Ed), Senckenberg Museum of Natural History Görlitz.
- Haynes, R. (1982). Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68: 289-308.
- Hekstra, A., K. Dilz, A van Diest & J. van den Burg (1990). Jaarverslag 1989 – 1990. Bosbemestingsonderzoek in het gemeentebos van Harderwijk. Rapport van gemeente Harderwijk, CAS Dronten, LU Wageningen & NMI Den Haag.
- Jonard, M., Fürst, A., Verstraeten, A., Thimonier, A., Timmerman, V., Potocic, N., Waldner, P., Benham, S., Hansen, K., Merila, P., Ponette, Q., de la Cruz, A., Roskams, P., Nicolas, M., Croisé, L., Ingerslev, M., Matteucci, G., Decinti, B., Bascietto, M. and Rautio, P., 2015. Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global Change Biology* 21, 418-430.
- Jones, J. P. & R.L. Fox (1978). Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminium uptake from an Oxisol. *Soil Sci.* 126: 230-236.
- Jordana, R. (2012). Capbryinae and Entomobryini. Synopses on Palaearctic Collembola, Vol. 7/1 (W. Dunger, Ed), Senckenberg Museum of Natural History Görlitz.
- Karg, W. (1989). Acari (Acarina), Milben, Unterordnung Parasitiformes (Anactinoichaeta), Uropodina Kramer, Schildkrötchenmilben. *Die Tierwelt Deutschlands* 67. Teil, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

- Karg, W. (1993). Acari (Acarina), Milben, Parasitiformes (Anactinochaeta), Cohors Gamasina Leach, Raubmilben. Die Tierwelt Deutschlands 59. Teil, 2. Überarbeitete Auflage, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kuyper, Th.W., B.W.L. de Vries (1990). Effects of fertilisation on the mycoflora of a pine forest. Wageningen Agric. Univ. Papers 90-6: 102-111.
- Lucassen, E., R. Aben, A. Smolders, R. Bobbink, J. van Diggelen, M. van Roosmalen, D. Boxman, L. van den Berg & J. Roelofs (2014). Bodemverzuring als aanjager van eikensterfte: gevolgen voor herstelmaatregelen. Vakblad Natuur, Bos en landschap maart 2014: 23-27.
- Potapow, M. (2001). Isotomidae. . Synopses on Palaearctic Collembola, Vol. 3 (W. Dunger, Ed), Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz.
- Minotta, G. & S. Pinzauti 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. Forest Ecology and Management 86: 61-71.
- Siepel, H. (1996). The importance of unpredictable and short-term environmental extremes for biodiversity in oribatid mites. Biodiversity Letters 3: 26-34.
- Siepel, H. & E.M. de Ruiter-Dijkman (1993). Feeding guilds of oribatid mites based on carbohydrase enzyme activities. Soil Biology and Biochemistry 2: 1491-1497.
- Siepel, H. & C.F. Van de Bund (1988). The influence of management practices on the microarthropod community of grassland. Pedobiologia 31: 339-354.
- Siepel, H., J. Vogels, R. Bobbink, R.-J. Bijlsma, E. Jongejans, R. de Waal & M. Weijtersc 2018. Continuous and cumulative acidification and N deposition induce P limitation of the micro-arthropod soil fauna of mineral-poor dry heathlands. Soil Biology and Biochemistry 119: 128-134.
- Van den Burg, A., A. Dees, T. Huigens, R.J. Bijlsma & R. de Waal (2014). Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden. Den Haag. Directie Agro kennis, Ministerie van Economische Zaken. Rapport 2014/OBN186-DZ.
- Van Dobben H. (2010). Lange-termijn effecten van bekalking op bosvegetatie. Bruikbaarheid van oude experimenten. Alterra rapport 2098, Wageningen.
- Vogels, J., W.C.E.P. Verberk, L.P.M. Lamers & H. Siepel, 2017. Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? Biological Conservation 212: 432-447.
- Wallis de Vries, M., K. Huskens, J. Vogels, R. Versluijs, M. Geertsma, K. Kuper, R. Loeb, E. Brouwer & R. Bobbink, R. (2018). Alternatieven voor plaggen van natte heide, effecten op middellange termijn. OBN rapport nr. 2018/OBN 221-NZ



## Bijlage 2: Paddenstoeleninventarisatie 2017-18

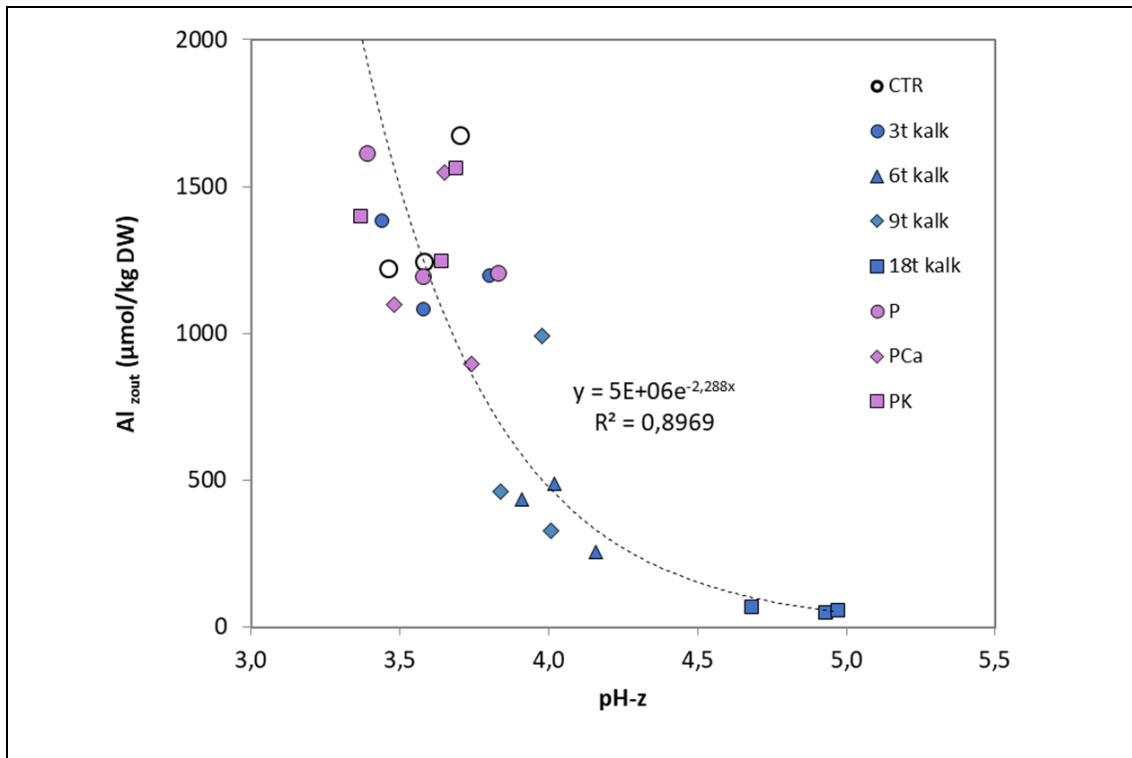
Inventarisatie door Emiel Brouwer, 13-10-2017 & 3-11-2018.

Overzicht van soorten die slechts in 1 of 2 proefvlakken zijn waargenomen in de proefvlakken in 2017 en 2018. Er is gewerkt met 4 klassen: 1 = 1-10 vruchtlichamen, 2 = 11-100 vruchtlichamen, 3 = 101-1000 vruchtlichamen, 4 = >1000 vruchtlichamen per proefvlak. Doelsoorten (tabel 3.3) zijn vetgedrukt, rode lijst soorten schuin gedrukt.

Appendix 2. Overview of fungi species, which were only found in 1 or 2 plots in 2017 and 2018. The number of carpophores is given in 4 classes: 1 = 1-10; 2 = 11-100; 3 = 101-1000 and 4: >1000. Speseis in (light) red with a (weak) preference for the unlimed plots, in (light) blue for the limed plots. Target species are indicated in bold, red-list psicies in italic.

13-10-2017 en 2-11-2018	Factoriele proef									Kalktrappenproef															
	19	28	53	14	23	50	20	27	45	30	54	9	11	31	52	1	22	42		12	32	41	2	21	51
Behandeling	Controle			P			P + K			P + Ca			3 ton kalk			6 ton kalk			9 ton kalk			18 ton kalk			
Paddenstoelen																									
<b>Amanita fulva</b>									1,0																
Amanita rubescens															1,0										
Boletus chrysenteron s.l.											1,0														
Clitocybe fragrans															1,0										
Collybia amanitae s.s.			1,0																						
Collybia cookei																					1,0				
Inocybe assimilata			1,0																						
Inocybe lacera								1,0								1,0									
Galerina sideroides s.l.																1,0		1,0							
Geastrum triplex																									
<i>Hebeloma birrus</i>						1,0								1,0											
Helvella villosa																								1,5	
Conocybe subovalis																							1,0		
Coprinus micaceus s.s.																						1,0			
Cortinarius hemitrichus													1,0		1,0										
Cortinarius subbalaustinus																					1,0				
Entoloma fernandae s.l.											1,0														
Entoloma rhodocylix				1,0							1,0														
<i>Galerina calyptata</i>								1,0																	
Galerina mniophila s.l.			1,0																						
Lactarius blennius																					1,0				
Lactarius camphoratus																						1,0			
<b>Lactarius helvus</b>																1,0									
Lactarius quietus								1,0							1,0										
<b>Lactarius rufus</b>				1,0											1,0										
Macrotypula fistulosa																							1,0		
Marasmius setosus													1,0									1,0			
Melanoleuca polioleuca																						1,0			
Mycena adscendens																							1,0		
<b>Mycena cinerella</b>			1,0	1,0																		1,0			
Mycena filopes																						1,0	1,0		
Mycena galopus v. candida								1,0																	
<b>Mycena sanguinolenta</b>			1,0																						
Mycena speirea											1,0														
Peziza badia								0,8																	
<i>Pholiota lenta</i>																							1,0		
Russula fellea																					1,0				
<i>Suillus luteus</i>																				1,0			1,0		
<i>Lyophyllum ambustum</i>									1,0																
<i>Lyophyllum tylicolor</i>													1,0												
Thelephora terrestris			1,0																						
Typhula erumpens																					1,0				

### Bijlage 3: Relatie pH and Al-zout



Bijlage 3. Verband tussen pH-NaCl en uitwisselbaar aluminium (zoutextractie) in de bodemmonsters uit 2017.

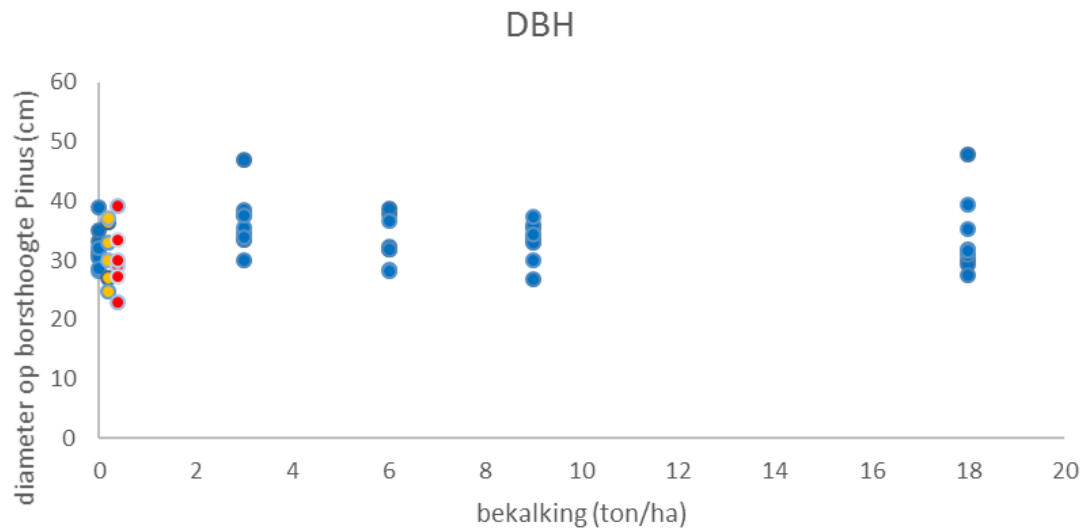
Appendix 3. Relationship between pH-NaCl and exchangeable aluminium in the soil samples of 2017.



## Bijlage 4: DBH van grove den

Bijlage 4. Diameter op borsthoogte (DBH in cm) van grove den (*Pinus sylvestris*) in de kalktrappenproef (blauwe symbolen) en met P- (gele symbolen) of PK-bemesting (rode symbolen). Per proefvlak zijn 2 bomen gemeten.

Appendix 4. Diameter at breast height (DBH in cm) of scots pine (*Pinus sylvestris*) in the plots with different liming treatments (blue symbols; lime in ton/ha) and in the plots with P addition (yellow symbols) and PK addition (red symbols)



**ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit**

**o+bn**

**Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:**

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.

**Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12**

**Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)**

Princenhof Park 7  
3972 NG Driebergen  
0343-745250

drs. W.A. (Wim) Wiersinga  
Adviseur Plein van de kennis/  
Programmaleider Kennisnetwerk OBN  
0343-745255 / 06-38825303  
[w.wiersinga@vbne.nl](mailto:w.wiersinga@vbne.nl)

M. (Mark) Brunsveld MSc  
Programma-medewerker Kennisnetwerk OBN  
0343-745256 / 06-31978590  
[m.brunsveld@vbne.nl](mailto:m.brunsveld@vbne.nl)