

o+bn

## Kennisnetwerk OBN

### Evaluatie van bekalken in laagveengebieden

Mogelijke herstelmaatregel in trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden



# Evaluatie van bekalken in laagveengebieden

**Mogelijke herstelmaatregel in trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden**

MSc. Suzanne Kanters - Witteveen+Bos  
Dr. Casper Cusell - Witteveen+Bos  
Dr. Sven Teurlincx - NIOO-KNAW  
MSc. Lotte Mathu - Witteveen+Bos  
MSc. Marleen Ursem - Witteveen+Bos  
Dr. Lisette de Senerpont Domis - NIOO-KNAW  
Dr. Annemieke Kooijman - Universiteit van Amsterdam



NETHERLANDS  
INSTITUTE  
OF ECOLOGY  
(NIOO-KNAW)



UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM



©2022 IPO, Vereniging het Interprovinciaal Overleg, BIJ12, uitvoeringsorganisatie van de gezamenlijke provincies, Utrecht.

Rapport- en projectnummer OBN-2020-114-LZ

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

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

*Wijze van citeren: S. Kanters, C. Cusell, S. Teurlincx, L.F.A. Mathu, M.A.E. Ursem, L.N. de Senerpont Domis & A.M. Kooijman, 2022. **Evaluatie van bekalken in laagveengebieden: Mogelijke herstelmaatregel in trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden.** Rapport nummer OBN-2020-114-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.*

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

Samenstelling S. Kanters - Witteveen+Bos  
C. Cusell - Witteveen+Bos  
S. Teurlincx - NIOO-KNAW  
L.F.A. Mathu - Witteveen+Bos  
M.A.E. Ursem - Witteveen+Bos  
L.N. de Senerpont Domis - NIOO-KNAW  
A.M. Kooijman - Universiteit van Amsterdam

Foto voorkant Dotterbloemhooilandjes in De Wieden. Foto: C. Cusell

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

# Voorwoord

Behoud maar zeker ook het herstel van biodiversiteit behoort tot de kerndoelen van de overheid. Om dit doel te realiseren ontwikkelt en verspreidt het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) daarvoor toepasbare kennis over herstelmaatregelen voor Natura 2000, de aanpak van stikstof, de leefgebiedenbenadering, de ontwikkeling van nieuwe natuur én het cultuurlandschap.

De kleurrijk bloeiende trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden zijn de parels van onze Nederlandse laagveengebieden. Helaas gaan deze soortenrijke biotopen hard achteruit. Verzuring is het grootste probleem. De beste oplossing zou zijn om de uitstoot van stikstof drastisch te verminderen en te zorgen voor een stabiele toevoer van basenrijk kwelwater. Dat vraagt om rigoureuze systeemveranderingen die terreinbeheerders lastig kunnen beïnvloeden. Daarom wordt er op verschillende plekken geëxperimenteerd met het bekalken van trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden. Uit dit onderzoek blijkt dat vooral de dotterbloemhooilanden baat hebben bij bekalking. De maatregel moet dan wel elke paar jaar herhaald worden. Het zou natuurlijk beter zijn als we er met zijn allen voor zorgen dat we minder stikstof uitstoten, zodat verzuring geen issue meer is. Voorlopig blijft dat echter toekomstmuziek en zijn we blij dat we bekalking als herstelmaatregel achter de hand hebben.

Ik wens u veel leesplezier,

Teo Wams  
Voorzitter van de OBN Adviescommissie



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>Summary</b>	<b>13</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>17</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>19</b>
1.1    Aanleiding	19
1.2    Doel	19
1.3    Onderzoeksvragen	20
1.4    Leeswijzer	20
<b>2. Methoden</b>	<b>21</b>
2.1    Literatuurstudie	21
2.2    Enquête en interviews	21
2.3    Veldonderzoek	22
2.3.1    Bemonsteringslocaties	22
2.3.2    Vegetatieonderzoek	24
2.3.3    Biogeochemisch onderzoek	24
Bovengrondse biomassa	25
Vers bodemmateriaal	25
Bodemvochtanalyses	26
EGV-diepteprofielen	26
2.4    Data-analyse en interpretatie	27
Vegetatiegegevens	27
Biogeochemische gegevens	29
Referentiewaarden trilveen en veenmosrietland in relatie tot bekalkingsonderzoek	30
<b>3. Literatuurstudie</b>	<b>33</b>
3.1    Ecologisch functioneren en de ontwikkeling van trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden in Nederlandse laagveengebieden	33
3.1.1    Het belang van calcium en bicarbonaat in combinatie met inundaties	34
3.2    Mogelijke maatregelen ter mitigatie van verzuring in trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden met specifieke aandacht voor bekalken	34
3.3    Potentiële voor- en nadelen van bekalken	35
3.3.1    Potentiële voordelen	36
3.3.2    Potentiële nadelen	36
3.4    Effecten bekalkingsproeven	37
3.4.1    Verzuurde trilvenen	38
3.4.2    Blauwgraslanden	46
3.4.3    Dotterbloemhooilanden	49

<b>4. Veldonderzoek bekalking</b>	<b>51</b>
4.1	Effecten van bekalking op de vegetatie 51
4.1.1	Reactie van de moslaag 51
4.1.2	Reactie van de kruidlaag 57
4.1.3	Aanvullende resultaten voor veenmosrietlanden 67
4.1.4	Aanvullende resultaten voor dotterbloemhooilanden 68
4.1.5	Aanvullende resultaten voor blauwgraslanden 69
4.1.6	Aanvullende resultaten voor trilvenen 69
4.2	Effecten van bekalking op de bodemchemie 70
4.2.1	Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organische stofgehalte 70
4.2.2	Effect van bekalken op de basenhuishouding 72
4.2.3	Effect van bekalken op de nutriënthuishouding 81
4.2.4	Aanvullende resultaten voor veenmosrietlanden 85
4.2.5	Aanvullende resultaten voor dotterbloemhooilanden 85
4.2.6	Aanvullende resultaten voor blauwgraslanden 86
4.2.7	Aanvullende resultaten voor trilvenen 86
<b>5. Synthese en aanbevelingen</b>	<b>87</b>
<b>6. Literatuur</b>	<b>93</b>
<b>7. Bijlage</b>	<b>97</b>
7.1	De ster 97
7.1.1	Effect van bekalken op de vegetatie 98
7.1.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 98
7.2	De Wieden (1) 99
7.2.1	Effect van bekalken op de vegetatie 100
7.2.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 101
7.3	De Wieden (2) 101
7.3.1	Effect van bekalken op de vegetatie 102
7.3.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 103
7.4	Het Hol (1) 104
7.4.1	Effect van bekalken op de vegetatie 105
7.4.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 105
7.5	Het Hol (2) 106
7.5.1	Effect van bekalken op de vegetatie 106
7.5.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 107
7.6	Het Hol (3) 108
7.6.1	Effect van bekalken op de vegetatie 108
7.6.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 109
7.7	Kortenovertje 110
7.7.1	Effect van bekalken op de vegetatie 112
7.7.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem 113
7.8	Nieuwkoopse plassen (1) 114

7.8.1	Effect van bekalken op de vegetatie	115
7.8.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	115
7.9	Nieuwkoopse plassen (2)	116
7.9.1	Effect van bekalken op de vegetatie	117
7.9.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	119
7.10	Nieuwkoopse plassen (3)	119
7.10.1	Effect van bekalken op de vegetatie	120
7.10.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	120
7.11	De Suikerpot	121
7.11.1	Effect van bekalken op de vegetatie	122
7.11.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	123
7.12	Unlân fan Jelsma	124
7.12.1	Effect van bekalken op de vegetatie	125
7.12.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	125
7.13	Vlaardingse Vlietlanden	126
7.13.1	Effect van bekalken op de vegetatie	127
7.13.2	Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem	128
7.14	Figuren effecten van bekalken op de vegetatie per locatie	130
7.15	Figuren effecten van bekalking op de biogeochemie, per locatie	141
7.16	Vragen enquête en interviews	157
7.17	Referentiewaarden trilveen en veenmosrietland in relatie tot bekalkingsonderzoek	160
7.18	Coördinaten van de plots per locatie	164



# Samenvatting

De kwaliteit van trilvenen (H7140A), blauwgraslanden (H6410), veenmosrietlanden (H7140B) en dotterbloemhooilanden wordt bedreigd door verschillende factoren. Het gaat om soortenrijke gemeenschappen die onder natte, basenrijke en behoorlijk nutriëntarme condities voorkomen en daarmee gevoelig zijn voor verdroging, vermessing en verzuring. Eén van de belangrijkste factoren van de achteruitgang van deze vegetatietypen, zowel in kwaliteit als oppervlak, is verzuring.

Brongerichte maatregelen die zich richten op de oorzaken van verzuring, waaronder de aanpak van atmosferische stikstofdepositie en verhoging van de aanvoer van basenrijk grondwater, zijn voorsnog onvoldoende voor het herstel en behoud van veel laagveengebieden. De huidige atmosferische stikstofdepositie ligt in de meeste gebieden nog steeds (ver) boven de kritische depositiewaarde van deze biodiverse habitattypen. Er zijn de afgelopen decennia in Nederland dan ook verschillende effectgerichte maatregelen uitgevoerd om verzuring van laagveenhabitats te vertragen of zelfs basenaanrijking te krijgen, met meer en minder succes. Eén van de maatregelen die in het verleden is toegepast, is bekalken. In potentie zou doormiddel van bekalken de buffercapaciteit van de bodem lokaal (en tijdelijk) kunnen worden verhoogd, waardoor de effecten van verzuring zouden kunnen worden vertraagd of worden tegengegaan.

De proeven die met bekalking zijn uitgevoerd, gaven echter geen eenduidig beeld wat betreft de effectiviteit en risico's van bekalken in laagveensystemen. Tevens is een deel van de proeven niet (goed) gedocumenteerd. In zijn algemeenheid hebben de huidige literatuur en anekdotes nooit geleid tot een algemeen geldend beheeradvies rondom het bekalken van trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden in Nederlandse laagveengebieden. Voorliggend onderzoek had dan ook als doel om de effectiviteit en geschiktheid van bekalken als mitigerende maatregel voor verzurende trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden te evalueren en zo mogelijk tot een algemeen advies te komen omtrent het bekalken van deze laagveengebieden.

Het voorliggende bekalkingsonderzoek is opgedeeld in een literatuurstudie en een veldonderzoek. In het literatuuronderzoek is bestaande, al dan niet gedocumenteerde kennis omtrent de effectiviteit, risico's en succes- en faalfactoren van bekalken samengebracht. Het literatuuronderzoek is aangevuld met een digitale enquête en interviews met beheerders en onderzoekers die in het verleden betrokken zijn geweest bij bekalkingsproeven. Op deze wijze is zo veel mogelijk niet-gedocumenteerde informatie over uitgevoerde bekalkingsproeven opgehaald. In het veldonderzoek zijn plots of percelen die in het verleden bekalkt zijn, (opnieuw) onderzocht. Op elke locatie zijn vegetatieopnames gemaakt en is een biogeochemisch onderzoek uitgevoerd. Indien mogelijk zijn ook referentielocaties, bij voorkeur vlak bij de bekalkte locaties, bemonsterd. Getracht is een goede verspreiding van plots over de vegetatietypen te bemonsteren, alsmede een gradiënt in verstreken tijd sinds bekalken. Op deze wijze is inzicht verkregen in het (lange termijn)effect van bekalken op de biogeochemie en vegetatie van trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden. Trilvenen en blauwgraslanden bleken echter in veel mindere mate bekalkt dan bij aanvang van het onderzoek werd verwacht, waardoor in deze vegetatietypen minder plots zijn bemonsterd dan in dotterbloemhooilanden en veenmosrietlanden. Dit heeft gevolgen voor de betrouwbaarheid van het onderzoek in trilvenen en blauwgraslanden.

## **Literatuurstudie (incl. de resultaten van de enquête en interviews)**

Uit de literatuurstudie is gebleken dat de effecten van bekalking op laagveenvegetaties niet eenduidig zijn. In verscheidene experimenten leidde bekalken op korte termijn tot positieve veranderingen in de vegetatiesamenstelling. In deze experimenten nam doorgaans de veenmosbedekking af en namen soorten van basenrijkere vegetaties toe. Echter, in de meerderheid van de experimenten waren de positieve veranderingen binnen enkele jaren weer verdwenen. Daarnaast waren er ook verschillende experimenten waarin bekalken niet of nauwelijks

effect had op de vegetatiesamenstelling. De literatuurstudie toonde aan dat de bekalken over het algemeen effectief kan zijn als (1) de bodem niet al te sterk verzuurd is, (2) er geen verzurende soorten (zoals veenmossen) aanwezig zijn (of wanneer deze worden verwijderd doormiddel van plaggen), (3) er landbouwkalk of kalkmergel wordt toegediend en (4) de kalkdosering voldoende hoog is.

De resultaten van de bekalkingsproeven die zijn uitgevoerd in verzuurde trilvenen zijn vrij positief wat betreft effectiviteit op de korte termijn. In deze venen nam de veenmosbedekking kort na bekalking sterk af. Plaggen bleek de effecten van de bekalking te versterken. Echter, in een aantal sterk verzuurde (tril)venen was bekalken niet (meer) effectief: de pH nam nauwelijks toe en veenmossen bleven dominant. In blauwgrasland had bekalking een wisselend effect; in één experiment werden positieve effecten op de vegetatiesamenstelling waargenomen, terwijl in twee andere experimenten bekalking niet tot veranderingen in de vegetatie leidde. In dotterbloemhooiland is slechts één onderzoek uitgevoerd. Hoewel op basis van dit ene onderzoek geen sluitende conclusies te trekken zijn, had bekalking in dit dotterbloemhooiland een positief effect (mits kalk werd toegediend waaraan geen fosfor of stikstof was toegevoegd).

De effecten van bekalking op de faunasamenstelling blijven grotendeels onbelicht. In geen van de studies is expliciet onderzoek verricht naar de effecten van bekalking op fauna. Wel blijkt dat bekalken (ongeacht het type kalk) een positief effect had op de abundantie van regenwormen. Ook het aantal spinnen en mollusken lijkt te profiteren van bekalking.

### **Veldonderzoek**

In het veldonderzoek zijn 73 locaties bemonsterd. Hiervan zijn er 42 bekalkt, 6 geplagd en bekalkt en dienden er 25 als controle. De bekalkte locaties zijn in drie categorieën verdeeld: '0 - 5 jaar geleden bekalkt', '6 - 20 jaar geleden bekalkt' en '> 20 jaar geleden bekalkt'. Op deze manier kon inzicht worden verkregen in de werkingsduur van bekalken in de verschillende vegetatietypen. De locaties die zowel geplagd als bekalkt zijn, zijn allemaal meer dan 20 jaar geleden bekalkt (en geplagd), en zijn allemaal in veenmosrietland bemonsterd.

In de eerste vijf jaar na bekalken zijn er verschillende veranderingen zichtbaar in de bodem en de vegetatie als resultaat van de ingreep. De effecten zijn onder andere duidelijk in de basenhuishouding. Zo nemen de pH, calcium- en magnesiumconcentraties en de basenbezetting in veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden toe door bekalken. Na ongeveer vijf jaar zijn deze effecten van bekalken op de buffercapaciteit van de bodem echter grotendeels verdwenen.

De effecten van bekalking op de nutriëntenhuishouding zijn minder duidelijk. Bekalking leidt nergens tot significant hogere of lagere N of P-concentraties in het bodemvocht. Ook zijn er geen verhoogde N of P gehalten in het bladmateriaal aangetroffen, wat betekent dat eventueel vrijgekomen nutriënten ook niet zijn opgenomen door de vegetatie.

Als resultaat van de positieve veranderingen in de basenhuishouding van de bodem van veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden, verandert ook de vegetatiesamenstelling in deze vegetatietypen. De effecten zijn voornamelijk zichtbaar in de moslaag. Op korte termijn leidt bekalking tot een zeer sterke afname van mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden. Voornamelijk de veenmosbedekking wordt gedecimeerd door bekalking. De afname van veenmossen wordt deels gecompenseerd door mossen van basenrijke(re) milieus. Vooral gewoon puntmos, kenmerkend voor voedselrijke rietlanden, profiteert. Karakteristieke trilveenmossen van hoogkwalitatieve trilvenen lijken niet tot nauwelijks te profiteren van bekalking, wat vermoedelijk ook komt door het vaak afwezig zijn van deze soorten in de nabijheid van de bekalkte plots. De kruidlaag van de veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden wordt minder sterk beïnvloed door bekalking. In een deel van de onderzochte locaties komen kruiden terug die kenmerkend zijn voor basenrijke condities (ronde zegge, draadzegge en moeraskartelblad), maar de variatie is groot

tussen gebieden. Na een periode van circa vijf jaar verdwijnen al deze vegetatieve effecten van bekalking in veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden echter weer: de veenmosbedekking neemt (opnieuw) sterk toe en eventueel gevestigde kruiden van basenrijke(re) condities verdwijnen weer. Bekalken heeft geen effect op de biodiversiteit (soortenrijkdom) van de onderzochte locaties.

### **Effectiviteit van bekalken per vegetatietype**

#### *Bekalken in de huidige veenmosrietlanden*

Veel van de bekalkte veenmosrietlanden zijn in het verleden waarschijnlijk basenrijk trilveen geweest. De bodem en de vegetatie in de huidige veenmosrietlanden hebben op korte termijn baat bij bekalking. Er treedt basenaanrijking op in de bodem, veenmossen verdwijnen en enkele basenminnende mossen en vaatplanten kunnen terugkomen. Deze effecten zijn echter van korte duur (circa 5 jaar), want enkele jaren later zijn deze effecten vaak totaal niet meer zichtbaar in het veld. Daarnaast leidt bekalken van veenmosrietlanden er niet toe dat het veenmosrietland in successie wordt teruggezet naar een goed ontwikkeld trilveen. Ook blijft het effect van bekalking op de nutriëntenstatus van de bodem en op de fauna onduidelijk. Daarom wordt geadviseerd de maatregel niet op te nemen in de herstelstrategie voor veenmosrietlanden (H7140B).

#### *Bekalken in dotterbloemhooilanden*

In verscheidene dotterbloemhooilanden in het laagveengebied wordt bekalking al jaren toegepast met een bekalkingsinterval van (vaak) enkele jaren. Bekalking heeft hier vaak een positief effect op de basenhuishouding en de vegetatiesamenstelling van dotterbloemhooilanden. Verzurende veenmossen verdwijnen door bekalking en basenrijkere mossen (veelal gewoon puntmos) en vaatplanten keren terug. Na enkele jaren lijken deze effecten echter doorgaans weer te verdwijnen. Om deze reden dient wel met enige regelmaat bekalkt te worden om de effecten op de biogeochemie en de vegetatie te behouden. Deze gunstige resultaten doen vermoeden dat bekalking een geschikte herstel- en behoudmaatregel kan zijn voor dotterbloemhooilanden, vooral in laagveengebieden waar inundaties met basenrijk oppervlaktewater onmogelijk blijkt. Hierbij adviseren wij (opnieuw) te bekalken zodra er plukken veenmos in de mosbedekking verschijnen. Omdat effecten op de aanwezige fauna grotendeels onbelicht zijn, dient wel een vinger aan de pols gehouden te worden wanneer wordt bekalkt.

#### *Bekalken in blauwgraslanden*

Er is slechts enkele keren bekalkt in blauwgraslanden die onderdeel uitmaken van het laagveengebied. Hierdoor zijn geen sluitende conclusies te trekken over de effectiviteit van bekalken in deze blauwgraslanden. Alhoewel op basis van deze beperkte set aan experimenten niet geconcludeerd kan worden dat bekalking *niet* werkt in blauwgraslanden in het laagveengebied, kan zonder aanvullend onderzoek evenmin worden vastgesteld dat bekalken *wel* een gunstig effect heeft. We adviseren dan ook om bekalking niet op te nemen in de herstelstrategie voor blauwgraslanden die in het laaggebied liggen (H6410), omdat hiervoor onvoldoende kennis over de effectiviteit en de risico's van bekalken voorhanden is.

#### *Bekalken in nog basenrijk trilvenen*

Over de effecten van bekalken in nog niet verzuurd trilveen zijn weinig conclusies te trekken: er zijn namelijk maar twee locaties bemonsterd, omdat er (voor zover bekend) slechts één basenrijke trilveenlocatie (Kortenovertje) is bekalkt in Nederland. We adviseren dan ook om bekalking niet op te nemen in de herstelstrategie voor trilvenen (H7140A), omdat hiervoor onvoldoende kennis over de effectiviteit en de risico's van bekalken voorhanden is.



# Summary

The quality of floating fens (H7140A), (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows (H6410), poor fens (H7140B) and *Calthion palustris* hay meadows is threatened by various factors. These vegetation types include species rich plant communities that thrive under wet, base-rich and nutrient-poor conditions. This makes these communities vulnerable to desiccation, eutrophication and acidification. Acidification is one of the most important factors of the deterioration of these valuable and species-rich vegetation types, both in quality and in quantity.

Currently, measures that focus on reducing the causes of acidification are insufficient to enable the recovery and conservation of these fen areas. The current nitrogen deposition in the Netherlands is still (far) higher than the critical nitrogen deposition for these species-rich vegetation types. That is why several measures have been taken in the past years to slow down acidification rates. One of these measures, is liming. Potentially, liming can locally (and temporarily) increase the soil buffer capacity of soils, thereby slowing down or reversing the effects of acidification.

In the past, several liming experiments have been performed. However, these experiments did not result in a clear overview of the effects and risks of liming in fen areas. Moreover, part of the liming experiments has not been documented. As a consequence, the current literature and anecdotes have never resulted in a general advice on liming in floating fens, (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows, poor fens and *Calthion palustris* hay meadows in Dutch fen areas. The goal of this research was to evaluate the effectivity and risks of liming as a measure to mitigate the effects of acidification in floating fens, (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows, poor fens and *Calthion palustris* hay meadows, and hence formulate a general advice on liming in Dutch fen areas.

The presented research consists of a literature study and a field experiment. In the literature study, all knowledge - both embedded in literature and anecdotes - about the effectivity, risks and success factors of liming was summarized. In addition to the gathering of all written information, a digital survey and interviews were held with researchers and nature managers. In this way, we also tried to gain as much non-documented information on performed liming experiments as possible. In the field experiment, we investigated plots that have been limed in the past. At each location, we performed biogeochemical research and vegetation surveys. If possible, reference locations (that were close to the limed locations and of the same vegetation type) were investigated as well. We tried to sample an equal number of locations per vegetation type and time since (most recent) liming. In this way, insight was generated in the (long term) effect of liming on the vegetation and biogeochemistry of floating fens, poor fens, *Calthion palustris* hay meadows and (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows. However, it turned out to be impossible to sample equally across the vegetation types, as there are only a few rich fens and (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows in the Netherlands that have been limed in the past. As a consequence, there was a large sampling bias in favor of poor fens and *Calthion palustris* hay meadows. This has implications for the reliability of the research of rich fens and (*Cirsio dissecti-Molinietum*) fen meadows.

## **Literature study (including the results of the survey and interviews)**

The literature study has shown that the effects of liming in fen areas is equivocal. Several experiments showed that liming led to positive changes in vegetation composition on the short term. In these experiments, Sphagnum covers generally decreased and species that are characteristic for (more) base rich conditions increased. However, in the majority of the experiment, the effects lasted for only a couple of years, after which the vegetation returned to its original state. In addition, there were several experiments in where liming did not result in changes in the vegetation composition at all. Overall, the literature study showed that liming can be effective if (1) soil acidification is moderate, (2) acidifying species (such as Sphagnum) are absent or removed by topsoil removal, (3) agricultural lime or marl is applied and (4) liming doses are sufficiently high.

The results of liming experiments were relatively positive in acidified floating fens. Sphagnum cover diminished shortly after liming. Topsoil removal further increased the effectivity of liming in these fens. However, in highly acidified soils, liming was not effective (anymore): soil pH barely changed, and Sphagnum remained the dominant moss species. In (*Cirsio dissecti-Molinieum*) fen meadows, liming had varying degrees of success. In one experiment, liming resulted in positive changes in vegetation composition while in two other experiments, liming had no effect. Only one experiment was conducted in *Calthion palustris* hay meadow. Although no general conclusions can be drawn from one experiment, liming had a positive effect on the vegetation composition in this *Calthion palustris* hay meadow (provided that no phosphorus or nitrogen was added to the lime).

The effects of liming on fauna composition remains largely unknown. None of the studies explicitly investigated the effect of liming on fauna. However, liming seems to positively affect the abundance of earthworms, spiders and molluscs in one or two experiments.

### **Field experiment**

A total of 73 locations have been sampled in the field experiment. 42 locations were limed, at 6 locations the topsoil was removed after which the locations were limed, and 25 locations were reference sites. The limed locations were divided into three categories: 'limed 0 - 5 years ago', 'limed 6 - 20 years ago' and 'limed > 20 years ago'. All locations at which the topsoil was removed and lime had been applied, were poor fens which were limed more than 20 years ago.

As a result of liming, soil biogeochemistry and vegetation composition changed in the first five years after liming. For example, pH, calcium and magnesium concentrations and base saturation increased in poor fens and *Calthion palustris* hay meadows as a result of liming. The effects lasted for approximately five years, after which the effects of liming on the buffer capacity of the soil disappeared again.

The effects of liming on the nutrient cycle were less clear. Liming did not lead to significantly higher or lower nitrogen or phosphorus concentrations in soil pore water, nor did liming result in significant differences in nitrogen and phosphorus concentrations in leaves. This indicates that liming did not result in eutrophication.

As a result of the positive changes in soil alkalinity of poor fens and *Calthion palustris* hay meadows, the vegetation composition changed. The effects were most pronounced in the moss cover. On the short term, liming led to a sharp decrease of mosses that are characteristic for poor fens. This decrease is mainly caused by a decline in Sphagnum cover. Species that are characteristic for more base-rich environments filled the niche that was created by the diminishment of Sphagnum. *Calliergonella cuspidata*, characteristic for eutrophic reed lands, seemed to profit most. Species that are characteristic for more nutrient-poor environments profited only little from liming. It seems likely that this was (at least partly) caused by dispersal limitations.

Liming has a less pronounced effect on the composition of vascular plants in poor fens and *Calthion palustris* hay meadows. In part of the investigated plots, species that are characteristic for base-rich and nutrient-poor environments re-established. However, species re-establishments highly differed between locations. Moreover, after a period of approximately five years, the advantageous effects of liming disappeared again: Sphagnum cover rapidly increased and vascular plants of base-rich conditions disappeared. Liming did not affect the biodiversity (in terms of species richness) of the investigated locations.

## **Effectivity of liming on different vegetation types**

### *Liming in poor fens*

It is likely that most of the poor fens that have been limed, have been base-rich floating fens in the past. On the short term, the soil and vegetation of the (current) poor fens, profit from liming. Liming results in higher soil alkalinity, a decrease of Sphagnum cover and the re-establishment of a few species that favor base-rich conditions. However, the effects only last for about five of years. Besides, liming does not result in reversed succession towards a high-quality floating fen. Moreover, the effects of liming on the nutrient status of the soil and on fauna remain unclear. Therefore, we advise not to include liming as a measure to restore poor fens (H7140B).

### *Liming of *Calthion palustris* hay meadows*

Liming of *Calthion palustris* hay meadows has been performed for years thanks to the positive effects of liming on the vegetation composition and base saturation. Sphagnum species, that cause (further) soil acidification, disappear, providing a niche for base-rich mosses and vascular plants to (re-)establish. To make sure the positive effects do not disappear after some years, it is necessary to execute the liming within regular time intervals. These favorable results suggest that liming may be a suitable measurement for conservation and restoration of acidifying *Calthion palustris* hay meadows, especially in fen areas where inundation with base-rich surface water may be impossible. We advise to perform liming (again) when Sphagnum cover starts to increase rapidly. As the effects of liming on fauna remain largely unknown, it is recommended to monitor the effects of liming.

### *Liming of (*Cirsio dissecti-Molinieum*) fen meadows*

To our knowledge, only two (*Cirsio dissecti-Molinieum*) fen meadows in fen areas exists in the Netherlands that have been limed in the past. As a consequence, no conclusions can be drawn on the effectivity of liming in (*Cirsio dissecti-Molinieum*) fen meadows in fen areas.

### *Liming of floating fens*

To our knowledge, only one floating fen has been limed in the Netherlands. As a consequence, it is not possible to draw conclusions on the effectivity of liming in floating fens.



# Dankwoord

Dit rapport is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van de provincie Noord-Holland en BIJ12, het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (via het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN)). Wij danken hen hartelijk voor de financiële bijdragen. In het bijzonder willen wij graag het Deskundigenteam Laagveen- en Zeekleilandschap van OBN, en specifiek de leden van de begeleidingscommissie, bedanken voor hun bijdrage aan de totstandkoming van deze eindrapportage.

Verder bedanken wij Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en It Fryske Gea voor de toestemming om het onderzoek in hun gebieden en met hun medewerking uit te voeren. Daarnaast willen we graag even stil staan bij eenieder die dit onderzoek mogelijk heeft gemaakt en/of eraan heeft bijgedragen. Voor de uitvoering van dit OBN-onderzoek zijn veel van de Nederlandse laagveengebieden bezocht. Daarom willen we alle betrokken personen graag apart bedanken voor de antwoorden en hulp bij beheersvragen, voor de hulp bij het selecteren van geschikte locaties en soms zelfs bij het uitvoeren van ons veldwerk! Hartelijke dank aan: Henk de Jager en Mark Hilboezen van It Fryske Gea (Unlân fan Jelsma), Jeroen Bredenbeek van Staatsbosbeheer (Weerribben), Rosalie Martens, Harm Piek en Bart de Haan van Natuurmonumenten (Wieden), Bert van Dijk van Staatsbosbeheer (Molenpolder), Nynke van der Ploeg en Ron van Overeem van Natuurmonumenten (De ster, Het Hol, Kortenovertje en De Suikerpot) en tot slot Martijn van Schie, Wouter van Steenis en Guus van Oostwaard van Natuurmonumenten (Nieuwkoopse plassen, de Haeck en Vlaardingse Vlietlanden).

Ten slotte willen we de mensen bedanken die de enquête hebben ingevuld en eventueel aanvullend zijn geïnterviewd. Naast een aantal van de bovengenoemde mensen gaat het om Camiel Aggenbach en Mark Jalink (KWR), Bart van Tooren en Baukje Sijtsma (Natuurmonumenten), José van Diggelen (Onderzoekcentrum B-WARE), Tom van den Broek (RHDHV), Henk Hut en Allard van Leerdam (Staatsbosbeheer), Willem-Jan Emsens (Universiteit Antwerpen), Winnie Rip (Waternet), Frank Bos (Provincie Utrecht), Robbert de Ridder (Provincie Noord-Holland), Geert van Wirdum, Jos Verhoeven, Aat Barendregt en Boudewijn Beltman. Hierbij willen we specifiek José van Diggelen (onderzoekscentrum B-WARE) en Tom van den Broek (RHDHV) bedanken voor hun aanvullende hulp in het veld.



# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De kwaliteit van de Natura 2000-habitattypen trilvenen (H7140A), veenmosrietlanden (H7140B) en blauwgraslanden (H6410) wordt momenteel door verschillende factoren in het Nederlandse laagveengebied bedreigd (o.a. Kooijman 2012; Bijlsma *et al.* 2014; Paulissen *et al.* 2014). Het gaat om soortenrijke gemeenschappen die onder natte, basenrijke en behoorlijk nutriëntarme condities voorkomen en daarmee gevoelig zijn voor verdroging, vermesting en verzuring (o.a. van Wirdum 1991; Kooijman 1993; Jansen 2000; Jansen *et al.* 2001; Wheeler & Proctor 2000; Runhaar *et al.* 2009; van Diggelen *et al.* 2018). Eén van de belangrijkste factoren van de achteruitgang van trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden in Nederlandse laagveengebieden, zowel in kwaliteit als oppervlak, is verzuring.

Al decennia speelt men met de gedachte om deze verzuring te compenseren door middel van bekalken, waarbij hoop geput wordt uit successen met Dolokal en steenmeel bij verzuurde droge heiden, heischrale graslanden en droge bossen (o.a. de Graaf *et al.* 2004; van Ommering & Hendriks 2004; Weijters *et al.* 2018; Bobbink *et al.* 2018). In het verleden is bekalking dan ook verscheidene malen toegepast in Nederlandse trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden. Ook in de iets drogere en voedselrijkere dotterbloemhooilanden is bekalking toegepast om verzuring tegen te gaan. In sommige gevallen zijn deze experimenten of beheerinspanningen succesvol gebleken (Piek *et al.* 1997; Beltman *et al.* 2001; Barendregt *et al.* 2004; van Diggelen *et al.* 2015; Jager & Hilboezen 2019). Soms leidt bekalking echter niet tot het tegengaan van verzuring, en zijn er risico's zoals het vrijkomen van ammonium en een verhoogde mineralisatie, wat eutrofiëring tot gevolg kan hebben (Aggenbach *et al.* 2009). Beheerders verschillen dan ook van mening over de effectiviteit en geschiktheid van bekalken als herstelmaatregel in laagveengebieden.

Ook zijn in veel gevallen de resultaten niet of slechts sporadisch vastgelegd. Van dergelijke slecht-gedocumenteerde ingrepen kunnen de desbetreffende natuurbeheerders en onderzoekers vaak wel anekdotische beschrijvingen geven. In zijn algemeenheid hebben de huidige literatuur en anekdotes nooit geleid tot een algemeen geldend beheeradvies rondom bekalken van trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden in Nederlandse laagveengebieden.

Er is dan ook behoefte bij natuurbeheerders en beleidmakers om de effectiviteit van bekalking als mitigerende maatregel voor verzurende trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden in laagveengebieden te beoordelen. In voorliggend onderzoek is dan ook geëvalueerd of bekalken als maatregel gebruikt kan worden om de effecten van verzuring in deze vegetatietypen te mitigeren.

## 1.2 Doel

Het onderzoek heeft tot doel een zo compleet mogelijk overzicht te krijgen van alle uitgevoerde experimenten en ervaringen met bekalking in trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden in het Nederlandse laagveengebied. Hierbij is niet alleen onderzoek verricht naar het effect van bekalken, maar ook naar de risico's en succes- en faalfactoren van bekalking als herstelmaatregel.

## 1.3 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van het bekalkingsonderzoek is: *“Wat heeft bekalking opgeleverd voor het behoud van de laagveenvegetatietypen trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland en dotterbloemhooiland?”*

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat zijn de ervaringen van bekalking uit de binnen- en buitenlandse literatuur?
2. Wat zijn de effecten van bekalking op de bodem en vegetatie in het uitgevoerde veldexperiment in vergelijking met (naastliggende) onbekalkte controleplots?
3. In hoeverre beïnvloedt het type kalk en de frequentie van kalktoediening het effect van bekalken?
4. Wat is het effect van bekalken op de overleving van de habitattypen?
5. Is bekalken een bewezen maatregel bij herstel van matig verzuurde laagvenen?
6. Leveren de resultaten aanzetten tot effectieve mitigerende maatregelen voor stikstofdepositie en/of aanpassingen van herstelstrategieën?

## 1.4 Leeswijzer

Het onderzoek bestaat uit een literatuurstudie en een veldonderzoek. In hoofdstuk 2 wordt de methode van beide onderdelen toegelicht. De literatuurstudie, inclusief resultaten van de enquête en de interviews, volgt in hoofdstuk 3. De resultaten van het veldonderzoek worden in hoofdstuk 4 beschreven, waarbij de overall resultaten in dit hoofdstuk worden beschreven en de resultaten per onderzocht gebied worden beschreven in de bijlage. Hoofdstuk 5 bevat de synthese van de literatuurstudie en het veldonderzoek. Daarnaast worden de aanbevelingen voor beheer in dit hoofdstuk besproken. Literatuurverwijzingen zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

## 2. Methoden

Het bekalkingsonderzoek is verdeeld in drie onderdelen: (1) een literatuurstudie, (2) een digitale enquête gevolgd door interviews en (3) een veldonderzoek. Er is gestart met de literatuurstudie, gevolgd door de enquête en interviews. Tot slot is het veldonderzoek uitgevoerd. De opgedane kennis uit eerdere stappen is gebruikt om de navolgende stappen aan te scherpen. Hieronder wordt de methode van elk van de onderdelen nader toegelicht. Tevens wordt de methode van de uitgevoerde data-analyses beschreven.

### 2.1 Literatuurstudie

In de literatuurstudie is alle kennis die beschikbaar is over het bekalken van trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden op een overzichtelijke manier beschreven. Naast algemene achtergrondinformatie over het ecologisch functioneren en de ontwikkeling van de onderzochte vegetatietypen, zijn de potentiële voor- en nadelen van bekalking opgenomen. Ook is voor elk (bij ons bekend) bekalkingsonderzoek specifiek ingegaan op de volgende onderwerpen:

- Opzet en aanleiding van het experiment;
- Het gebied en de locatie van het experiment;
- De gebruikte bekalkingsmethodiek: (a) het type kalk, (b) de bekalkingsduur, (c) de bekalkingsfrequentie, (d) de bekalkingshoeveelheid en (e) de wijze van toediening;
- Het beheer sinds het bekalkingsexperiment;
- De verandering van de vegetatie als gevolg van het bekalken;
- Aanwezige fauna voor en na de bekalking<sup>1</sup>;
- De standplaatscondities van het experiment;
- De benodigde vergunningen voor het experiment;
- De algemene conclusies van het experiment;
- Of bekalken wordt aanbevolen door de onderzoekers.

De discussie en conclusie van de literatuurstudie zijn opgenomen in het hoofdstuk 'synthese', waarin ook de resultaten van de enquêtes en interviews en het veldonderzoek zijn opgenomen.

### 2.2 Enquête en interviews

Hoewel er in het verleden verscheidene proeven met bekalking zijn uitgevoerd, zijn niet alle proeven goed gedocumenteerd. Met behulp van een digitale enquête en interviews is getracht deze kennis (alsnog) op te halen bij de betreffende natuurbeheerders en/of onderzoekers die deze proeven in het verleden hebben uitgevoerd. Daarnaast bleek tijdens de literatuurstudie dat in veel van de rapporten en/of artikelen over de bekalkingsexperimenten niet op alle in paragraaf 2.1 beschreven onderwerpen werd ingegaan. De enquête diende daarom ook om de ontbrekende informatie waar mogelijk op te halen.

De digitale enquête is opgesteld in het programma Microsoft Forms. De enquête was zo opgesteld dat natuurbeheerders en onderzoekers na twee vragen (1 minuut) klaar waren als zij niet op de hoogte waren van bekalkingsexperimenten in het laagveengebied, en 20 minuten bezig waren als ze wel betrokken zijn geweest bij experimenten of praktijkproeven met bekalking in

---

<sup>1</sup> Het effect van bekalken op de fauna is slechts in enkele onderzoeken meegenomen. Er is daarom slechts een beperkt beeld verkregen van het effect van bekalken op de fauna.

laagveengebieden. In de laatste vraag voor alle deelnemers (dus ook voor diegene die in het verleden niet betrokken zijn geweest bij bekalken) is gevraagd om eventuele, aanvullende (ex)-collega's aan te wijzen die ook geïnformeerd zouden moeten worden over de digitale enquête. Op deze wijze hebben we gegarandeerd dat we zo veel mogelijk informatie ontvingen. Ook van onderzoekers of (oud-)beheerders die bij ons nog onbekend waren.

De enquête is verzonden naar 42 onderzoekers en natuurbeheerders die in het verleden (mogelijk) betrokken zijn geweest bij bekalkingsproeven. Van 27 mensen is uiteindelijk een reactie ontvangen.

Vervolgens zijn in een zestal interviews met in totaal 12 onderzoekers en natuurbeheerders de resterende vragen omtrent de uitgevoerde proeven beantwoord en is duidelijk geworden op welke exacte locaties is bekalkt. Op basis van deze informatie is tot de locaties voor het veldonderzoek (paragraaf 2.3) gekomen.

De aanvullende informatie die is verkregen uit de enquête en de interviews is opgenomen in de literatuurstudie.

## 2.3 Veldonderzoek

Het veldonderzoek bestond uit een vegetatieonderzoek en een biogeochemisch onderzoek, zowel op locaties die in het verleden zijn bekalkt als op referentiepercelen. Hieronder worden de gekozen bemonsteringslocaties (paragraaf 2.3.1), het vegetatieonderzoek (paragraaf 2.3.2) en het biogeochemische onderzoek (paragraaf 2.3.3) nader toegelicht.

### 2.3.1 Bemonsteringslocaties

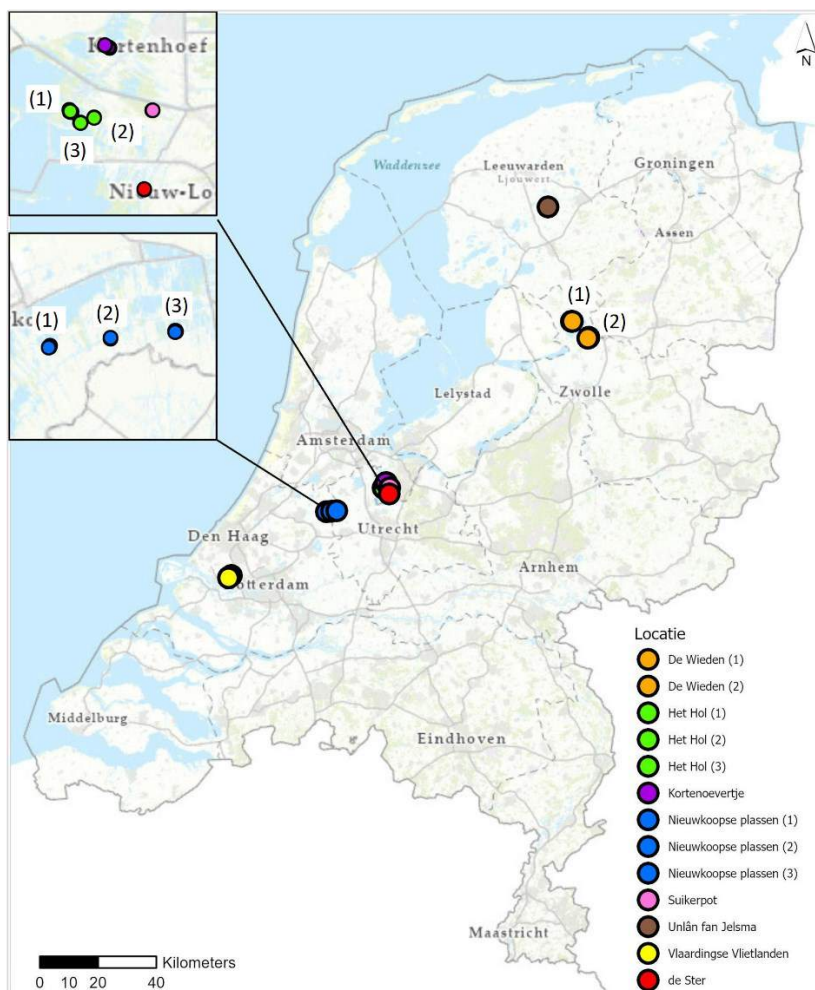
In het voorliggende bekalkingsonderzoek zijn in juni en juli 2021 in totaal 73 plots bemonsterd, verspreid over 13 locaties in Nederland (Figuur 2.1 en zie Tabel 7.3 in paragraaf 7.18 voor de exacte locaties per gebied), te weten:

- De Ster, Vechtplassengebied nabij Loosdrecht;
- De Wieden (1), nabij de werkschuur van Natuurmonumenten bij de Reeënweg;
- De Wieden (2), nabij de Dwarsgracht;
- Het Hol (1), Vechtplassengebied nabij Kortenhoef;
- Het Hol (2), Vechtplassengebied nabij Kortenhoef;
- Het Hol (3), Vechtplassengebied nabij Kortenhoef;
- Kortenovertje, Vechtplassengebied nabij Kortenhoef;
- Nieuwkoopse plassen (1), percelen tweebeem/driebeem;
- Nieuwkoopse plassen (2), perceel experiment van Van Diggelen *et al.* (2015);
- Nieuwkoopse plassen (3), de Haak;
- Suikerpot, Vechtplassengebied nabij Intratuin Hilversum;
- Unlân fan Jelsma, Goengahuizen;
- Vlaardingse Vlietlanden; Schipluiden.

Van de bemonsterde plots zijn er 42 bekalkt, 6 geplagd en bekalkt en dienden er 25 als controle. De meeste plots zijn bemonsterd in veenmosrietland (53 plots), op afstand gevolgd door dotterbloemhooiland (10 plots). In blauwgrasland zijn 8 plots bemonsterd en in trilveen zijn slechts 2 plots bemonsterd, doordat dit de enige (bij het onderzoeksteam bekende) locatie is waar een trilveen is bekalkt. In Tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de verdeling van plots over de verschillende locaties en vegetatietypen. De exacte locaties van de onderzochte plots zijn vastgelegd met een dGPS.

De locaties zijn gekozen op basis van de volgende criteria:

1. Er is zo veel mogelijk aangesloten bij experimentele metingen en karteringen die in het verleden al zijn uitgevoerd. Met andere woorden: er zijn voornamelijk locaties meegenomen waarover (grijze) literatuur beschikbaar is;
2. Bemonstering van trilvenen en blauwgraslanden had prioriteit. Vervolgens kwamen de dotterbloemhooilanden in beeld en ten slotte locaties met veenmosrietland. Echter: gedurende het literatuuronderzoek bleek al dat in het laagveengebied weinig trilvenen en blauwgraslanden in het verleden bekalkt zijn, terwijl veenmosrietland veelvuldig is bekalkt. Ondanks voorkeur voor trilvenen en blauwgraslanden heeft dit geresulteerd in een scheve verdeling ten gunste van veenmosrietland;
3. De mogelijkheid om de locatie terug te vinden in het veld. Verschillende experimenten vonden circa 20 jaar geleden plaats. Niet alleen zijn de locaties toentertijd niet altijd (goed) gedocumenteerd, ook waren verschillende plekken in het veld niet (meer) terug te vinden. Het kunnen terugvinden van een betreffende locatie was een belangrijke voorwaarde om de locatie op de kunnen nemen in dit onderzoek;
4. Er zijn na de bekalking geen andere herstelmaatregelen - zoals bevoeiing - getroffen op de bekalkte locaties. Het moet namelijk zeker zijn dat de effecten die worden gemeten het gevolg zijn van bekalking en niet zijn veroorzaakt door een andere maatregel. Er mogen dus nadien geen andere herstelmaatregelen getroffen zijn;
5. Bij voorkeur was er een referentiesituatie aanwezig, waarin plots konden worden bemonsterd ter vergelijking.



**Figuur 2.1** Ligging van de bemonsterde onderzoeklocaties.

**Figure 2.1** Map of sampled locations.

**Tabel 2.1** *Overzicht van het aantal bemonsterde plots per vegetatietype, locatie en behandeling.*  
**Table 2.1** *Overview of the number of plots that were sampled per type of vegetation, location and treatment.*

<b>Vegetatietype</b>	<b>Locatie</b>	<b>Behandeling</b>	<b>Aantal plots bemonsterd</b>
<b>Veenmosrietland</b>	De Ster	Bekalkt (22 jaar geleden)	2
		Bekalkt + Geplagd (22 jaar geleden)	2
		Controle	2
	De Wieden (1)	Bekalkt (1 à 2 jaar geleden)	1
		Controle	1
	De Wieden (2)	Bekalkt (1 à 2 jaar geleden)	2
		Controle	1
	Het Hol (1)	Bekalkt (< 1 jaar geleden)	6
	Het Hol (2)	Bekalkt (< 1 jaar geleden)	1
		Controle	1
	Het Hol (3)	Bekalkt (22 jaar geleden)	2
		Bekalkt + Geplagd	2
		Controle	2
	Kortenovertje	Bekalkt (1 jaar geleden)	2
	Nieuwkoopse plassen (1)	Bekalkt (3 jaar geleden)	3
		Controle	3
	Nieuwkoopse plassen (2)	Bekalkt (15 jaar geleden)	9
		Controle	3
Suikerpot	Bekalkt (22 jaar geleden)	2	
	Bekalkt + Geplagd	2	
	Controle	4	
<b>Dotterbloemhooiland</b>	De Wieden (1)	Bekalkt (1 à 2 jaar geleden)	2
		Controle	2
	Vlaardingse Vlietlanden	Bekalkt (2-7 jaar geleden)	4
<b>Blauwgrasland</b>	Nieuwkoopse plassen (3)	Bekalkt (3 jaar geleden)	2
		Controle	2
	Unlân fan Jelsma	Bekalkt (12 jaar geleden)	2
	Jelsma	Controle	2
		Controle	2
<b>Trilveen</b>	Kortenovertje	Bekalkt (15 jaar geleden)	2

### 2.3.2 Vegetatieonderzoek

Om inzicht te krijgen in de effecten van bekalken op de vegetatie, zijn in het veld onderzoeksplots van 2 x 2 meter uitgezet op de in paragraaf 2.3.1 beschreven 73 locaties. Indien er in het verleden een geheel perceel is bekalkt, dan is de onderzoeksplots zodanig gekozen dat deze representatief is voor het gehele perceel. Is in het verleden een onderzoeksplot bekalkt, dan is de plot uitgezet op exact dezelfde locatie. Binnen deze onderzoeksplots is de vegetatie opgenomen, waarbij de totale bedekking van de mos- en kruidlaag (%) zijn opgenomen, evenals de bedekking van alle afzonderlijke mos- en vaatplantensoorten (Braun-Blanquet 1964). Soms werd een bepaalde bedekking op de schaal van Braun-Blanquet in de plot echter niet gehaald. In dat geval is het percentage er in het veld bij geschreven. Een voorbeeld is wanneer de bedekking net over de 50% ging. In dat geval is opgeschreven '4 - 50%'

### 2.3.3 Biogeochemisch onderzoek

Om inzicht te krijgen in de effecten van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie en de bodem zijn in alle uitgezette plots metingen verricht aan de chemische samenstelling van de bovengrondse biomassa, de bodem, het bodemvocht en het bodemprofiel (Tabel 2.2).

**Tabel 2.2** *Overzicht van laboratoriumanalyses die uitgevoerd zijn voor de chemische samenstelling van de bovengrondse plantbiomassa, de bodem en het bodemvocht.*

**Table 2.2** *Overview of the chemical lab analyses that were executed on the aboveground biomass, soil and pore water.*

<b>Gemeten parameters</b>	
<i>Bovengrondse biomassa</i>	Gedroogde bovengrondse biomassa en de N, P en C-concentratie in de gedroogde biomassa (CN-analyser (N & C) en destructie (P))
<i>Vers bodemmateriaal</i>	Drooggewicht, vochtgehalte, bulkdichtheid (nat en droog) en het organisch stofgehalte, bepaling CEC en basenbezetting (meting in N <sub>2</sub> -doorborreld SrCl <sub>2</sub> - en H <sub>2</sub> O-extract; Ca, Mg, K, Na, Al, Fe en MN (op ICP-OES), NH <sub>4</sub> (op AA) en H (pH-meter))
<i>Bodemvocht</i>	Na, K, P, Ca, Mg, S, Fe, Al en Mn (op ICP-OES), NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> en Ortho-P (op AA), IC (TICTOC), pH en EGV
<i>EGV-diepteprofiel</i>	EGV gemeten op verschillende diepte m.b.v. prikstokmetingen

### **Bovengrondse biomassa**

Om een indruk te krijgen van de productiviteit van de vegetatie, is op alle locaties de bovengrondse biomassa verzameld binnen een vast oppervlak van 25 x 25 (plots 1 t/m 31) of 50 x 50 centimeter (plots 32 t/m 73). De biomassa is 72 uur gedroogd bij 70°C, waarna de droge bovengrondse biomassa gewogen is en omgerekend is naar gram drooggewicht per vierkante meter (gDW m<sup>-2</sup>).

Daarnaast is de N/P-ratio van de bovengrondse biomassa bepaald, die gebruikt kan worden als maat voor de P-beschikbaarheid in de bodem (Olde Venterink *et al.* 2003). Bekalking kan in potentie namelijk effect hebben op de P-huishouding en P-beschikbaarheid. Droge bovengrondse biomassa is gemalen, waarna een microwave destructie in K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> volgde. In het destruaat is de P-concentratie op de ICP-OES (CAP 6500 ICP-OES Duo, Thermo Scientific) gemeten. De N- en C-concentratie in de droge, gemalen biomassa is gemeten op een CN-analyser (Flash1112 analyser).

### **Vers bodemmateriaal**

In het veld zijn binnen de plots en nadat de vegetatie was opgenomen, verse bodemmonsters genomen van de bovenste 10 cm van de veenbodem (de levende moslaag is eerst verwijderd). Deze monsters zijn in plastic zakken zo anaeroob mogelijk vervoerd naar het laboratorium. Er zijn tevens verse bodemmonsters in een vaste ring van 260 ml genomen.

In het laboratorium zijn vervolgens de volgende analyses uitgevoerd:

- *het drooggewicht, het vochtgehalte en de bulkdichtheid zijn bepaald.* Door vóór en na 48 uren drogen bij 70°C het gewicht te meten zijn drooggewicht, vochtgehalte en bulkdichtheid bepaald, waarbij de bulkdichtheid is bepaald door het bemonsterde volume uit de vaste ring van 260 ml te drogen bij 70°C. Deze gegevens zijn noodzakelijk om de CEC om te rekenen van 'mol/l' naar 'meq/100 g droge bodem';
- *het organisch stofgehalte is bepaald.* Door vóór en na 4 uur verwarmen bij 550°C het gewicht van de bodem te bepalen, kan de hoeveelheid organische stof worden berekend: het gloeiverlies is een maat voor de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem;
- *de CEC (Cation Exchange Capacity; kationuitwisselingscapaciteit) en basenbezetting zijn bepaald.* De CEC is een maat voor het aantal absorptiecomplexen in de bodem. Het zijn deze absorptiecomplexen waaraan kationen gebonden kunnen worden in de bodem. De basenbezetting

is de hoeveelheid basen (Ca, Mg en K<sup>2</sup>) dat aan het absorptiecomplex zit, en is dus het percentage van de CEC dat bezet is met basen. Voor zowel de CEC als de basenbezetting zijn er twee extracties per meetlocatie uitgevoerd. Eén extractie met N<sub>2</sub>-doorborreld SrCl<sub>2</sub> en één extractie met N<sub>2</sub>-doorborreld demiwater. Na een extractie van 1 uur zijn Ca, Mg, K, Al, Fe en Mg gemeten op de ICP-OES (CAP 6500 ICP-OES Duo, Thermo Scientific), NH<sub>4</sub> op de AA (QuAAtro Autoanalyser, Seal Analytical) en H via een pH-meting. De analysesresultaten zijn gebruikt om de CEC en basenbezetting te berekenen (zie berekening hieronder), waarbij in de berekening elke keer uitgegaan is van het verschil van een elementconcentratie tussen het SrCl<sub>2</sub>- en waterextract. Dat is de elementconcentratie die daadwerkelijk aan het CEC vastzit. Deze gegevens zijn een belangrijke maat voor de eventuele basenaanrijking in de topbodem door bekalking.

De CEC (meg/100g) is hierbij als volgt berekend:

$$CEC = ((3 * Al) + (2 * Ca) + K + (2 * Mg) + (2 * Fe) + (2 * Mn) + NH_4 + H) * 0.1$$

De basenbezetting (%) is als volgt berekend:

$$BV1 = 100 * \frac{(2 * Ca) + K + (2 * Mg)}{(3 * Al) + (2 * Ca) + K + (2 * Mg) + (2 * Fe) + (2 * Mn) + (2 * Zn) + NH_4 + H}$$

### Bodemvochtanalyses

In het veld is met behulp van spuiten (50 ml) en rhizons (Rhizons SMS 10 cm, Eijkelkamp Agriresearch Equipment, Giesbeek) in elke onderzochte plot een bodemvochtmonster verzameld op anaerobe wijze. De rhizons en spuiten zijn voorgespoeld met demiwater. Tevens is de eerste (vrijwel) volle spuit met bodemvocht weggespoeld, waarna het definitieve bodemvochtmonster genomen is. Om inzicht te krijgen in de basen-, nutriënten- en koolstofhuishouding van de bekalkte en onbekalkte onderzoeksplots en percelen zijn de volgende chemische elementen gemeten in de bodemvochtmonsters:

- Na, K, totaal P, Ca, Mg, S, Fe, Al & Mn: na aanzuring van subsamples met 1% geconcentreerd HNO<sub>3</sub> (en opslag in het donker bij 6°C) zijn deze elementen gemeten op de ICP-OES (CAP 6500 ICP-OES Duo, Thermo Scientific);
- NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, & o-PO<sub>4</sub>: deze elementen zijn (na opslag in het donker bij 6°C) in niet aangezuurde subsamples gemeten op de segmented flow analyser (QuAAtro Autoanalyser, Seal Analytical);
- pH & EGV: De pH is gemeten met een pH-meter en de EGV met een EGV-meter;
- IC (CO<sub>2</sub> en HCO<sub>3</sub> als anorganisch koolstof): dit is via een 'TICTOC-meting' bepaald op een TOC analyser (ThermoScientific). Het geëxtraheerde bodemvocht is gemeten op totaal koolstof (TC) en anorganisch koolstof (IC) waaruit de totale organische koolstof (TOC) kan worden berekend. Op basis van de IC-waarde en de pH zijn de CO<sub>2</sub>- en HCO<sub>3</sub>-concentraties berekend, waarbij de pH de verdeling van IC over beide fracties bepaalt (zure condities: relatief veel CO<sub>2</sub> en basische condities: relatief veel HCO<sub>3</sub>).

### EGV-diepteprofielen

Ten slotte is in elke onderzoeksplot een prikstokmeting uitgevoerd om een beeld te krijgen van het EGV-diepteprofiel. Het EGV (elektrisch geleidend vermogen) is boven in het bodemprofiel om de 10 cm gemeten en vanaf 60 cm om de 20 cm (tot 120 cm diepte). Op deze wijze is snel inzicht verkregen in het mogelijke effect van bekalken op de basenhuishouding in het bodemprofiel.

---

<sup>2</sup> Er is in de wetenschap wat discussie of natrium (Na) ook meegenomen moet worden. Wij hebben de basenbezetting zonder Na berekend.

## 2.4 Data-analyse en interpretatie

### Vegetatiegegevens

De verzamelde vegetatiegegevens zijn op verschillende manieren gebruikt om de kwaliteit van de bekalke en onbekalke onderzoeksplots te bepalen en te vergelijken:

- Op basis van de in het veld aangetroffen vegetatiesamenstelling en kennis van de locaties uit (grijze) literatuur is bepaald tot welk van de vier vegetatietypen (trilveen, veenmosrietland, blauwgrasland, dotterbloemhooiland) de onderzoeksplots behoren, zodat de statistische toetsen ook per vegetatietype konden worden uitgevoerd;
- De waargenomen soorten zijn gegroepeerd in soortgroepen die kenmerkend zijn voor bepaalde condities. Deze zijn vervolgens gebruikt om verschillen in de vegetatie te toetsen. Er zijn zowel groepen voor de moslaag als voor de kruidlaag gemaakt. De groepen die zijn onderscheiden voor de moslaag zijn:
  1. mossen kenmerkend voor trilvenen, te weten: veenknikmos (*Bryum pseudotriquetum*), reuzepuntmos (*Calliergon giganteum*), groot vedermos (*Fissidens adianthoides*), groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*), rood schorpioenmos (*Scorpidium scorpioides*), trilveenveenmos (*Sphagnum contortum*), sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) en geel schorpioenmos (*Hamatocaulis vernicosus*)<sup>3</sup>.
  2. mossen kenmerkend voor veenmosrietlanden, te weten: roodviltmos (*Aulacomnium palustre*), moerasbuidelmos (*Calypogeia fissa*), stijf veenmos (*Sphagnum capillifolium*), fraai veenmos (*Sphagnum fallax*), hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*)<sup>4</sup>, gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*), haakveenmos (*Sphagnum squarrosum*) en sliertmos (*Straminergon stramineum*).
  3. mossen kenmerkend voor voedselrijke rietlanden, te weten: hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*) en gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*).
  4. haarmossen: alle haarmossen (*Polytrichum* spp.) gezamenlijk

De groepen die zijn onderscheiden voor de kruidlaag zijn:

1. vaatplanten kenmerkend voor trilvenen, te weten: stijf struisgras (*Calamagrostis stricta*), ronde zegge (*Carex diandra*), stijve zegge (*Carex elata*), draadzegge (*Carex lasiocarpa*), groenknolorchis (*Liparis loeselii*), waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) en moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*).
2. vaatplanten kenmerkend voor veenmosrietlanden, te weten: moerasstruisgras (*Agrostis canina*), gewoon reukgras (*Anthoxantum odoratum*), zompzegge (*Carex curta*), sterzegge (*Carex echinata*), zwarte zegge (*Carex nigra*), ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia*), kamvaren (*Dryopteris cristata*), gewone dophei (*Erica tetralix*), veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), biezenknoppen (*Juncus conglomeratus*), veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora*), pijpenstrootje (*Molinea caerulea*), wilde gagel (*Myrica gale*), tormentil (*Potentilla erecta*) en moerasviooltje (*Viola palustris*).
3. vaatplanten kenmerkend voor voedselrijke rietlanden, te weten: scherpe zegge (*Carex acuta*), moeraszegge (*Carex acutiformis*), pluimzegge (*Carex paniculata*), koninginnekruid (*Eupatorium cannabinum*), gele lis (*Iris pseudacorus*), wolfspoot (*Lycopus europaeus*), grote kattenstaart (*Lythrum salicaria*), zompvergeet-mij-nietje (*Myosotis laxa* s.l.), moerasvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides* s.l.), riet (*Phragmites australis*) en kleine lisdodde (*Typha angustifolia*).

---

<sup>3</sup> De laatste vijf soorten (groen schorpioenmos, rood schorpioenmos, geel schorpioenmos, sterrengoudmos en trilveenveenmos) zijn op de onderzochte locaties niet waargenomen.

<sup>4</sup> Stijf veenmos en hoogveenveenmos zijn eigenlijk geen veenmosrietlandsoorten (o.a. Van Diggelen *et al.* 2018) en komen in dominante vorm eigenlijk alleen onder wat zuurdere condities voor in hoogveenachtige vegetaties en veenheiden. In de huidige dataset komen de soorten echter niet in dominante vorm voor en is de bedekking daarom opgeteld bij de veenmosrietlandsoorten.

- de biodiversiteit van de onderzochte plots is vergeleken in termen van soortenrijkdom, de Shannon-diversiteitsindex (Shannon 1948) en de Simpson-diversiteitsindex (Simpson 1949).

### **Shannon en Simpson diversiteitsindices**

De Shannon en Simpson diversiteitsindices zijn twee veel gebruikte indices voor het kwantificeren van de biodiversiteit.

- **Shannon index:** Kort gezegd is de Shannon diversiteit de kans dat je de naam van een willekeurig uit de populatie geselecteerd individu goed raadt. De Shannon index is namelijk een index die de diversiteit aan soorten beschrijft aan de hand van het *aantal* soorten en de *verdeling* van soorten in een gemeenschap. Naar mate het aantal soorten toeneemt en de soorten meer gelijkmatig verdeeld zijn in de gemeenschap, neemt de diversiteit toe. De formule van de Shannon index is gelijk aan:  $H = - \sum (p_i \ln p_i)$ . Hierbij is  $p_i$  het relatieve voorkomen van de betreffende soort in de populatie. De som van ' $p_i \ln p_i$ ' van alle soorten, vermenigvuldigd met  $-1$ , is de diversiteit. Hoe hoger  $H$ , hoe groter de diversiteit. De ondergrens voor de diversiteit is 0, een bovengrens is er niet. Waarden hoger dan 4 worden echter zelden waargenomen.

- **Simpson index:** De Simpson index beschrijft de kans dat twee individuen die willekeurig uit een populatie worden geselecteerd, tot verschillende soorten behoren. Hiermee is de Simpson index een maat voor de dominantie van één of enkele soorten binnen een populatie: hoe dominantier een soort is, hoe kleiner de kans dat de twee geselecteerde individuen tot een verschillende soort behoren. De formule van de Simpson index is gelijk aan:  $D = 1 - \sum p_i^2$ . Hierbij is  $p_i$  het relatieve voorkomen van de betreffende soort in de populatie. De waarde van de Simpson index varieert tussen 0 en 1, waarbij lage waarden betekenen dat er sprake is van dominantie van één of enkele soorten, en hoge waarden indiceren dat er een gelijke verdeling van soorten is in de populatie.

Om de verschillende analyses te kunnen uitvoeren, is de Braun-Blanquet schaal omgerekend naar numerieke waarden in termen van bedekkingen. Hierbij is in principe de volgende omrekening aangehouden: r = 0,1%; + = 0,5%; 1 = 1%; 2m = 2,5%, 2a = 10%; 2b = 20%; 3 = 35%; 4 = 60%; 5 = 85%. Soms werd een bepaalde bedekking (op de schaal van Braun-Blanquet) in het veld echter niet gehaald. In dat geval is het percentage er in het veld bij geschreven en is dat percentage aangehouden in de statistische analyses.

### *Statistische toetsing*

De volgende statistische analyses zijn uitgevoerd op de vegetatiedata, waarbij de totale bedekking van de mos- en kruidlaag, de biomassa-productie, de samenstelling van de mos-en kruidlaag en de biodiversiteit is geanalyseerd:

- ANOVA's voor de gehele dataset, waarbij onderscheid is gemaakt in: "Controle", "0 - 5 jaar geleden bekalkt", "6 - 20 jaar geleden bekalkt" en "> 20 jaar geleden bekalkt". Dit onderscheid is gemaakt omdat uit de literatuurstudie bleek dat effecten van bekalking vermoedelijk na enkele jaren niet meer zichtbaar zijn (in de vegetatie);
- ANOVA's per vegetatietype, te weten dotterbloemhooiland en veenmosrietland. Ook in deze analyse is onderscheid gemaakt in: "Controle", "0 - 5 jaar geleden bekalkt", "6 - 20 jaar geleden bekalkt" en "> 20 jaar geleden bekalkt". Voor blauwgraslanden en trilvenen zijn geen statistische analyses uitgevoerd, omdat er te weinig locaties meegenomen konden worden om statistisch te rekenen aan de effectiviteit van bekalken bij deze vegetatietypen;

Bij de ANOVA's is ervan uitgegaan dat er significante verschillen tussen groepen bestaan bij  $P < 0,05$ . Indien in de ANOVA's significante verschillen tussen groepen bestonden, is een Tukey HSD post-hoc test uitgevoerd om te bepalen welke groepen significant van elkaar verschillen. Alle statistische analyses zijn uitgevoerd in R versie 4.1.1.

Voor een groot deel van de onderzochte parameters bleek overigens dat de 'residuals' niet normaal verdeeld waren, wat een randvoorwaarde is voor het gedegen uitvoeren van de ANOVA's. Met behulp van data-transformaties (Tukey's Ladder of Powers transformatie; Tukey 1977) is getracht de data normaal verdeeld te krijgen. In Tabel 2.3 is weergegeven welke parameters normaal verdeeld zijn (al dan niet na transformatie, waarbij de P-waarde van de Shapiro-Wilk test groter dan 0,05 moet zijn na transformatie (Shapiro & Wilk 1965)). De parameters 'mosbedekking totaal', 'trilveenmossen', 'veenmosrietlandmossen', 'haarmos', 'mossen van voedselrijke rietlanden', 'vaatplanten trilveen' en 'soortenrijkdom' konden niet getransformeerd worden naar een normale verdeling. De resultaten van deze parameters zijn daarom in de ANOVA's aanvullend getest op de strengere P-waarde van het 99%-betrouwbaarheidsinterval,  $P = 0,01$  (als aanvulling op een P-waarde van 0,05).

In de statistische analyses is niet gecorrigeerd voor mogelijke effecten van ruimtelijke clustering in de dataset. Alle metingen zijn behandeld als onafhankelijke meetwaarden, waarbij ervan uit is gegaan dat de verschillen tussen meetlocaties binnen bijvoorbeeld de Nieuwkoopse plassen of de Wieden even groot kunnen zijn als tussen beide gebieden. Oftewel, er is vanuit gegaan dat de locatie waar gemeten is geen effect heeft op de hoogte van een specifieke variabele.

**Tabel 2.3** P-waardes (Shapiro-Wilk test) en data-transformaties uitgevoerd met de R-functie 'Tukey transformation' voor de parameters in het bekalkingsonderzoek waarvan de data voor de transformatie niet normaal verdeeld was en daarna wel ( $P > 0,05$ ). Deze transformatiefactor geeft voor de betreffende parameter de beste transformatie.

**Table 2.3** P-values and required data transformations. Data transformations were performed using the R-function 'Tukey transformation', which seeks for the optimal transformation factor.

<b>Parameter</b>	<b>Transformatie factor</b>	<b>P-waarde Shapiro-Wilk test (na transformatie)</b>
Totaal kruidlaag	niet nodig	0,08
Vaatplanten veenmosrietland	$\chi^{0,45}$	0,25
Vaatplanten voedselrijke rietlanden	$\chi^{0,275}$	0,07
Shannon diversiteitsindex	niet nodig	0,09
Simpson diversiteitsindex	niet nodig	0,07

### Biogeochemische gegevens

De verzamelde biogeochemische gegevens zijn statistisch geanalyseerd om inzicht te krijgen in eventuele verschillen in biogeochemische condities als gevolg van bekalken. Voor de biogeochemische gegevens zijn precies dezelfde statistische toetsen (ANOVA's) uitgevoerd als bij de vegetatiegegevens. Ook voor de biogeochemische data bleek overigens dat de 'residuals' voor een groot deel van de onderzochte parameters niet normaal verdeeld waren, wat een randvoorwaarde is voor het gedegen uitvoeren van de ANOVA's. Ook in dit geval is getracht om de data met behulp van data-transformaties (Tukey's Ladder of Powers transformatie; Tukey 1977) normaal verdeeld te krijgen. In Tabel 2.4 is weergegeven welke parameters normaal verdeeld zijn (al dan niet na transformatie, waarbij de P-waarde van de Shapiro-Wilk test groter dan 0,05 moet zijn na transformatie (Shapiro & Wilk 1965)). Een aantal parameters (organisch stofgehalte, EGV, pH poriewater, basenbezetting,  $\text{HCO}_3$ , P,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  en DOP) kon niet getransformeerd worden naar een normale verdeling. De resultaten van deze parameters zijn daarom in de ANOVA's aanvullend getest op de strengere P-waarde van het 99%-betrouwbaarheidsinterval,  $P = 0,01$  (als aanvulling op een P-waarde van 0,05).

**Tabel 2.4** P-waardes (Shapiro-Wilk test) en data-transformaties uitgevoerd met de R-functie 'Tukey transformation' voor de parameters in het bekalkingsonderzoek waarvan de data voor de transformatie niet normaal verdeeld was en daarna wel ( $P > 0,05$ ). Deze transformatiefactor geeft voor de betreffende parameter de beste transformatie.

**Table 2.4** P-values and required data transformations. Data transformations were performed using the R-function 'Tukey transformation', which seeks for the optimal transformation factor.

<b>Parameter</b>	<b>Transformatie factor</b>	<b>P-waarde Shapiro-Wilk test (na transformatie)</b>
Biomassaproductie	$-1 * x^{-0,125}$	0,65
Natte bulkdichtheid	niet nodig	0,21
Droge bulkdichtheid	$-1 * x^{-0,725}$	0,15
CEC	$x^{0,525}$	0,61
N in bladmateriaal	$-1 * x^{-0,1}$	0,33
P in bladmateriaal	$-1 * x^{-0,025}$	0,95
N:P ratio	$x^{0,275}$	0,20
Anorganisch koolstof (IC)	$x^{0,075}$	0,11
Ca	$x^{0,2}$	0,06
K	$-1 * x^{-0,025}$	0,09
Mg	$x^{0,225}$	0,12
S	$-1 * x^{-0,625}$	0,48
S/(Mg+Ca)	$x^{0,025}$	0,49
NH <sub>4</sub> :NO <sub>3</sub>	$-1 * x^{-0,3}$	0,92

### Referentiewaarden trilveen en veenmosrietland in relatie tot bekalkingsonderzoek

Om de resultaten voor veenmosrietlanden en trilvenen uit dit onderzoek in breder perspectief te kunnen plaatsen, zijn de gegevens vergeleken met een dataset waarin verschillende trilvenen en veenmosrietlanden zijn geïnventariseerd (Van Diggelen *et al.* 2018). Voor alle parameters (vegetatie en biogeochemisch) waarvoor in de referentiedataset van Diggelen *et al.* (2018) gegevens beschikbaar waren, zijn vergelijkingen uitgevoerd.

Voor het vegetatietype veenmosrietland zijn de groepen "0 - 5 jaar geleden bekalkt", "6 - 20 jaar geleden bekalkt", "> 20 jaar geleden bekalkt" en "Controle" vergeleken met de referentiedataset van Van Diggelen *et al.* (2018) middels ANOVA's. Voor het vegetatietype trilveen zijn de twee bekalkte plots vergeleken met de referentiedataset aan de hand van t-toetsen.

Data met niet-normaal verdeelde 'residuals' is waar mogelijk weer getransformeerd (Tukey's Ladder of Powers transformatie; Tukey 1977) ten behoeve van het verkrijgen van een normale verdeling. In Tabel 2.5 zijn de parameters opgenomen die getransformeerd zijn tot een normale verdeling. De totale bedekking van de moslaag, trilveenmossen, veenmosrietlandmossen, haarmos, mossen van voedselrijke rietlanden, totale vaatplantbedekking, vaatplanten van trilveen, soortenrijkdom, droge bulkdichtheid, het organisch stofgehalte, de CP-ratio, basenbezetting, DOP, pH, P, NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> waren ook na transformatie niet normaal verdeeld. De resultaten van deze parameters zijn daarom in de ANOVA's aanvullend getest op de strengere P-waarde van het 99%-betrouwbaarheidsinterval,  $P = 0,01$  (als aanvulling op een P-waarde van 0,05).

**Tabel 2.5** P-waardes (Shapiro-Wilk test) en data-transformaties uitgevoerd met de R-functie 'Tukey transformation' voor de parameters in de bij elkaar gevoegde 'referentiedataset' van Van Diggelen et al. (2018) en de dataset die in het voorliggende bekalkingsonderzoek is samengesteld, waarvan de data voor de transformatie niet normaal verdeeld was en daarna wel ( $P > 0,05$ ). Deze transformatiefactor geeft voor de betreffende parameter de beste transformatie.

**Table 2.5** P-values and required data transformations of the 'reference dataset' of Van Diggelen et al. (2018) and the liming dataset combined. Data transformations were performed using the R-function 'Tukey transformation', which seeks for the optimal transformation factor.

<b>Parameter</b>	<b>Transformatie factor</b>	<b>P-waarde Shapiro-Wilk test (na transformatie)</b>
Vaatplanten veenmosrietland	$x^{0,425}$	0,33
Vaatplanten voedselrijke rietlanden	$x^{0,3}$	0,05
Shannon index	$x^{1,25}$	0,09
Simpson index	$x^{1,35}$	0,10
Biomassaproductie	$x^{0,05}$	0,17
Natte bulkdichtheid	$x^{2,45}$	0,88
N:P ratio	$x^{0,075}$	0,08
CEC	$x^{0,275}$	0,69
Anorganisch koolstof (IC)	$x^{0,225}$	0,24
S/(Mg+Ca)	$x^{0,05}$	0,09
Ca	$x^{0,2}$	0,06
Mg	$x^{0,175}$	0,13
S	$-1 * x^{-0,5}$	0,34
K	$x^{0,025}$	0,14



### 3. Literatuurstudie

#### 3.1 Ecologisch functioneren en de ontwikkeling van trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden in Nederlandse laagveengebieden

Trilvenen (H7140A), blauwgraslanden (H6410) en veenmosrietlanden (H7140B) komen voor onder natte en relatief nutriëntarme condities, waarbij trilvenen en blauwgraslanden gekenmerkt worden door basenhoudende tot basenrijke condities met een pH van 5,5-7,5 terwijl veenmosrietlanden basenarmer zijn en meestal een pH tussen 4,5 en 5,5 hebben (o.a. Van Wirdum 1991; Kooijman 1993; Jansen 2000; Wheeler & Proctor 2000; Runhaar *et al.* 2009; Van Diggelen *et al.* 2018). Deze habitattypen behoren tot de soortenrijkste habitattypen in de Nederlandse laagveengebieden, en ze bevatten veel bedreigde en beschermde flora- en faunasoorten (o.a. Bijlsma *et al.* 2009). Om de biodiversiteit in laagvenen te behouden is het dan ook essentieel om deze habitattypen te behouden en uit te breiden.

Door (vooral) verdroging, vermessing en verzuring staan trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden onder druk in de Nederlandse laagveengebieden (o.a. Jansen 2000; Wheeler & Proctor 2000; Kooijman & Paulissen 2006; Kooijman 2012; Van Diggelen *et al.* 2018). Daarnaast komt in deze gebieden de vorming van nieuwe trilvenen en blauwgraslanden de laatste decennia moeizaam tot niet op gang (o.a. Cusell *et al.* 2013; Weijs & Van Tooren 2014; Loeb *et al.* 2016; Kooijman *et al.* 2018), terwijl voortschrijdende successie er wel toe zal leiden dat aanzienlijke delen van de huidige trilvenen en blauwgraslanden in de komende decennia zullen veranderen in zuurdere habitattypen als veenmosrietlanden en moerasheide (Bijlsma *et al.* 2014; Paulissen *et al.* 2014).

Hoewel verzuring van trilvenen en blauwgraslanden van nature optreedt was de verzuringssnelheid in het verleden zo laag dat de laagveenlandschappen eeuwenlang konden bestaan zonder dat noemenswaardige verzuring optrad (o.a. Gorham *et al.* 1987; Paulissen *et al.* 2014). De huidige snelheid waarmee deze laagveenhabitats in Nederland verzuren ligt echter veel hoger dan in het verleden. In veel laagveengebieden in Nederland wordt de verzuring versneld door verdroging, atmosferische stikstofdepositie en/of onvoldoende aanvoer van nutriëntarm basenrijk grond- of oppervlaktewater (Grootjans *et al.* 1986; Gorham *et al.* 1987; Beltman & Barendregt 2007; Kooijman 2012; Van der Hoek 2015; Van Diggelen *et al.* 2018). Deze processen leiden tot extra verzuring en hebben daarmee een negatief effect op de instandhouding en ontwikkeling van de trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden. Hierdoor gaan deze kenmerkende laagveenhabitats in Nederland verder achteruit, zowel in omvang als in kwaliteit.

Door verzuring verandert de soortsamenvatting, waarbij kenmerkende soorten van basenrijkere condities verdwijnen en de biodiversiteit als geheel afneemt (o.a. Gorham *et al.* 1987; Kooijman 1993; Paulissen *et al.* 2014). In trilvenen en blauwgraslanden worden bruinmossen (waaronder schorpioenmossen, *Scorpidium spp.*) vervangen door veenmossen (*Sphagnum spp.*). In veenmosrietlanden neemt de dominantie van haarmos (*Polytrichum spp.*) en 'zure' veenmossen als gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) en fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) toe ten faveure van basenminnende veenmossen als trilveenveenmos (*Sphagnum contortum*), glanzend veenmos (*Sphagnum subnitens*) en sparrig veenmos (*Sphagnum teres*) (o.a. Van Wirdum 1991; Kooijman 1993). Ook kenmerkende vaatplanten als parnassia (trilveen), groenknolorchis (trilveen), ronde zegge (blauwgrasland, trilveen), Spaanse ruiter (blauwgrasland) en blauwe knoop (blauwgrasland, veenmosrietland) nemen als gevolg van verzuring af (o.a. Van Wirdum 1991; Lucassen *et al.* 2003; Vergeer *et al.* 2003; Veeken & Wassen 2020).

### 3.1.1 Het belang van calcium en bicarbonaat in combinatie met inundaties

Uit onderzoek (o.a. Vicherova *et al.* 2015, 2020; Koks *et al.* 2019; Aggenbach *et al.* 2020) is gebleken dat calcium en bicarbonaat belangrijke indicatoren zijn voor de groei en overleving van trilveenvegetatie en het verdwijnen van veenmossen, vooral als de vegetatie volledig geïnundeerd raakt met water. Door basenaanrijking, via aanvoer van calcium en bicarbonaat worden gunstigere omstandigheden voor schorpioenmossen gecreëerd. Veenmossen hebben hier juist last van als gevolg van (a) calciumtoxiciteit bij hoge pH (Vicherova *et al.* 2015, 2020) en/of (b) inundatie met bicarbonaatrijk water (Koks *et al.* 2019; Kanters *et al.* in press). De afname van veenmossen als gevolg van aanvoer en inundaties met calcium- en bicarbonaatrijk water blijkt ook uit een bevoeiingsexperiment in de Rottige Meente (Kanters *et al.* 2021). Hier nam de veenmosbedekking tussen december 2019 en mei 2020 af met gemiddeld 16 % als gevolg van bevoeiing met baserijk oppervlaktewater. Door de veenmosafname wordt ruimte gecreëerd voor de uitbreiding of vestiging van kenmerkende trilveensoorten als schorpioenmossen.

#### Calciumhuishouding en soortsamenstelling

Calcium speelt een belangrijke rol in de homeostase van zowel mossen als vaatplanten. Cellen reageren op stimuli door specifieke veranderingen in de calciumconcentratie in het cytoplasma. Wanneer de calciumhuishouding niet op orde is, treedt uiteindelijk celdood op. Een tekort aan calcium heeft namelijk gevolgen voor de vorming van celwanden en het metabolisme van de cel, terwijl calcium bij hoge concentraties toxisch kan zijn (Vicherova 2020).

Calcium speelt een belangrijke rol bij de stijfheid van de celwand. Zonder calcium zijn celwanden niet stevig genoeg, maar bij hoge calciumconcentraties kunnen de celwanden dermate stijf worden dat het de groei belemmert (Vicherova 2020). Voornamelijk bij een hoge pH kunnen hoge calciumconcentraties (in soorten die hier niet op gespecialiseerd zijn, zoals veenmossen) cellen doen sterven. Dit wordt veroorzaakt doordat expansines, eiwitten die de cel flexibel houden, voornamelijk actief zijn bij lage pH (McQueen-Mason & Cosgrove 1994). Soorten die juist zijn gespecialiseerd op de overleving bij hoge calciumconcentraties, zoals schorpioenmossen worden begunstigd in de competitie wanneer calciumconcentraties hoog zijn.

## 3.2 Mogelijke maatregelen ter mitigatie van verzuring in trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden met specifieke aandacht voor bekalken

Brongerichte maatregelen die zich richten op de oorzaken van verzuring, waaronder de aanpak van atmosferische stikstofdepositie, zijn vooralsnog onvoldoende voor het herstel van trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden. De huidige atmosferische depositie ligt in de meeste laagveengebieden nog steeds (ver) boven de kritische stikstofdepositie van deze habitattypen (o.a. CBS *et al.* 2019). Er zijn de afgelopen decennia in Nederland echter wel effectgerichte maatregelen uitgevoerd om verzuring van blauwgraslanden en trilvenen te vertragen of zelfs basenaanrijking te krijgen, met meer en minder succes. Effectgerichte maatregelen zijn maatregelen die de negatieve effecten van verzuring wegnemen of reduceren zonder dat de bronnen van verzuring worden aangepakt. Frequent uitgevoerde effectgerichte maatregelen zijn oppervlakkig plaggen (o.a. Barendregt *et al.* 2004; Grootjans *et al.* 2007; Beije *et al.* 2012; Emsens *et al.* 2015; Van der Hoek 2015; Van Diggelen *et al.* 2018), begreppelen (Barendregt *et al.* 2004; Beltman & Barendregt 2007; Cusell *et al.* 2013; De Haan 2013; Stofberg *et al.* 2019), bevoeien met baserijk water (Van Duren *et al.* 1998; Grootjans *et al.* 2001; Aggenbach *et al.* 2020; Nijp *et al.* 2020) en de invoering van een flexibeler waterpeil op plekken met baserijk oppervlaktewater (Cusell *et al.* 2013; Mettrop *et al.* 2014; Kanters *et al.* in press).

Deze maatregelen bleken in veel gevallen echter tot verschillende uitkomsten te leiden (Van Duren *et al.* 1998; Beltman & Barendregt 2007; Emsens *et al.* 2015) en/of waren niet succesvol (Barendregt *et al.* 2004; Beltman & Barendregt 2007). Om deze reden wordt gezocht naar alternatieve maatregelen waarmee verzuring (lokaal) kan worden aangepakt. Veel beheerders en onderzoekers vermoeden al lange tijd dat bekalken een serieus alternatief kan zijn dat lokaal, en tegen geringe kosten, uitgevoerd zou kunnen worden in verzurende en verzuurde trilvenen en blauwgraslanden. Alhoewel in verschillende publicaties wordt aangegeven dat bekalking geen effect had op de bestudeerde trilvenen of blauwgraslanden (van Duren *et al.* 1998; Beltman *et al.* 2001; Aggenbach *et al.* 2009; Jager & Hilboezen 2019) of zelfs tot een verslechtering van de condities leidde (Barendregt *et al.* 2004), zijn er ook studies die positieve effecten van bekalken laten zien (Bootsma *et al.* 1997; Barendregt *et al.* 2004; Van Diggelen *et al.* 2015). Bekalken in combinatie met plaggen kan op korte termijn gunstige effecten hebben op de basenhuishouding en soortensamenstelling (Van Diggelen *et al.* 2015). Barendregt *et al.* (2004) laten zien dat de mate waarin bekalking effectief is afhankelijk lijkt te zijn van de standplaatscondities. Ook in de meer voedselrijke dotterbloemhooilanden in de Wieden leidde bekalken tot positieve effecten op de vegetatie (Piek *et al.* 1997). Na toediening van kalk namen soorten kenmerkend voor verzuurd en schraal hooiland af, terwijl soorten die kenmerkend zijn voor het kruidenrijke dotterbloemhooiland toenamen of zich opnieuw vestigden. In Zweden is geëxperimenteerd met bekalken in herstelde trilvenen. In bekalkt en hydrologisch hersteld trilveen hadden getransplanteerde fragmenten van kenmerkende bruinmossen als rood schorpioenmos (*Scorpidium scorpioides*), groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*) en sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) zich na één groeiseizoen al sterk uitgebreid (Mälson & Rydin 2007). In een Noors bekalkingsexperiment (Nordbakken 2002) leidde toediening van kalk tot een sterke afname van veenmossen (*Sphagnum spp.*) en vestigden soorten als veenknikmos (*Bryum pseudotriquetum*), duinlangsteelmos (*Meesia uliginosa*), slankmos (*Leptobryum pyriforme*) en purper schorpioenmos (*Scorpidium revolvens*) zich.

Hoewel bekalking dus in potentie een goede maatregel kan zijn om de buffercapaciteit van trilvenen, blauwgraslanden en veenmosrietlanden lokaal (en tijdelijk) te verhogen en daarmee de verzuring te vertragen of tegen te gaan, is het van belang inzicht te krijgen in (a) de potentiële (neven)effecten van bekalken en (b) in succes- en faalfactoren voor effectieve bekalking. In de volgende hoofdstukken zal daarom worden ingegaan op de potentiële voor- en nadelen van bekalken (paragraaf 3.3). Vervolgens zal in paragraaf 3.4 per studie worden onderzocht onder welke condities en met welke bekalkingsvoorwaarden is bekalkt, om zo inzicht te krijgen in respectievelijk succes- en faalfactoren van bekalking. Hierbij worden ook de succes- en faalfactoren van bekalking in de meer voedselrijke dotterbloemhooilanden in kaart gebracht.

### 3.3 Potentiële voor- en nadelen van bekalken

Zoals in paragraaf 3.2 al kort is benoemd, heeft bekalking in de uitgevoerde experimenten geleid tot verschillende resultaten, variërend van een (sterke) toename in doelsoorten en basenaanrijking tot een afname in biodiversiteit en verdere verzuring. Potentiële voordelen van bekalking betreffen het tegengaan van verzuring of zelfs basenaanrijking en een afname van ongewenste verzuringsvegetaties (met dominantie van *Sphagnum* soorten). Ook kan als gevolg van de verandering in vegetatiesamenstelling de fauna positief worden beïnvloed. Tot potentiële nadelen van bekalking behoren eutrofiëring als gevolg van verhoogde mineralisatie, ammoniumtoxiciteit en (juist) stimulatie van *Sphagnum* doordat versnelde verzuring optreedt als gevolg van eutrofiëring. Hieronder worden deze potentiële voor- en nadelen verder toegelicht en onderbouwd. Tevens wordt ingegaan op de effectiviteit van bekalken in relatie tot het op orde brengen (en houden) van de bicarbonaathuishouding.

### 3.3.1 Potentiële voordelen

In de landbouw wordt bekalking al sinds de Romeinse tijd (ca. 2000 jaar geleden) toegepast als methode om verzuring van de landbouwgrond op lokaal niveau tegen te gaan (Goulding 2016). Ook in natuurgebieden met trilvenen en blauwgraslanden kan bekalking mogelijk een oplossing bieden tegen verzuring. Kalk bestaat uit  $\text{CaCO}_3$ , al dan niet in combinatie met  $\text{MgCO}_3$ . Door kalk toe te voegen aan verzuurde grond kan  $\text{H}^+$  worden verwijderd volgens de reactie:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (o.a. Adams 1984; Filipek 2011; Goulding 2016). Dit gaat gepaard met een toename in pH. Daarnaast kan door toediening van kalk de afname in basenverzadiging in de bodem, die het gevolg is van verzuring, worden beperkt of kan de basenverzadiging zelfs toenemen, zoals in verschillende habitats (trilveen, heide en heischrale graslanden, landbouwgronden, bossen) al is aangetoond (o.a. De Graaf *et al.* 2004; Van Diggelen *et al.* 2015; Goulding 2016; Weijters *et al.* 2018; Bobbink *et al.* 2018; Jansone *et al.* 2020). Veengrond heeft door het hoge organische stofgehalte van nature een hoge kationadsorptiecapaciteit (CEC). Door de toename van vrij  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  kan dat adsorptiecomplex meer calcium en magnesium gaan bevatten, doordat  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$  worden vervangen voor  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$ .

De toename in pH en de verbetering van de basenverzadiging hebben een potentieel gunstig effect op de samenstelling van de vegetatie in trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden. Zo is in een aantal studies een afname van het veenmosoppervlak waargenomen of van andere soorten die kenmerkend zijn voor verzuring (Bootsma *et al.* 1997; Beltman *et al.* 2001; Barendregt *et al.* 2004; Mälson & Rydin 2007). In sommige studies namen soorten die kenmerkend zijn voor blauwgraslanden, dotterbloemhooilanden en trilvenen ook toe.

Door de positieve veranderingen in de vegetatiesamenstelling kan ook de fauna positief worden beïnvloed. Zo zijn vlinders afhankelijk van vegetaties waarin specifieke planten zoals het moerasviooltje (*Viola palustris*) aanwezig dienen te zijn (Schipper & van Tooren 2007). Terugkeer van dergelijke voor trilveen en blauwgrasland kenmerkende plantensoorten heeft naar verwachting dan ook een positief effect op laagveenfauna. Daarnaast blijkt uit de proef van Piek *et al.* (1997) dat de hoeveelheid regenwormen toeneemt door bekalking, vermoedelijk door een toename in pH en bodemproductiviteit. Dit is gunstig voor het aantrekken van weidevogels. In de meeste studies blijven de effecten van herstelmaatregelen in trilvenen, veenmosrietlanden, dotterbloemhooilanden en blauwgraslanden op fauna tot op heden echter grotendeels onbelicht.

### 3.3.2 Potentiële nadelen

Behalve potentiële voordelen bestaan er echter ook potentiële nadelen van bekalking. Zo kan toediening van kalk leiden tot verhoogde mineralisatie van organisch stikstof (N) in de bodem, met verhoogde beschikbaarheid van ammonium en/of nitraat als gevolg (Ono 1991; Aggenbach *et al.* 2009). Ook kan mineralisatie leiden tot een grotere beschikbaarheid van (oplosbaar) fosfor (P) in de bodem (Mkhonza *et al.* 2020). Door deze eutrofiëring neemt de concurrentiekracht van snelgroeende soorten toe, waardoor deze kunnen gaan domineren, en kenmerkende soorten voor blauwgraslanden of trilvenen gaan verdringen. Het onderzoek van Ono (1991) wijst erop dat toediening van kalk mogelijk vooral leidt tot verhoogde mineralisatie wanneer de waterstanden laag zijn. In dit onderzoek nam de mineralisatie sterk toe bij een kalktoediening van 0,2 % of hoger van het drooggewicht van de bodem, maar alleen bij lage waterstanden. In waterverzadigde bodems nam de mineralisatie door kalktoediening niet tot nauwelijks toe. Wel was in waterverzadigde bodems de natuurlijke mineralisatie hoger (Ono 1989, 1991). De natuurlijke mineralisatie onder natte en droge condities varieert echter ook: in Mettrop *et al.* (2014) zien we juist dat de N-mineralisatie in natte bodems lager is dan in droge. Of en in welke mate eutrofiëring optreedt door bekalking lijkt dus (mede) afhankelijk van de hoogte van het grondwaterpeil en de concentratie waarmee de kalk wordt toegediend.

Een ander potentieel gevaar van de toediening van kalk in veengebieden is ammoniumtoxiciteit (Aggenbach *et al.* 2009). Bij de mineralisatie van organisch stikstof ontstaat in eerste instantie

ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), wat kan worden omgezet in nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ). Hoewel ammonium een essentieel macronutriënt is voor planten, is het in hoge concentraties voor verschillende planten toxisch. Doorgaans treden symptomen van ammoniumtoxiciteit op bij  $\text{NH}_4^+$ -concentraties boven 0,1 - 0,5 mmol/L (Schenk & Wehrmann 1979; Britto & Kronzucker 2002). Bij een sterke mineralisatie als gevolg van bekalking kan in potentie zo veel ammonium vrijkomen, dat dit de groei en vestiging van planten beïnvloedt. Dit is waarschijnlijk vooral het geval bij relatief lage pH en/of lage zuurstofgehalten, omdat dan de omzetting van ammonium naar nitraat beperkt is (Kooijman 2012; Kemp & Dodds 2002). Onderzoek door Paulissen *et al.* (2004, 2016) en Verhoeven *et al.* (2011) wijst erop dat *Scorpidium* en andere bruinmossen gevoeliger zijn voor hoge ammoniumgehalten dan *Sphagnum*, waardoor bekalking juist een negatief effect zou kunnen hebben op de samenstelling van de trilveenvegetatie.

Op korte termijn leidt toediening van kalk bijna altijd tot een afname van *Sphagnum* (o.a. Bootsma *et al.* 1997; Barendregt *et al.* 2004). Dit komt waarschijnlijk door de combinatie van hoge pH en hoge Ca-gehalten, die bij veenmossen leidt tot calciumtoxiciteit (Vicherova *et al.* 2015). Veenmossen blijken vaak ook prima te kunnen overleven in kalkrijke venen, zolang ze niet overstroomd raken met calcium- en bicarbonaatrijk water (Vicherova 2020). De eerdergenoemde toxische effecten van calcium en bicarbonaat spelen vooral op als de hoofdjes van de veenmossen geïnundeerd raken met calcium- en/of bicarbonaatrijk water (Vicherova *et al.* 2015; Koks *et al.* 2019; Kanters *et al.* in press). Als de planten boven de waterspiegel groeien zijn de concentraties aan calcium en bicarbonaat in de moslaag veel lager (Vicherova 2020), waardoor de afsterfprocessen (veel) minder of niet optreden. Wanneer alleen bekalkt wordt en de waterstand te laag blijft om veenmossen te inunderen, zal het afsterfprincipe van veenmossen dus zeer waarschijnlijk (veel) minder effectief zijn dan bij inundaties met calcium- en bicarbonaatrijk water.

Ten slotte laat onderzoek door Van Diggelen *et al.* (2015) zien dat op de lange termijn *Sphagnum*-soorten door bekalking juist kunnen worden gestimuleerd door een combinatie van hogere nutriëntbeschikbaarheid en hogere  $\text{CO}_2$ -beschikbaarheid. Door de reactie van  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonaat) met  $\text{H}^+$  wordt extra  $\text{CO}_2$  geproduceerd in de veenlaag onder de levende moslaag (Aggenbach *et al.* 2020). Het geproduceerde  $\text{CO}_2$  verplaatst zich vervolgens omhoog, waardoor mossen kunnen profiteren van de extra  $\text{CO}_2$ . In principe profiteren alle mossen van deze  $\text{CO}_2$ -toename, maar veenmossen groeien boven de grondwaterspiegel en de karakteristieke trilveenmossen uit. Ook wordt de positie van veenmossen versterkt door de verzurende werking van de veenmossen zelf en de hoge atmosferische stikstofdepositie (Aggenbach *et al.* 2020). Pas wanneer het levende deel van de veenmossen geïnundeerd raakt met bicarbonaatrijk water verdwijnt dit voordeel (zie onderstaande tekstkader). Door bovengenoemde processen kunnen snel-ontwikkelende veenmossoorten vermoedelijk dus ook bevorderd worden op de langere termijn (ten opzichte van bruinmossen), waardoor de kans op veenmosdominantie kan toenemen (Van Diggelen *et al.* 2015). Doordat *Sphagnum* voor zichzelf optimale condities creëert (o.a. Kooijman 1993; Fritz *et al.* 2012), kan op die manier een ongewenste feedback-loop ontstaan (Van Diggelen *et al.* 2015).

### 3.4 Effecten bekalkingsproeven

Op basis van tien bekalkingstudies, waarvan zes in verzuurde trilvenen, drie in blauwgraslanden en één in dotterbloemhooiland, is met de reeds beschikbare literatuur, aangevuld met enquêtes en interviews bepaald wat succes- en faalfactoren van bekalking zijn. Voor elk onderzoek is op een rij gezet (a) hoe de proef is opgezet, (b) welke bekalkingsmethodiek (type kalk, bekalkingsduur, bekalkingsfrequentie, bekalkingshoeveelheid en wijze van toepassing) is gebruikt, (c) wat voor beheer is toegepast sinds bekalking, (d) het type vegetatie dat voor en na de bekalking aanwezig was, (e) wat de standplaatscondities waren, en (f) wat de effecten zijn op fauna. Ook is in deze literatuurstudie meegenomen wat het algemene beeld is van verschillen tussen bekalkte en

onbekalkte locaties, of de maatregel vergunningsvrij was toe te passen en of er onder beheerders en/of onderzoekers draagvlak is voor bekalken als herstelmaatregel.

### 3.4.1 Verzuurde trilvenen

In verzuurde trilvenen in laagveengebieden zijn verscheidene experimenten uitgevoerd, die tot vijf publicaties hebben geleid. In bijna alle experimenten werd in zekere mate een positief effect van bekalking gevonden. Wel waren er verschillen tussen de studies. Hieronder staat in Tabel 3.1 een overzicht van de in verzuurd trilveen uitgevoerde experimenten en de uitkomsten hiervan.

In het onderzoek van **Beltman et al. (2001)** en **Bootsma et al. (1997)** wordt hetzelfde experiment behandeld. In deze proef zijn in de Westbroekse Zodden vier proefvlakken uitgezet van ca. 2 x 3 meter. In elk van de vier proefvlakken werd een andere behandeling (controle, plaggen, bekalken, plaggen + bekalken) getoetst. De bovenlaag van de 30-40 cm dikke trilveenkragge werd vrijwel niet meer beïnvloed door het basenrijke water onder de kragge en rondom het perceel. De moslaag werd gedomineerd door veenmossen (*Sphagnum squarrosum* en *Sphagnum flexuosum/fallax*) en gewoon haarmos. De kruidengemeenschap werd getypeerd door zeggen (*Carex acutiformis*, *Carex nigra*, *Carex riparia*) en hennegras. Aan de bekalkte plots werd 150 g m<sup>-2</sup> (1,5 ton/ha) mergel toegediend. Mergel bestaat voor maximaal 35 % uit CaCO<sub>3</sub> (en voor het overige deel uit klei), wat betekent dat maximaal 52,5 gram CaCO<sub>3</sub> per vierkante meter is toegediend (0,5 ton/ha). Hiermee was de in dit experiment toegediende kalkconcentratie vrij laag ten opzichte van overige experimenten. Alleen bekalking leidde niet tot een afname in veenmos- en haarmosbedekking. Bekalking in combinatie met afplaggen leidde wel tot een afname in veenmos- en haarmosbedekking en resulteerde ook in een toename van basenminnende mossen als veenknikmos en gewoon puntmos. Daarnaast keerden in plots die zowel bekalkt als geplagd waren kruiden terug die kenmerkend zijn voor trilveen, zoals moeraskartelblad en echte koekoeksbloem. Verder nam de beschikbaarheid van N en P in de bodem af in de proefvlakken die geplagd waren. In het proefvlak dat wel geplagd, maar niet bekalkt was, herstelde de moslaag zich binnen enkele jaren, waarbij veenmos zich het snelst herstelde.

**Van Diggelen et al. (2015)** voerden een bekalkingsexperiment uit in de Nieuwkoopse plassen met als doel de kenmerkende trilveenvegetatie te herstellen. Twaalf plots van 3 x 3 meter werden uitgezet (zie Tabel 3.1). Als gevolg van verzuring werd de vegetatie bij aanvang van het experiment gedomineerd door Sphagnum, bij een pH die varieerde tussen 3,5 en 4,0. De effecten van kalktoediening werden getoetst in twaalf plots, waaraan verschillende hoeveelheden Dolokal (doorgaans 80 % CaCO<sub>3</sub>) werden toegediend: controle, 1,0 ton/ha (80 g CaCO<sub>3</sub> m<sup>-2</sup>), 2,0 ton/ha (160 g CaCO<sub>3</sub> m<sup>-2</sup>), 4,0 ton/ha (320 g CaCO<sub>3</sub> m<sup>-2</sup>). Op korte termijn werd in alle behandelingen een positief effect van bekalken gevonden: de pH nam toe tot 6,0, de Sphagnum-bedekking nam af en enkele soorten die kenmerkend zijn voor trilveen (bijvoorbeeld *Aneura pinguis* en *Liparis loeselii*) vestigden zich. Wel nam de hoeveelheid biologisch beschikbaar P met 0,1 à 0,2 µmol/l toe. Na drie jaar was de pH van de 1,0 ton/ha en 2,0 ton/ha behandelingen weer afgenomen tot respectievelijk 4,8 en 5,3. De pH van de 4,0 ton/ha behandeling was met 6,3 nog steeds fors hoger dan voor bekalking. Zevenenhalf jaar na bekalking was de pH-verhoging alleen nog meetbaar in de behandeling met 4,0 ton/ha Dolokal. Ook was in deze behandeling de Sphagnum-bedekking nog lager dan vóór bekalking. De Sphagnum-bedekking was in alle behandelingen een jaar na bekalking het laagst, en nam vervolgens weer toe, waarbij de bedekking langzamer toenam naar mate meer Dolokal was toegediend. Wel was na 7,5 jaar de Sphagnum-bedekking in de controle, 1,0 ton Dolokal/ha en 2,0 ton Dolokal/ha hoger dan vóór het experiment.

**Mälson & Rydin (2007)** onderzochten in centraal Zweden het effect van bekalking op de overleving en groei vier kenmerkende trilveenmossen: *Scorpidium scorpioides*, *Scorpidium cossonii*, *Pseudocalliergon trifarium* en *Campylum stellatum*. In 24 plots van 25x25 cm werd de vegetatie, die voornamelijk bestond uit Sphagnum en Polytrichum, verwijderd. Vervolgens werd aan de helft van de plots 75 g tuinbouwkalk (38,8 g CaCO<sub>3</sub> per plot, omgerekend 6,2 ton CaCO<sub>3</sub>

per ha) toegevoegd. Ook werd de helft van de plots bedekt met een net om deze te beschermen tegen vraat, zodat vier behandelingen ontstonden (controle, bekalkt, bedekt, bekalkt+bedekt). Door de kalktoediening nam de pH toe van gemiddeld 4,9 naar gemiddeld 6,3. Van de hierboven genoemde soorten werden fragmenten getransplanteerd in de plots. Toediening van kalk had een significant positief effect op de overleving en ontwikkeling van de scheuten na een jaar. Dit was voor alle vier de soorten gelijk. Twee jaar na bekalking was het verschil nog duidelijker: de getransplanteerde mossen hadden zich significant verder uitgebreid in de bekalkte plots. Nu werd echter wel een verschil gevonden in uitbreiding tussen de soorten: *Scorpidium cossonii* breidde het sterkst uit, *Pseudocalliergon trifarum* het minst. Deze studie heeft maar twee jaar geduurd, waardoor de langere termijneffecten niet bekend zijn. Ook is dit verdroogde veen in de loop van de tijd weer natter geworden, waardoor dit onderzoek niet representatief is voor de Nederlandse trilvenen.

Uit de proef van **Barendregt et al. (2004)** bleek dat de effectiviteit van bekalking afhankelijk is van de mate van verzuring. De proef werd uitgevoerd in licht verzuurde trilvenen (ca. pH 5,0), middelmatig verzuurde trilvenen en sterk verzuurde voormalige trilvenen (eigenlijk veenmosrietland, pH 3,3-4,2). In zeven percelen werden proefvlakken uitgezet met binnen elk proefvlak 3 plots van 3 bij 3 m, waarin steeds één plot werd bekalkt met 150 g fijnkorrelige mergel m<sup>-2</sup> (1,5 ton mergel per ha of 0,5 ton CaCO<sub>3</sub> per ha), één plot geplagd en één plot bekalkt én geplagd. Met uitzondering van de Weersloot (licht verzuurd), bestond de vegetatie in de percelen voornamelijk uit veenmossen en haarmossen (gezamenlijk overal >85 %). Drie jaar na bekalking was de gemiddelde pH in de bekalkte en bekalkte + geplagde plots nog significant hoger. Bicarbonaat was op bijna alle locaties significant hoger in de behandeling bekalken + plaggen. Wanneer onderscheid wordt gemaakt tussen de mate van verzuring van de trilvenen, dan valt op dat de toename van de pH alleen zichtbaar was in de middelmatig verzuurde trilvenen. In de middelmatig verzuurde trilvenen nam de bicarbonaatconcentratie niet alleen significant toe in de behandeling met een combinatie van bekalking en plaggen, maar ook bij alleen bekalking. Wel had bekalking in combinatie met plaggen het grootste effect op de concentraties calcium en bicarbonaat van het bodemvocht en op de vegetatie. In middelmatig verzuurde trilvenen leidde bekalking, vooral in combinatie met plaggen, tot een afname in veenmossen en een toename in doelsoorten als *Pedicularis palustris* en *Carex lasiocarpa*. Daarnaast vestigden er enkele soorten die kenmerkend zijn voor minder zure omstandigheden of schrale graslanden (bijvoorbeeld *Equisetum fluviatile*). De licht verzuurde trilvenen en sterk verzuurde venen lieten echter nauwelijks een toename in pH zien. In sterk verzuurde venen verdween weliswaar de dominantie van haarmossen na bekalken (al dan niet in combinatie met plaggen), maar bekalking alleen leidde niet tot de vestiging van nieuwe soorten, en veenmos bleef de dominante groep. In sterk verzuurde venen leidde bekalking in combinatie met plaggen alleen tot de vestiging van nieuwe soorten die kenmerkend zijn voor zure graslanden. In licht verzuurde trilvenen leidde bekalking tot een stimulatie van veenmosontwikkeling en in Tienhoven had bekalking zelfs een afname in totale soortenrijkdom tot gevolg, waarbij ook kenmerkende trilveensoorten verdwenen. Voornamelijk de kruidenrijkdom nam af. Wat hier leek te gebeuren, is dat een trilveen met een redelijke kwaliteit door de bekalking juist werd verstoord, waardoor de kwaliteit van het trilveen afnam.

Een van de experimenten, uitgevoerd door **Casper Cusell, Leon Lamers en Annemieke Kooijman in 2009**, is vanwege tijdgebrek stopgezet in 2010 en is dan ook nooit gepubliceerd. Voor het experiment zijn zes proefvlakken uitgezet met een vegetatieverdeling van ongeplagd veen met *Sphagnum palustre*, al dan niet met bevloeiing, ongeplagd veen met *Sphagnum palustre* en *Thelypteris palustris*, al dan niet met bevloeiing en geplagd veen al dan niet met bevloeiing. In elk van de proefvlakken zijn 10 PQ's uitgezet, waarvan er vijf zijn bekalkt met 2,0 ton Dolokal (80% CaCO<sub>3</sub>) per ha. Dit komt overeen met 1,6 ton CaCO<sub>3</sub> per ha. De biogeochemische condities en de vegetatie zijn alleen bij aanvang van het experiment (gedegen) gemonitord. Bij stopzetting van het experiment na één jaar waren op het eerste gezicht geen veranderingen in de vegetatie zichtbaar,

maar dit is dus niet gedegen gemonitord. Fauna is in het geheel niet meegenomen in dit experiment.

**Tabel 3.1.** Overzichtstabel van experimenten met bekalking in trilveen. Lege cellen geven aan dat de data ontbreekt.

**Tabel 3.1.** Summary of liming experiments in floating fens. Empty cells indicate missing data.

	<b>Bootsma et al. 1997</b>	<b>Beltman et al. 2001</b>	<b>Barendregt et al. 2004</b>	<b>Cusell et al. niet gepubliceerd</b>	<b>Målson &amp; Rydin 2007</b>	<b>Van Diggelen et al. 2015</b>
Opzet proef	In het meest verzuurde deel van het onderzoeksgebied zijn in vier proefvlakken de effecten van bekalken en plaggen onderzocht. Hierbij is er een controlevlak, geplagd vlak, bekalkt vlak en een geplagd + bekalkt vlak aanwezig.	In het meest verzuurde deel van het onderzoeksgebied zijn in vier proefvlakken de effecten van bekalken en plaggen onderzocht. Hierbij is er een controlevlak, geplagd vlak, bekalkt vlak en een geplagd + bekalkt vlak aanwezig.	In zeven percelen in een verzuringsreeks zijn proefvlakken uitgezet, waarbinnen drie plots van 2x2 liggen. Van de drie plots is er steeds één bekalkt, één bekalkt + geplagd en één controle.	In vak 60 van de Weerribben zijn zes proefvlakken uitgezet met in elk van de proefvlakken 10 PQ's van 1 x 1 meter. Per proefvlak zijn vijf van de tien PQ's bekalkt. In totaal zijn er dus 60 PQ's uitgezet, waarvan 30 bekalkt. De zes proefvlakken zijn als volgt onderverdeeld: (1) ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> zonder bevoeiing, (2) ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> en <i>Thelypteris palustre</i> zonder bevoeiing, (3) geplagd veen zonder bevoeiing, (4) ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> met bevoeiing, (5) ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> en <i>Thelypteris palustre</i> met bevoeiing, (6) geplagd veen met bevoeiing. De proef is één jaar gevolgd en daarna in verband met tijdgebrek stopgezet.	Het onderzoeksgebied is verdeeld in vier blokken die op verschillende afstanden langs de sloot zijn gelegen. In elk blok zijn zes plots van 25x25 cm uitgezet. In deze plots werd alle vegetatie verwijderd. Om de plots werd ook een bufferzone (ca. 25 cm) de vegetatie verwijderd. In elk blok werden vier behandelingen uitgezet, te weten: controle, bekalkt, bedekt met net, bekalkt + bedekt met net.	Twaalf plots van 3x3 meter zijn uitgezet op een dikke drijvende veenlaag, waarvan de toplaag (10-30 cm) vijf jaar eerder was verwijderd. Vegetatie werd elke zomer gemaaid. Bekalkingsbehandelingen werden random verdeeld over de plots, met drie replica's per behandeling (controle, 1000 kg/ha, 2000 kg/ha, 4000 kg/ha)
Type kalk	Mergel	Mergel	Fijnkorrelige mergel	Dolokal	Tuinbouwkalk	Dolokal
Bekalkingsduur/-periode	Oktober 1994	Oktober 1994	1997-2001	2009	Juni 2004	Oktober 2006
Bekalkingsfrequentie	Eenmalig	Eenmalig	Jaarlijks	Eenmalig	Eenmalig	Eenmalig
Bekalkingshoeveelheden	150 g m <sup>-2</sup>	150 g m <sup>-2</sup>	150 g m <sup>-2</sup>	200 g m <sup>-2</sup>	75 g m <sup>-2</sup>	- 100 g m <sup>-2</sup> ; - 200 g m <sup>-2</sup> ; - 400 g m <sup>-2</sup> .
Wijze van toediening	Handmatig uitgestrooid	Handmatig uitgestrooid	Handmatig uitgestrooid	Handmatig uitgestrooid	Onbekend	Handmatig uitgestrooid

	<b>Bootsma et al. 1997</b>	<b>Beltman et al. 2001</b>	<b>Barendregt et al. 2004</b>	<b>Cusell et al. niet gepubliceerd</b>	<b>Mälson &amp; Rydin 2007</b>	<b>Van Diggelen et al. 2015</b>
Biogeochemische condities voor bekalking	pH: 4,6; N-tot: 15,75 mg/g; P-tot: 0,96 mg/g	pH: 4,6; N-tot: 15,75 mg/g; P-tot: 0,96 mg/g	pH tussen 3,3 en 5,0, afhankelijk van de mate van verzuring	Ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> zonder bevoeiing: pH 4,9; EGV 55 mS/m; 0,27 µmol/l P; 26,6 µmol/l S Ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> en <i>Thelypteris palustre</i> zonder bevoeiing: pH 5,4; EGV 92 mS/m; 0,54 µmol/l P; 25 µmol/l S geplagd veen zonder bevoeiing: pH 5,8; 131 mS/m; 0,72 µmol/l P; 102,7 µmol/l S Ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> met bevoeiing: pH 4,7; 48 mS/m; 0,60 µmol/l P; 17,9 µmol/l S Ongeplagd veen met <i>Sphagnum palustre</i> en <i>Thelypteris palustre</i> met bevoeiing: pH 5,2; 84 mS/m; 0,83 µmol/l P; 40,5 µmol/l S geplagd veen met bevoeiing: pH 5,6; 212 mS/m; 1,07 µmol/l P; 101,6 µmol/l S	pH: 4,9	pH 3,5 à 4,0; Ca+Mg 5,0 mmol/l; P 0,3 à 0,5 mmol/l;
Vegetatie voor bekalking	Moslaag gedomineerd door <i>Sphagnum squarrosum</i> en <i>Sphagnum flexuosum/fallax</i> en gewoon haarmos, kruidlaag getypeerd door zeggen ( <i>Carex acutiformis</i> , <i>Carex nigra</i> , <i>Carex riparia</i> ) en hennegras	Moslaag gedomineerd door <i>Sphagnum squarrosum</i> en <i>Sphagnum flexuosum/fallax</i> en gewoon haarmos, kruidlaag getypeerd door zeggen ( <i>Carex acutiformis</i> , <i>Carex nigra</i> , <i>Carex riparia</i> ) en hennegras	Dominantie van veenmossen en/of haarmossen (gezamenlijk >85 %) in alle percelen, met uitzondering van de Weersloot, waar gewoon puntmos domineerde (85 %).	De moslaag (ongeplagd, percelen 1,2,4,5) werd gedomineerd door <i>Sphagnum palustre</i> . De kruidlaag (ongeplagd, percelen 1,2,4,5) werd doorgaans gedomineerd door <i>Juncus subnodulosus</i> en <i>Phragmites australis</i> . In perceel 1 en perceel 4 was ook <i>Molinia caerulea</i> met een grote bedekking aanwezig. In perceel 2 en perceel 5 had <i>Thelypteris palustre</i> een grote bedekking.	Vegetatie geheel verwijderd voor experiment, werd eerst gedomineerd door <i>Sphagnum</i> en <i>Polytrichum</i>	dominantie van <i>Sphagnum</i>

	<b>Bootsma et al. 1997</b>	<b>Beltman et al. 2001</b>	<b>Barendregt et al. 2004</b>	<b>Cusell et al. niet gepubliceerd</b>	<b>Mälson &amp; Rydin 2007</b>	<b>Van Diggelen et al. 2015</b>
Reactie flora op bekalking	Alleen bekalken leidde niet tot een afname van veenmossen ( <i>Sphagnum</i> ) en haarmossen ( <i>Polytrichum</i> ). Bekalken + plaggen leidde tot het verdwijnen van <i>Polytrichum</i> en een sterke afname in <i>Sphagnum</i> . Daarnaast herstelden kruiden die kenmerkend zijn voor goed ontwikkeld trilveen, zoals moeraskartelblad ( <i>Pedicularis palustris</i> ).	De geïntroduceerde soorten <i>Carex hostiana</i> en <i>Carex panicea</i> waren 1.5 jaar na de inzet van het experiment alleen toegenomen in de behandeling waarin geplagd + bekalkt werd. Getransplanteerd <i>Sphagnum</i> nam ook enkel in de behandeling met plaggen + bekalken af. In de andere behandelingen nam <i>Sphagnum</i> toe.	Sterk verzuurd: Alleen bekalken + plaggen leidt tot het verdwijnen van een aantal verzuringsoorten, waarmee kansen worden geboden aan nieuwe soorten. Echter, de soorten die zich vestigen zijn (ook) kenmerkend voor verzuurde grond. De bodem lijkt te sterk verzuurd om herstel te bewerkstelligen. Matig verzuurd: Bekalken en plaggen leidt tot een afname in <i>Sphagnum</i> en een toename in doelsoorten. Nieuwe soorten, die kenmerkend zijn voor minder zure omstandigheden, vestigen zich en de diversiteit neemt toe. Licht verzuurd: Bekalken stimuleert <i>Sphagnum</i> , bekalken + plaggen levert nauwelijks nieuwe soorten op.	Na één jaar waren er geen zichtbare effecten op de vegetatie. Doordat het experiment gestaakt is, is er echter geen gedegen vegetatiekartering uitgevoerd.	Bekalking had een sterk positief effect op de overleving van soorten. Er was geen verschil in hoe de vier onderzochte mossen ( <i>Scorpidium scorpioides</i> , <i>Scorpidium cossonii</i> , <i>Pseudocalliergon trifarium</i> en <i>Campyllum stellatum</i> ) reageerden op de bekalking.  Ook na twee jaar was de bedekking van de vier mossen aanzienlijk hoger in de bekalkte plots. <i>Scorpidium cossonii</i> breidde het sterkst uit.	<i>Sphagnum</i> nam af in alle bekalkte plots, waarbij de minimale <i>Sphagnum</i> -bedekking 1.5 jaar na toediening van de kalk werd bereikt. Hierna nam de <i>Sphagnum</i> -bedekking weer toe, afhankelijk van de hoeveelheid kalk die was toegediend (zie hieronder). Bekalking had geen duidelijk effect op de samenstelling van vaatplanten. De vegetatiesamenstelling in de plots veranderde gedurende het tijdsverloop van het experiment. De controleplots, twee 1k en één 2k kalkplots bleven gedomineerd door een veenmosrietlandvegetatie gedurende 4.5 jaar. Daarentegen veranderde één 1k plot en twee 2k plots in trilveen- samenstelling na 1.5 jaar, om daarna weer te veranderen in veenmosrietlandvegetatie. De 4k plots ontwikkelden tot een trilveenvegetatie na 1.5 jaar en bleven zo gedurende de 4.5 jaar. Echter, na 7.5 jaar was <i>Sphagnum</i> in alle plots weer in grote mate aanwezig.

	<b>Bootsma et al. 1997</b>	<b>Beltman et al. 2001</b>	<b>Barendregt et al. 2004</b>	<b>Cusell et al. niet gepubliceerd</b>	<b>Mälson &amp; Rydin 2007</b>	<b>Van Diggelen et al. 2015</b>
Reactie biogeochemie op bekalking	pH water bekalkt: 5,2; pH water bekalkt + geplagd: 6,2 Ca bekalkt: 13,4 mg/l; Ca bekalkt + geplagd: 27,7 mg/l PO <sub>4</sub> bekalkt: 0,76 mg/l; PO <sub>4</sub> bekalkt + geplagd: 0,06 mg/l	pH bodem bekalkt: 5,2; pH bodem bekalkt + geplagd: 5,5 N-tot bekalkt: 32,8 mg/g; N-tot bekalkt + geplagd: 12,3 mg/g P-tot bekalkt: 11,6 mg/g; P-tot bekalkt + geplagd: 2,9 mg/g	Significante pH toename bij bekalking (6,0) en bekalking+plaggen (5,7); pH reageert het sterkst in middelmatig verzuurde trilvenen.	De reactie op de biogeochemie is in verband met het staken van het experiment (na één jaar) niet bemeten.	pH: 6,3	Op korte termijn pH toename tot ca. 6,0. Na drie jaar pH 4,8 en 5,3 in de behandelingen met een kalktoediening van respectievelijk 1000 en 2000 kg/ha. Na drie jaar was de pH in de behandeling met 4000 kg kalk/ha 6,3. De hoeveelheid beschikbaar stikstof (N) was in de 4000 kg behandeling significant hoger dan in de controle.
Reactie fauna op bekalking	Niet onderzocht	Niet onderzocht	Niet onderzocht	Niet onderzocht	Niet onderzocht	Niet onderzocht
Beheer na bekalking	Jaarlijks regulier maaibeheer, waarbij het maaisel wordt afgevoerd	Jaarlijks regulier maaibeheer, waarbij het maaisel wordt afgevoerd	Jaarlijks regulier maaibeheer, waarbij het maaisel wordt afgevoerd	Regulier jaarlijks maaibeheer in de herfst/winter	Onbekend	Jaarlijks maaien in de herfst, waarbij het maaisel wordt afgevoerd
Benodigde vergunningen	Geen	Geen	Vergunningen voor betreden terreinen	Geen	Niet relevant (onderzoek in Zweden)	Geen
Effectiviteit experiment	Positieve effecten wanneer gecombineerd met plaggen: toename biomassa doelsoorten, afname <i>Sphagnum</i>	Positieve effecten wanneer gecombineerd met plaggen: toename biomassa doelsoorten, afname <i>Sphagnum</i>	Effectiviteit afhankelijk van mate van verzuring; bij lichte verzuring een negatief effect, bij middelmatige verzuring een positief effect, bij sterke verzuring geen effect	Één jaar na bekalking waren er geen zichtbare effecten, maar er is niet gedegen gemonitord in verband met het staken van het experiment.	Positieve effecten op vegetatie op korte termijn (monitoringsperiode 2 jaar)	Positieve effecten op korte termijn (< 4,5 jaar, verdwijnen <i>Sphagnum</i> en toename pH), op langere termijn (> 7,5 jaar) geen blijvende effecten

	<b>Bootsma et al. 1997</b>	<b>Beltman et al. 2001</b>	<b>Barendregt et al. 2004</b>	<b>Cusell et al. niet gepubliceerd</b>	<b>Mälson &amp; Rydin 2007</b>	<b>Van Diggelen et al. 2015</b>
Aanbevelingen m.b.t. bekalking						Geadviseerd wordt om bekalken op een grotere schaal toe te passen en dan wel direct na plaggen, zodat <i>Sphagnum</i> mogelijk minder snel zal gaan domineren. Daarnaast wordt herhaaldelijk toedienen van kalk als optie gegeven om te effectiviteit en mogelijke negatieve effecten op de lange termijn te testen.

### 3.4.2 Blauwgraslanden

In blauwgraslanden in laagveengebieden zijn drie experimenten uitgevoerd. In twee van de drie experimenten bleek bekalken niet effectief. In het experiment waar bekalken wel effectief was, was de kalktoediening zeer hoog (zie hieronder). In Tabel 3.2 is een overzicht van de uitgangspunten en resultaten van de experimenten gegeven.

In het experiment dat werd uitgevoerd door **Van Duren et al. (1998)** had bekalken met Dolokal (80 %  $\text{CaCO}_3$ ) geen langdurige effecten op de vegetatie. De toegediende hoeveelheid kalk was gelijk aan respectievelijk  $407 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2}$  en  $362 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2}$  (respectievelijk 0,41 en 0,36 ton/ha) voor de bekalkte en de bekalkte én geplagde plots. Het eerste jaar na bekalken werden zowel in bekalkte als in bekalkte én geplagde plots enkele positieve veranderingen waargenomen, zoals een toename in pH van 4,4 tot 4,8 in de geplagde plots en een goede overleving van de geïntroduceerde soorten *Carex hostiana* en *Carex panicea*, die beiden positief reageerden op de bekalking. De reactie van de vegetatie op de bekalking was sterker wanneer de plots ook geplagd waren. In het tweede jaar na kalktoediening waren de positieve effecten van het bekalken echter al niet meer aanwezig.

In **Jager & Hilboezen (2019)** werd gedurende drie jaar jaarlijks kalk toegediend aan een zestal percelen. In de proef nam de pH toe gedurende de bekalkingsperiode (2015-2017), maar in 2018 werd in de percelen opnieuw een lagere pH gemeten. Verder leidde bekalking in één van de zes bekalkte percelen tot een afname van de pH. Dit betrof een zwaar bekalkt perceel, waar je dus in theorie juist de sterkste toename in pH zou verwachten. In de overige percelen nam de pH wel toe na bekalking, maar was er vrij grote variatie in de pH-toename (0,26-0,73). Op het perceel waar bekalking heeft geleid tot een pH-daling heeft pyrietoxidatie (als gevolg van verstoring van het klei-op-veenprofiel) mogelijk een rol gespeeld. Pyrietoxidatie is het proces waarbij pyriet ( $\text{FeS}_2$ ) wordt geoxideerd tot  $\text{Fe(OH)}_2$  of  $\text{Fe(OH)}_3$ . Hierbij komt  $\text{H}^+$  vrij. Jager & Hilboezen (2019) vonden geen effecten van bekalken op de vegetatie in hun experiment, mogelijk omdat de hoeveelheid kalk die is toegediend laag was in vergelijking met de hoeveelheden kalk die in andere experimenten zijn toegediend. Omgerekend naar  $\text{g CaCO}_3 \text{ m}^{-2}$  werd in de licht bekalkte en zwaar bekalkte percelen respectievelijk  $22 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  en  $44 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  toegediend (respectievelijk 0,2 en 0,4 ton/ha). Ook kan kalk zijn weggespoeld als gevolg van neerslag. Tevens merken de auteurs op dat de kalk steeds later in het jaar werd toegediend. Zo is in 2017 pas halverwege juli bekalkt. Veel planten zijn dan al (bijna) uitgebloeid, waardoor de kalk niet direct effect heeft gehad op de vegetatie. Bovenstaande factoren hebben mogelijk de effectiviteit van de maatregel beperkt.

Op de blauwgraslanden van **Unlan fan Jelsma (niet gepubliceerd)** was de pH in de bekalkte proefvlakken vier jaar na de kalktoediening fors hoger dan in de niet-bekalkte proefvlakken. De pH van de bekalkte vlakken was nam gemiddeld toe van 4,4 naar 5,6, terwijl de pH van niet-bekalkte vlakken afnam van gemiddeld 4,7 naar 4,6. Ook de vegetatie veranderde als resultaat van de kalktoediening. In de bekalkte proefvlakken nam de bedekking met *Hypnum judlandicum* sterk af, terwijl de bedekking van het mos stabiel bleef in de niet-bekalkte proefvlakken. De bedekking met *Carex hostiana* nam toe in de bekalkte plots. In de niet-bekalkte plots nam de bedekking met *Carex hostiana* juist af. De toegediende hoeveelheid kalk was fors: per vierkante meter werd circa 1 kg kalk (vermoedelijk Dolokal<sup>5</sup>) toegediend (10 ton/ha). Omgerekend naar  $\text{CaCO}_3$  is dit  $800 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2}$  (8 ton/ha).

---

<sup>5</sup> De toegediende kalk was poederkalk. De bekalkter van destijds vermoedt dat dit Dolokal is geweest, maar het type kalk is niet geadministreerd.

**Tabel 3.2.** Overzichtstabel van experimenten met bekalking in blauwgrasland. Lege cellen geven aan dat de data ontbreekt.

**Tabel 3.2.** Summary of liming experiments in *Cirsio dissecti*-*Molinietum*. Empty cells indicate missing data.

	<b>Van Duren et al. 1998</b>	<b>Jager &amp; Hilboezen 2019</b>	<b>Unlân fan Jelsma (niet gepubliceerd)</b>
Opzet proef	Drie locaties; één met goed ontwikkeld blauwgrasland (controle), één met intacte vegetatie (gedegrademd) en één waar 15-20 cm van de topklaag is afgegraven (geplagd). Op elk van de drie locaties zijn vijf replica's van 1x1 m uitgezet.	Acht percelen, waarvan zes bekalkt. Vier percelen werden licht bekalkt, twee werden zwaar bekalkt.	Vier proefvlakken van 3x3 meter zijn uitgezet. Twee van de proefvlakken werden bekalkt.
Type kalk	Dolokal	Mengsel van 50 % Vitakal en 50 % Magkal	Waarschijnlijk Dolokal
Bekalkingsduur/ -periode	Mei 1994	3 jaar (2015-2017)	April 2010
Bekalkingsfrequentie	Eenmalig	Jaarlijks	Eenmalig
Bekalkingshoeveelheden	Gedegrademd: 509 g m <sup>-2</sup> Geplagd: 452 g m <sup>-2</sup>	Licht: 25 g m <sup>-2</sup> jaar <sup>-1</sup> zwaar 50 g m <sup>-2</sup> jaar <sup>-1</sup>	1000 g m <sup>-2</sup>
Wijze van toediening		Uitgestrooid middels rupstractor	Handmatig uitgestrooid
Biogeochemische condities voor bekalking	pH geplagd - bovenklaag: 4,2; pH gedegrademd - bovenklaag: 4,0 pH geplagd - diepere laag: 4,1 pH gedegrademd - diepere laag: 4,4	pH gemiddeld tussen 4,71 en 5,09	pH in de proefvlakken varieerde tussen 4,3 en 4,7
Vegetatie voor bekalking	Dominantie van moerasstruisgras ( <i>Agrostis canina</i> ) en pijpenstrootje ( <i>Molinia caerulea</i> )	Dominantie van pijpenstrootje ( <i>Molinia caerulea</i> ), grote ratelaar ( <i>Rhinanthus angustifolius</i> ), moerasstruisgras ( <i>Agrostis canina</i> ) en grote wederik ( <i>Lysimachia vulgaris</i> )	Dominantie van blauwe zegge ( <i>Carex panicea</i> ), pijpenstrootje ( <i>Molinia caerulea</i> ) en heideklauwtjesmos ( <i>Hypnum jutlandicum</i> )
Reactie biogeochemie op bekalking	Significante pH toename (van 0,3) tot 4,5 in bovenste laag van geplagde plots. In overige behandelingen geen significante toename.	De pH nam in vrijwel alle bekalkte percelen toe gedurende de bekalkingsperiode (2015-2017; toename 0,26-0,73), maar in 2018 werd in de percelen opnieuw een lagere pH gemeten. Ook leidde bekalking in één perceel tot een afname in pH van 5,09 tot 4,81.	De pH bleef in de niet-bekalkte proefvlakken ongeveer gelijk (toename van 0,1 en een afname van 0,2). In de bekalkte proefvlakken was de pH in 2014 duidelijk hoger (toename van respectievelijk 1,7 en 0,7).
Reactie flora op bekalking	Toename biomassa (voornamelijk van moerasstruisgras, <i>Agrostis canina</i> ) in bekalkte plots (gedegrademd, geplagd) in eerste jaar na bekalking. Geen duidelijke verbetering van vegetatie in gedegrademde plots. De vegetatie in de geplagde plots leek na drie jaar op de vegetatie in de gedegrademde plots, maar de totale vegetatiebedekking en de frequentie van pioniersoorten waren lager. Geïntroduceerde, kenmerkende soorten overleefden het eerste jaar, maar namen vervolgens sterk af (na drie jaar was alles verdwenen).	Hoewel vrijwel alle percelen in 2018 (na bekalken) ietwat soortenrijker waren dan in 2015 (voor bekalken), zijn de verschillen klein, waardoor dus niet van duidelijke effecten kan worden gesproken.	In de bekalkte plots nam de bedekking met heideklauwtjesmos ( <i>Hypnum jutlandicum</i> ) zeer sterk af. Ook nam blonde zegge ( <i>Carex hostiana</i> ) in de bekalkte plots toe, terwijl deze in de niet-bekalkte plots juist afnam. In het proefvlak dat voor de bekalking het zuurst was, veranderde de flora het meest.

	<b>Van Duren et al. 1998</b>	<b>Jager &amp; Hilboezen 2019</b>	<b>Unlân fan Jelsma (niet gepubliceerd)</b>
Reactie fauna op bekalking	Niet onderzocht	Niet onderzocht	Niet onderzocht
Beheer sinds bekalking	Jaarlijks maaibeheer, waarbij het maaisel wordt afgevoerd. Zomerpolderpeilbeheer.	Het beheer is gericht op blauwgrasland: in de nazomer wordt gemaaid en het maaisel wordt afgevoerd. In het najaar worden greppels 'schoongevreesd' en in het voor- en najaar worden de greppelbuizen schoongemaakt.	Regulier maaibeheer: jaarlijks maaien en afvoeren in augustus.
Benodigde vergunningen	Geen	Geen	Geen
Effectiviteit experiment	Niet effectief	Niet effectief	Effectief, vier jaar na bekalking waren de effecten nog duidelijk zichtbaar
Aanbevelingen m.b.t. bekalken	Meer onderzoek naar de redenen voor het uitblijven van succes van de maatregelen	Geadviseerd wordt de effectiviteit van éénmalig bekalken met een duurzaam werkende, niet wegspoelende kalksoort, bijvoorbeeld schelpengruis, te onderzoeken.	Geadviseerd wordt de bekalking met een lagere dosering voort te zetten.

### 3.4.3 Dotterbloemhooilanden

Eén experiment met bekalking is uitgevoerd in Dotterbloemhooiland (**Piek et al. 1997**). Tijdens dit experiment zijn in verschillende proefvlakken jaarlijks verschillende typen kalk toegediend (Thomaskali, Kalkammonsalpeter, Kalkmergel, Dolokal; Tabel 3.3). Toediening van Thomaskali (werkzame stoffen: 8 % Fosfor, 15 % Kalium, 6 % Magnesium, 21 % Calcium en 8 % Zwavel), Kalkammonsalpeter (werkzame stoffen: 2 % Calciumoxide, 27 % Stikstof, 4 % Magnesiumoxide) of een combinatie hiervan bleek geen effectieve herstelmaatregel voor (verzuurd) dotterbloemhooiland. Soorten van zure milieus namen weliswaar af, maar toevoeging van een van deze kalksoorten of een combinatie van beide leidde tot een toename van ruigere soorten (Thomaskali), een afname van soorten die kenmerkend zijn voor de wat voedselrijkere hooilanden (Kalkammonsalpeter) of een afname van alle soorten (Thomaskali + Kalkammonsalpeter). Toediening van Dolokal of kalkmergel zonder extra nutriënten bleek wel effectief: verzuringsoorten verdwenen en soorten die kenmerkend zijn voor dotterbloemhooiland namen toe of vestigden zich opnieuw. De toegediende hoeveelheden landbouwkalk en kalkmergel waren omgerekend naar  $\text{g CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  ongeveer gelijk: respectievelijk  $56 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  ( $0,56 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) en  $50 \text{ g CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  ( $0,50 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ )<sup>6</sup>. De kalktoediening leidde tot een toename in pH, met een respons van de vegetatie tot gevolg. Ook de toename in regenwormen is vermoedelijk te danken aan de toename in pH (Piek et al. 1997). Opvallend is echter, dat toediening van Thomaskali en/of Kalkammonsalpeter wel leidde tot een toename in pH (en daarbij ook een toename van regenwormen), maar niet leidde tot de terugkeer van dotterbloemhooilandsorten. Vermoedelijk speelt de aanwezigheid van nutriënten (respectievelijk fosfaat in Thomaskali en ammoniumnitraat in Kalkammonsalpeter) in Thomaskali en Kalkammonsalpeter hierbij een rol.

**Tabel 3.3.** Overzichtstabel van experimenten met bekalking in dotterbloemhooiland. Lege cellen geven aan dat de data ontbreekt.

**Tabel 3.3.** Summary of liming experiments in *Calthion palustris* hay meadows. Empty cells indicate missing data.

	<b>Piek et al. 1997</b>
Opzet proef	In 1983 is in drie percelen een experiment opgezet. Op elk perceel werden acht proefvlakken van 15x30 m ingericht. Elk van de proefvlakken kreeg een andere behandeling, waarbij aan vijf van de percelen verschillende soorten kalk werd toegediend. De ontwikkeling van de vegetatie is gevolgd tot 1992.
Type kalk	- Thomaskali; - Kalkammonsalpeter; - Thomaskali + Kalkammonsalpeter; - Landbouwkalk (Dolokal); - Kalkmergel
Bekalkingsduur/ -periode	10 jaar
Bekalkingsfrequentie	Jaarlijks
Bekalkingshoeveelheden	- Thomaskali: $280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ - Kalkammonsalpeter: $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ - Thomaskali + Kalkammonsalpeter: $280 + 200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ - Landbouwkalk: $700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ - Kalkmergel: $1000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$
Wijze van toediening	Handmatig
Biogeochemische condities voor bekalking	Oorspronkelijk een kraggebodem (vlietveengronden). In de periode 1940-1945 is de bodem opgehoogd met bagger, waarna het als bemest hooiland in gebruik is geweest. De veenbodem is tot een diepte van 20-30 cm veraard, met daaronder een niet-gerijpte kraggebodem. Het oppervlaktewater is eutroof. pH voor kalktoediening ca. 4,1.
Vegetatie voor bekalking	Voornamelijk gewoon reukgras ( <i>Anthoxantum odoratum</i> ), rood zwenkgras ( <i>Festuca rubra</i> ), zompzegge ( <i>Carex curta</i> ), zwarte zegge ( <i>C. nigra</i> ), veenmossen ( <i>Sphagnum spp.</i> ) en gewoon haarmos ( <i>Polytrichum commune</i> ).
Reactie biogeochemie op bekalking	Niet gemeten

<sup>6</sup> Kalkmergel bevat 35% tot 65% kalksteen (Meulen et al. 2002). Dolokal bevat doorgaans 80%  $\text{CaCO}_3$ .

	<b>Piek et al. 1997</b>
Reactie flora op bekalking	<p>In onbemeste proefvlakken trad weinig verandering op; een klein aandeel van soorten van het voormalig bloemrijke hooiland neemt nog verder af, terwijl soorten van zure milieus verder toenemen. Bij toediening van Thomaskali + Kalkammonsalpeter neemt de biomassa-productie sterk toe, terwijl bij toediening van landbouwkalk of kalkmergel de biomassa-productie nauwelijks toeneemt. Toediening van bemesting met thomaskali leidt slechts ten dele tot herstel van dotterbloemhooiland, de uitkomsten waren zeer variabel, met over het algemeen een toename van de wat ruigere soorten (zoals Pitrus en Kale jonker). Wel nam de totale soortenrijkdom toe.</p> <p>Kalkammonsalpeter bleek niet geschikt voor herstel van dotterbloemhooilanden, aangezien niet alleen soorten uit zure, schrale milieus afnamen, maar ook soorten die kenmerkend zijn voor dotterbloemhooilanden namen af. Mogelijk heeft stikstof, dat niet limiterend was, hierbij een rol gespeeld, aangezien de vegetatie die ontwikkelde bestond uit soorten die veel stikstof, maar weinig andere nutriënten behoeven.</p> <p>Het toedienen van thomaskali en kalkammonsalpeter leidde tot een sterke afname van vrijwel alle soorten. Er ontwikkelde een soortenarme, dichte en hoge vegetatie met een hoge biomassa-productie.</p> <p>Bij toediening van landbouwkalk namen soorten van zure, schrale milieus af en soorten van vochtig hooiland, inclusief het kruidenrijke dotterbloemhooiland, (sterk) toe. Er ontwikkelde een kort, open en laagproductief hooiland waarin vooral kruiden domineerden. Ook namen soorten van ruigten toe, vermoedelijk door een sterke mineralisatie van de veenbodem. Deze bleven echter allemaal laag en klein. Bij bekalking met landbouwgrond is dus een goede regeneratie van dotterbloemhooiland mogelijk, waarbij door de geringe productie weinig (extra) arbeid nodig is voor maaien en afvoeren van gewas.</p> <p>De effecten van toediening van kalkmergel op de vegetatie zijn vrijwel gelijk aan de toediening van landbouwkalk. Ontwikkeling naar dotterbloemhooiland is bij kalkmergel nog duidelijker dan bij landbouwkalk. Het verschil is dat vegetaties van ruigten bij kalkmergel minder toenemen (zelfs afnemen t.o.v. uitgangssituatie) en dat grassen minder sterk toenemen.</p>
Reactie fauna op bekalking	<p>Bij bijna alle vormen van bekalking nam het aantal regenwormen toe t.o.v. onbekalkte proefvlakken. De toename was het sterkst voor gebruik van kalkmergel en landbouwkalk. Dit heeft positieve gevolgen gehad voor het aantal weidevogels in het gebied, voornamelijk het aantal wulpen nam toe (mondelinge mededeling Harm Piet, 10-02-2021). Ook nam het aantal spinnen en molluscs toe (mondelinge mededeling Harm Piek, 10-02-2021).</p>
Beheer sinds bekalking	Jaarlijks maaibeheer waarbij het maaisel wordt afgevoerd
Benodigde vergunningen	Geen
Effectiviteit bekalking	Bekalking met landbouwkalk of kalkmergel waren effectief; beide leidden tot een afname van soorten van zure milieus en een toename van kruiden die kenmerkend zijn voor dotterbloemhooiland.
Aanbevelingen m.b.t. bekalken	Bekalking in de dotterbloemhooilanden in de Wieden helpt om de hooilanden langer in stand te houden. Naar aanleiding van dit experiment wordt nog steeds bekalkt in de Wieden.

## 4. Veldonderzoek bekalking

Hieronder worden de effecten van bekalking op de vegetatie en de biogeochemie van de bodem toegelicht in paragrafen 4.1 en 4.2. Beide paragrafen starten met een aantal deelparagrafen waarin de algehele conclusie van de resultaten wordt beschreven, waarbij zowel naar de analyses van de gehele dataset als naar de analyses per vegetatietype wordt gekeken. Vervolgens wordt in de laatste vier deelparagrafen nog ingegaan op interessante en/of belangrijke resultaten per vegetatietype (veenmosrietland, dotterbloemhooiland, blauwgrasland en trilveen). In de bijlage is ten slotte nog een analyse per meetgebied opgenomen.

### 4.1 Effecten van bekalking op de vegetatie

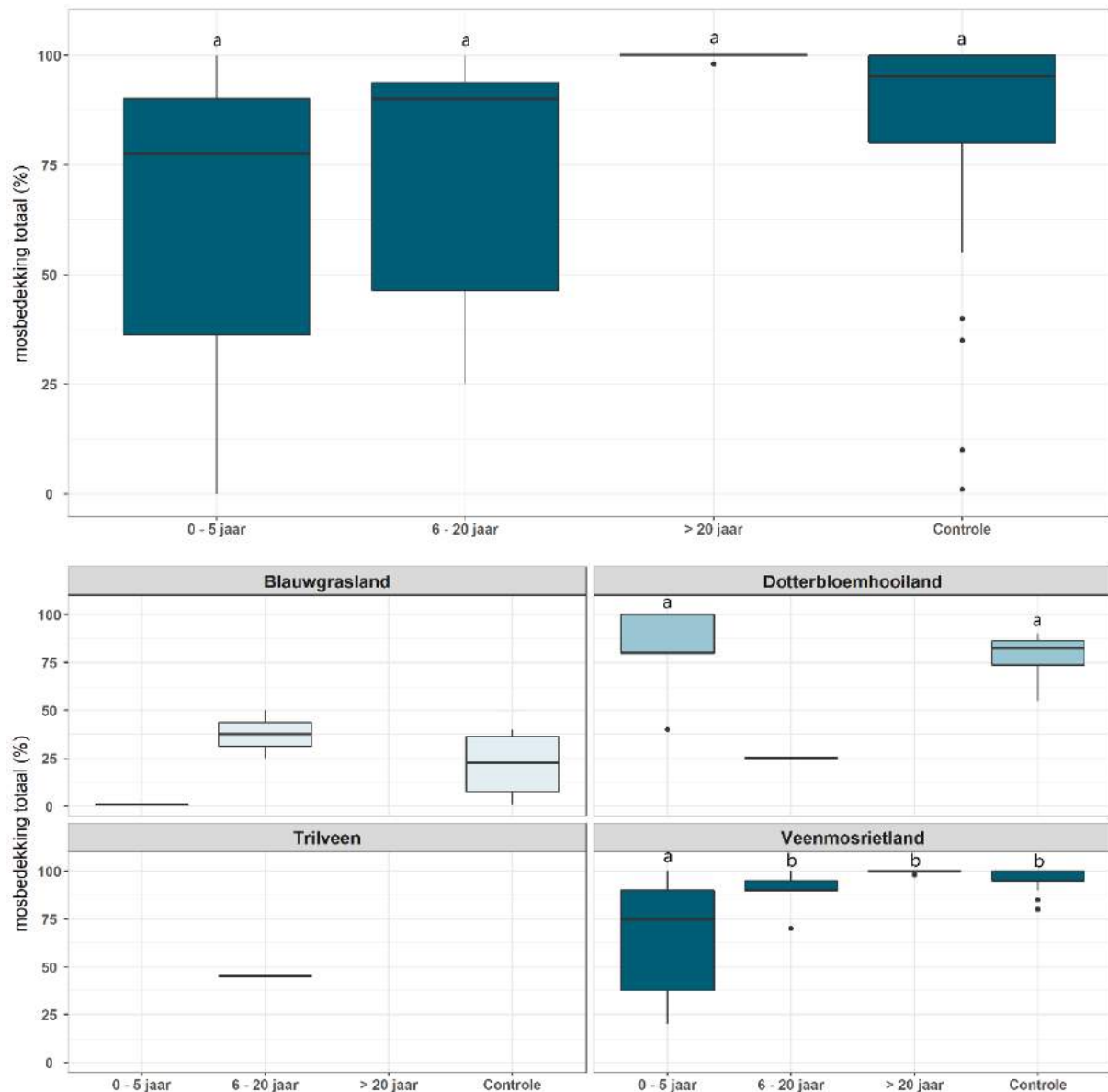
#### 4.1.1 Reactie van de moslaag

##### **Totale bedekking van de moslaag**

Bekalking heeft in het algemeen geen duidelijke effecten op de totale bedekking van de moslaag: de variatie in de totale mosbedekking na bekalking is aanzienlijk (Figuur 4.1). In een deel van de locaties lijkt bekalking gedurende korte tijd te leiden tot een afname van de totale mosbedekking ten opzichte van de controle. Alhoewel de mosbedekking in de recent bekalkte groep wel lager lijkt, zijn de verschillen tussen de controle en de bekalkte groepen onderling niet significant als de vegetatietypen niet van elkaar worden gescheiden (bovenste afbeelding van Figuur 4.1). In de veenmosrietlanden is de totale mosbedekking wel significant lager ( $P < 0,01$ ) dan op alle andere plots, waar de mosbedekking na enige jaren weer teruggaat naar 90 - 100%. Hierbij dient wel vermeld te worden dat er een aanzienlijke spreiding in de totale mosbedekking is in de recente bekalkte veenmosrietlanden: op sommige locaties is de afname sterker dan op andere locaties.

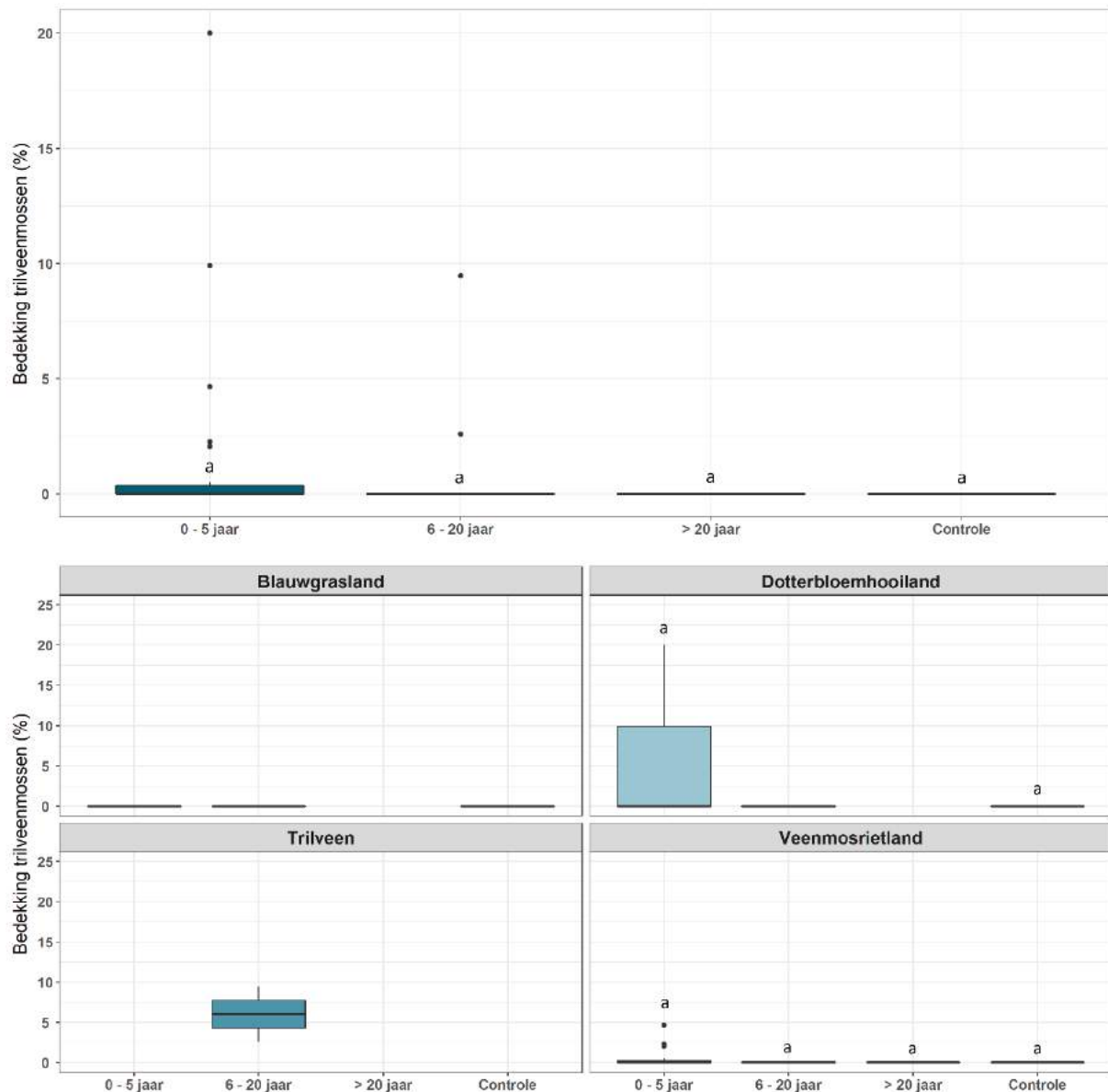
##### **Mossen van basenrijke condities**

De mossen die kenmerkend zijn voor basenrijke standplaatscondities zijn verdeeld in trilveenmossen en soorten van voedselrijke rietlanden (zie paragraaf 2.4 voor de indeling van de mossen). In de onderzochte locaties komen de trilveenmossen vrijwel alleen voor in trilvenen en dotterbloemhooiland (Figuur 4.2). Deze mossen lijken niet beïnvloed te worden door bekalking en er lijkt geen toename te zijn ten opzichte van de controle. Bij de mossen van voedselrijke rietlanden is dit wel het geval (Figuur 4.3). Het gaat daarbij vooral om gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*). Hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*) is slechts op drie locaties aangetroffen en alleen in de controle. Op recent bekalkte locaties zijn mossen van voedselrijke rietlanden met significant hogere bedekking ( $P < 0,01$ ) aangetroffen dan in de controle en op locaties die meer dan 20 jaar geleden zijn bekalkt. Dit geldt voor zowel dotterbloemhooilanden, trilvenen als veenmosrietlanden. In het trilveen zijn mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden 6-20 jaar na bekalking nog aanwezig. Het gaat dan om lage bedekkingen van gewoon puntmos. Kortom, in de eerste jaren na bekalking nemen mossen van meer basenrijke milieus toe, maar in de uitgevoerde experimenten gaat het vooral om soorten van eutroof rietland als gewoon puntmos. Karakteristieke trilveenmossen van hoogkwalitatieve trilvenen lijken veel minder of niet te profiteren van bekalking.



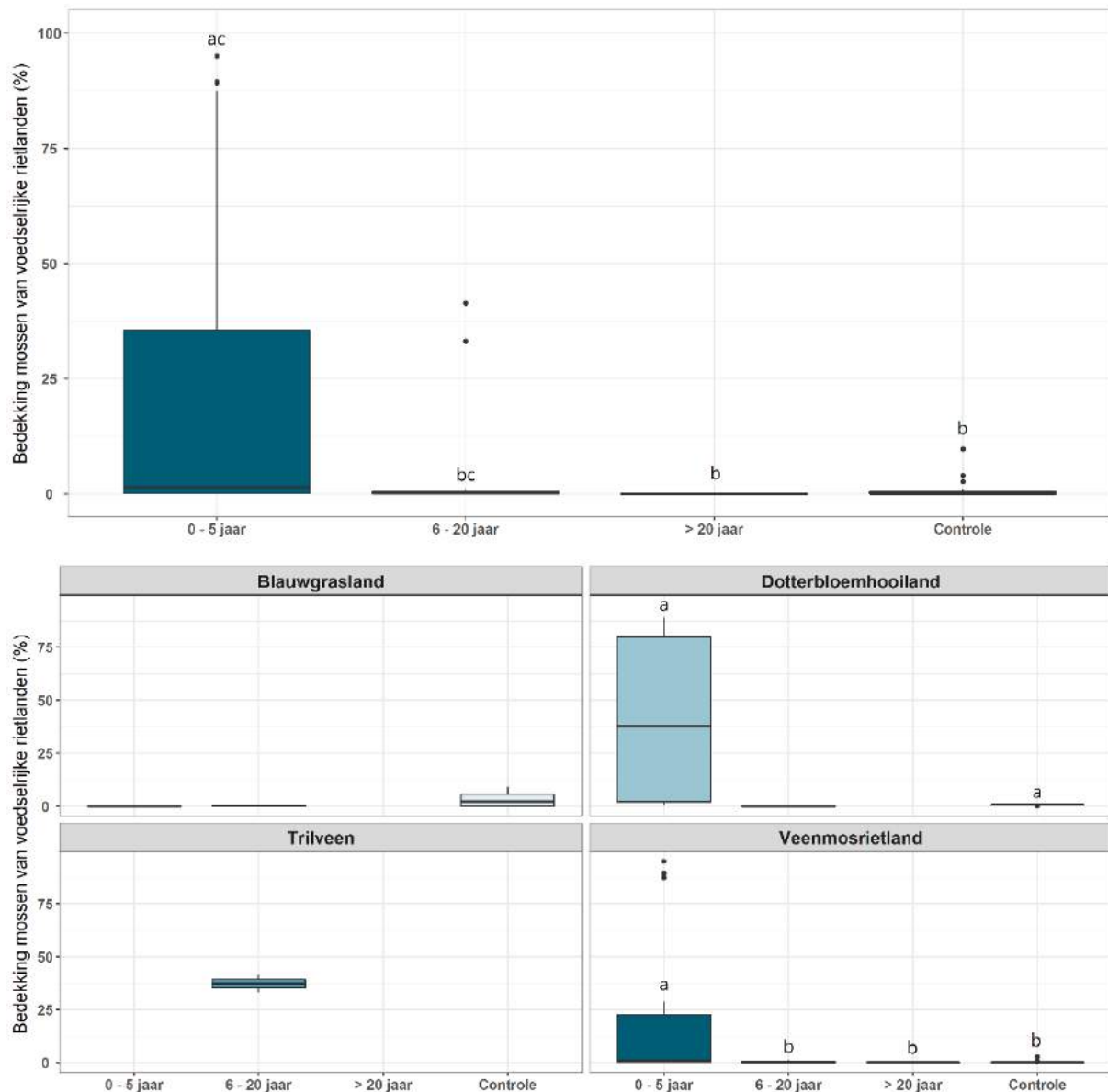
**Figuur 4.1.** Totale mosbedekking (data is niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.1.** Total moss cover (data is not normally distributed) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



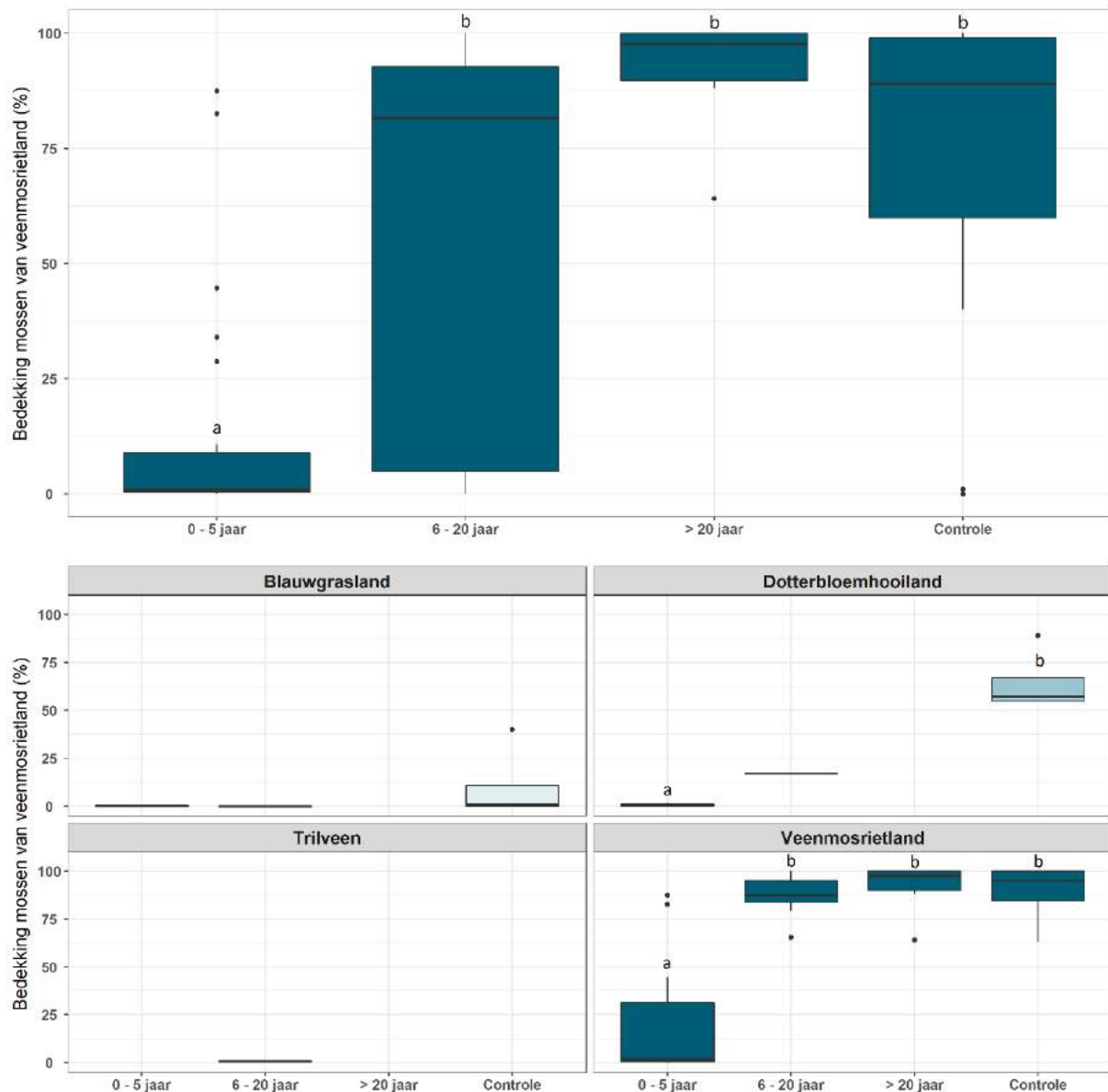
**Figuur 4.2.** Bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor trilveen (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.2.** Moss cover of species that are characteristic for floating fens (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



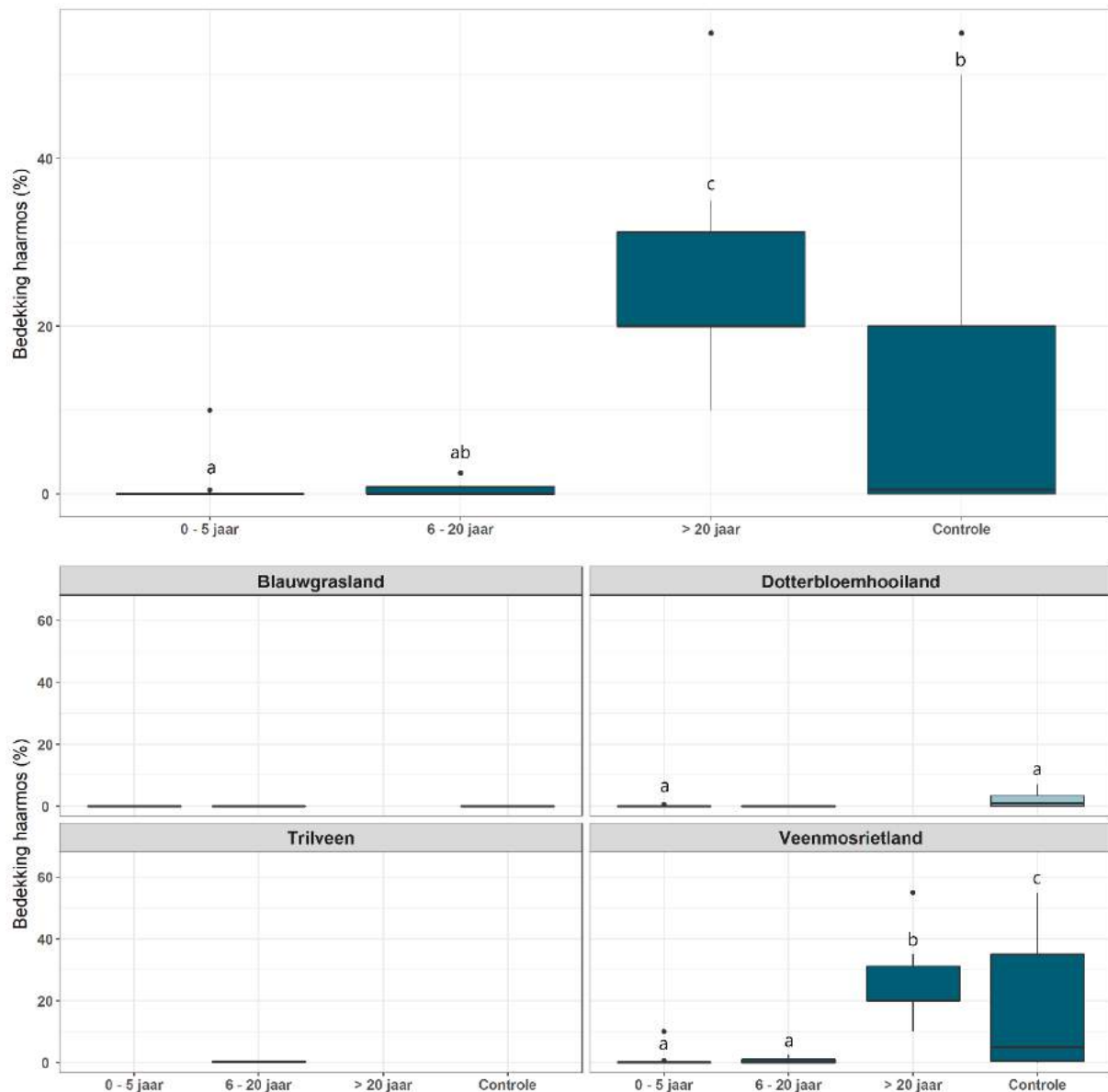
**Figuur 4.3.** Bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.2.** Moss cover of species that are characteristic for eutrophic reed lands (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.4.** Bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.4.** Moss cover of species that are characteristic for poor fens (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.5.** Bedekking met haarmos (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.5.** Cover of *Polytrichum* spp. (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.

### **Mossen van basenarme condities**

In het algemeen leidt bekalken op korte termijn tot sterke achteruitgang van mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden ( $P < 0,01$ ; Figuur 4.4). Het gaat dan vooral veenmossen als gewoon veenmos en fraai veenmos. Kort na bekalking verdwijnen deze soorten bijna volledig. Na een periode van circa vijf jaar neemt de bedekking van deze soorten echter weer sterk toe, en is er geen significant verschil meer ten opzichte van de controle. Deze veranderingen zijn vooral te zien in dotterbloemhooiland en veenmosrietland, waarbij het effect langer lijkt te duren in de dotterbloemhooilanden. In blauwgraslanden en trilvenen blijft de veenmosbedekking laag.

Ook de bedekking met haarmos is zeer laag op locaties die recent of minder dan 20 jaar geleden zijn bekalkt ( $P < 0,01$ ; Figuur 4.5). Het is daarbij opvallend dat het effect van bekalking bij haarmossen langer zichtbaar lijkt dan bij de veenmosbedekking. In het licht van de successie bezien is dit logisch: bij voortschrijdende verzuring koloniseren eerst veenmossen de locatie die de bodem verder verzuren, waarna haarmossen zich vestigen. Op locaties waar meer dan 20 jaar geleden is bekalkt, is echter weer een aanzienlijke haarmosbedekking aanwezig, vooral in veenmosrietlanden.<sup>7</sup> In blauwgraslanden, dotterbloemhooilanden en trilvenen is de haarmosbedekking sowieso laag.

Bekalking leidt dus in eerste instantie tot afname van mossen die kenmerkend zijn voor zuurdere milieus. Echter, na circa vijf jaar neemt de bedekking van deze 'zure' mossen weer toe. Veenmossen scheiden  $H^+$  uit en hebben daardoor een verzurende werking (o.a. Kooijman *et al.* 1993). Wanneer de veenmosbedekking eenmaal weer toeneemt, kunnen deze mossen snel weer dominant worden. Verzuurt de bodem nog verder, dan neemt ook de haarmosbedekking toe.

#### **4.1.2 Reactie van de kruidlaag**

##### **Totale bedekking van de kruidlaag**

Het effect van bekalking op de kruidlaag is minder sterk dan het effect op de moslaag. Bekalking heeft geen duidelijk effect op de totale kruidbedekking, hoewel deze significant lager is op de locaties die meer dan 20 jaar geleden zijn bekalkt (Figuur 4.6). Dit komt vooral doordat deze groep alleen voorkomt in de veenmosrietlanden en daar gekenmerkt wordt door een hoge bedekking van de moslaag en een lage bedekking van de kruidlaag. Hoewel een relatie met bekalking niet uit te sluiten is, is dit vermoedelijk geen bekalkingseffect maar het gevolg van de sterke verzuring op de betreffende locaties in De Ster, Het Hol en De Suikerpot.

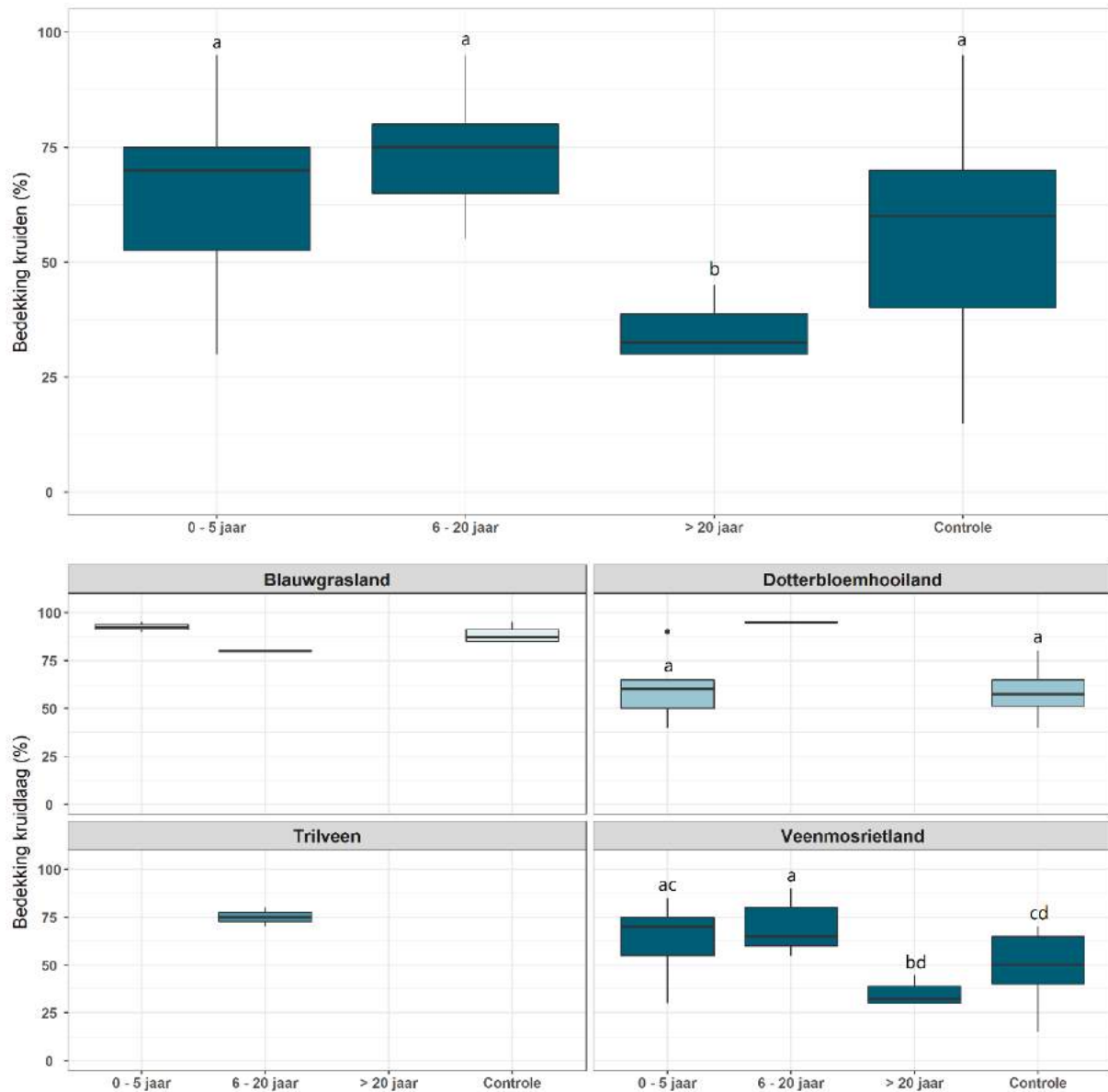
##### **Soortensamenstelling van de kruidlaag**

Bekalking leidt gedurende de eerste jaren tot een kleine verandering in de soortensamenstelling. Tot circa 5 jaar na de bekalking is er een significante toename ( $P < 0,01$ ) te zien in soorten die kenmerkend zijn voor trilvenen (Figuur 4.7). Zowel bij de blauwgraslanden als bij de dotterbloemhooilanden en veenmosrietlanden zijn er recent bekalkte plots waar meer trilveensoorten voorkomen. Het gaat om soorten als stijf struisriet (Wieden), ronde zegge (Wieden), draadzegge (Nieuwkoopse plassen en Wieden) en moeraskartelblad (Vlaardingse Vlietlanden, Nieuwkoopse plassen en Wieden). Helaas lijkt dit positieve effect maar tijdelijk van aard en is de bedekking met trilveenkruiden op locaties die langer dan vijf jaar geleden zijn bekalkt weer zeer laag. Vaatplanten die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden en veenmosrietlanden lijken geen significante effecten te ondervinden van bekalking (Figuren 4.8 en 4.9). Het is wel opvallend dat het aandeel voedselrijke rietlandsoorten en veenmosrietlandsoorten in de veenmosrietlanden significant hoger is in plots die 6 - 20 jaar geleden bekalkt zijn en dat dit

---

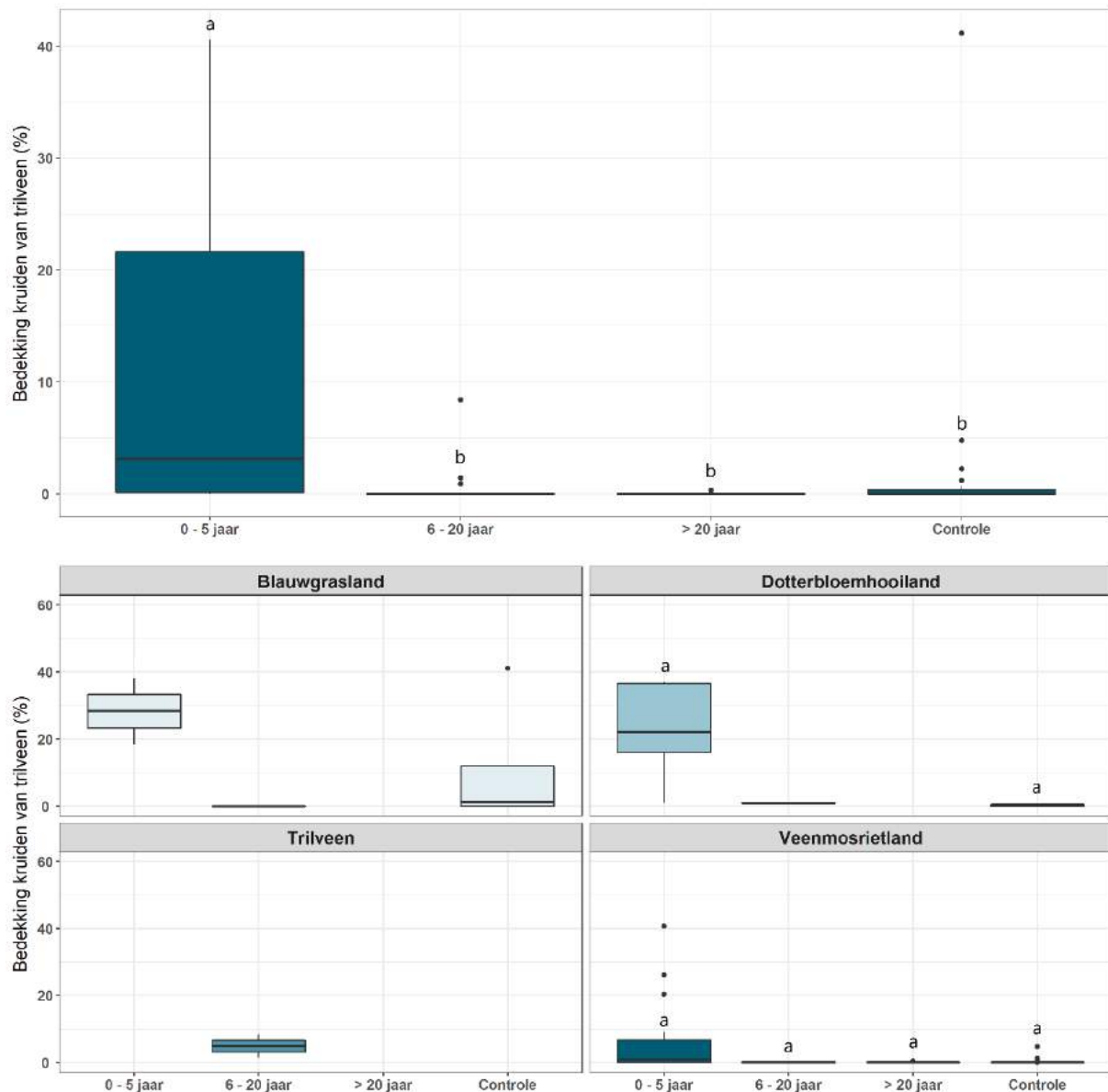
<sup>7</sup> De haarmosbedekking is in deze behandeling ook significant hoger ( $P < 0,01$ ) dan de haarmosbedekking in de controle. Het is niet duidelijk of deze hoge haarmosbedekking het gevolg is van de bekalking, of dat de locaties die meer dan 20 jaar geleden zijn bekalkt, per toeval (bijna) allemaal verder zijn verzuurd dan de controlelocaties, en daardoor een hogere haarmosbedekking hebben.

effect niet meer te zien is als de bekalking meer dan 20 jaar geleden heeft plaatsgevonden. Vermoedelijk is hier echter niet sprake van een bekalkingseffect, maar wordt dit veroorzaakt door locatie specifieke condities in de Nieuwkoopse Plassen waardoor hier relatief veel riet, wilde gagel en pijpenstrootje groeit.



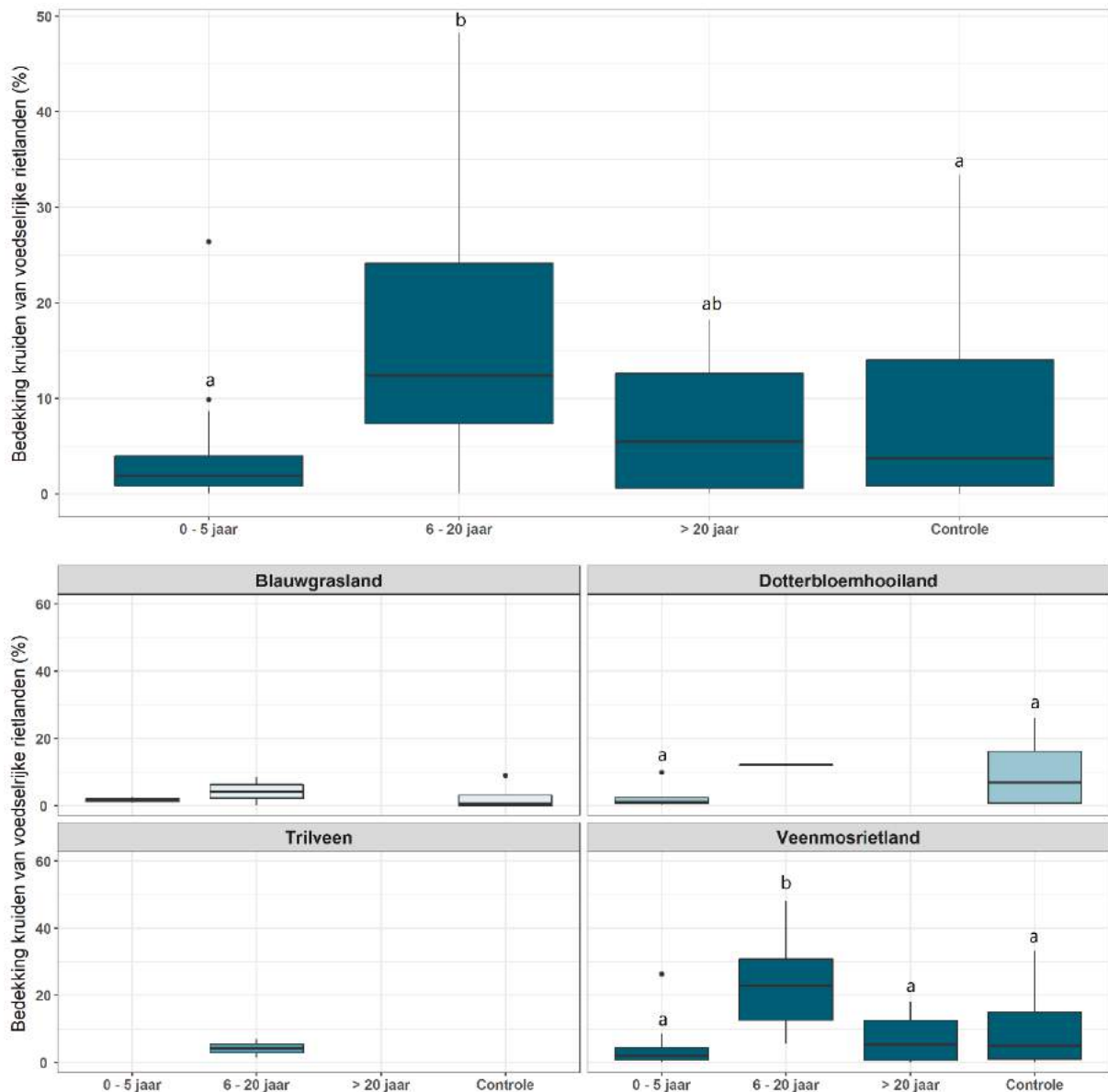
**Figuur 4.6.** Totale bedekking kruidlaag (data normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.6.** Total cover of vascular plants (data normally distributed) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



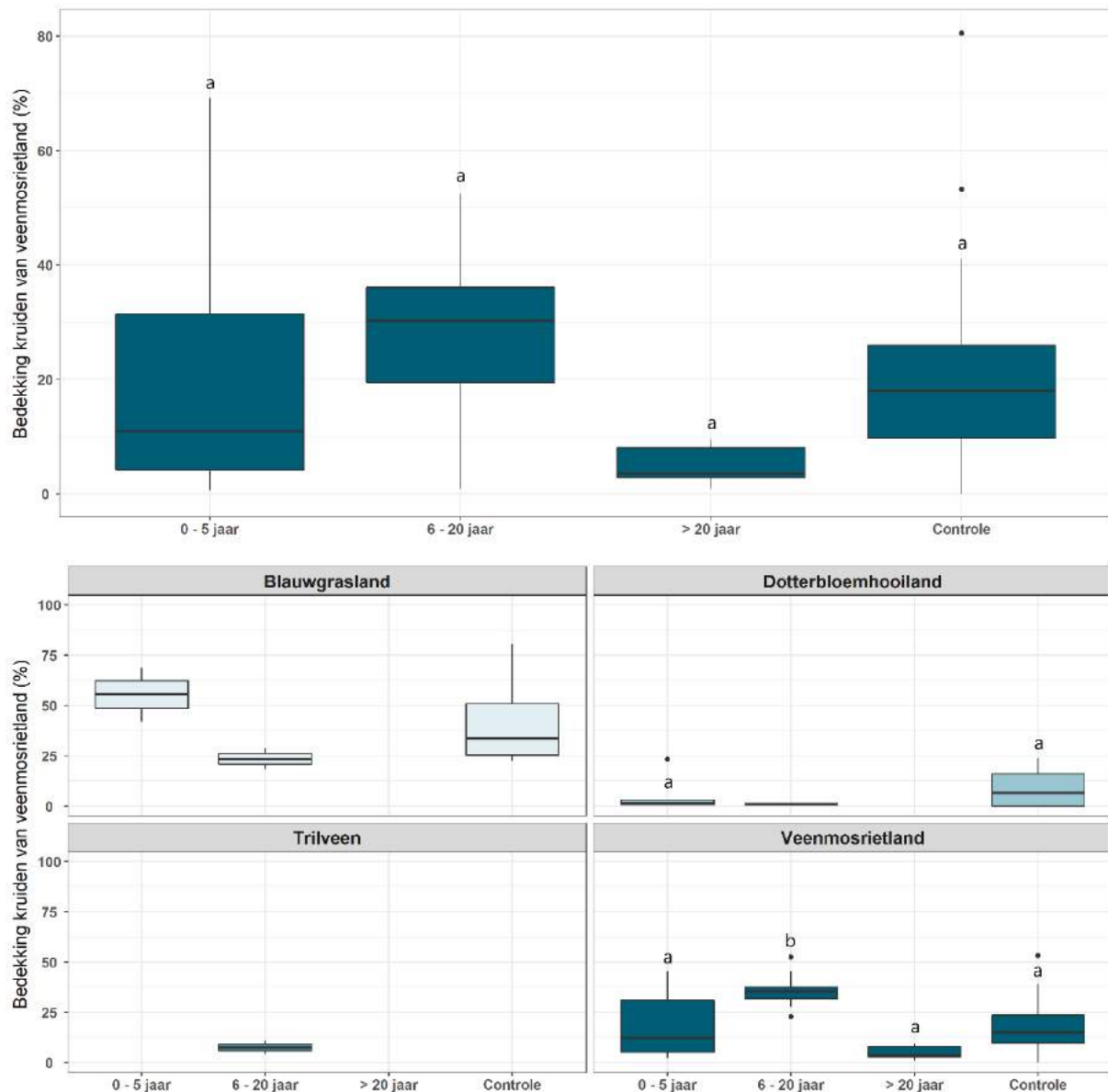
**Figuur 4.7.** Bedekking van vaatplanten die kenmerkend zijn voor trilvenen (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.7.** Cover of vascular plants that are characteristic for floating fens (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.8.** Bedekking van vaatplanten die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.8.** Cover of vascular plants that are characteristic for eutrophic reed lands (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.

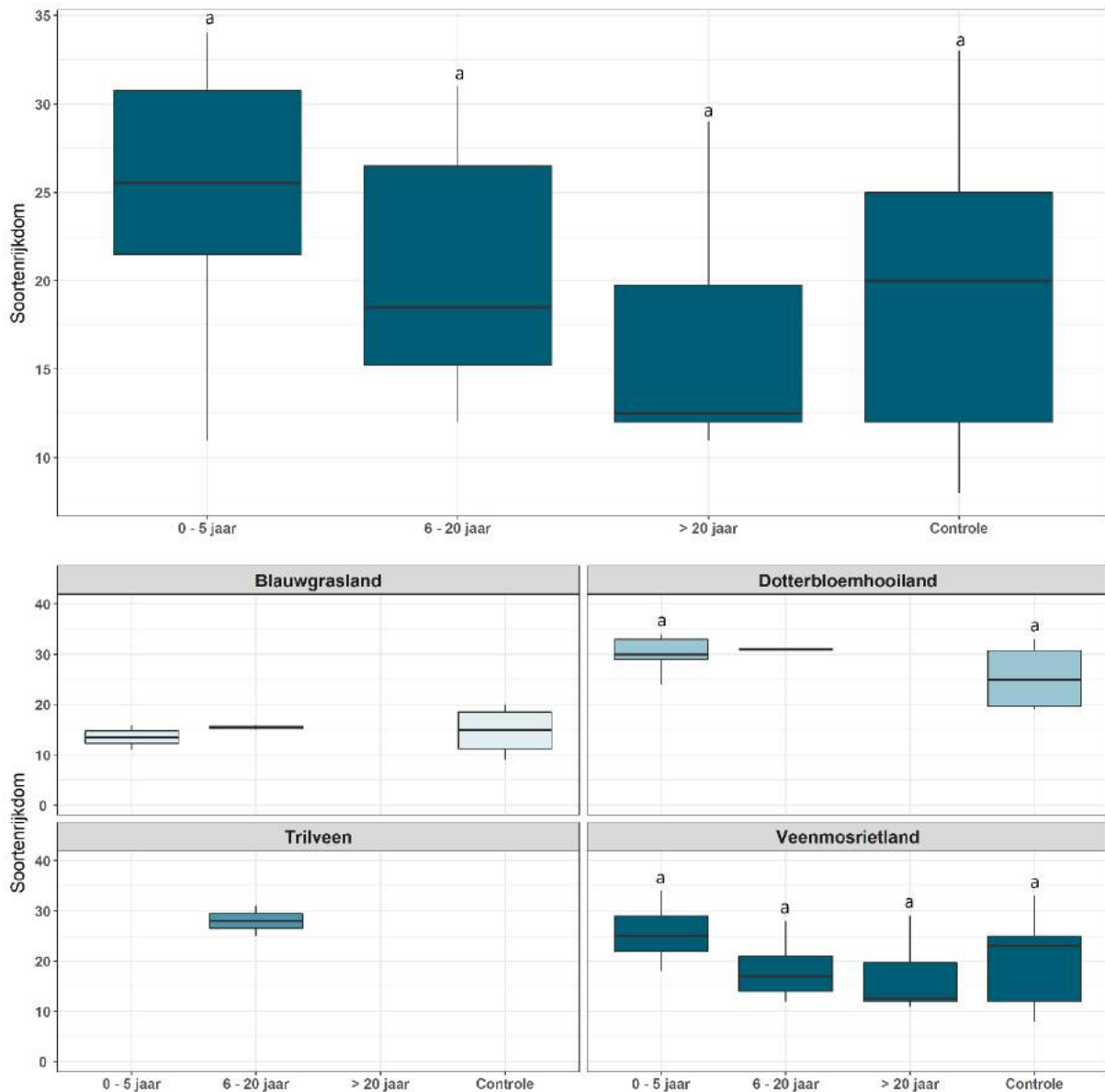


**Figuur 4.9.** Bedekking van vaatplanten die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.9.** Cover of vascular plants that are characteristic for poor fens (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.

### Effect van bekalken op de biodiversiteit

Bekalking heeft geen duidelijk effect op de biodiversiteit. De verschillen in soortenrijkdom (Figuur 4.10), Shannon index (niet getoond) en Simpson index (niet getoond) tussen controle en bekalkte plots zijn niet significant. De soortenrijkdom lijkt in recent bekalkte plots wel wat hoger te zijn dan op plekken die meer dan 20 jaar geleden zijn bekalkt, alhoewel dit verschil ook niet significant is ( $P = 0,02$ ). Dit komt door de toename van het aantal soorten direct na bekalking in een aantal plots met veenmosrietland.

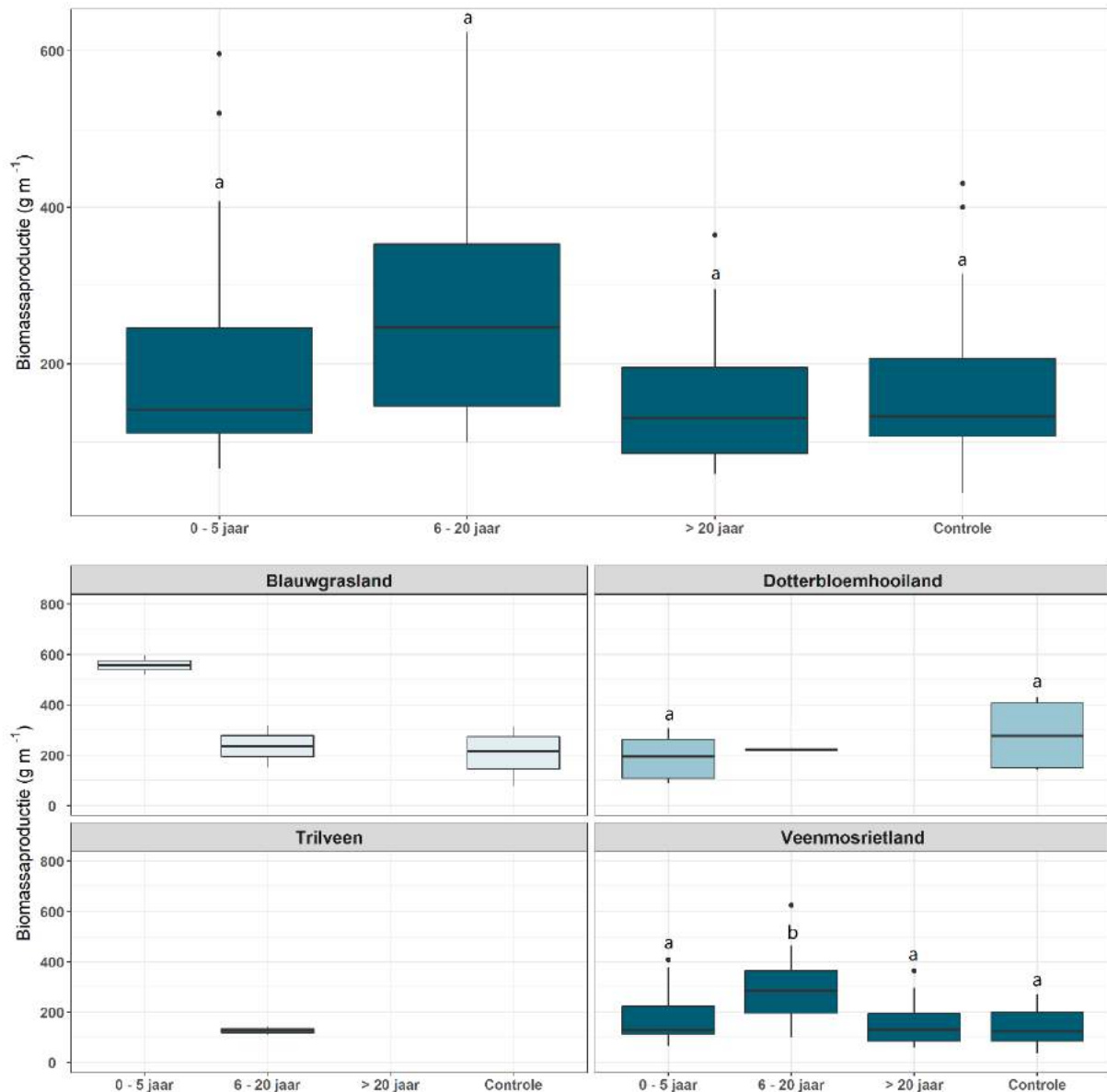


**Figuur 4.10.** Totale soortenrijkdom (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.10.** Total species richness (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.

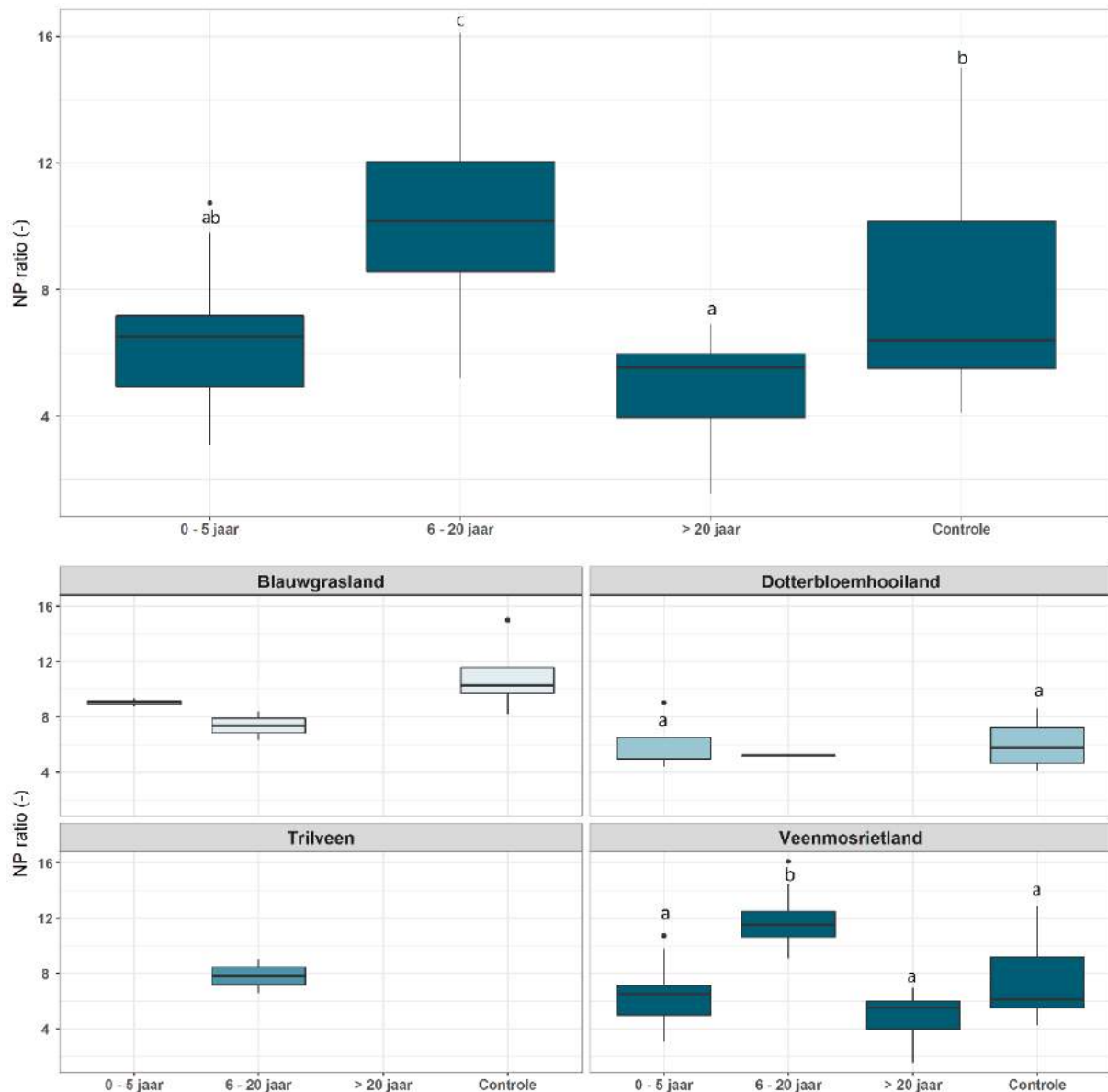
### Effect van bekalken op de biomassaproductie

Bekalking heeft geen significant effect op de bovengrondse biomassaproductie (Figuur 4.11). Dit komt mede doordat de biomassa, die door het jaarlijkse maaien een maat is voor de productiviteit van het ecosysteem, sterk varieert tussen de vegetatietypen. In blauwgrasland lijkt er wel een bekalkingseffect te zijn. In veenmosrietland is de biomassa hoger in de periode 6-20 jaar na bekalking, wat vermoedelijk samenhangt met de hogere bedekking aan kruiden van voedselrijke rietlanden in deze plots.



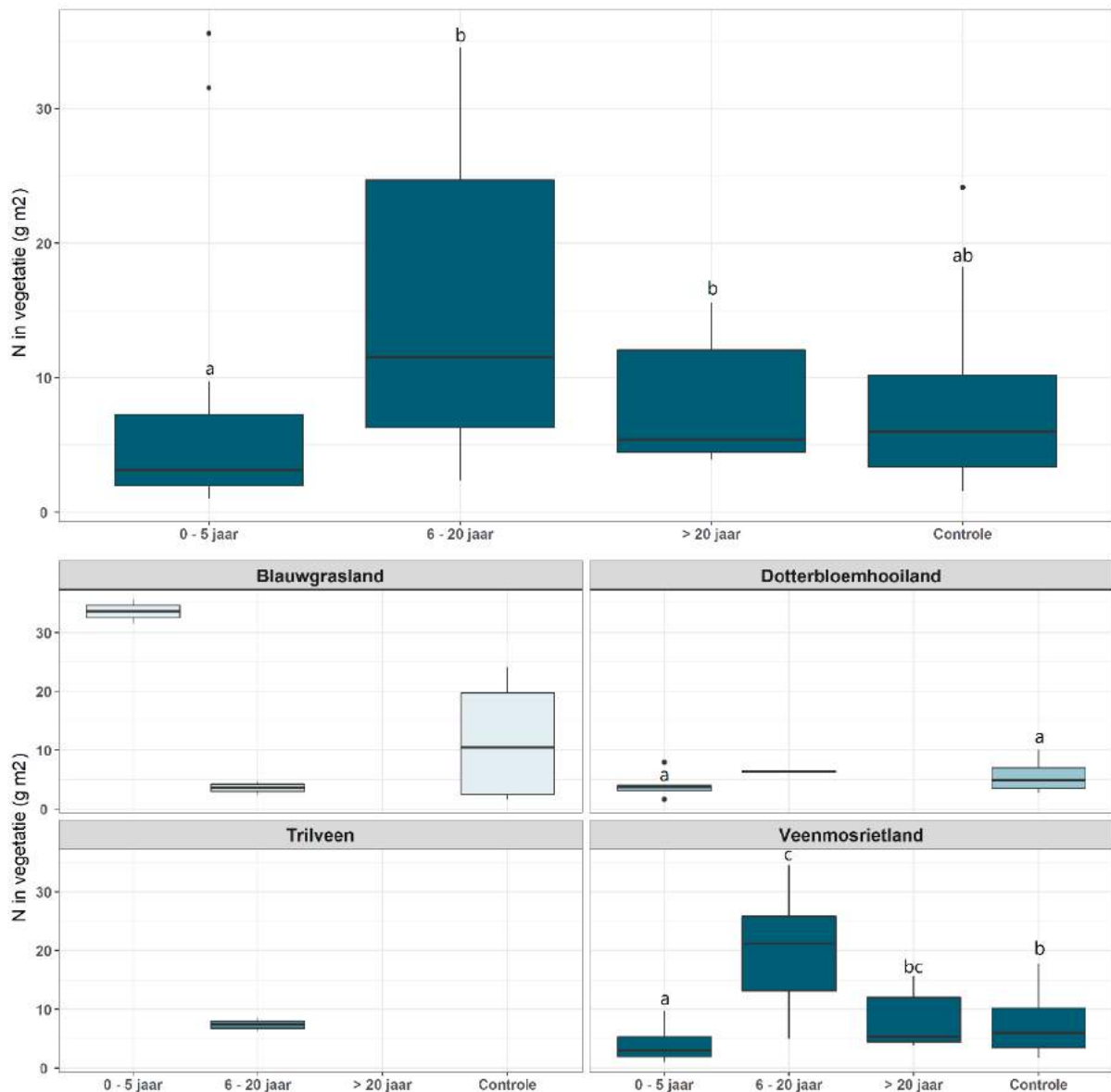
**Figuur 4.11.** Biomassaproductie in gDW/m<sup>2</sup> voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder) (data normaal verdeeld na transformatie), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.11.** Biomass production in gDW/m<sup>2</sup> for grouped data (above) and per vegetation type (below) (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



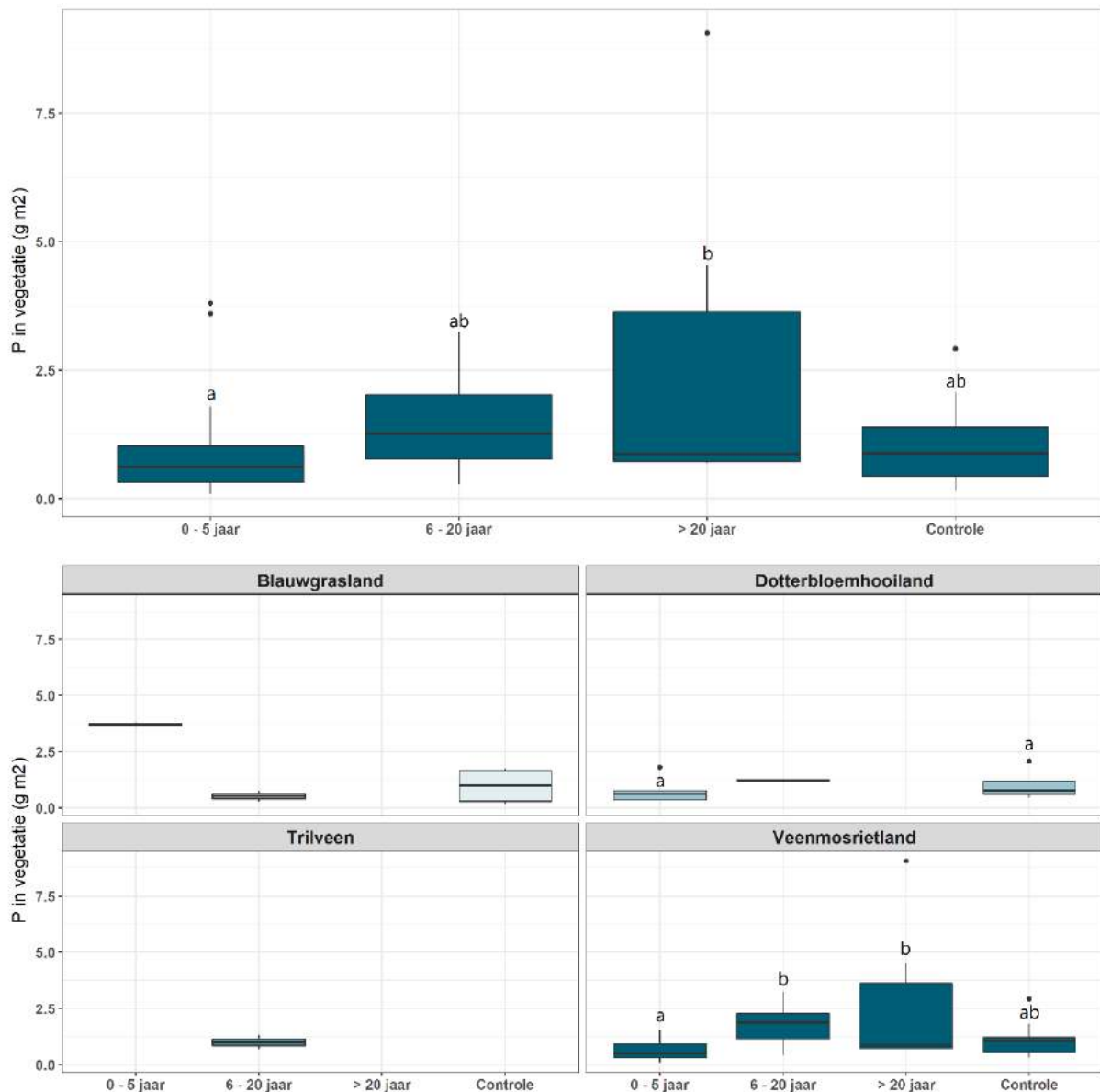
**Figuur 4.12.** N:P ratio in het bladmateriaal (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepede data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.12.** N:P ratio in aboveground tissue of vascular plants (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.13.** N in het bladmateriaal (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.13.** N in aboveground tissue of vascular plants (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.14.** *P* in het bladmateriaal (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepede data van vegetatietypen (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt en controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.14.** *P* in aboveground tissue of vascular plants (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago and control. Different letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ). Significance is only given when there are at least four data points per group.

### Effect van bekalken op N en P in de vegetatie

In het bladmateriaal van vrijwel alle bemonsterde plots is sprake van stikstoflimitatie. De N:P ratio is bijna overal  $\leq 14.5$  (Figuur 4.12; Olde Venterink *et al.* 2003). Echter, in een land als Nederland, met hoge atmosferische stikstofdepositie en veel stikstof in het oppervlaktewater, kan de beschikbaarheid van stikstof eigenlijk niet laag zijn. Dat er sprake is van 'stikstoflimitatie' betekent

vooral dat de beschikbaarheid van fosfor heel hoog is en dat fosfor geen limiterende factor is. In theorie zou de vegetatie onder dergelijke omstandigheden gevoelig kunnen zijn voor hoge stikstofdepositie. In hoeverre dit in de praktijk het geval is, is onduidelijk, omdat verschillende biogeochemische processen een rol spelen bij de beschikbaarheid van stikstof.

Bekalking lijkt de N:P ratio van de vegetatie te beïnvloeden (Figuur 4.12). Deze is significant hoger op locaties die 6 - 20 jaar geleden bekalkt zijn dan in alle andere plots, terwijl de N:P ratio juist significant lager is t.o.v. veel andere plots in de groep die meer dan 20 jaar geleden is bekalkt. Dit komt vooral doordat de hoeveelheid N in het bladweefsel in redelijk wat veenmosrietlanden die 6 - 20 jaar geleden bekalkt zijn hoger is (Figuur 4.13), terwijl de hoeveelheid P in het bladweefsel juist hoger is in redelijk wat veenmosrietlanden die meer dan 20 jaar geleden bekalkt zijn (Figuur 4.14). Ondanks de significante verschillen, is er vermoedelijk niet sprake van een bekalkingseffect. In de groep 6-20 jaar na bekalking zijn namelijk vrijwel alle plots gelegen in veenmosrietlanden uit de Nieuwkoopse plassen, terwijl de plots die langer dan 20 jaar geleden bekalkt zijn allemaal in de Oostelijke Vechtpassen liggen. Er is dan ook waarschijnlijk sprake van een gebiedseffect.

#### **4.1.3 Aanvullende resultaten voor veenmosrietlanden**

##### **Effect van bekalken op de moslaag**

Ten opzichte van de referentiedataset van Van Diggelen *et al.* (2018) is er in de recent bekalkte veenmosrietlanden een significant lagere mosbedekking (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17,  $P < 0,01$ ). De controles van het bekalkingsonderzoek en de bekalkte veenmosrietlanden die zes jaar of langer geleden zijn bekalkt, verschillen niet met deze referentiedataset (Tabel 7.1). Dit wijst erop dat de verschillen die in de bekalkte plots zijn aangetroffen, daadwerkelijk het effect zijn van de bekalking, en niet van natuurlijke, ruimtelijke variatie tussen de veenmosrietlandlocaties. Wanneer naar de kenmerkende mosgroepen wordt gekeken dan blijkt dat vooral de veenmossen en haarmossen in recent bekalkte veenmosrietlanden hard achteruitgaan in bedekking, waarbij de veenmosbedekking al na een decennium op het oude niveau zit en de haarmosbedekking na circa 2 decennia lijkt 'hersteld' (Figuren 4.4 en 4.5).

De afname van mossen die kenmerkend zijn voor (relatief) zure condities in de eerste vijf jaar na bekalking (van veenmossen en haarmossen), wordt in veenmosrietlanden ten dele gecompenseerd door een significante toename van mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden ten opzichte van de controle (Figuur 4.3,  $P < 0,01$ ). Het gaat daarbij vrijwel altijd om een toename van gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*). Hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*) is slechts in twee vegetatieplots aangetroffen, met een bedekking op de schaal van Braun-Blanquet van respectievelijk '+' (ca. 0,5%) en '2a' (5 - 15%). Er is geen significante toename meer van gewoon puntmos in plots die langer geleden zijn bekalkt. Het effect lijkt dus enkele jaren zichtbaar, maar wordt vervolgens weer tenietgedaan door de uitbreidende veenmosbedekking

##### **Effect van bekalken op de kruidlaag en de bovengrondse biomassa-productie**

Het effect van bekalken op de kruidlaag van veenmosrietlanden is minder sterk dan het effect op de moslaag. Zoals eerder beschreven, laat bekalking geen duidelijke effecten zien op de bedekking en samenstelling van de kruidlaag of de bovengrondse biomassa-productie van de onderzochte veenmosrietlanden. De samenstelling van de kruidlaag in de (in dit onderzoek) onderzochte bekalkte plots en controleplots is echter wel significant anders dan de samenstelling van de kruidlaag in de veenmosrietlanden die in het onderzoek van Van Diggelen *et al.* (2018) zijn onderzocht (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17). Ook de controleplots van het bekalkingsonderzoek zijn qua vaatplantensamenstelling anders dan in het onderzoek van Van Diggelen *et al.* (2018): in de controleplots van het huidige onderzoek is de totale kruidbedekking significant lager ( $P < 0,01$ ). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een significant lagere bedekking met vaatplanten van voedselrijke rietlanden (Tabel 7.1,  $P < 0,01$ ). De bedekking met vaatplanten van voedselrijke rietlanden is in de 'referentiedataset' vergelijkbaar met de bedekking in onze behandeling "6 - 20

jaar geleden bekalkt”, die wordt gedomineerd door locaties uit de Nieuwkoopse plassen. Het feit dat de bedekking in deze groep significant hoger is binnen de bekalkingsdataset, is dus vermoedelijk een locatie-effect en geen bekalkingseffect.

#### **Effect van bekalken op N en P in de vegetatie**

In de meeste onderzochte veenmosrietlandplots is de N:P ratio in het bladweefsel lager dan in de referentiedataset van Van Diggelen *et al.* (2018) (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17). In de veenmosrietlanden uit het onderzoek van Van Diggelen *et al.* (2018) was de N:P ratio  $14,5 \pm 4,17$ , terwijl de N:P ratio's in de onderzochte bekalkte en onbekalkte plots tussen de 6 en 12 liggen.

#### **Effect van bekalken in combinatie met plaggen**

Voor dit onderzoek is ook het effect van bekalken in combinatie met plaggen op de vegetatie en biogeochemie onderzocht. Er zijn 6 plots bemonsterd, die allemaal in een veenmosrietland liggen en 22 jaar geleden zijn geplagd en bekalkt. Het gaat om plots in De Ster, Het Hol (3) en De Suikerpot.

Bekalken in combinatie met plaggen heeft geen effect op de vegetatiesamenstelling van de moslaag of vaatplanten, of op de biodiversiteit en biogeochemische condities in de vaatplanten: er zijn geen significante verschillen tussen de controleplots, de bekalkte plots en de bekalkte én geplagde plots waargenomen (resultaten niet getoond). Hierbij dient echter wel te worden opgemerkt dat er alleen gegevens beschikbaar waren voor locaties die ruim 20 jaar geleden zijn bekalkt en geplagd. Het blijft daardoor nog onduidelijk of plaggen op de kortere termijn wel aanvullende positieve effecten heeft ten opzichte van alleen bekalken. Het onderzoek van Barendregt *et al.* (2004) wijst hier wel op.

#### **4.1.4 Aanvullende resultaten voor dotterbloemhooilanden**

Significante effecten van bekalking ten opzichte van de controle zijn alleen onderzocht voor recente bekalking. In dotterbloemhooiland is namelijk slechts één plot bemonsterd die 6 - 20 jaar geleden is bekalkt en geen enkel plot is meer dan 20 jaar geleden bekalkt.

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

Bekalking heeft in dotterbloemhooiland geen significant effect op de totale mosbedekking (Figuur 4.1). Wel leidt bekalking tot een verandering in de samenstelling van de moslaag. Bekalking in de van nature relatief basenrijke dotterbloemhooilanden leidt tot een significante afname van de bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden (Figuur 4.4,  $P < 0,01$ ). In dit geval gaat het vooral om gewoon veenmos en fraai veenmos. De bedekking met haarmossen (Figuur 4.18) was zowel in de behandeling als in de controles zeer laag. De bedekking met haarmossen verschilt dan ook niet significant tussen bekalkte en niet-bekalkte locaties.

Tegenover de relatief lage bedekking van mossen die kenmerkend zijn voor (relatief) zure condities op recent bekalkte dotterbloemhooilanden staat een relatief hoge bedekking van mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden (Figuur 4.3) en trilvenen (Figuur 4.2). Hoewel de bedekking van deze mossen op verschillende locaties hoger is in de recent bekalkte plots dan in de controle, is het verschil niet significant. Dit heeft vermoedelijk te maken met (a) de relatief grote spreiding in de bedekking met deze mossen in de recent bekalkte plots en met (b) het relatief kleine aantal samples per groep.

Voornamelijk in de bemonsterde dotterbloemhooilanden in De Wieden nam de bedekking met veenknikmos (*Bryum pseudotriquetum*, kenmerkend voor trilveen) en gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*, kenmerkend voor voedselrijke rietlanden) toe. In de Vlaardingse Vlietlanden nam op één locatie de bedekking met de voedselrijke rietlandmosses gewoon puntmos (*C. cuspidata*) en hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*) toe. Op twee andere locaties leidde

de bekalking tot een toename van gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*). Gewoon haakmos is een soort die vaak verschijnt op locaties waar sprake is van verstoring. Ook bekalking kan als een verstoring van het habitat worden gezien.

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag en de bovengrondse biomassa-productie**

Bekalken leidt niet tot een verandering van de totale bedekking van de kruidlaag, of tot een verandering in de bovengrondse biomassa-productie van dotterbloemhooilanden. Wel lijkt er in een deel van de bekalkte plots een (sterke) toename in de bedekking met kruiden van trilvenen (Figuur 4.7), hoewel het verschil niet significant is. Het gaat vooral om moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*) en ronde zegge (*Carex diandra*).

#### **Effect van bekalken op N en P in de vegetatie**

De N:P ratio's in de vegetatie van de onderzochte dotterbloemhooilanden variëren tussen 4,1 en 9,0 en verschillen niet tussen bekalkte en onbekalkte plots. Dit is in lijn met onderzoeken in andere dotterbloemhooilanden: er is zelden sprake van P-limitatie, meestal is er sprake van N-, K- of N/K-limitatie (o.a. Inberg 1995).

### **4.1.5 Aanvullende resultaten voor blauwgraslanden**

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

Bekalking lijkt in blauwgraslanden niet te leiden tot een verandering van de bedekking of samenstelling van de moslaag (Figuren 4.1 t/m 4.5). De moslaag bestaat op het Unlân van Jelsma voornamelijk uit heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) en gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*). Beide soorten zijn kenmerkend voor wat drogere omstandigheden. In de Nieuwkoopse plassen bestond de moslaag van de blauwgraslandlocatie in De Haak uit vrij veel veenmos (*Sphagnum palustre* en *Sphagnum fallax*). De mosbedekking in deze blauwgraslanden was aanzienlijk lager dan in de overige vegetatietypen (Figuur 4.1).

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag en de bovengrondse biomassa-productie**

Bekalken lijkt niet te leiden tot een verandering van de totale bedekking van de kruidlaag. De bovengrondse biomassa-productie lijkt recent na bekalking wel te zijn toegenomen. Ook de bedekking met kruiden die kenmerkend zijn voor trilvenen was wat hoger in recent bekalkte plots (Figuur 4.7). Het gaat daarbij om draagzegge (*Carex lasiocarpa*), dat in de bekalkte plots een relatief hoge bedekking heeft. Het is aannemelijk dat de toename van deze relatief basenminnende soort bij een aantal plots het gevolg is van de bekalking.

#### **Effect van bekalken op N en P in de vegetatie**

De N:P ratio's in de vegetatie van de onderzochte blauwgraslanden zijn, op één ratio van 15,0 na, allemaal lager dan 14,5 en lijken niet te verschillen tussen bekalkte en onbekalkte plots. Er is dus in de meeste gevallen vermoedelijk sprake van N-limitatie. Van oorsprong zijn blauwgraslanden echter P-gelimiteerd (Pegtel 1983) of P-N-gecolimiteerd (Van Duren 2000). In de onderzochte blauwgraslanden was de P-beschikbaarheid vermoedelijk dermate hoog dat er geen sprake (meer) was van P-limitatie. Tegenwoordig is dit vaker het geval in blauwgraslanden. Het vermestende effect van stikstof is door de verschuiving van P-limitatie of P-N-colimitatie naar N-limitatie vermoedelijk groter geworden (Beije *et al.* 2012).

### **4.1.6 Aanvullende resultaten voor trilvenen**

Het effect van bekalking op de vegetatie van trilvenen kan niet goed bepaald worden doordat er slechts twee plots in trilveen (beide bekalkt in het Kortenovertje) zijn bemonsterd. Wel is de vegetatie in de bekalkte plots te vergelijken met een dataset waarin verschillende trilvenen zijn bemonsterd (Van Diggelen *et al.* 2018). Deze dataset kan als referentie worden beschouwd. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat de uitgangssituaties van de trilvenen sterk (kunnen) verschillen. Significante verschillen hoeven dan ook niet (direct) het gevolg te zijn van bekalking.

### **Effect van bekalken op de moslaag**

De bedekking van de moslaag was in de bekalkte plots significant lager dan in de referentiedataset (Tabel 7.2 in paragraaf 7.17,  $P < 0,01$ ). Daarnaast is ook de bedekking met trilveenmossen ( $P < 0,01$ ) significant lager op de bekalkte locatie dan in de referentiedataset (Van Diggelen *et al.* 2018). De bedekking met mossen van voedselrijke rietlanden is in de bekalkte plots significant hoger dan in de referentiedataset ( $P < 0,01$ ). Dit wordt veroorzaakt doordat gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) in de bekalkte plots een vrij hoge bedekking had, terwijl de moslaag in referentie trilvenen wordt gedomineerd door schorpioenmossen (*Scorpidium scorpioides* en/of *Scorpidium cossonii*) en sterrengoudmos (*Campylium stellatum*). Het is niet geheel duidelijk of de verschillen in de moslaag zijn veroorzaakt door de bekalking, maar vermoedelijk was het trilveen in het Kortenovertje al voor de bekalking van een mindere kwaliteit dan de trilvenen in de referentiedataset (mondelinge mededeling van de lokale beheerders). De bedekking van de overige mossen verschilt niet significant tussen de bekalkte plots en de referentiedataset.

### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

Er is geen significant verschil tussen de bedekking van de kruidlaag in bekalkte trilveenplots en de plots in de referentiedataset (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17). De samenstelling van de kruidlaag in de bekalkte plots verschilt echter wel significant van die in de referentiedataset (Van Diggelen *et al.* 2018). De bedekking met vaatplanten van trilveen is in de bekalkte plots lager dan in de (niet-bekalkte) plots uit de referentiedataset ( $P = 0,01$ ). Net als bij de verschillen in de moslaag, is het ook hier niet geheel duidelijk of dit verschil het gevolg is van de bekalking of van een oorspronkelijk kwaliteitsverschillen tussen de bemonsterde locaties, maar vermoedelijk was het trilveen in het Kortenovertje al voor de bekalking van een mindere kwaliteit dan de trilvenen in de referentiedataset (mondelinge mededeling van de lokale beheerders).

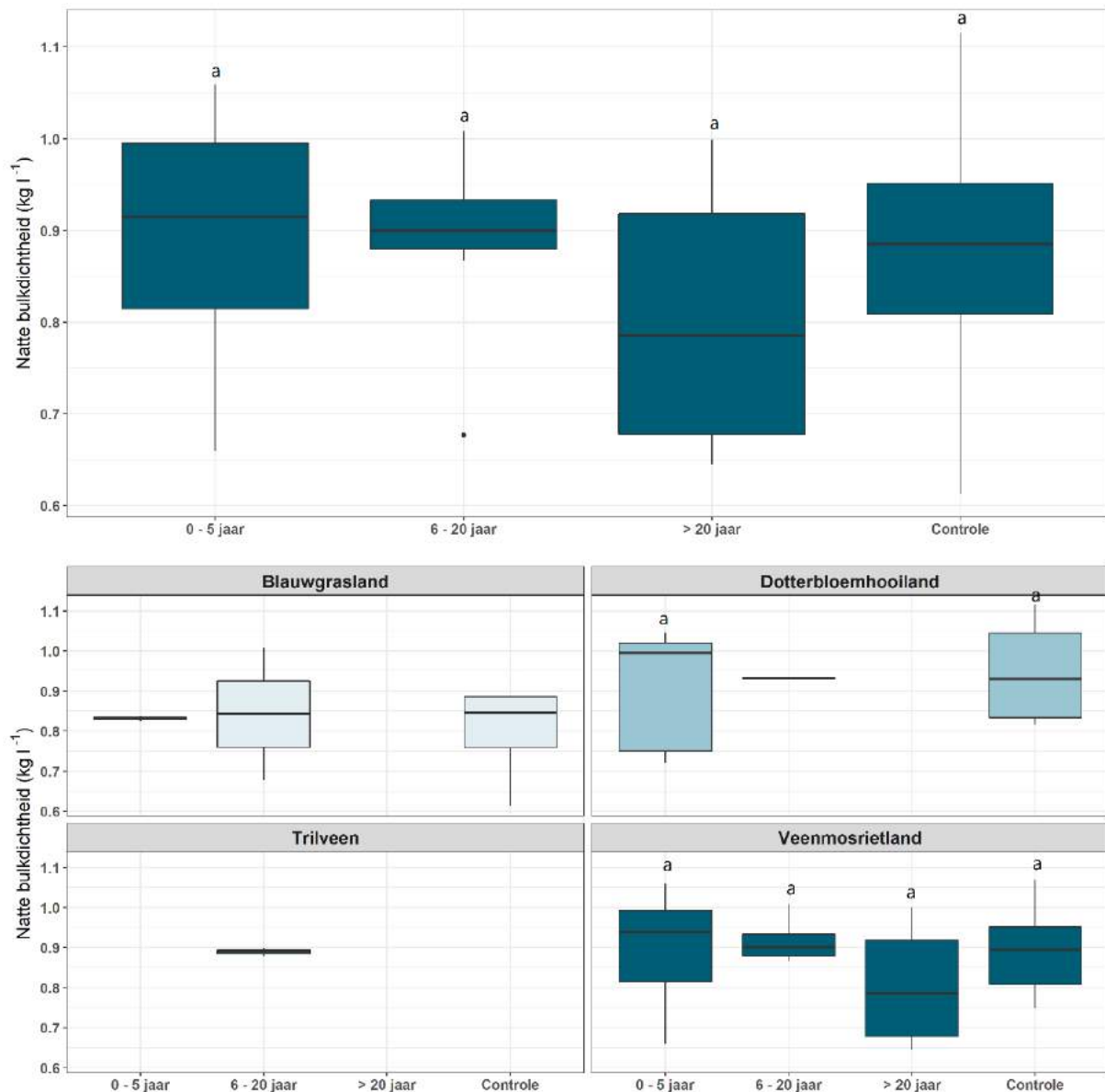
### **Effect van bekalken op N en P in de vegetatie**

Een goed ontwikkeld trilveen wordt vaak gelimiteerd door fosfor (o.a. Pawlikowski *et al.* 2013; Kooijman *et al.* 2018; van Diggelen *et al.* 2018). Het bemonsterde trilveen in het Kortenovertje was van matige kwaliteit (zonder o.a. schorpioenmossen) en had een N:P ratio van circa 8. Dit betekent dat het bemonsterde trilveen niet P-, maar N-gelimiteerd is. De N:P ratio uit het bekalkte trilveen van het Kortenovertje is dan ook fors lager dan de N:P ratio's in de bemonsterde trilvenen van Van Diggelen *et al.* (2018), waarin de N:P ratio's voor goed ontwikkelde trilvenen ongeveer rond de 20 lag (Tabel 7.2 in paragraaf 7.17). Deze referentie trilvenen waren dus P-gelimiteerd.

## **4.2 Effecten van bekalking op de bodemchemie**

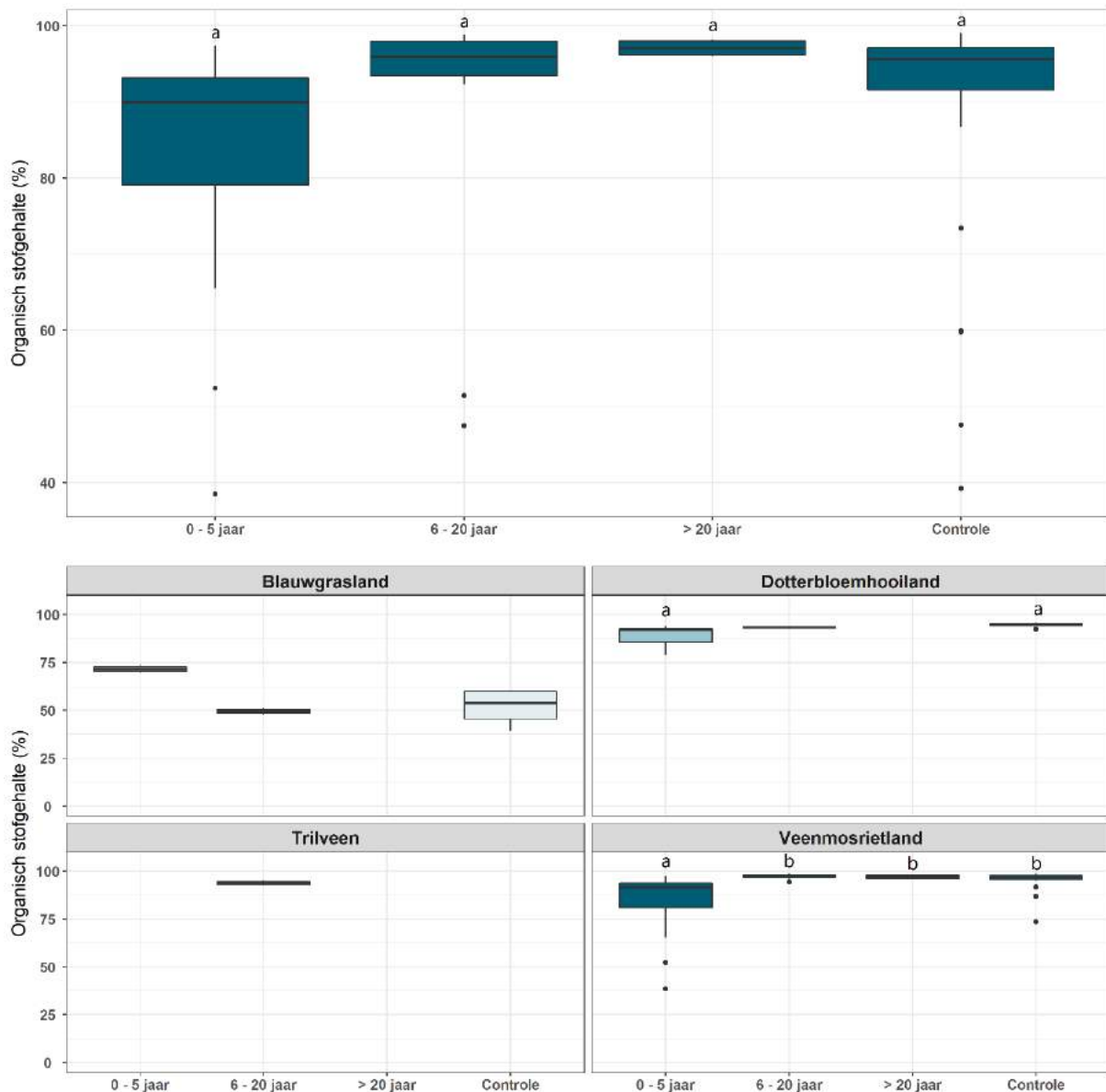
### **4.2.1 Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organische stofgehalte**

Bekalking heeft in het algemeen geen duidelijke effecten op de natte en droge bulkdichtheid van de bodem en het organisch stofgehalte van de bodem (Figuren 4.15 en 4.16; droge bulkdichtheid is niet getoond) van de bodem wanneer geen onderscheid wordt gemaakt tussen vegetatietypen. Het is opvallend dat het organisch stofgehalte in recent bekalkte veenmosrietlanden significant lager is dan in controleplots en locaties die langer dan 5 jaar geleden zijn bekalkt (Figuur 4.16). Uit tabel 7.1 (paragraaf 7.17) blijkt dat het organisch stofgehalte in recent bekalkte veenmosrietlanden ook significant lager is dan in de 'referentiedataset' van Van Diggelen *et al.* (2018). Vermoedelijk is dit het gevolg van de sterke afname in veenmosbedekking in de bekalkte plots (paragraaf 4.1.1). Hoewel verhoogde mineralisatie in theorie ook een verklaring kan zijn voor het lagere organische stofgehalte, lijkt dit niet heel waarschijnlijk: noch de biomassa-productie (Figuur 4.11), noch de nutriëntgehalten in de bodem (paragraaf 4.2.3) verschillen namelijk significant tussen de behandelingen. Bij de blauwgraslanden is overigens een precies omgekeerd effect te zien, waarbij het organische stofgehalte in de recent bekalkte plots hoger lijkt dan in de controleplots (Figuur 4.16). Mogelijk is deze toename het gevolg van een verhoogde biomassa-productie in het bekalkte blauwgrasland in De Haak (Nieuwkoopse plassen; paragraaf 7.10).



**Figuur 4.15.** Natte bulkdichtheid (data normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.15.** Wet bulk density (data normally distributed) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.16.** Organisch stofgehalte (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.16.** Organic matter content (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.

#### 4.2.2 Effect van bekalken op de basenhuishouding

De vegetatie die is aangetroffen op een locatie hangt voor een groot deel samen met de basenhuishouding op de betreffende locatie. Hierbij speelt de buffercapaciteit van de bodem - de mate waarin een bodem veranderingen in de zuurgraad kan opvangen - een belangrijke rol. De pH in de onderzochte plots varieerde tussen circa 3,5 en 6,8 (Figuur 4.17). Afhankelijk van de pH zijn er verschillende mechanismen verantwoordelijk voor de buffering van aangevoerde en geproduceerde protonen ( $H^+$ ) in een bodem (o.a. Ulrich 1981). Boven een pH van 6,8 kan er

buffering plaatsvinden doordat zuur reageert met kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) dat in de bodem aanwezig is. Hierbij komen bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) en calcium (Ca) vrij. In Nederlandse veenbodems speelt dit proces vrijwel nooit een belangrijke rol, omdat deze bodems weinig/geen vast kalk bevatten. In Nederlandse venen met een pH van boven de circa 6,2 is bicarbonaat echter toch het belangrijkste buffermechanisme. Aanwezig bicarbonaat (als gevolg van aanvoer van bicarbonaatrijke kwel- of oppervlaktewater en/of productie van bicarbonaat onder anaerobe afbraakprocessen) buffert onder dergelijke basenrijke maar kalkarme condities veel van de aangevoerde en geproduceerde  $\text{H}^+$  (o.a. Van Diggelen *et al.* 2018). Zodra de pH nog verder zakt en tussen de 6,5 en 4,2 komt te liggen, wordt de pH-buffering steeds meer bepaald door kationenuitwisseling met het adsorptiecomplex. Positief geladen (kat)ionen als calcium, magnesium en kalium aan het bodemadsorptiecomplex worden dan uitgewisseld voor  $\text{H}^+$  (zie o.a. Aggenbach *et al.* 2020 voor een gedetailleerdere omschrijving van dit proces). Onder de pH 5,0 is er geen  $\text{HCO}_3^-$  meer in oplossing (alle anorganische koolstof is dan aanwezig als  $\text{CO}_2$ ), terwijl er tussen de pH 6,5 en 5,0 een overgang plaatsvindt waarbij zowel het  $\text{HCO}_3^-$  als het kationuitwisselingsbuffering een rol spelen (o.a. Van Diggelen *et al.* 2018). Buffering via kationenuitwisseling is een zeer snel proces (Bunzi *et al.* 1976), maar de capaciteit wordt wel steeds lager als de pH afneemt doordat er dan steeds meer  $\text{H}^+$  aan het bodemadsorptiecomplex komt te zitten. De aanvoer van kationen kan dan dus een belangrijke rol spelen om het bodemadsorptiecomplex weer op te laden en verdere verzuring te voorkomen (o.a. Van Diggelen *et al.* 2018). Zakt de pH onder 4,5, dan treden het aluminiumbuffertraject (pH < 4,5) en het ijzerbuffertraject (pH < 3) in werking.

Op de meeste bemonsterde locaties is zowel de buffering door binding van calcium, magnesium en kalium aan het adsorptiecomplex als de bicarbonaatbuffering van belang voor de pH-buffering. Bekalken, waarbij zowel calcium en magnesium als bicarbonaat aan de bodem worden toegevoegd, leidt op de korte termijn tot een verhoging van de pH in met name veenmosrietlanden (Figuur 4.17;  $P < 0,01$ ). Het effect van bekalken met calcium en magnesium is logischerwijs ook terug te zien in de calcium- en magnesiumconcentraties van de bodem (Figuren 4.18 en 4.19;  $P < 0,05$ )<sup>8</sup>. Beide concentraties zijn in recent bekalkte plots significant hoger dan in de controle. Het EGV is ook significant hoger in de recent bekalkte plots dan in de controleplots, waarbij deze verhoging met name in de veenmosrietlanden is te zien (Figuur 4.20,  $P < 0,01$ ). Ten slotte neemt ook de basenbezetting toe als gevolg van de bekalking: locaties die maximaal 5 jaar geleden bekalkt zijn, hebben een significant hogere basenbezetting dan de controles (Figuur 4.21;  $P < 0,01$ ).

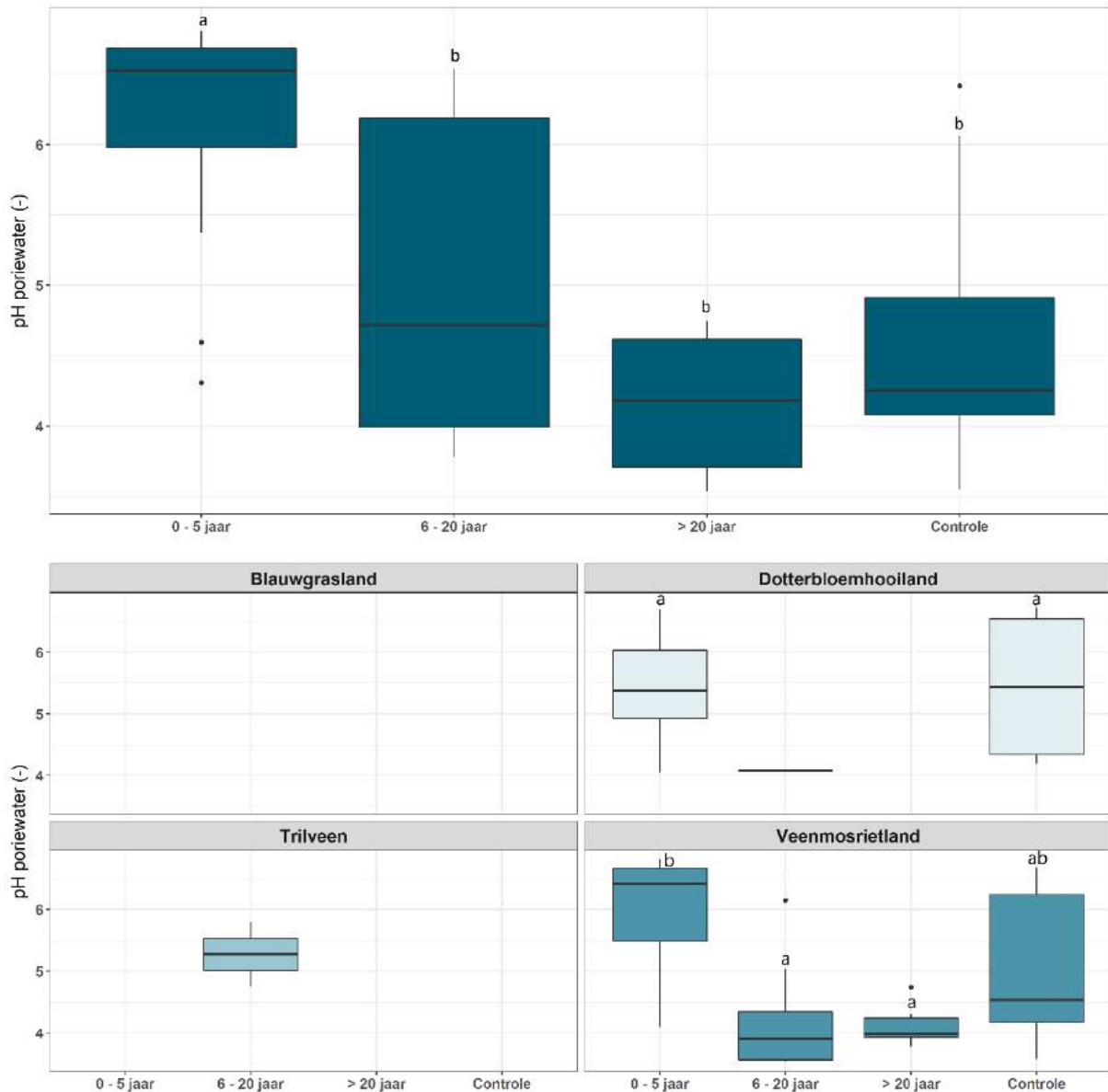
Bekalken leidt niet alleen tot een toename van de calcium- en magnesiumconcentraties in de bodem en aan het adsorptiecomplex, maar ook tot een significante toename van anorganisch koolstofgehalte (IC) in de bodems (Figuur 4.22). Bij bekalking wordt calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) en magnesiumcarbonaat ( $\text{MgCO}_3$ ) toegevoegd. Dit reageert met  $\text{H}^+$ , waarbij bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) of, bij lagere pH,  $\text{CO}_2$  wordt gevormd. Het vrijkomende bicarbonaat en  $\text{CO}_2$  verhogen dus de concentraties aan anorganische koolstof. De resultaten tonen aan dat het effect van bekalking op het anorganisch koolstofgehalte enkele jaren zichtbaar blijft (Figuur 4.22;  $P < 0,05$ ). Dit verschil is voor bicarbonaat (dat een pH-bufferende werking heeft in tegenstelling tot  $\text{CO}_2$ ) echter niet significant ten opzichte van de controle (Figuur 4.23). Dit wordt veroorzaakt doordat de pH in verschillende recent bekalkte plots relatief laag blijft, waardoor het toegevoegde calciumcarbonaat wordt omgezet tot  $\text{CO}_2$ , dat vervolgens vervliegt, in plaats van tot  $\text{HCO}_3^-$ .

Als gevolg van de significant hogere calcium- en magnesiumconcentraties in de bodem, verandert ook de potentiële verzuringscapaciteit van de bodem als gevolg van verdroging. De potentiële verzuringscapaciteit is berekend als de verhouding tussen zwavel, calcium en magnesium in het porievocht. Er bestaat een risico op sterke verzuring in verdrogende venen wanneer de  $S/(\text{Ca}+\text{Mg})$

---

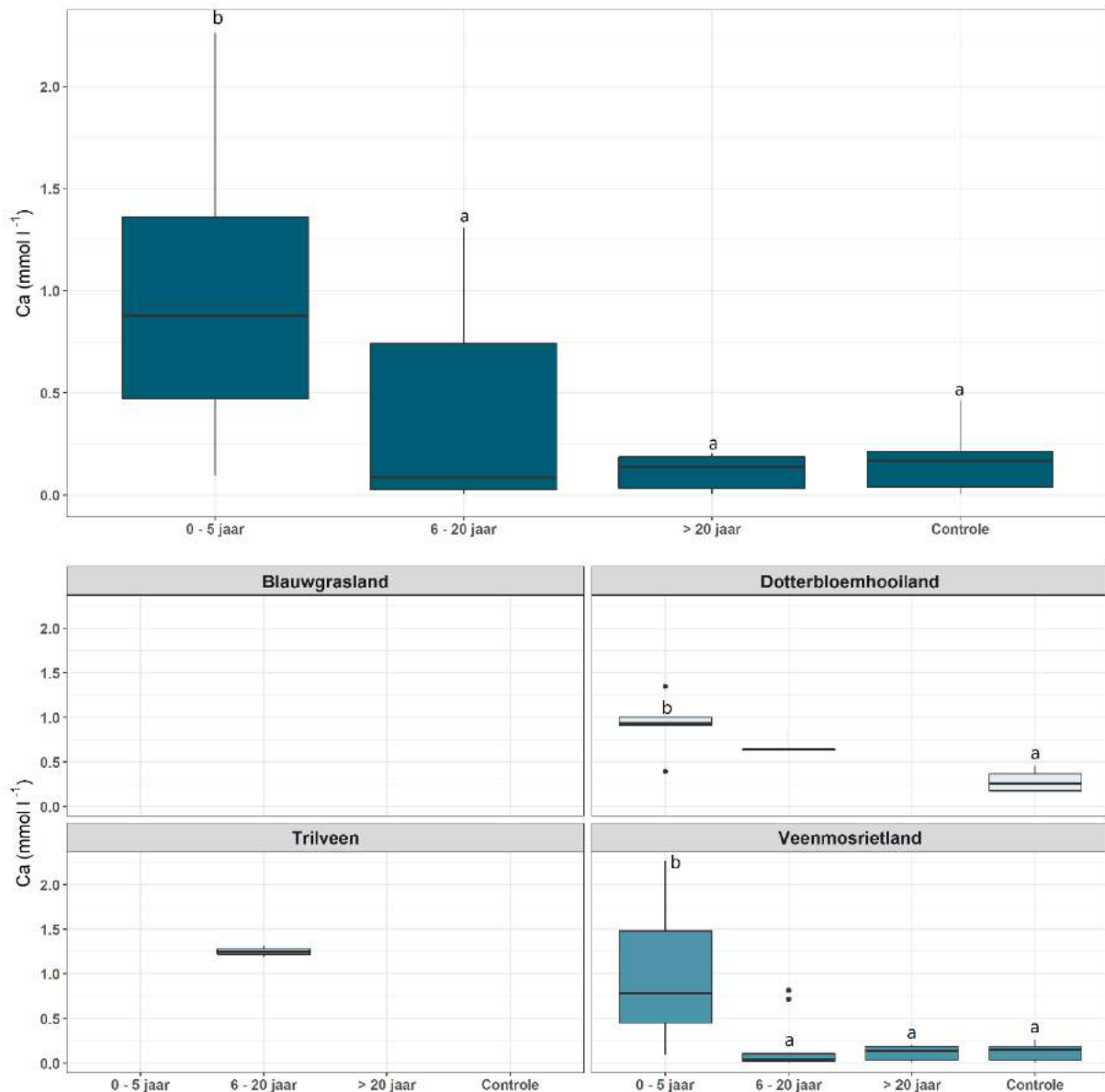
<sup>8</sup> De kaliumconcentraties laten geen significante verandering zien (resultaten niet getoond). Dit was al verwacht, omdat op de meeste locaties is bekalkt met Dolokal dat enkel calcium en magnesium bevat.

groter is dan 1 (Lucassen *et al.* 2002). In de recent bekalkte locaties is deze ratio significant lager dan in de controleplots (Figuur 4.24). Dit wordt enkel veroorzaakt door de toename in calcium en magnesium, want de hoeveelheid zwavel verandert niet significant (resultaten niet getoond). De ratio is ruim lager dan 1 in de recent bekalkte plots, wat betekent dat het risico op verzuring beperkt is. Ook in de plots die langer geleden zijn bekalkt en in de controle ligt de  $S/(Ca+Mg)$  doorgaans onder de 1. In het algemeen is de hoeveelheid calcium en magnesium in de bodem dus voldoende om snel optredende zeer sterke verzuring in droge periodes te voorkomen.



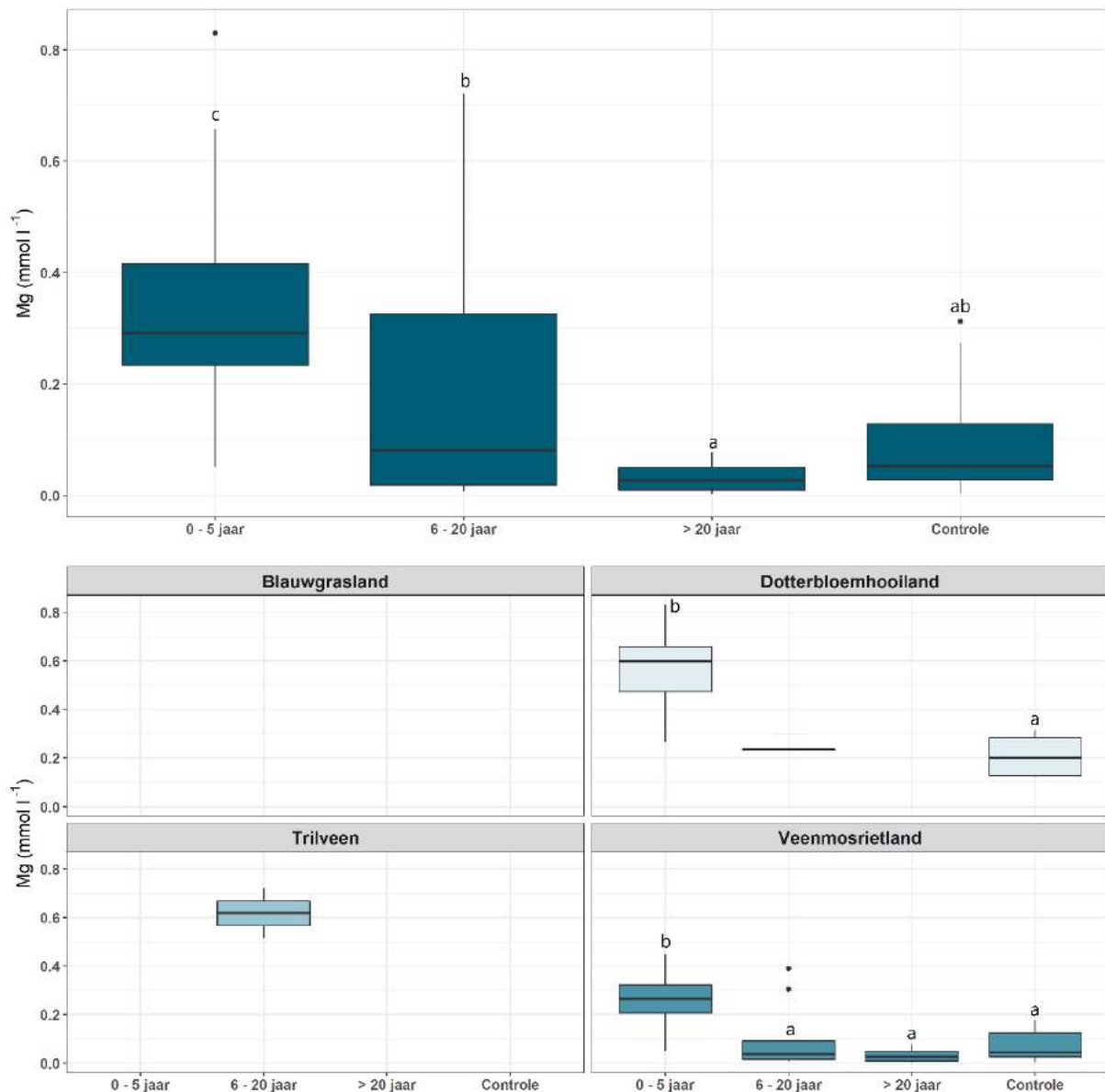
**Figuur 4.17.** pH poriewater (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder) met onderscheid tussen de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.17.** pH soil porewater (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



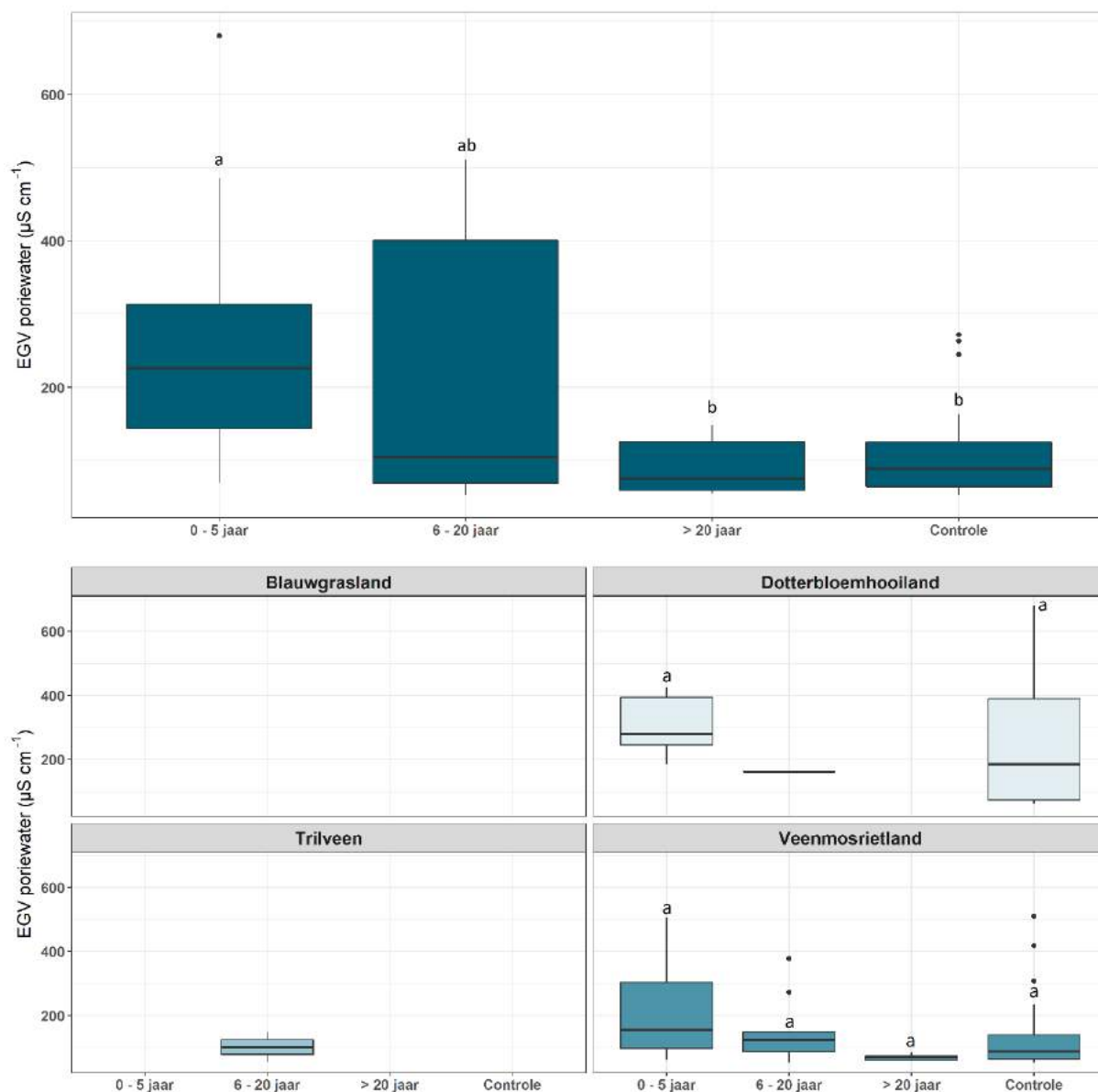
**Figuur 4.18.** Calcium concentratie in het poriewater (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.18.** Calcium concentration (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



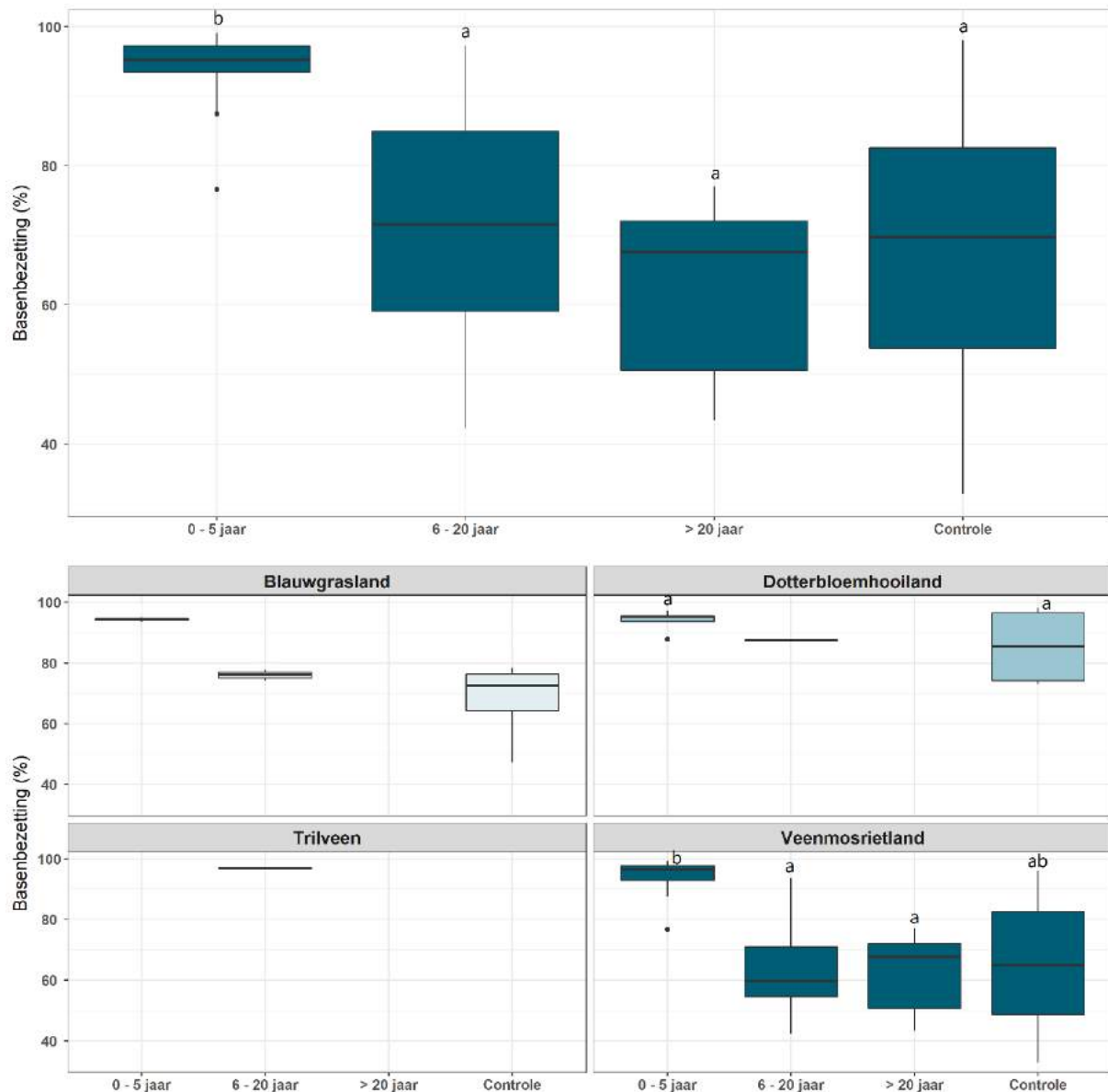
**Figuur 4.19.** Magnesium concentratie in het poriewater (data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.19.** Magnesium concentration (data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



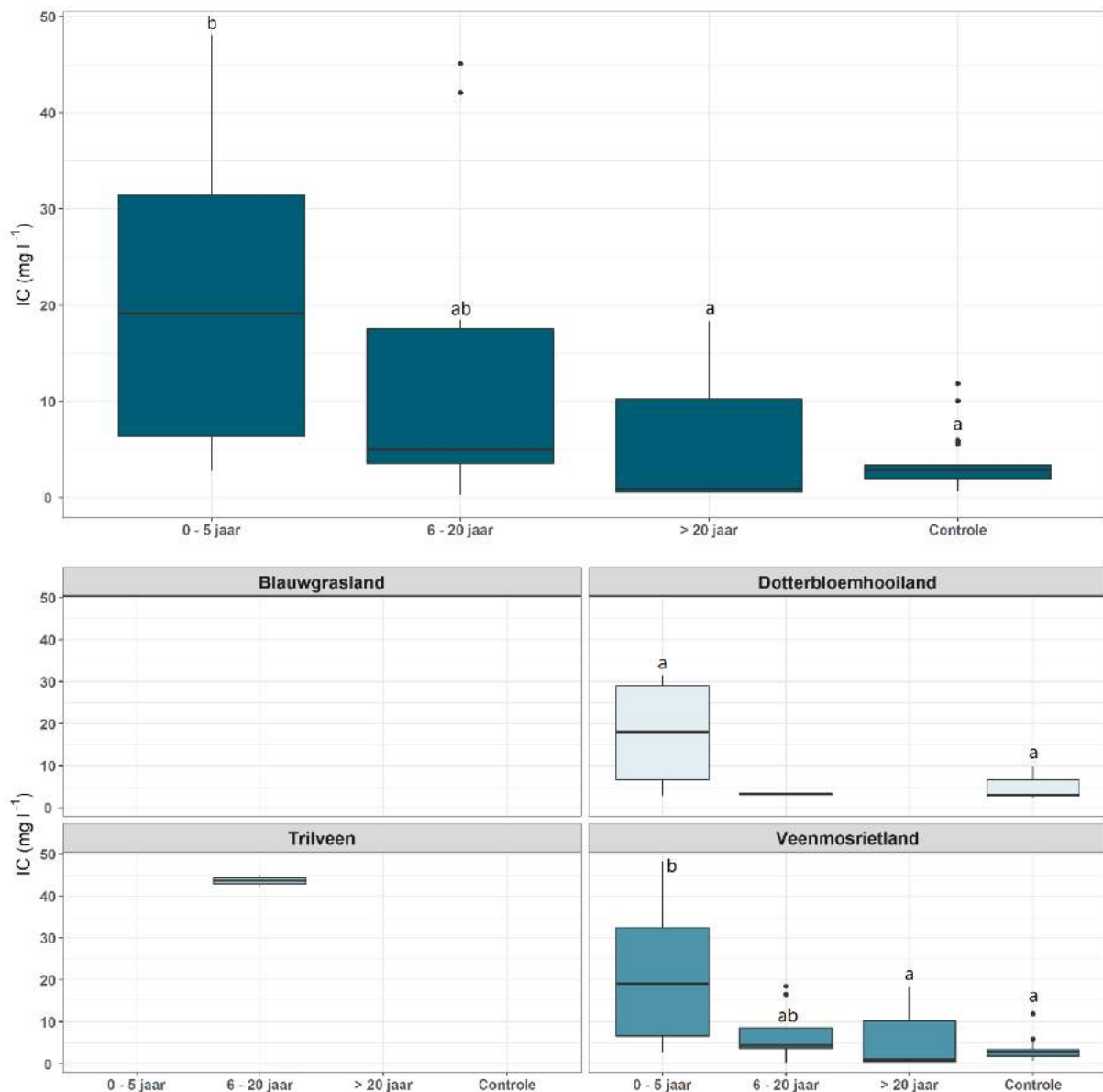
**Figuur 4.20.** Elektrisch geleidingsvermogen (EGV; data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.20.** Electrical conductivity (EC; violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



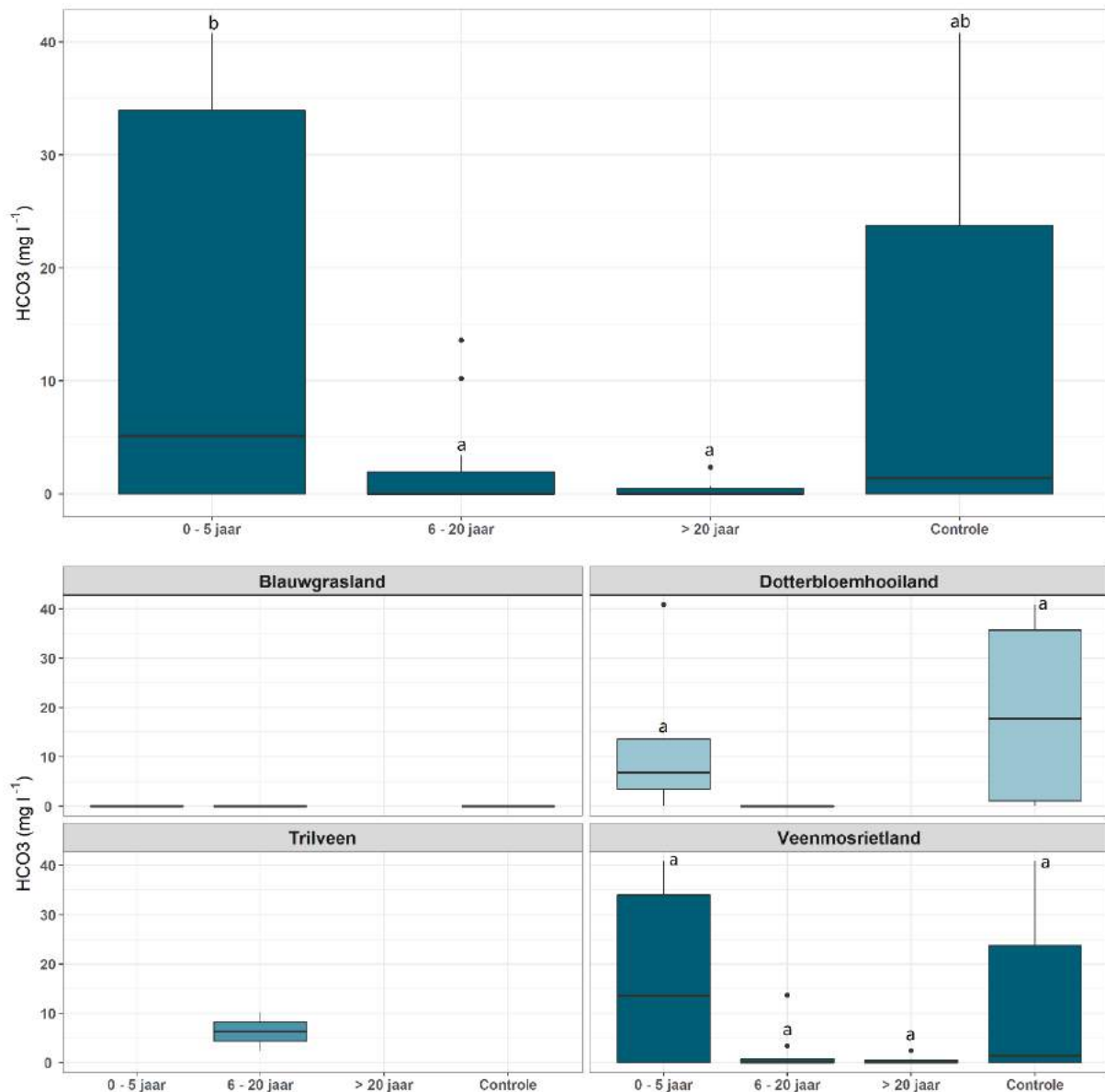
**Figuur 4.21.** Basenbezetting (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.21.** Base saturation (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



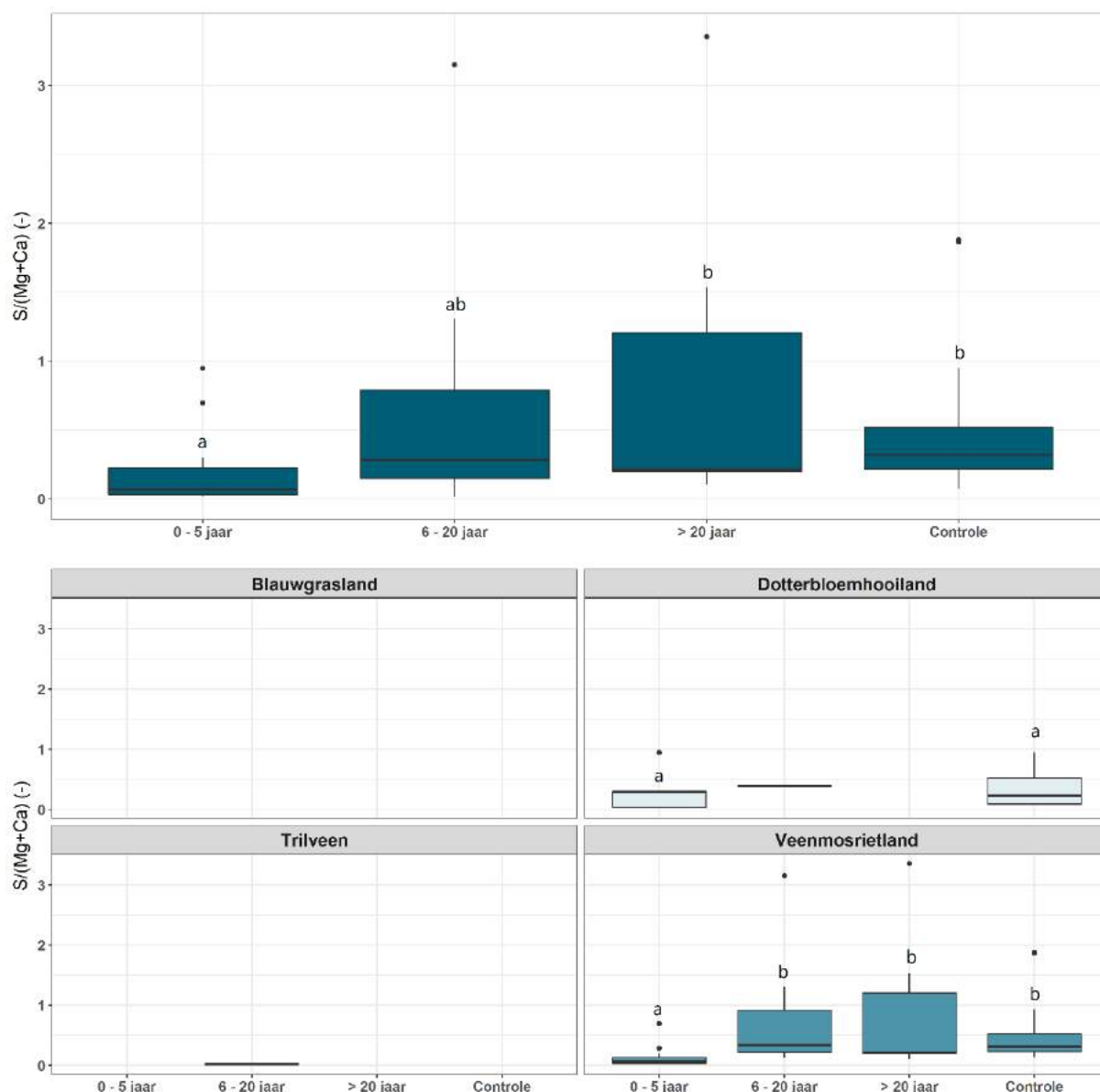
**Figuur 4.22.** Anorganisch koolstof (IC; data normaal verdeeld na transformatie) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.22.** Inorganic carbon (IC; data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.23.** Bicarbonaatconcentratie (data niet normaal verdeeld) voor gegroepede data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.23.** Bicarbonate (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.

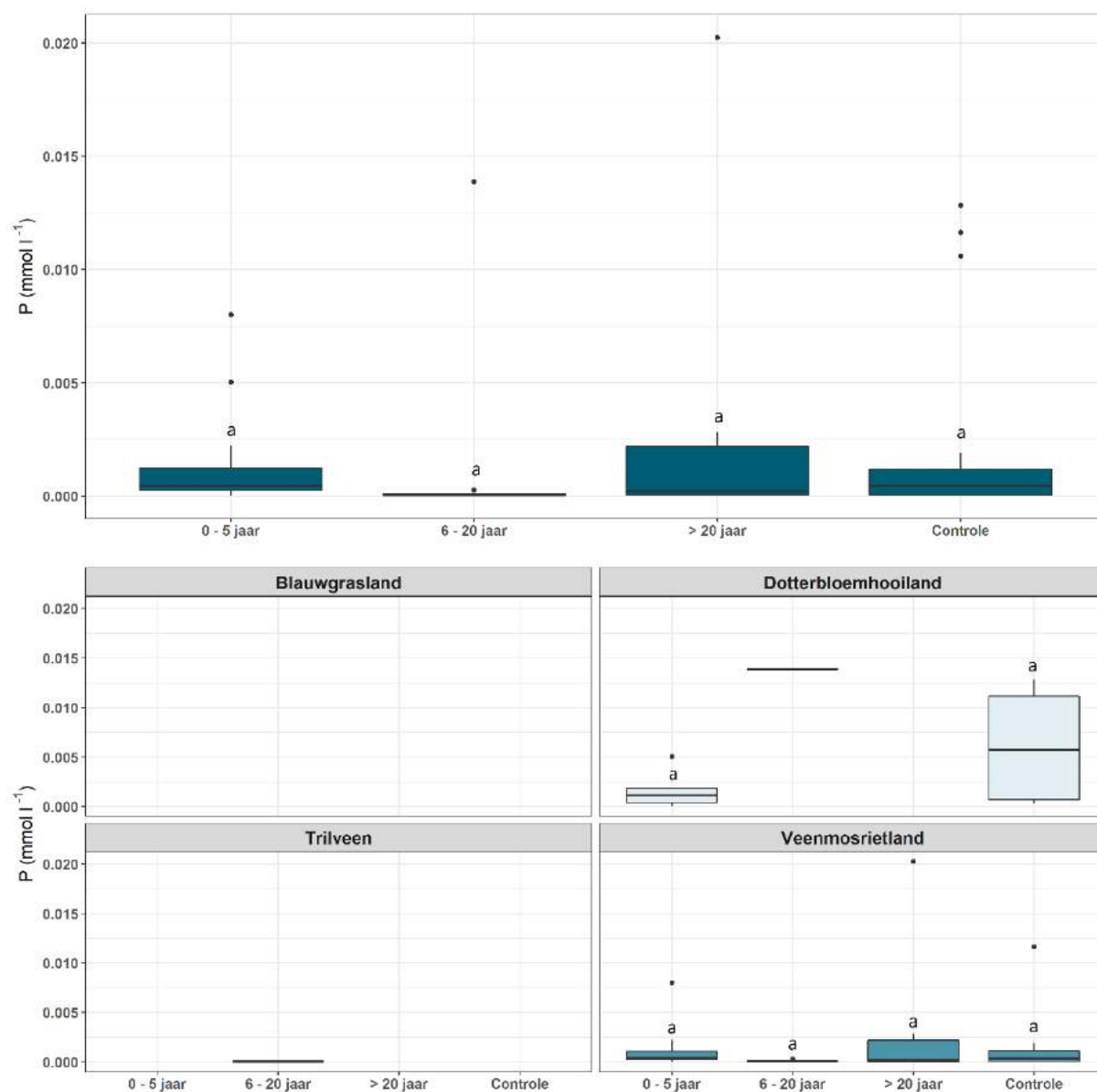


**Figuur 4.24.** Potentiële verzuringscapaciteit ( $S/(Ca+Mg)$ ); data normaal verdeeld na transformatie voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,05$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.24.** Potential acidification capacity ( $S/(Ca+Mg)$ ; data normally distributed after transformation) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.05$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.

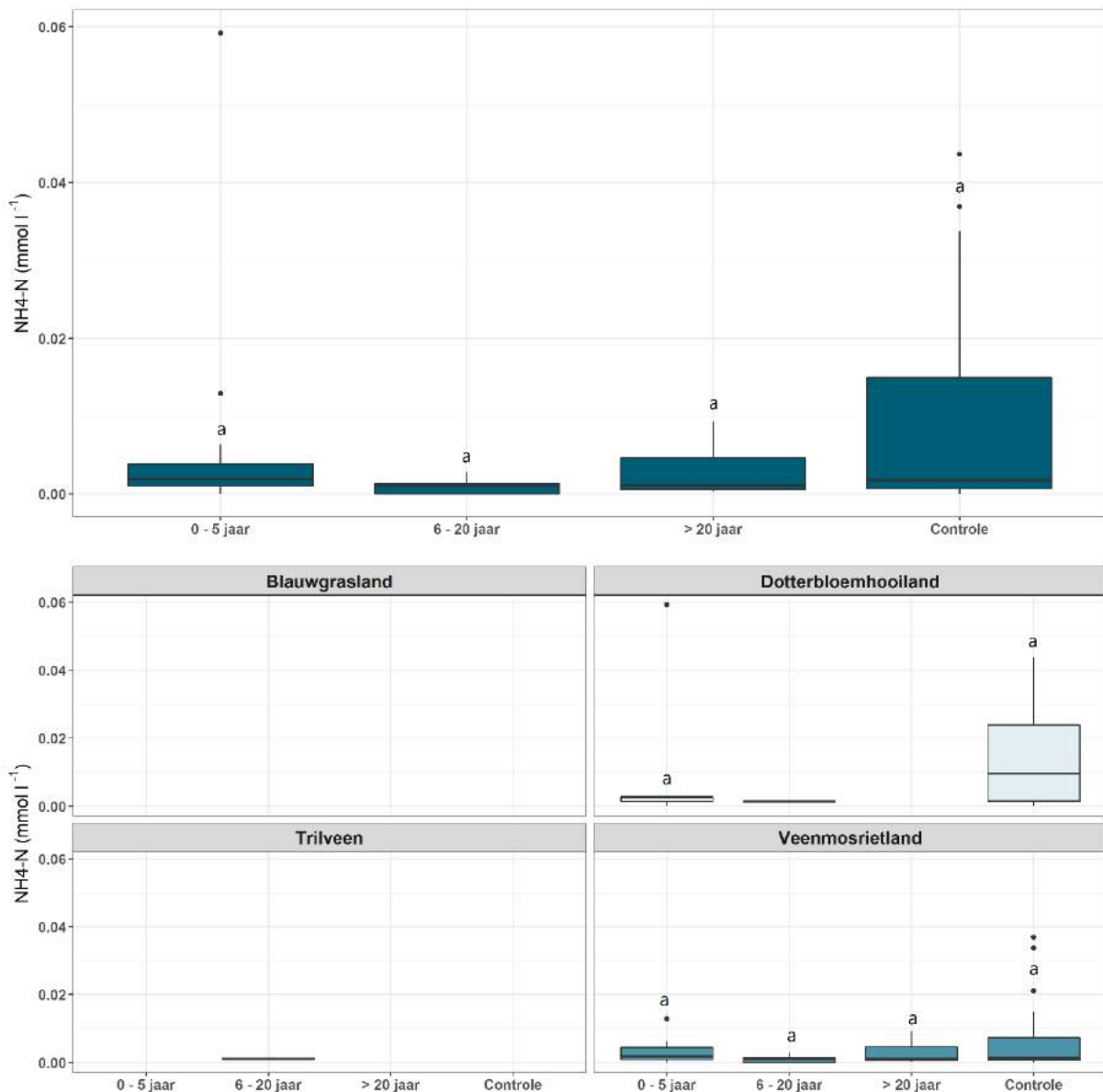
#### 4.2.3 Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Bekalking heeft geen effect op de nutriënthuishouding van de bodem: er zijn geen significante verschillen in de concentraties van totaal fosfor, orthofosfaat en opgelost organisch fosfor (DOP), ammonium en nitraat in het porievocht (Figuren 4.25 t/m 4.27 voor totaal P, ammonium en nitraat). Ook de ammonium:nitraat ratio verschilt niet tussen de bekalkte plots en de controleplots (resultaten niet getoond).



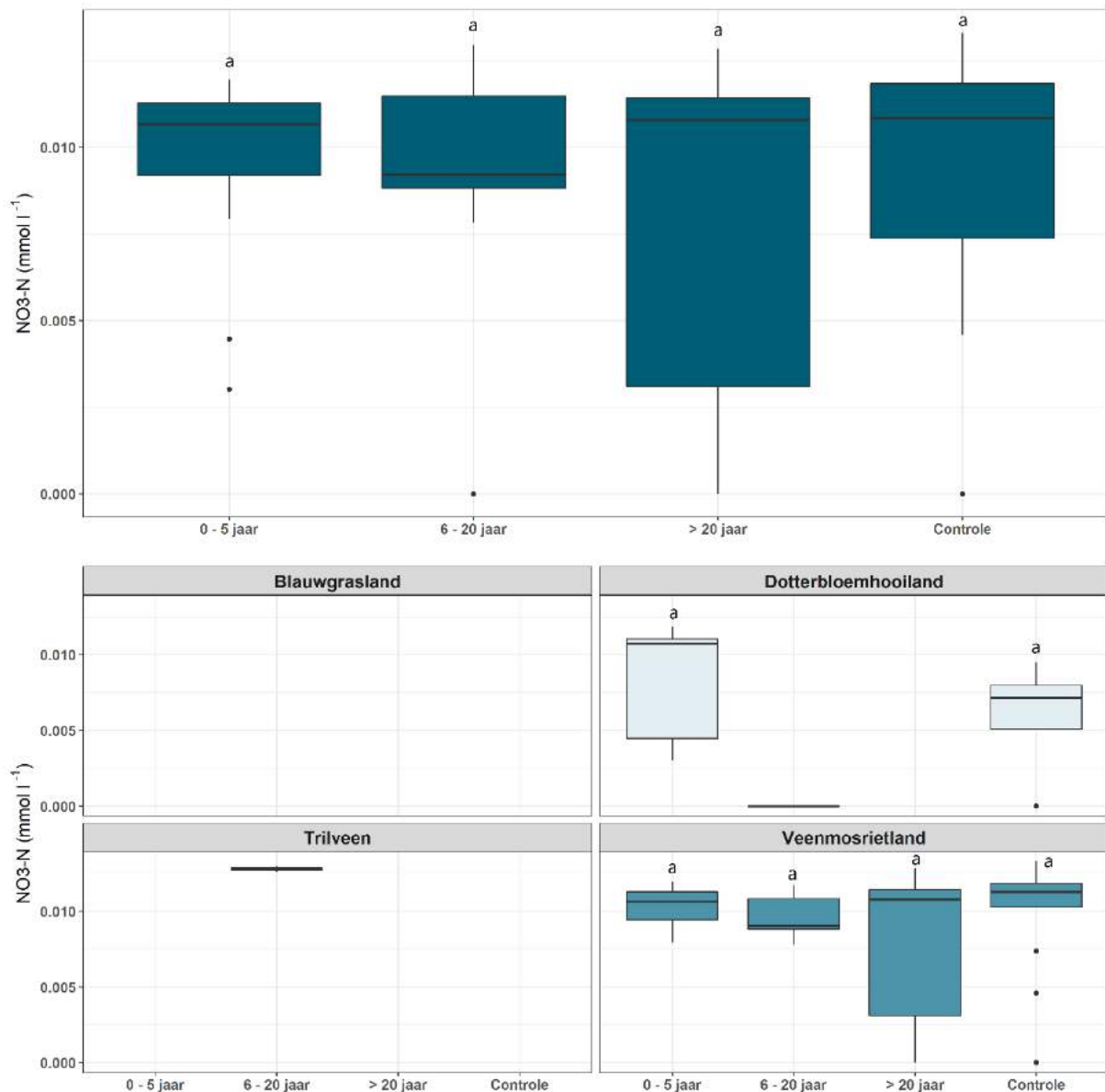
**Figuur 4.25.** Totaal fosfor concentratie in het poriewater (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.25.** Total phosphorus concentration (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.26.** Ammonium concentratie in het poriewater (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.26.** Ammonium concentration (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.



**Figuur 4.27.** Nitraat concentratie in het poriewater (data niet normaal verdeeld) voor gegroepeerde data (boven) en per vegetatietype (onder), waarbij onderscheid is gemaakt in de groepen: 0 - 5 jaar geleden bekalkt, 6 - 20 jaar geleden bekalkt, > 20 jaar geleden bekalkt, controle. De verschillende letters geven aan tussen welke groepen (binnen een vegetatietype) er significante verschillen ( $P < 0,01$ ) zijn gevonden. Significantie is alleen gegeven wanneer minimaal vier meetpunten per groep aanwezig zijn.

**Figure 4.27.** Nitrate concentration (violation of normal distribution) for grouped data (above) and per vegetation type (below). Distinguished groups are: liming performed 0 - 5 years ago, liming performed 6 - 20 years ago, liming performed > 20 years ago, control. The letters indicate significantly different groups ( $P < 0.01$ ) within a vegetation type. Significance is only given when there are at least four data points per group.

#### 4.2.4 Aanvullende resultaten voor veenmosrietlanden

##### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Bekalken had een groot effect op de basenhuishouding in de recent bekalkte veenmosrietlandplots. De pH, calcium- en magnesiumconcentraties, EGV, IC-concentratie en de basenbezetting waren in de recent bekalkte plots significant hoger dan in de controleplots en de potentiële verzuringscapaciteit was significant lager (Figuren 4.19 t/m 4.24). Ook ten opzichte van de 'referentiedataset' van Van Diggelen *et al.* (2018) zijn de effecten van bekalking op de basenhuishouding duidelijk. De pH (in water), calcium- en magnesiumconcentraties en de basenbezetting zijn in de recent bekalkte veenmosrietlanden significant hoger dan in de 'referentiedataset', terwijl de potentiële verzuringscapaciteit significant lager is (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17). Het effect van bekalken op de basenhuishouding blijft echter maar enkele jaren zichtbaar: plots die langer dan 5 jaar geleden zijn bekalkt verschillen niet meer significant ten opzichte van de controleplots.

##### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Bekalking lijkt geen effect te hebben op de nutriënthuishouding van veenmosrietlandbodems. De onderzochte veenmosrietlandplots zijn relatief nutriëntenrijk. De gemeten NO<sub>3</sub>-concentraties zijn in alle behandelingen en de controle hoger dan in de dataset van Van Diggelen *et al.* (2018) (Tabel 7.1 in paragraaf 7.17). Ook de P-concentraties lijken hoger, al is dit verschil niet significant.

##### Effect van bekalken in combinatie met plaggen

Voor dit onderzoek is ook het effect van bekalken in combinatie met plaggen op de vegetatie en biogeochemie onderzocht. Er zijn 6 plots bemonsterd, die allemaal in een veenmosrietland liggen en 22 jaar geleden zijn geplagd en bekalkt. Het gaat om plots in De Ster, Het Hol (3) en De Suikerpot.

Bekalken in combinatie met plaggen heeft geen effect op de biogeochemie van de bodem: er zijn geen significante verschillen tussen de controleplots, de bekalkte plots en de bekalkte én geplagde plots (afbeeldingen niet getoond). Hierbij dient echter wel te worden opgemerkt dat er alleen gegevens beschikbaar waren voor locaties die ruim 20 jaar geleden zijn bekalkt en geplagd. Het blijft daardoor nog onduidelijk of plaggen op de kortere termijn wel aanvullende positieve effecten heeft ten opzichte van alleen bekalken. Het onderzoek van Barendregt *et al.* (2004) wijst hier wel op.

#### 4.2.5 Aanvullende resultaten voor dotterbloemhooilanden

In dotterbloemhooiland is slechts één plot bemonsterd die 6 - 20 jaar geleden is bekalkt. Geen enkele plot is meer dan 20 jaar geleden bekalkt. Significante effecten van bekalking ten opzichte van de controle, zijn daarom alleen onderzocht voor de behandeling "0 - 5 jaar geleden bekalkt".

##### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Bekalken leidde ook in dotterbloemhooiland tot veranderingen in de basenhuishouding: de calcium- en magnesiumconcentraties namen significant toe door bekalken. Alhoewel de statistische toetsing alleen gedaan kon worden tussen recente bekalkte plots en de controleplots, doen de afbeeldingen (Figuren 4.19 t/m 4.24) sterk vermoeden dat het effect van bekalken op de basenhuishouding ook in de dotterbloemhooilanden slechts enkele jaren zichtbaar is.

##### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Bekalking lijkt geen effect te hebben op de nutriënthuishouding van dotterbloemhooilanden.

#### **4.2.6 Aanvullende resultaten voor blauwgraslanden**

De bodem van de bemonsterde blauwgraslanden waren dermate droog dat hier geen porievochtmonsters genomen konden worden. Hierdoor kunnen we niets aanvullends melden over het effect van bekalken op de biogeochemische processen in blauwgraslanden. Het blijft dus onduidelijk welk effect bekalken op de basen- en nutriëntenhuishouding van blauwgraslanden.

#### **4.2.7 Aanvullende resultaten voor trilvenen**

Het effect van bekalking op de biogeochemie van de bodem van trilvenen kan niet goed bepaald worden doordat er slechts twee plots in trilveen (beide bekalkt) zijn bemonsterd. Wel is de biogeochemie in de bekalkte plots te vergelijken met een dataset waarin verschillende trilvenen zijn bemonsterd (Van Diggelen *et al.* 2018). Deze dataset kan als controle worden beschouwd. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat de uitgangssituaties van de trilvenen sterk (kunnen) verschillen. Significante verschillen hoeven dan ook niet (direct) het gevolg te zijn van bekalking.

#### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

De magnesiumconcentratie en basenverzadiging zijn in bekalkte trilvenen significant hoger dan in de referentiedataset van Van Diggelen *et al.* (2018) (Tabel 7.2 in paragraaf 7.17). Allerlei andere indicatoren voor de basenhuishouding verschillen niet significant tussen de bekalkte trilveenplots en de 'referentiedataset'.

#### **Effect van bekalken op de nutriënthuishouding**

De nutriëntgehalten van het in dit onderzoek onderzochte, bekalkte trilveen (van het Kortenovertje) verschillen significant van de nutriëntgehalten van de trilvenen die zijn bemonsterd in Van Diggelen *et al.* (2018) (Tabel 7.2 in paragraaf 7.17). De totaal P-concentratie is in de bekalkte plots significant lager dan in de 'referentietrilvenen' ( $P < 0,01$ ). De  $\text{NO}_3$ -concentratie is in de bekalkte plots juist significant hoger dan in de trilvenen uit de dataset van Van Diggelen *et al.* (2018). Vanwege het beperkte aantal monsters is het volledig onduidelijk of de verschillen in nutriëntconcentraties het effect zijn van de bekalking of dat er sprake is van een locatie-effect.

## 5. Synthese en aanbevelingen

Gedurende het veldonderzoek van deze bekalkingsstudie is gebleken dat de verdeling van bekalkte locaties over de vegetatietypen trilveen, veenmosrietland, blauwgrasland en dotterbloemhooiland erg ongelijk is. Er is recentelijk (relatief) veel bekalkt in veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden, terwijl er nauwelijks nog trilvenen bestaan die bekalkt zijn. De trilvenen die circa 20 jaar geleden zijn bekalkt, zijn inmiddels dermate verzuurd dat deze binnen de categorie van veenmosrietland behoren. Ook in blauwgrasland is weinig bekalkt.

Deze scheve verdeling van veldmonsters over de vegetatietypen heeft gevolgen voor de betrouwbaarheid van de studie. Vanwege het zeer beperkte aantal monsterlocaties in trilvenen en blauwgraslanden, was het niet mogelijk statistiek uit te voeren op deze locaties. Over de effectiviteit van bekalken in deze vegetatietypen zijn dan ook geen harde conclusies te trekken. Zodoende is met de huidige dataset voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de gegevens en het trekken van conclusies.

De hoofdvraag van het bekalkingsonderzoek was: *“Wat heeft bekalking opgeleverd voor het behoud van de laagveenvegetatietypen trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland en dotterbloemhooiland?”*. Om deze vraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat zijn de ervaringen van bekalking uit de binnen- en buitenlandse literatuur?
2. Wat zijn de effecten van bekalking op de bodem en vegetatie in het veldexperiment in vergelijking met (naastliggende) onbekalkte controleplots?
3. In hoeverre beïnvloedt het type kalk en de frequentie van kalktoediening het effect van bekalken?
4. Wat is het effect van bekalken op de overleving van de habitattypen?
5. Is bekalken een bewezen maatregel bij herstel van matig verzuurde laagvenen?
6. Leveren de resultaten aanzetten tot effectieve mitigerende maatregelen voor stikstofdepositie en/of aanpassingen van herstelstrategieën?

### **Ervaringen van bekalken uit de binnen- en buitenlandse literatuur**

Uit de literatuurstudie is gebleken dat de effecten van bekalking op laagveenvegetaties niet eenduidig zijn. In een deel van de experimenten leidde bekalking niet tot een verandering in de vegetatie, terwijl dat in andere experimenten wel het geval was. In de experimenten waar bekalking leidde tot positieve veranderingen in de vegetatie en/of bodem, nam meestal de veenmosbedekking af en namen soorten van basenrijkere vegetaties toe. Deze effecten waren echter meestal slechts enkele jaren zichtbaar. Daarna verdwenen de effecten weer.

Uit de literatuur volgt dat verschillende factoren ten grondslag kunnen liggen aan het al dan niet optreden van effecten na bekalking. Allereerst doet de literatuurstudie vermoeden dat de mate van verzuring vóór de bekalkingsbehandeling de effectiviteit van bekalken beïnvloedt. In middelmatig verzuurde venen gaf bekalking het meeste effect, terwijl er geen effecten meer werden waargenomen als het veen te ver was verzuurd.

Daarnaast doet de literatuurstudie vermoeden dat de aanwezigheid van verzurende soorten, in het bijzonder veenmossen, ertoe kan leiden dat de effecten van bekalking op de bodem en vegetatie snel weer teniet worden gedaan. Uit de literatuurstudie blijkt dat plaggen in combinatie met bekalking een oplossing zou kunnen vormen voor dit probleem. In de literatuur wordt echter beschreven dat aanvullend onderzoek nodig is naar het effect van plaggen in combinatie met bekalken om betrouwbaardere uitspraken te kunnen doen. In het voorliggende onderzoek is getracht om dit te doen, maar doordat we alleen locaties beschikbaar hadden die ruim 20 jaar

geleden zijn bekalkt én geplagd, kunnen we deze stelling helaas niet versterken. Op de onderzochte locaties waren in ieder geval na 20 jaar geen effecten (meer) zichtbaar, maar het blijft onduidelijk of bekalken in combinatie met plagen op korte(re) termijn wel effectief is.

### **Effecten van bekalking in het veldexperiment - algemene veranderingen in de bodemchemie en vegetatie**

Bekalking leidt in de eerste vijf jaar na de behandeling tot verscheidene veranderingen in de bodem en vegetatie. Wat betreft de effecten van bekalking op de biogeochemie van de bodem zijn er vooral effecten zichtbaar op de basenhuishouding. Zo neemt de pH in de eerste vijf jaar na bekalken significant toe. Ook nemen de calcium- en magnesiumconcentraties, de concentratie anorganisch koolstof (waaronder bicarbonaat) en de basenbezetting toe door bekalken. Door de toename in calcium en magnesium neemt de potentiële verzuringscapaciteit in droge periodes af (bepaald als de  $S/(Ca+Mg)$ -ratio in het porievocht), hetgeen betekent dat het risico op verzuring afneemt. Na vijf jaar is het effect van bekalking op de basenhuishouding van de bodem echter in vrijwel alle gevallen grotendeels verdwenen.

De effecten van bekalking op de nutriëntenhuishouding zijn minder duidelijk. Bekalking leidt nergens tot significant hogere of lagere concentraties van N en P in het bodemvocht en ook de N:P ratio's in het bladweefsel veranderen niet significant door bekalken. In vrijwel alle gebieden ligt de N:P ratio van de vegetatie lager dan  $12 \text{ g g}^{-1}$ , wat indiceert dat de P-beschikbaarheid vrij hoog is in vrijwel alle plots (ook de controleplots). Het is wel opvallend dat in de vegetatie voornamelijk mossen van voedselrijke rietlanden (met name gewoon puntmos) toenemen na bekalking, en niet de soorten van voedselarme trilvenen. In de samenstelling van de kruidlaag worden dergelijke verrijkingseffecten niet duidelijk waargenomen. Op basis van deze resultaten kan niet goed worden vastgesteld of bekalking van laagveenvegetaties nu leidt tot een verhoogde mineralisatie en/of tot vastlegging fosfor in calciumfosfaten. Om hier inzicht in te krijgen zijn (kostbare) incubatieproeven nodig, waarbij de mineralisatie / vastlegging in het lab gedurende langere tijd wordt gevolgd.

Bekalking leidt op korte termijn tot een zeer sterke afname van mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden. Voornamelijk de veenmosbedekking wordt gedecimeerd door bekalking. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken: enerzijds kan calciumtoxiciteit de veenmossen doen sterven, anderzijds leidt bekalking tot een toename in bicarbonaat wat ook kan leiden tot een afname van de veenmossen. Soorten die meer gespecialiseerd zijn op overleving bij basenrijke condities zullen door bekalking juist worden begunstigd. In de onderzochte locaties wordt de afname in veenmossen deels gecompenseerd door mossen van basenrijke(re) milieus. Het gaat dan vooral om gewoon puntmos. Karakteristieke trilveenmossen van hoogkwalitatieve trilvenen, zoals schorpioenmossen, lijken veel minder of niet te profiteren van de bekalking. Dit kan ook komen doordat deze mossen niet in de nabijheid van de bekalkte plots aanwezig waren. Uiteindelijk neemt de bedekking met veenmossen na circa 5 jaar weer sterk toe, waardoor een decennium na de bekalking eigenlijk al geen significant verschillen meer waarneembaar zijn in de moslaag ten opzichte van de controleplots.

De kruidlaag wordt minder sterk beïnvloed door bekalking dan de moslaag. Hoewel er recent na de bekalking een significante toename is in kruiden die kenmerkend zijn voor trilvenen (ronde zegge, draadzegge en moeraskartelblad), is er zeer grote variatie tussen de verschillende locaties en vegetatietypen. Het effect van bekalken op de kruidlaag is tevens maar van tijdelijke aard: na enkele jaren verdwijnt het effect weer. Bekalken heeft geen effect op de biodiversiteit (soortenrijkdom) van de onderzochte locaties.

---

<sup>1</sup> Een N:P ratio lager dan 14 wijst op N-limitatie. In dit geval is de relatief lage N:P ratio echter niet veroorzaakt door weinig N, maar door een relatief hoge beschikbaarheid van P. Daarom geven we er hier de voorkeur aan de (relatief hoge) P beschikbaarheid expliciet te benoemen in plaats van een relatief lage hoeveelheid N.

### **Soorten kalk en frequentie van toediening**

In de meeste proeven uit de literatuurstudie en het veldexperiment is bekalkt met landbouwkalk (Dolokal). Dolokal is een kalksoort die snel oplost. Hierdoor spoelt bij hevige regenval mogelijk een (groot) deel van de kalk weg. Daarnaast zou door het snelle oplossen van dit type kalk een shockeffect bij de fauna kunnen optreden. Op basis van het voorliggende onderzoek kan niet worden vastgesteld of dit proces in laagveensystemen optreedt. Uit onderzoek in droge heiden en bossen is echter bekend dat het toedienen van steenmeel, dat veel langzamer oplost, sterk geprefereerd wordt. Steenmeel is voor zo ver ons bekend echter nog nooit toegepast in laagveensystemen en dient zonder verder onderzoek dan ook niet grootschalig te worden toegepast in laagvenen. Indien gewenst, staat het beheerders natuurlijk vrij op kleine schaal te experimenteren met de toediening van steenmeel in verzuurde laagveensystemen waar weinig of geen andere maatregelen voorhanden zijn.

De effecten van bekalking blijven over het algemeen enkele jaren zichtbaar. Bekalken is dus geen lange termijn oplossing. Daarnaast zijn er verschillen tussen de vegetatietypen. Hieronder wordt per vegetatietype toegelicht of, en zo ja wanneer bekalking wenselijk kan zijn.

Kalkgift heeft in het uitgevoerde veldonderzoek geen duidelijke en eenduidige invloed op de effectiviteit van bekalken. Doorgaans lijkt een bekalkingshoeveelheid van 500 - 1500 kg/ha voldoende voor het verkrijgen van positieve effecten van bekalking. Wel varieert de effectiviteit tussen locaties en vegetatietypen. In hoeverre het risico op eutrofiëring door mineralisatie toeneemt bij hogere kalkgiften, wordt uit de huidige studie niet (geheel) duidelijk. Er dient overigens te worden opgemerkt, dat de kalkgiften in laagveenvegetaties (veel) lager zijn dan de kalkgiften waarmee in bosgebieden, waar bekalken positieve effecten heeft, wordt gewerkt. Bij de (lage) kalkgiften waarmee in laagveengebieden is gewerkt, zijn in bosgebieden vaak ook geen effecten zichtbaar.

Om definitief uitsluitsel te kunnen geven over het meest geschikte type kalk, de benodigde kalkgift, de periode van bekalken en de frequentie van toediening, is aanvullend onderzoek nodig. Het voorliggende onderzoek geeft richtlijnen, maar het ontbreekt voorsnog aan voldoende informatie om sluitende conclusies te trekken.

### **Effect van bekalken op de overleving van de laagveenvegetatietypen trilveen, veenmosrietland, dotterbloemhooiland en blauwgrasland**

Bekalking heeft geen eenduidig effect op de vegetatiesamenstelling en de bodemchemische condities van trilvenen, veenmosrietlanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden. Het literatuuronderzoek en het veldonderzoek doen vermoeden dat effecten in de vegetatie en biogeochemie voornamelijk optreden in dotterbloemhooilanden en veenmosrietlanden.

Het effect van bekalken op de vier onderzochte laagveenvegetatietypen wordt hieronder per vegetatietype beschreven. Hierbij dient in het achterhoofd gehouden te worden dat effectrelaties moeilijk vast te stellen zijn op basis van het huidige onderzoek, omdat voor de meeste locaties geldt dat er geen gegevens beschikbaar waren van de nulsituatie (voor bekalken). In veel gevallen is het waarschijnlijk dat significante veranderingen het effect zijn van de bekalking (ook in de literatuur), maar locatie-effecten of andere factoren bleken niet (altijd) uit te sluiten. Daarnaast is vanwege een beperkt aantal bekalkte locaties, geen statistiek toegepast bij het bepalen van de effectiviteit van bekalken in trilvenen en blauwgraslanden. Voor dotterbloemhooiland waren voor een statistische analyse alleen voldoende samples voorhanden voor de groep '0 - 5 jaar geleden bekalkt' en de controle. Zoals bovenaan dit hoofdstuk reeds beschreven is, kunnen door deze limitatie van het onderzoek niet voor alle vegetatietypen conclusies worden getrokken over de effectiviteit van bekalking.

### *Bekalken in de huidige veenmosrietlanden*

Veel van de bekalkte veenmosrietlanden zijn in het verleden waarschijnlijk basenrijke trilvenen geweest. De veldstudie laat zien de buffercapaciteit van de bodem wordt verhoogd door bekalken, waarbij de effecten na 5 jaar vaak nog goed zichtbaar zijn. Op locaties die tussen de 6 en 20 jaar geleden zijn bekalkt, is dit positieve bodemeffect echter niet meer zichtbaar. Dit komt min of meer overeen met de resultaten uit onze literatuurstudie, waaruit blijkt dat bekalking in verzuurde trilvenen eveneens tot een verhoging van de buffercapaciteit leidt die van tijdelijke aard is.

De toename in buffercapaciteit en pH leidt in de huidige veenmosrietlanden in de eerste vijf jaar na bekalking tot positieve veranderingen in de vegetatie, vooral in de moslaag. In zowel de veldstudie als de literatuurstudie werd de bedekking met veenmossen en haarmos sterk verlaagd door bekalking, ten gunste van basenrijke mossen. Dit betrof echter vooral soorten van voedselrijke rietlanden, zoals gewoon puntmos, en niet een toename of terugkeer van karakteristieke trilveenmossen zoals rood of groen schorpioenmos. Het is onduidelijk of het uitblijven van een ontwikkeling van trilveenmossen komt door de standplaatscondities die ontstaan als gevolg van bekalken en/of door het ontbreken van bronpopulaties in de buurt van de bekalkte plots. Hoe dan ook, na ongeveer vijf jaar nam de veenmosbedekking sowieso weer sterk toe, met als bijkomend gevolg dat de basenrijke mossen van voedselrijke rietlanden weer afnamen. Zowel in de literatuurstudie als het veldonderzoek komt dit patroon terug.

Daarnaast kan bekalking van veenmosrietlanden ertoe leiden dat specifieke basenminnende vaatplanten tijdelijk behouden of hersteld kunnen worden in veenmosrietlanden. In de veldstudie zagen we hiervoor indicaties voor stijf struisriet (Wieden), ronde zegge (Wieden), draadzegge (Nieuwkoopse plassen en Wieden) en moeraskartelblad (Vlaardingse Vlietlanden, Nieuwkoopse plassen en Wieden). Ook dit effect was echter alleen zichtbaar in plots die minder dan 5 jaar geleden waren bekalkt.

Hoewel bekalken de verzuring in veenmosrietlanden dus tijdelijk een halt toeroept en ruimte biedt aan de vestiging van basenrijke soorten, leidt dit niet tot het terugzetten van de successie naar het trilveenstadium. Wel kan door bekalken de successie richting veenheide belemmerd worden.

### *Bekalken in dotterbloemhooilanden*

In dotterbloemhooilanden heeft bekalking in de eerste jaren een positief effect op de calcium- en magnesiumconcentraties. Verder leidt bekalking tot positieve veranderingen in de vegetatie van dotterbloemhooiland, in ieder geval op korte termijn. Veranderingen zijn zowel in de moslaag als in de kruidlaag terug te zien. De bedekking met veenmos wordt door bekalking sterk verlaagd, en mossen die kenmerkend zijn voor basenrijkere condities nemen toe. Net als in veenmosrietlanden gaat het hierbij vooral om soorten van voedselrijke rietlanden zoals gewoon puntmos, en niet om trilveenmossen. Vermoedelijk is dit voornamelijk het effect van de verspreiding van trilveenmossen en niet/nauwelijks het effect van een verhoogde nutriëntbeschikbaarheid. Bij de vaatplanten zijn het in de eerste vijf jaar na bekalking namelijk wel de trilveensoorten (moeraskartelblad en ronde zegge) die zich opnieuw vestigen of sterk in bedekking toenemen, hoewel het verschil ten opzichte van de controle niet significant was als gevolg van de grote spreiding. Omdat maar één dotterbloemhooiland is bemonsterd dat langer dan vijf jaar geleden is bekalkt, is onduidelijk hoelang de effecten van bekalking zichtbaar blijven. Echter, het feit dat verschillende dotterbloemhooilanden om de paar jaar worden bekalkt, wijst erop dat de effecten op de vegetatie nadien vermoedelijk verdwijnen en dat opnieuw bekalkt moet worden om de positieve effecten te behouden.

### *Bekalken in blauwgraslanden*

In laagveengebieden leidt bekalken van blauwgraslanden volgens de literatuur en in de door ons bemonsterde locaties nauwelijks tot veranderingen in de vegetatie en de biogeochemie. Echt goed inzicht in de biogeochemische effecten hebben we echter niet kunnen krijgen, doordat (1) er

slechts vier samples zijn genomen in bekalkt blauwgrasland (en vier in controles) waardoor geen statistiek uitgevoerd kon worden en (2) de bodems in de blauwgraslanden in onze veldstudie te droog waren om het bodemvocht te bemonsteren. Wel is duidelijk dat bekalking op de korte termijn kan leiden tot een verhoging van de bovengrondse biomassa-productie, wat kan indiceren dat bekalking op de korte termijn kan leiden tot een verhoging van de nutriëntbeschikbaarheid. Daarnaast namen onderzoekers in het Unlân fan Jelsma waar dat bekalking lijkt te leiden tot het stopzetten van een ongewenste vegetatieve achteruitgang. Deze waarneming hebben wij echter niet kunnen bevestigen in onze veldstudie.

#### *Bekalken in nog basenrijk trilvenen*

Over de effecten van bekalken in nog niet verzuurd trilveen zijn weinig conclusies te trekken: er zijn namelijk maar twee locaties bemonsterd, omdat er (voor zover bekend) slechts één basenrijke trilveenlocatie (Kortenovertje) is bekalkt in Nederland. Het gaat om een trilveen van matige kwaliteit dat geen schorpioenmossen bevat, maar bijvoorbeeld nog wel groenknolorchis bevat. Om toch enige uitspraken over bekalken in nog niet verzuurd trilveen te kunnen doen, zijn de bekalkte plots vergeleken met een 'referentiedataset' waarin verschillende trilvenen in Nederland zijn bemonsterd. Hieruit blijkt dat de magnesiumconcentratie en basenbezetting in het bekalkte trilveen hoger zijn dan in de referenties, mogelijk als gevolg van de bekalking. De bedekking met karakteristieke trilveenmossen en vaatplanten is in de bekalkte plots echter lager dan in de 'referentietrilvenen'. Ook wordt de moslaag gedomineerd door mossen van voedselrijke rietlanden in plaats van door trilveenmossen.

#### **Effectieve mitigerende maatregelen voor stikstofdepositie en/of aanpassingen van herstelstrategieën: kan bekalking in laagveengebieden helpen?**

Herstelmaatregelen voor stikstofgevoelige natuur worden ingedeeld in drie categorieën naargelang het bewijs voor de effectiviteit van de betreffende maatregelen. De onderscheiden categorieën zijn 'hypothese', 'vuistregel' en 'bewezen'. Bekalken is één van de maatregelen die in potentie zou kunnen helpen bij herstel van stikstofgevoelige natuur in laagveengebieden. Hieronder wordt voor elk van de vegetatietypen toegelicht in hoeverre bekalking bewezen is en in hoeverre bekalking sowieso wordt aanbevolen ten behoeve van het mitigeren van de gevolgen van stikstofdepositie.

#### *Veenmosrietlanden*

Er zijn verscheidene bekalkingsproeven uitgevoerd in veenmosrietlanden. Deze bekalkingsproeven laten zien dat er op de korte termijn positieve effecten optreden. Er treedt basenaanrijking op in de bodem, veenmossen verdwijnen en enkele basenminnende mossen en vaatplanten kunnen terugkomen. Deze effecten zijn echter van korte duur (circa 5 jaar), want enkele jaren later zijn deze effecten vaak totaal niet meer zichtbaar in het veld. Daarnaast leidt bekalken van veenmosrietlanden er niet toe dat het veenmosrietland in successie wordt teruggezet naar een goed ontwikkeld trilveen. Ook blijft het effect van bekalking op de nutriëntenstatus van de bodem en op de fauna onduidelijk.

Bekalking in veenmosrietland dient volgens ons dan ook gezien te blijven worden als een 'hypothetische' maatregel, die vanwege de openstaande onzekerheden (onder andere met betrekking tot de nutriëntenstatus van de bodem en de effecten op de fauna) niet grootschalig op grote delen van gebieden zou moeten worden toegepast. We adviseren dan ook om de maatregel niet op te nemen in de herstelstrategie voor veenmosrietlanden (H7140B).

#### *Dotterbloemhooilanden*

Dotterbloemhooiland is geen habitatype en valt in die zin dan ook buiten het raamwerk van de herstelmaatregelen voor stikstofgevoelige natuur. Dat wil echter niet zeggen dat bekalken niet effectief kan zijn bij het behoud van (hoogkwalitatief) dotterbloemhooiland in het laagveen. Bekalking wordt in verscheidene dotterbloemhooilanden in het laagveengebied namelijk al jaren toegepast vanwege het gunstige effect van bekalken op de vegetatiesamenstelling en

basenhuishouding van de bodem. Verzurende veenmossen verdwijnen door bekalking en basenrijkere mossen en vaatplanten keren terug. De risico's van bekalken op de vegetatie en biogeochemie van de bodem en de vegetatie lijken beperkt. Deze gunstige resultaten doen vermoeden dat bekalking een geschikte herstel- en behoudmaatregel kan zijn voor dotterbloemhooilanden, vooral in laagveengebieden waar inundaties met basenrijk oppervlaktewater onmogelijk blijkt. Aanbevolen wordt dan ook eens in de 2 - 5 jaar te bekalken wanneer de kwaliteit van dotterbloemhooiland in het laagveen achteruit dreigt te gaan door verzuring en inundaties met basenrijk oppervlaktewater onmogelijk zijn. Zodra de veenmossen (weer) terugkeren, dient opnieuw bekalkt te worden. Met andere woorden: er moet sprake zijn van adaptief management. Geadviseerd wordt te bekalken met Dolokal en 500-1500 kg/ha toe te dienen per keer. Omdat nog weinig bekend is over de effecten van bekalking op de fauna, wordt geadviseerd fauna te monitoren en alert te zijn op mogelijke effecten van bekalking op de faunagemeenschappen.

#### *Blauwgraslanden*

In de huidige herstelstrategie (Beije *et al.* 2012) staat bekalken beschreven als een hypothetische maatregel voor gebieden met een laag organisch stofgehalte in de bodem, oftewel niet voor blauwgraslanden op veengronden. Er zijn in laagveengebieden slechts enkele experimenten met bekalking uitgevoerd in blauwgraslanden (inclusief de hier besproken veldstudie). Bekalking had in deze experimenten weinig effect. Alhoewel op basis van deze beperkte set aan experimenten niet geconcludeerd kan worden dat bekalking *niet* werkt in blauwgraslanden in het laagveengebied, kan zonder aanvullend onderzoek evenmin worden vastgesteld dat bekalken *wel* een gunstig effect heeft. We adviseren dan ook om bekalking niet op te nemen in de herstelstrategie voor blauwgraslanden die in het laaggebied liggen (H6410), omdat hiervoor onvoldoende kennis over de effectiviteit en de risico's van bekalken voorhanden is.

#### *Basenrijke trilvenen*

Bekalken is enige tijd opgenomen geweest in de herstelstrategie van trilvenen (van Dobben *et al.* 2012). Bekalken stond beschreven als een hypothetische maatregel die alleen zou werken in combinatie met afplaggen, omdat anders de veenmosgroei snel weer de overhand zal krijgen. Sinds 2020 is bekalken echter uit de herstelstrategie verwijderd als maatregel, omdat onvoldoende bewijs voorhanden was dat de bekalking door kon als hypothetische maatregel.

Net als voor blauwgraslanden, kan op basis van de huidige studie geen conclusie worden getrokken over de effectiviteit van bekalken voor de basenrijke trilvenen: hiervoor is simpelweg nog steeds te weinig data beschikbaar. We adviseren dan ook om bekalking niet op te nemen in de herstelstrategie voor trilvenen.

## 6. Literatuur

- Adams, F. (1984)** *Soil acidity and liming*, 2<sup>nd</sup> edn, *Agronomy 12*. American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Aggenbach, C.J.S., D. Groenendijk, R.H. Kemmers, H.H. van Kleef, A.J.P. Smolders, W.C.E.P. Verberk & P.F.M. Verdonschot (2009)** *Preadvies Beekdallandschappen - Knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen*. Rapportnr. DK 2009/dk107-O Ministerie van LNV, Ede.
- Aggenbach, C.J.S., D.G. Cirkel, C. Cusell, G. van Dijk & A.M. Kooijman (2020)** *Onderzoek naar bevloeiing als beheermaatregel voor behoud en herstel van basenrijke trilvenen*. VBNE, Driebergen.
- Barendregt, A., B. Beltman, E. Schouwenberg & G. van Wirdum (2004)** Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie op trilvenen (Noord-Holland, Utrecht en Noordwest-Overijssel). Rapportnr. EC-LNV 2004/281-O, Ministerie van LNV, Ede.
- Beltman, B. & A. Barendregt (2007)** Herstelmaatregelen in verzuurde schraallanden in laag-Nederland. *De Levende Natuur*, 108: 87-92.
- Beltman, B., T. van den Broek, A. Barendregt, M.C. Bootsma & A.P. Grootjans (2001)** Rehabilitation of acidified and eutrophied fens in The Netherlands: Effects of hydrologic manipulation and liming. *Ecological Engineering*, 17: 21-31.
- Beije, H.M., A.J.M. Jansen, Q.L. Slings & N.A.C. Smits (2012)** *Herstelstrategie H6410: Blauwgraslanden*. <https://www.natura2000.nl/meer-informatie/herstelstrategieen>.
- Bobbink, R., A. van den Burg, E. Brouwer, B. van de Riet & H. Siepel (2018)** *Langetermijneffecten van bosbekalking en – bemesting: de Harderwijkerproef*. Rapportnr. OBN-17-DZ. VBNE, Driebergen.
- Bootsma, M., B. Beltman, A. Barendregt & T. van den broek (1997)** Restauratie van verzuurde laagvenen in infiltratiegebieden. *De Levende Natuur*, 98: 278-282.
- Braun-Blanquet, J. (1964)** *Pflanzensoziologie. Grunzüge der Vegetationskunde*. 3. Aufl. Springer, Wien/New York.
- Bijlsma, R.J., A. Aptroot, K.W. van Dort, R. Haveman, C.M. van Herk, A.M. Kooijman, L.B. Sparrius & E.J. Weeda (2009)** *Preadvies mossen & korstmossen*. Rapportnr. DK 2009/dk104-O, Ministerie van LNV, Ede.
- Bijlsma, R.J., J.A.M. Janssen, E.J. Weeda & J.H.J. Schaminée (2014)** *Gunstige referentiewaarden voor oppervlakte en verspreidingsgebied van Natura 2000-habitattypen in Nederland*. Rapportnr. WOt 125, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- Britto, D.T. & H.J. Kronzucker (2002)** NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of plant physiology*, 159: 567-584.
- Bunzl, K., W. Schmidt & B. Sansoni (1976)** Kinetics of ion exchange in soil organic matter. IV. Adsorption and desorption of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> by peat. *Journal of Soil Science*, 27: 32-41.
- CBS, PBL, RIVM & WUR (2019)** *Overschrijding kritische depositiewaarden voor stikstof op natuur, 1995-2016*.
- Cusell, C., A.M. Kooijman, I.S. Mettrop & L.P.M. Lamers (2013)** *Natura 2000 Kennislacunes in De Wieden & De Weerribben*. Rapportnr. 2013/OBN171-LZ, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- De Graaf, M., P. Verbeek, S. Robat, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs, S. de Goeij & M. Scherpenisse (2004)** *Lange-termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischale graslanden*. Rapportnr. EC-LNV 2004/288-O, Ministerie van LNV, Ede.
- De Haan, B. (2013)** *Stoppen achteruitgang oppervlak veenmosrietland en blauwgrasland in De Wieden. Document t.b.v. het Natura 2000 beheerplan De Wieden*. Natuurmonumenten, Zwolle.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, A.J.P. Smolders & R. van Diggelen, 2015.** Topsoil removal in degraded rich fens: Can we force an ecosystem reset? *Ecological Engineering*, 77: 225-

232.

**Filipek, T. (2011)** Liming, Effects on Soil Properties. In J. Gliński, J. Horabik, & J. Lipiec (Eds.), *Encyclopedia of Agrophysics* (pp. 425–428).

**Fritz, C., G. Van Dijk, A.J.P. Smolders, V.A. Pancotto, T.J.T.M. Elzenga, J.G.M. Roelofs & A.P. Grootjans (2012)** Nutrient additions in pristine Patagonian *Sphagnum* bog vegetation: can phosphorus addition alleviate (the effects of) increased nitrogen loads. *Plant Biology*, 14:, 491–499.

**Gorham, E., J.A. Janssens, G.A. Wheeler & P.H. Glaser (1987)** The natural and anthropogenic acidification of peatlands. *Effects of atmospheric pollutants on forests, wetlands, and agricultural ecosystems* (eds. T.C. Hutchinson & K. Meema), pp. 493-512. Springer, Berlin.

**Goulding, K.W.T. (2016)** Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32: 390–399.

**Grootjans, A.P., P.C. Schipper & H.J. van der Windt (1986)** Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. II: *Cirsio-Molinietum* stands. *Oecologia Plantarum*, 7: 3-14.

**Grootjans, A.P., S.K. Verbeek, E.B. Adema, A.C.J. Boerwinkel, P. Vrieling, G.B. Baaijens, M. Bakker, B. Beltman, A.C. Zuidhoff & R.H. Kemmers (2001)** *Bevoeiing als beheersmaatregel; mogelijkheden voor herstel van verzuurde en verdroogde graslanden*. Rapportnr. EC-LNV 2001/052, Ministerie van LNV, Ede.

**Grootjans, A.P., R.H. Kemmers, F.H. Everts & E.B. Adema (2007)** Restauratie van schraallanden op veengronden door afgraven en vernatten. *De Levende Natuur*, 108: 108-113.

**Inberg, H. (1995)** Het effect van vernatten en bekalken op de nutriëntenlimitatie van Dotterbloemgraslanden. Rijksuniversiteit Groningen.

**Jager, H.J. (2014)** Bekalkingsproef Unlân fan Jelsma.

**Jager, H.J. & Hilboezen, M. (2019)** Bekalkingsproef en vegetatieontwikkeling van de 'blaugerzen' op de Wydlannen (Alde Feanen). *Twirre*, 29: 2.

**Jansen, A.J.M. (2000)** *Hydrology and restoration of wet heathlands and fen meadow communities*. PhD-Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.

**Jansen, A.J.M., A.T.W. Eysink & C. Maas (2001)** Hydrological processes in a *Cirsio-Molinietum* fen meadow: implications for restoration. *Ecological Engineering*, 17: 3-20.

**Jansone, L., K. Von Wilpert & P. Hartmann (2020)** Natural Recovery and Liming Effects in Acidified Forest Soils in SW-Germany. *Soil Systems*, 4(38).

**Kanters, S., A.H.W. Koks, G. van Dijk & C. Cusell (2021)** *Effect van hydrologische maatregelen en inundaties op het behoud en herstel van trilveenvegetaties in de Rottige Meente*. Rapportnr. 0000115783, Witteveen+Bos, Deventer.

**Kanters, S., A.H.W. Koks, G. van Dijk, A.M. Kooijman & C. Cusell (in press)** *Onderzoek naar de effecten van een gewijzigd peilbeheer op de waterkwaliteit in de Oostelijke Binnenvlakte van Tienhoven*. Rapportnummer 0000123502, Witteveen+Bos, Deventer.

**Kemp, M.J. & W.K. Dodds (2002)** The influence of ammonium, nitrate, and dissolved oxygen concentrations on uptake, nitrification, and denitrification rates associated with prairie stream substrata. *Limnology and Oceanography*, 47(5): 1380-1393.

**Koks, A.H.W., G. van Dijk, A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & C. Fritz (2019)** The effects of alkalinity and cations on the vitality of *Sphagnum palustre* L.. *Mires and Peat*, 24: 1– 14.

**Kooijman, A.M. (1993)** *Changes in the bryophyte layer of rich fens as controlled by acidification and eutrophication*. PhD-Thesis, Utrecht Universiteit, Utrecht.

**Kooijman, A.M. (2012)** 'Poor rich-fen mosses': atmospheric N-deposition and P-eutrophication in base-rich fens. *Lindbergia*, 35: 42-52.

**Kooijman, A.M. & M.P.C.P. Paulissen (2006)** Higher acidification rates in fens with phosphorus enrichment. *Applied Vegetation Science*, 9: 205-212.

**Kooijman, A.M., C. Cusell, R. Loeb & J.M.H. van Diggelen (2018)** Mesotrofe verlanding en behoud van trilvenen: N-depositie en eutrofiëring oppervlaktewater een blijvend probleem. *Landschap*, 2018/2, 83-91.

**Loeb, R., J.J.M. Geurts, L. Bakker, R. van Leeuwen, J. van Belle, J.M.H. van Diggelen, A.H. Faber, A.M. Kooijman, O. Brinkkemper, B. van Geel, W. Weijs, G. van Dijk,**

- L. Loermans, C. Cusell, W. Rip & L.P.M. Lamers (2016)** *Verlanding in laagveenpetgaten: Speerpunt voor natuurherstel in laagvenen*. Rapportnr. 2016/OBN208-LZ, VBNE, Driebergen.
- Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2003)** Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. *Environmental Pollution*, 120: 635-646.
- Lucassen, E.C.H.E.T., R. Bobbink, A.J.P. Smolders, P.J.M. Van der Ven, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2003)** Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology*, 165: 45-52.
- Mälson, K. & H. Rydin (2007)** The regeneration capabilities of bryophytes for rich fen restoration. *Biological Conservation*, 135: 435-442.
- McQueen-Mason, S. and Cosgrove, D. J. (1994)** Disruption of hydrogen bonding between plant cell wall polymers by proteins that induce wall extension. *Proceeding National Academy of Science*, 91: 6574-6578.
- Meulen, M. van der, Lang, F. de, Maljers, D., Dubelaar, W., Westerhoff, W., (2002).** *Grondstoffen en delfstoffen bij naam*. Publicatiereeks grondstoffen 2002/21, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft & TNO-NITG, 96 pp.
- Mettrop, I.S., A.M. Kooijman, L.P.M. Lamers & C. Cusell (2014)** *Peilfluctuaties in het laagveenlandschap: relaties tussen hydrologie, ecosysteem-dynamiek en Natura 2000-habitattypen*. Rapportnr. 2014/OBN201-LZ, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Nijp, J.J., S.F. Stofberg, G. van Dijk, C. Cusell & A.H.W. Koks (2020)** *Onderzoek naar bevloeiing als beheermaatregel voor herstel van basenrijke trilvenen: Experiment Naardermeer*. Rapportnr. 2020.069, KWR, Nieuwegein.
- Mkhonza, N.P., N.N. Buthelezi-Dube & P. Muchaonyerwa (2020)** *Effects of lime application on nitrogen and phosphorus availability in humic soils*. Scientific reports, 10: 8643.
- Nordbakken (2002)** *Effekter av kalking på myrvegetasjon i Härjedalen*. Länsstyrelsen Jämtlands Län.
- Olde Venterink, H., M.J. Wassen, A.W.M. Verkroost & P.C. de Ruiter (2003)** Species richness-productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands. *Ecology*, 84: 2191-2199.
- Ono, S.I. (1989)** Nitrogen mineralization from paddy and upland soils under flooded and nonflooded incubation. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35: 417-426.
- Ono, S.I. (1991)** Effects of flooding and liming on the promotion of mineralization of soil organic nitrogen. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37: 427-433.
- Paulissen, M.P.C.P., P.J.M. Van der Ven, A.J. Dees & R. Bobbink (2004)** Differential effects of nitrate and ammonium on three fen bryophyte species in relation to pollutant nitrogen input. *New Phytologist*, 164: 451-458.
- Paulissen, M.P.C.P., J.H.J. Schaminee, H.J. During, G.W.W. Wamelink & J.T.A. Verhoeven (2014)** Expansion of acidophytic late-successional bryophytes in Dutch fens between 1940 and 2000. *Journal of Vegetation Science*, 25: 525-533.
- Paulissen, M.P.C.P., R. Bobbink, S.A. Robot & J.T.A. Verhoeven (2016)** Effects of reduced and oxidised nitrogen on rich-fen mosses: A 4-year field experiment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(1).
- Pawlikowski, P., K. Abramczyk, A. Szczepaniuk & L. Kozub (2013)** Nitrogen:phosphorus ratio as the main ecological determinant of the differences in the species composition of brown-moss rich fens in North-Eastern Poland. *Preslia*, 85: 349-367.
- Pegtel, D.M. (1983)** Ecological aspects of a nutrient-deficient wet grassland (*Cirsio-Molinietum*). *Verhandl. Ges. Ökol.*, 10: 217-228.
- Piek, H., H. van Slogteren & N. van Heijst (1997)** Herstel van verzuurde hooilanden in De Wieden. *De Levende Natuur*, 98: 283-288.
- Runhaar, H., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte & S.M. Hennekens (2009)** *Ecologische vereisten habitattypen*. Rapportnr. 09-018, KWR, Nieuwegein.
- Schenk M. & J. Wehrmann (1979)** The influence of ammonium in nutrient solution on growth and metabolism of cucumber plants. *Plant Soil*, 52: 403-414.
- Schipper, P.C. & B.F. Van Tooren (2007)** Restauratie van natte schraallanden is maatwerk. *De Levende Natuur*, 108: 135-139.
- Shannon, C.E. (1948)** A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
- Shapiro, S.S. & M.B. Wilk (1965)** An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52: 591-611.
- Simpson, E.H. (1949)** Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.

- Stofberg, S.F., G. van Dijk, J.J. Mandemakers, C. Cusell, T. Muijen & A.M. Kooijman (2019)** *Verzuring en ontwikkeling van trilveenvegetaties in De Haak*. Rapportnr. 2019.038, KWR, Nieuwegein.
- Tukey, J.W. (1977)** *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, Reading.
- Van der Hoek, D. (2015)** *The effectiveness of restoration measures in species-rich fen meadows*. PhD-Thesis, Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Ulrich, B. (1981)** Okologische Gruppierung von Boden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 144: 289-305.
- Van Diggelen, J.M.H., I.H.M. Bense, E. Brouwer, J. Limpens, J.M.M. van Schie, A.J.P. Smolders & L.P.M. Lamers (2015)** Restoration of acidified and eutrophied rich fens: Long-term effects of traditional management and experimental liming. *Ecological Engineering*, 75: 208-216.
- Van Diggelen, J.M.H., G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders (2018)** *Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen, ten behoeve van het behoud en herstel van habitatype H7140 (Natura 2000)*. Rapportnr. 2018/OBN000-LZ, VBNE, Driebergen.
- Van Dobben, H.F., A. Barendregt, A.M. Kooijman & N.A.C. Smits (2012)** *Herstelstrategie H7140A: Overgangs- en trilvenen (Trilvenen)*. <https://www.natura2000.nl/meer-informatie/herstelstrategieen>.
- Van Duren, I.C. (2000)** *Nutrient limitation in drained and rewetted fen meadows*. PhD-Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- Van Duren, I.C., R.J. Strykstra, A.P. Grootjans, G.N.J. ter Heerdt & D.M. Pegtel (1998)** A multidisciplinary evaluation of restoration measures in a degraded *Cirsio-Molinietum* fen meadow. *Applied Vegetation Science*, 1: 115-130.
- Van Haasteren, J. (1999)** *Effectgerichte maatregelen in verzuurde trilvenen in de vechtstreek: bekalken en plaggen*. Doctoraal verslag, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Van Ommering, G. & R.J.J. Hendriks (2004)** *Handleiding Subsidie Effectgerichte Maatregelen 2005. Overlevingsplan Bos en Natuur - Regeling effectgerichte maatregelen in bossen en natuurterreinen*. Rapportnr. EC-LNV 2004/326-O, Ministerie van LNV, Ede.
- Van Wirdum, G. (1991)** *Vegetation and hydrology of floating rich-fens*. PhD-Thesis, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Veeken, A. & M.J. Wassen (2020)** Impact of local- and regional-scale restoration measures on a vulnerable rich fen in the Naardermeer nature reserve (the Netherlands). *Plant Ecology*, 6: <https://doi.org/10.1007/s11258-020-01049-6>.
- Vergeer, P., R. Rengelink, N.J. Ouborg & J.G.M. Roelofs (2003)** Effects of population size and genetic variation on the response of *Succisa pratensis* to eutrophication and acidification. *Journal of Ecology*, 91: 600-609.
- Verhoeven, J.T.A., B. Beltman, E. Dorland, S.A. Robat & R. Bobbink (2011)** Differential effects of ammonium and nitrate deposition on fen phanerogams and bryophytes. *Applied Vegetation Science*, 14: 149-157.
- Vicherova, E. (2020)** *The ecology of peatland bryophytes - adaptations and competition in alkaline fens*. PhD-Thesis, University of South Bohemia, České Budějovice.
- Vicherova, E., M. Hajek & T. Hajek (2015)** Calcium intolerance of fen mosses: Physiological evidence, effects of nutrient availability and successional drivers. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17: 347-359.
- Weijs, W.A. & B.F. van Tooren (2014)** Verlanding in nieuwe petgaten van de Oostelijke Vechtstreek. *De Levende Natuur*, 115: 42-48.
- Weijters, M., R. Bobbink, E. Verbaarschot, B. van de Riet, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel (2018)** *Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek*. Rapportnr. OBN-222-DZ. VBNE, Driebergen.
- Wheeler, B.D. & M.C.F. Proctor (2000)** Ecological gradients, subdivisions and terminology of North-West European mires. *Journal of Ecology*, 88: 187-203.

## 7. Bijlage

### 7.1 De ster

De onderzoekslocatie in De Ster is in 1998 bekalkt. De locatie maakte deel uit van in totaal zeven natte schraallanden die rond 1998 zijn bekalkt in de Oostelijke Vechtplassen. De destijds gekozen locaties verschilden van elkaar in de mate van verzuring. De Ster behoorde tot de categorie 'middelmatig verzuurd' (Barendregt *et al.* 2004). Twinspananalyses die destijds zijn uitgevoerd op de vegetatiegegevens typeerden De Ster als veenmostrilveen (Van Haasteren 1999). In de ster zijn in 1998 negen plots van ca. 3 x 3 meter uitgezet. Drie van de plots dienden als controle, drie werden bekalkt en drie plots zijn bekalkt én geplagd. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.1.** Bemonsterde locaties in De Ster

**Figure 7.1.** Sampled locations in 'De Ster'



Onderzoekslocatie in De Ster in 1998 (links) en 2021 (rechts). Foto links: A. Barendregt, Foto rechts: C. Cusell.

### **7.1.1 Effect van bekalken op de vegetatie**

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

In 2021 was de totale bedekking van de moslaag in de zes opnieuw bemonsterde plots van De Ster (vrijwel) 100%. Er is dan ook geen verschil in de totale mosbedekking tussen de verschillende behandelingen (Figuur 7.26). De samenstelling van de moslaag varieert wel tussen de bekalkte, de bekalkte in combinatie met geplagde plots en de controleplots. In de bekalkte plots lijkt de bedekking met haarmos lager te zijn dan in de controle en de bekalkte in combinatie met geplagde plots (Figuur 7.28). De bedekking met veenmossen lijkt in de bekalkte plots echter hoger te zijn dan in de controle en de bekalkte in combinatie met geplagde plots (afbeelding niet getoond). Dit lijkt een indicatie dat de bekalkte plots (wat) minder ver zijn verzuurd dan de controleplots en de bekalkte en geplagde plots. Voornamelijk wat betreft de bekalkte + geplagde plots is dit opvallend: de theorie is namelijk dat door de zure toplaag te verwijderen, het effect van bekalking groter is en langer zichtbaar blijft. In de eerste jaren van bekalking was de (veen- en haar)mosbedekking nog significant lager ten opzichte van de controle (Barendregt *et al.* 2004). Bekalking heeft in De Ster dus wel enkele jaren effect gehad op de samenstelling van de moslaag. Inmiddels is de locatie echter in alle plots zo ver verzuurd dat veenmossen en haarmossen (weer) dominant zijn. Mossen die kenmerkend zijn voor trilveen (Figuur 7.29) en voedselrijke rietlanden (Figuur 7.30) zijn niet aangetroffen in De Ster.

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

Er zijn geen verschillen waargenomen in de vaatplantenbedekking of samenstelling van de kruidlaag tussen de controle en de behandelingen 'bekalken' en 'bekalken in combinatie met plaggen' (Figuren 7.31 t/m 7.34).

#### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

Er zijn geen verschillen waargenomen in de biomassaproductie en N:P ratio tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.35 en 7.36).

### **7.1.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

#### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De natte bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots, bekalkte in combinatie met geplagde plots en de controles (Figuren 7.37 en 7.39). De droge bulkdichtheid lijkt in de plots die bekalkt en geplagd zijn lager dan in de controles. De bekalkte plots lijken niet te verschillen van de controle (en de bekalkte en geplagde plots) (Figuur 7.38).

#### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

Er lijken in De Ster geen verschillen te zijn tussen de bekalkte, bekalkte in combinatie met geplagde plots en de controleplots voor de pH, de IC-concentratie, het EGV, de basenbezetting, de magnesium- en calciumconcentraties, de potentiële verzuringscapaciteit en zwavelgehalten (Figuren 7.40 t/m 7.48). Ruim 20 jaar na bekalken lijkt er dus geen effect meer te zijn op de basenhuishouding van de bodem.

De EGV-diepteprofielen (Figuur 7.2) laten zien dat het EGV in De Ster over de gehele diepte zeer laag is. De bodem bevat dus zeer weinig ionen. Het vocht in de bodem wordt sterk beïnvloed door regenwater. Enige invloed van basenrijke kwel of basenrijk oppervlaktewater lijkt op basis van de EGV-diepteprofielen niet aanwezig. Ook hier is er geen verschil tussen de controles en de plots die bekalkt (en geplagd) zijn.

	Kalk 68	Kalk 69	Kalk 70	Kalk 71	Controle 72	Controle 73
0 cm	105	71	132		113	17
10 cm		104	68	66	77	71
20 cm	72	75	60	57	62	75
30 cm	59	63	52	44	44	43
40 cm	48	39	37	34	19	31
50 cm	43	26	33	17	19	29
60 cm	40	21	29	33	35	32
80 cm	73	81	64	53	69	41
100 cm	112	92	110	92	106	102
120 cm	139	48	87			84
140 cm	107					
160 cm	43					
180 cm						

**Figuur 7.2.** EGV-diepteprofilen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in De Ster.

**Figure 7.2.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in De Ster. Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding

Na ruim 20 jaar lijken er geen effecten (meer) zichtbaar te zijn van bekalken op de nutriëntenhuishouding van De Ster. Er zijn geen verschillen waargenomen in P-, DOP-,  $\text{NH}_4$ - en  $\text{NO}_3$ -gehalte tussen de bekalkte plots, bekalkte in combinatie met geplagde plots en de controleplots (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.2 De Wieden (1)

Verschillende percelen nabij de werkschuur van Natuurmonumenten nabij de Reënweg (Figuur 7.3) worden ongeveer om het jaar bekalkt. Ook wordt een deel van de percelen niet bekalkt. De bekalking wordt uitgevoerd in veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden. Vooral in de dotterbloemhooilanden lijkt de kwaliteit van de vegetatie te verbeteren bij regelmatig bekalken.

Voor dit onderzoek zijn vier plots in dotterbloemhooiland (waarvan twee bekalkt) en twee plots in veenmosrietland (waarvan één bekalkt) onderzocht. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.3.** Bemonsterde locaties in De Wieden (1)

**Figure 7.3.** Sampled locations in De Wieden (1)



Onderzochte, bekalkte dotterbloemhooilandjes in De Wieden. Foto: C. Cusell

### 7.2.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag varieert tussen 80% en 100%. Er lijkt geen verschil in totale mosbedekking te zijn tussen de bekalkte plots en de controleplots (Figuur 7.26). De samenstelling van de moslaag lijkt wel te verschillen tussen de controleplots en de bekalkte plots. In de bekalkte plots lijkt de bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietland lager dan in de controleplots (Figuur 7.27). De afname in soorten van veenmosrietland (voornamelijk veenmossen) lijkt gecompenseerd te worden door een toename in gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*, kenmerkend voor voedselrijke rietlanden, Figuur 7.30). Daarnaast lijkt er een toename op te treden in mossen die kenmerkend zijn voor trilveen (Figuur 7.29). De trilveenmossen nemen voornamelijk toe in de dotterbloemhooilandjes van De Wieden. In de veenmosrietlanden is de toename verwaarloosbaar. Dit verschil wordt vermoedelijk veroorzaakt door de hogere basenrijkdom in de dotterbloemhooilandjes ten opzichte van de veenmosrietlanden. Haarmossen zijn zowel in de bekalkte als de controleplots niet aangetroffen (Figuur 7.28). Bekalken in De Wieden lijkt dus te werken om de bedekking met zure mossen te doen afnemen. Hiervoor komen soorten terug die kenmerkend zijn voor basenrijkere condities.

#### Effect van bekalken op de kruidlaag

Bekalken lijkt in De Wieden geen effecten te hebben op de bedekking van de kruidlaag (Figuur 7.31). Wel heeft bekalking enig effect op de samenstelling van de kruidlaag. De bedekking met kruiden die kenmerkend zijn voor trilveen lijkt hoger in de bekalkte plots dan in de controleplots (Figuur 7.33). Er lijken geen effecten van bekalking te zijn op de bedekking met kruiden van veenmosrietland en kruiden van voedselrijke rietlanden (Figuur 7.32 en Figuur 7.34).

#### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

Er lijken geen verschillen in de biomassa-productie en N:P ratio te zijn tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.35 en 7.36). Bekalken lijkt in De Wieden (1) dan ook geen effect te hebben op de biogeochemie van de vegetatie.

## 7.2.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.37 t/m 7.39).

### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Bekalken lijkt op de onderzochte locaties tot hogere calcium- en magnesiumconcentraties te leiden (Figuren 7.41 en 7.42). De EGV-diepteprofielen laten ook zien dat bekalking een effect heeft op de basenhuishouding (figuur 7.4). Het effect van bekalken op het EGV werkt door tot vrij grote diepte. Dit betekent dat een deel van de kalk vermoedelijk is uitgespoeld naar diepere delen van de bodem. In de bovenste - voor vegetatie relevante - bodemlaag is het EGV ook relatief hoog, wat indiceert dat een deel van de kalk nog aanwezig is in de bovenste delen van de bodem, en daarmee van invloed kan zijn op de vegetatieontwikkelingen.

	Kalk 13	Kalk 14	Controle 15	Controle 16	Controle 17	Kalk 18
0 cm	266	268	48	53	93	232
10 cm	309	219	219	68	161	290
20 cm	246	255	96	88	70	251
30 cm	211	258	79	70	61	219
40 cm	190	194	89	76	59	194
50 cm	211	147	84	128	91	156
60 cm	177	189	85	147	74	153
80 cm	257	246	116	177	73	165
100 cm	300	266	188	154	106	213
120 cm	242	270	209	220	163	231
140 cm	234	283	173	226	197	239
160 cm	101	246	72	124	181	
180 cm		121			120	

**Figuur 7.4.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in De Wieden (1).

**Figure 7.4** Depth profiles of the EC in the sampled locations in De Wieden (1). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Bekalken lijkt geen effect te hebben op de nutriënthuishouding in De Wieden (1). Er zijn geen verschillen in P-, DOP-,  $\text{NH}_4$ - en  $\text{NO}_3$ -gehalte tussen de bekalkte plots en de controle (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.3 De Wieden (2)

In de omgeving van Dwarsgracht (Figuur 7.5) worden verschillende graslanden, rietlanden en hooilanden ongeveer om het jaar bekalkt. Ook wordt een deel van de percelen niet bekalkt. In dit gebied zijn drie plots opgenomen in veenmosrietland. Hiervan zijn er twee bekalkt en is er één niet bekalkt. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.5.** Bemonsterde locaties in De Wieden (2)

**Figure 7.5.** Sampled locations in De Wieden (2)



Onderzochte, bekalkte veenmosrietlandjes in De Wieden nabij Dwarsgracht. Foto: C. Cusell

### 7.3.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag was in alle drie de percelen hoog: 90% of hoger. In de bekalkte plots stonden echter vrijwel geen mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietlanden, terwijl de bedekking met dergelijke mossen 100% is in de controleplot (Figuur 7.27). Voor mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden is het andersom: deze mossen hebben een zeer hoge bedekking in de bekalkte plots, terwijl ze geheel afwezig zijn in de controleplot (Figuur 7.30). In de controle domineren 'zure' mossen, waarbij de mosbedekking vrijwel volledig wordt gevormd door gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). In de bekalkte plots zijn dergelijke 'zure' mossen grotendeels afwezig, en wordt de mosbedekking voornamelijk gevormd door het basenrijkere (en nutriëntrijker) gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*). Haarmos en trilveenmosses zijn zowel in de controleplot als in de bekalkte plots niet tot nauwelijks aanwezig (Figuren 7.28 en 7.29).

### Effect van bekalken op de kruidlaag

De bedekking van de kruidlaag is in de bekalkte plots ca. 75%, tegenover een bedekking van 35% in de controleplot (Figuur 7.31). De samenstelling van de kruidlaag verschilde weinig tussen de controleplot en de bekalkte plots (Figuren 7.32 t/m 7.34).

### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

De biomassaproduktie en de N:P ratio zijn in de bekalkte plots en de controleplot vergelijkbaar (Figuren 7.35 en 7.36). De N:P ratio is ruim beneden 14.5, wat betekent dat er sprake is van N-limitatie.

## 7.3.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid zijn in de bekalkte plots hoger dan in de controleplot (Figuren 7.37 en 7.38). Tevens is het organisch stofgehalte in de bekalkte plots lager dan in de controleplot (Figuur 7.39). Mogelijk ligt een sterke afname in veenmosbedekking als gevolg van de bekalking ten grondslag aan het lagere organische stofgehalte.

### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Bekalking lijkt bij deze plots effect te hebben op de basenhuishouding. De pH van de bekalkte plots is met gemiddeld 6.7 aanzienlijk hoger dan de pH in de onbekalkte plot van 5.2 (Figuur 7.40). Ook zijn basenbezetting, de magnesium- en calciumconcentraties en IC-concentratie hoger in de bekalkte plots (Figuren 7.45, 7.41, 7.42 en 7.48). De potentiële verzuringscapaciteit (Figuur 7.46), die mede wordt bepaald door de magnesium- en calciumconcentraties, is in de bekalkte plots aanzienlijk lager dan in de controle. Bekalken lijkt geen effect te hebben op de CEC en het EGV (Figuren 7.44 en 7.43).

De EGV-diepteprofielen wijzen erop dat de topbodem van plot 21 behoorlijk sterk is aangereikt met basen (Figuur 7.6). Op de andere bekalkte locatie en de controleplot is het EGV in de bovenste delen van de bodem laag. Hier is voornamelijk sprake van regenwaterinvloed. Dit is in lijn met het EGV in het porievocht (Figuur 7.43).

	Kalk 19	Controle 20	Kalk 21
0 cm	74	56	259
10 cm	87	145	49
20 cm	189	70	167
30 cm	180	81	135
40 cm	134	89	136
50 cm	157	126	144
60 cm	117	94	184
80 cm	193	144	206
100 cm	236	197	203
120 cm	162	226	174
140 cm	148	202	137
160 cm	135	59	67
180 cm			

**Figuur 7.6.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in De Wieden (2).

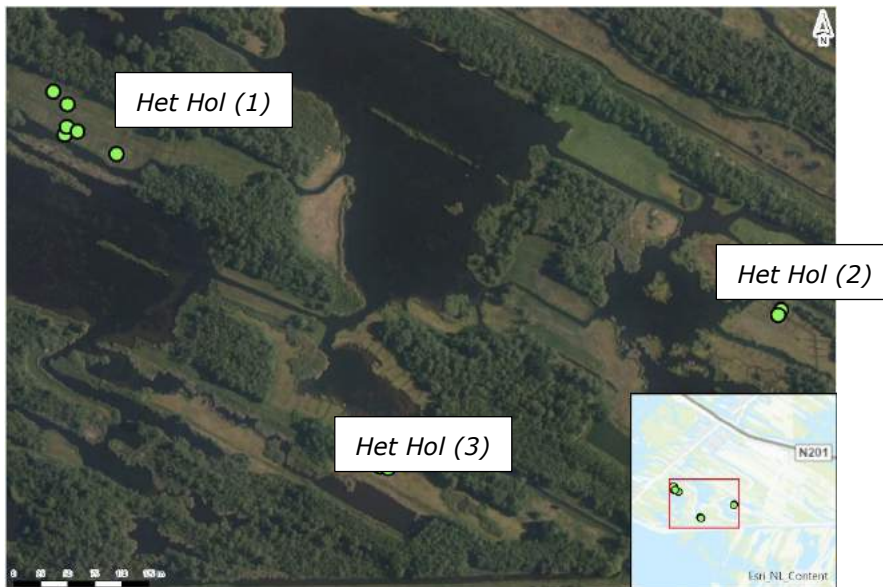
**Figure 7.6.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in De Wieden (2). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

De nutriëntgehaltenes - P, DOP, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> - zijn in de bekalkte plots lager dan in de controle (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.4 Het Hol (1)

In Het Hol wordt sinds 2010 een groot veenmosrietlandperceel bekalkt waarin sprake was van verzuring (Figuur 7.7; locatie 1). Tussen 2010 en 2019 is er intensief bekalkt met een jaarlijkse kalkgift van 1000 - 1500 kg/ha. Vanaf 2019 wordt er jaarlijks bekalkt met 400 - 600 kg/ha. Het perceel wordt in het geheel bekalkt. Op deze locaties zijn zes (bekalkte) plots bemonsterd. Omdat alle plots in dit vlak bekalkt zijn, is het niet mogelijk de verschillen tussen bekalkt en controle te onderzoeken voor deze locatie. Wel worden patronen in de vegetatiesamenstelling en biogeochemie in de onderzochte plots ten opzichte van andere (niet op dit perceel gelegen) locaties belicht. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.7.** Bemonsterde locaties in Het Hol (1, 2 & 3)

**Figure 7.7.** Sampled locations in Het Hol (1, 2 & 3)



Overzichtsfoto van het grote bekalkte vlak in Het Hol. Foto: C. Cusell

#### **7.4.1 Effect van bekalken op de vegetatie**

##### **Effect van bekalken op de moslaag**

De totale bedekking van de moslaag is in het grote vlak van Het Hol relatief laag in vergelijking met overige recent bekalkte veenmosrietlandlocaties (Figuur 7.26). De mosbedekking is gemiddeld 37,5%, waar de meeste andere veenmosrietlanden die maximaal vijf jaar geleden zijn bekalkt een bedekking hebben die hoger is dan 80%. De mosbedekking bestaat voornamelijk uit rood viltmos (*Aulacomnium palustre*, kenmerkend voor veenmosrietland) en puntmos (*Calliergonella cuspidata*, kenmerkend voor voedselrijke rietlanden) (Figuren 7.27 en 7.30). Ook zijn lokaal hoge bedekkingen met gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) aangetroffen. De veenmosbedekkingen zijn laag. Dit is in lijn met overige locaties die onlangs zijn bekalkt. Ook op die locaties neemt de veenmosbedekking sterk af. Van deze locatie in Het Hol is bekend dat er vóór bekalking een dik pakket met veen- en haarmos aanwezig was. De bekalking heeft ervoor gezorgd dat deze mossen vrijwel volledig zijn verdwenen (Figuren 7.27 en 7.28).

##### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

De bedekking van de kruidlaag is gemiddeld 55%. De bedekking met kruiden lijkt iets hoger dan vóór bekalking. Uit vegetatieopnames die gemaakt zijn in 2010 is gebleken dat de vegetatiebedekking toentertijd ongeveer 45% was. De samenstelling van de kruidlaag varieert binnen het vlak (Figuren 7.32 t/m 7.34). In de wat lageregelegen delen komen vaatplanten voor die kenmerkend zijn voor trilveen, terwijl in de hoger gelegen delen voornamelijk vaatplanten van veenmosrietland of voedselrijk rietland voorkomen.

##### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

In het veenmosrietland in Het Hol (1) is sprake van N-limitatie. De N:P ratio is gemiddeld 6.0 (Figuur 7.36). Dit is in lijn met andere veenmosrietlanden, waar de biomassaontwikkeling doorgaans ook door stikstof wordt gelimiteerd (Tabel 7.1; paragraaf 7.17). De biomassaproductie is gemiddeld ca. 130 gram drooggewicht per vierkante meter. Dit is relatief laag: in de dataset van Van Diggelen *et al.* (2020) was de biomassaproductie in veenmosrietland gemiddeld 389 gram drooggewicht per vierkante meter (Tabel 7.1).

#### **7.4.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

##### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte zijn in lijn met andere, recent bekalkte veenmosrietlanden (Figuur 7.37 t/m Figuur 7.39). Hoewel de bekalkte plots niet te vergelijken zijn met controles op deze locatie, lijkt ook in Het Hol het organisch stofgehalte (in de bekalkte plots) lager dan in niet-bekalkte veenmosrietlanden (Figuur 7.39 en Tabel 7.1). Vermoedelijk ligt een afname in veenmosbedekking als gevolg van bekalking hieraan ten grondslag.

##### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

De pH en calciumconcentratie zijn hoog ten opzichte van andere bemonsterde veenmosrietlanden, zowel bekalkt als onbekalkt (Figuren 7.40 en 7.41). Vermoedelijk komt dit doordat het Hol (1) slechts twee maanden voor de bemonstering nog bekalkt is (met 400 kg/ha). Ook de basenbezetting is hoog, en is in lijn met de basenbezetting op andere recent bekalkte locaties (Figuur 7.45). Hetzelfde geldt voor de potentiële verzuringscapaciteit: deze is, net als andere recent bekalkte locaties, ruim beneden de 1 (Figuur 7.46).

De EGV-diepteprofielen (Figuur 7.8) laten zien dat het EGV in de bovenste 10 centimeter van de bodem fors hoger is dan in de middenlaag (m.u.v. kalk 1). Omdat alle bemonsterde plots bekalkt zijn, is niet met zekerheid te zeggen dat het verhoogde EGV in de bovenlaag van de bodem het effect is van bekalking. Het is echter wel zeer waarschijnlijk. Alleen op locatie 1 laat het EGV-

diepteprofiel geen verhoogde waarden in de bovenste 10 centimeter zien. De pH, het EGV van het poriewater en de calciumconcentratie waren op deze locatie ook lager dan in de overige bemonsterde plots. Mogelijk is er op deze locatie per toeval minder kalk uitgestrooid.

	Kalk 1	Kalk 2	Kalk 3	Kalk 4	Kalk 5	Kalk 6
0 cm	77	383	367	413	297	335
10 cm	114	376	378	466	372	428
20 cm	107	167	188	218	283	62
30 cm	52	83	56	150	145	48
40 cm	61	63	52	117	129	39
50 cm	58	76	53	147	118	41
60 cm	51	69	100	117	125	56
80 cm	70	59	66	177	187	80
100 cm	120	79	77	200	107	80
120 cm	141	147	132	186	127	153
140 cm	185	165	160			177
160 cm	192	180	178			189
180 cm	172	200	170			191

**Figuur 7.8.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S/cm}$ ) van de bemonsterde plots in Het Hol (1).

**Figure 7.8.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Het Hol (1). Values are in  $\mu\text{S/cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

De concentraties van P, DOP,  $\text{NO}_3$  en  $\text{NH}_4$  zijn vergelijkbaar met andere veenmosrietlandlocaties, zowel bekalkt als onbekalkt (Figuur 7.49 t/m 7.52). De nutriëntconcentraties lijken dan ook niet te zijn beïnvloed door bekalking. Dit is echter niet met zekerheid te zeggen doordat geen referenties aanwezig waren op deze locatie.

## 7.5 Het Hol (2)

De 'vissengraat' in Het Hol (Figuur 7.7; locatie 2) is in 2020 eenmalig bekalkt in het kader van de PAS-maatregelen. De kalkgift bedroeg ca. 500 kg/ha. Vanwege het kleine bekalkte oppervlak is één plot bemonsterd in het bekalkte deel en één plot in het niet-bekalkte deel. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).

### 7.5.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag was in beide percelen 100% (Figuur 7.26). De moslaag bestaat in beide plots voornamelijk uit gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). Wel is de bedekking met gewoon veenmos in de bekalkte plot ca. 80%, tegenover 100% in de controle. Gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*) vormt de overige 20% bedekking in de bekalkte plot. Dit is een verstoringsindicator. De aanwezigheid van deze soort in de bekalkte plot is dan ook goed te verklaren. Haarmos, trilveenmossen en mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden zijn niet of nauwelijks aangetroffen (Figuren 7.28 t/m 7.30).



*Bekalkte vlak in de 'vissengraat' in Het Hol. Foto: C. Cusell.*

### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

De vaatplantenbedekking en de samenstelling van de kruidlaag zijn vergelijkbaar tussen de controleplot en de bekalkte plot (Figuren 7.31 t/m 7.34). De eenmalige bekalking lijkt in de 'vissengraat' dan ook geen effect te hebben gehad op de kruidlaag.

### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

De biomassaproductie in de bekalkte plot en de controleplot is vergelijkbaar (Figuur 7.35). Bekalken lijkt in de 'vissengraat' in Het Hol (2) dan ook geen effect te hebben op de biomassaproductie. De N:P ratio ligt in de controleplot wat hoger dan in de bekalkte plot (Figuur 7.36). In beide plots is echter sprake van N-limitatie. In het geval dat het verschil in N:P ratio daadwerkelijk is veroorzaakt door bekalking, heeft dit in praktijk dus weinig effect (er is nog steeds sprake van N-limitatie).

## **7.5.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De droge bulkdichtheid is vergelijkbaar (Figuur 7.38). Ook het organisch stofgehalte is vergelijkbaar (Figuur 7.39). Bekalken lijkt dan ook geen effect te hebben op de bulkdichtheden en het organisch stofgehalte in Het Hol (2).

### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

De pH en vooral de basenbezetting lijken in de bekalkte plot hoger dan in de controleplot (Figuren 7.40 en 7.45). Dit komt vermoedelijk door de bekalking. Verder zijn de plots vergelijkbaar wat betreft de basenhuishouding (Figuren 7.41 t/m 7.44, Figuur 7.46 en 7.47).

De EGV-diepteprofielen (Figuur 7.9) laten zien dat het EGV op de bekalkte locatie iets hoger is dan in de controleplot. Echter, beide EGV's zijn laag en wijzen op een grote regenwaterinvloed. Het EGV van het poriewater is in lijn met het EGV van de diepteprofielen: laag en weinig verschillend tussen de bekalkte plot en de controleplot.

	Kalk 32	Controle 33
0 cm	154	95
10 cm	101	68
20 cm	131	52
30 cm	129	45
40 cm	96	39
50 cm	92	46
60 cm	113	55
80 cm	144	102
100 cm	164	128
120 cm	211	171
140 cm	274	213
160 cm	302	183
180 cm		

**Figuur 7.9.** EGV-diepteprofilen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in Het Hol (2).

**Figure 7.9.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Het Hol (2). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Mogelijk is er in de bekalkte plot sprake van P-mobilisatie als gevolg van bekalking: de P- en DOP-concentraties zijn aanzienlijk hoger in de bekalkte plot dan in de controleplot (Figuren 7.49 en 7.50). De  $\text{NO}_3^-$ - en  $\text{NH}_4^-$ -concentraties zijn vergelijkbaar in de bekalkte plot en controleplot (Figuren 7.51 en 7.52).

## 7.6 Het Hol (3)

De derde onderzoekslocatie in Het Hol (3; Figuur 7.7) is in 1998 eenmalig bekalkt. De locatie maakte deel uit van in totaal zeven natte schraallanden die rond 1998 zijn bekalkt in de Oostelijke vechtplassen. De destijds gekozen locaties verschilden van elkaar in de mate van verzuring. De locatie in Het Hol behoorde tot de categorie 'middelmatic verzurd' (Barendregt *et al.* 2004). Twinspananalyses die destijds zijn uitgevoerd op de vegetatiegegevens typeerden Het Hol als veenmostrilveen (Van Haasteren 1999). In Het Hol zijn in 1998 negen plots van ca. 3 x 3 meter uitgezet. Drie van de plots dienden als controle, drie werden bekalkt en drie plots zijn bekalkt én geplagd. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).

### 7.6.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag is in vijf van de zes opnieuw bemonsterde plots (vrijwel) 100%. Alleen in één van de geplagde in combinatie met bekalkte plots is de bedekking lager: 60%. Dit lijkt echter niet te leiden tot verschillen tussen de behandelingen (Figuur 7.26). De samenstelling van de moslaag varieert wel tussen de bekalkte, de bekalkte en geplagde en de controleplots. In de plots die zijn geplagd en bekalkt lijkt de bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietland lager te zijn dan in de controleplots en de bekalkte plots (Figuur 7.27). De bedekking van veenmossen is in de bekalkte en geplagde plots echter wel hoog. Dit wordt veroorzaakt door een grote bedekking van sparrig veenmos (*Sphagnum teres*) in deze plots, dat voorkomt bij wat basenrijkere condities dan de kenmerkende mossen van veenmosrietlanden. Het effect van bekalken in combinatie met plagen lijkt dus ruim 20 jaar na dato nog steeds enigszins zichtbaar in de moslaag. De bedekking met trilveenmossen en mossen van voedselrijke rietlanden is in alle plots laag (Figuren 7.29 en 7.30).



Onderzoeklocatie in Het Hol. Foto: C. Cusell

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

De samenstelling van de kruidlaag is zeer vergelijkbaar tussen de drie behandelingen (Figuren 7.32 t/m 7.34)

#### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

De biomassaproductie en de N:P ratio lijken niet te verschillen tussen de controleplots, de bekalkte plots en de bekalkte én geplagde plots (Figuren 7.35 en 7.36). Ruim 20 jaar na bekalkten lijkt er dan ook geen effect (meer) op de biogeochemie van de vegetatie.

### **7.6.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

#### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte zijn vergelijkbaar in de bekalkte plots, bekalkte en geplagde plots en de controleplots (Figuren 7.37 t/m 7.39).

#### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

De plots die bekalkt en geplagd zijn, wijken wat betreft basenbezetting, calciumconcentratie en potentiële verzuringscapaciteit af van de controleplots. De calciumconcentratie en basenbezetting lijken in de bekalkte en geplagde plots hoger te zijn dan in de controleplots (Figuren 7.41 en 7.45). De potentiële verzuringscapaciteit lijkt lager te zijn (Figuur 7.46). De calciumconcentraties zijn in vergelijking met recent bekalkte veenmosrietlanden echter laag. Hoewel de concentraties dus (nog) iets verhoogd lijken, mogelijk (nog) als gevolg van de bekalking, is er een duidelijk verschil met recent(er) bekalkte locaties.

Het EGV-diepteprofiel (Figuur 7.10) van de bodem is op alle bemonsterde locaties laag: zowel in de controles als in de bekalkte (al dan niet ook geplagde) plots is er een grote regenwaterinvloed boven in het profiel. Er lijkt in de voor de vegetatie relevante bodemlagen geen invloed van baserijk (oppervlakte)water te zijn. Opvallend is dat hoewel er in het EGV-profiel geen effect van bekalken (meer) zichtbaar is, de samenstelling van de moslaag in de controle significant verschilt van de samenstelling van de moslaag in de bekalkte (al dan niet geplagde) plots. De samenstelling van de moslaag in de bekalkte (en geplagde) plots is kenmerkend voor wat minder verzuurde

condities dan de samenstelling van de moslaag in de controleplots en de basenbezetting van de bodem is op die plekken ook nog significant hoger. Dit wijst erop dat er in het verleden wel degelijk een effect van bekalken op de basenhuishouding is geweest.

	Kalk 34	Kalk 35	Controle 36	Kalk 37	Kalk 38	Controle 39
0 cm	99	93	75	66	63	20
10 cm	118	99	80	136	106	103
20 cm	120	67	59	142	58	67
30 cm	155	84	41	163	66	57
40 cm	135	117	37	132	66	43
50 cm	146	145	37	161	92	85
60 cm	152	145	54	160	122	90
80 cm	193	232	129	201	149	146
100 cm	335	307	221	243	335	316
120 cm	389	328	318	398	395	420
140 cm	402	342	329	377	359	396
160 cm	356	321	367	383	345	395
180 cm	331	345	330	348	346	370

**Figuur 7.10.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in Het Hol (2).

**Figure 7.10.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Het Hol (2). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding

Ruim 20 jaar na dato zijn er geen effecten (meer) zichtbaar van bekalken op de nutriëntenhuishouding van de onderzochte locaties. Er zijn geen significante verschillen in P-, DOP-,  $\text{NH}_4$ - en  $\text{NO}_3$ -gehalte tussen de bekalkte plots, bekalkte en geplagde plots en de controleplots (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.7 Kortenovertje

De locatie in het Kortenovertje (bij Kortenhoef) bestaat uit twee delen (Figuur 7.11). Deel 1 was eind jaren '80 van de vorige eeuw sterk verzuurd. Rond 1990 is de ruigte weer omgezet naar hooiland. Er is toen direct na de omzetting intensief bekalkt met een kalkgift van 1500 - 2000 kg/ha. Vervolgens is nog twee keer bekalkt (rond 2000 en 2006) met ca. 500 kg/ha. Het zuidwestelijk deel (deel 2) van het Kortenovertje is in 2019 in het kader van de PAS-maatregelen eenmalig bekalkt met ca. 500 kg/ha kalk. De bemonsterde plots in Kortenovertje 1 (Figuur 7.12) zijn te typeren als trilveen (van matige kwaliteit), terwijl de bemonsterde plots in Kortenovertje 2 (Figuur 7.12) vallen binnen het habitatype veenmosrietland. Omdat alle plots in het Kortenovertje zijn bekalkt, is het niet mogelijk de verschillen tussen bekalkt en controle te onderzoeken voor deze locatie. Wel worden patronen in de vegetatiesamenstelling en biogeochemie in de onderzochte plots ten opzichte van andere locaties (buiten dit gebied) belicht. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.11.** Ligging van het Kortenovertje. Kortenovertje 1 is voormalige ruigte die rond 1990 is omgezet naar hooilandbeheer en sindsdien drie keer is bekalkt. Kortenovertje 2 is in 2019 eenmalig bekalkt in het kader van de PAS-maatregelen.

**Figure 7.11.** Map of Kortenovertje. Kortenovertje 1 has been limed three times since 1990. Kortenovertje 2 was limed in 2019 as a part of a national program to improve the quality of nitrogen-sensitive nature types.



**Figuur 7.12.** Bemonsterde locaties in het Kortenovertje

**Figure 7.12.** Sampled locations in Kortenovertje



Overzichtsfoto van bemonsterde plot in het trilveengedeelte van Kortenovertje 1. Foto: C. Cusell

### 7.7.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag is in de plots in het trilveen (in beide gevallen) 45%. De mosbedekking in de plots in het veenmosrietland is hoger: (in beide plots) 90%. In het trilveen bestaat de mosbedekking voornamelijk uit gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*). Veenmossen en mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietland zijn in de trilveenplots (vrijwel) niet aangetroffen.

In het veenmosrietland varieerde de bedekking met veenmossen sterk: in één van de twee plots was de bedekking met mossen van veenmosrietlanden gelijk aan 30%. In de ander plot was de bedekking 75%. Bekalking lijkt hier dus niet overal te leiden tot grote veranderingen in de moslaag, terwijl op veel andere recent bekalkte veenmosrietlandlocaties wel is te zien dat de veenmosbedekking kort na bekalking sterk afneemt (Figuur 7.27). Mogelijk was de kalkdosering onvoldoende om de (veen)mossen te doen sterven.

#### Effect van bekalken op de kruidlaag

De totale bedekking van de kruidlaag is vergelijkbaar in het trilveen en veenmosrietland (Figuur 7.31). In beide vegetatietypen komen bijna geen kruiden van voedselrijke rietlanden voor (Figuur 7.34). In het trilveen is de bedekking met kruiden van trilveen iets hoger dan in het veenmosrietland (Figuur 7.33). De bedekking met kruiden die kenmerkend zijn voor veenmosrietland varieert tussen 5 en 10% in het trilveen. In het veenmosrietland domineren kruiden van veenmosrietland de kruidbedekking (Figuur 7.32).

#### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

De biomassa-producties in het trilveen en het veenmosrietland van het Kortenovertje zijn vergelijkbaar (Figuur 7.35). In relatie tot andere bemonsterde locaties is de biomassa-productie vrij laag. Zowel in het trilveen als in het veenmosrietland is sprake van N-limitatie. De N:P ratio is gemiddeld 7,1 (Figuur 7.36). Een goed ontwikkeld trilveen wordt normaliter gelimiteerd door fosfor, en niet door stikstof. Het trilveen in het Kortenovertje is echter van matige kwaliteit. Het bevat wel behoorlijk wat exemplaren groenknolorchis, maar bijvoorbeeld geen schorpioenmossen.

## 7.7.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte zijn vergelijkbaar met andere bemonsterde locaties (Figuren 7.37 t/m 7.39). Er is wat betreft bulkdichtheid en organisch stofgehalte weinig verschil tussen het trilveen en veenmosrietland van het Kortenovertje.

### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Het EGV is in het trilveendeel van het Kortenovertje veel hoger dan in het veenmosrietland. De EGV in het bodemvocht van het trilveen is ca. 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , terwijl het EGV van het veenmosrietland ca. 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  is (Figuur 7.43). Hetzelfde geldt voor de calcium- en magnesiumconcentraties (Figuren 7.41 en 7.42) en de IC-concentratie in het bodemvocht. Deze verschillen zijn opvallend, aangezien het trilveendeel van het Kortenovertje ca. 15 jaar geleden voor het laatst bekalkt is, terwijl het veenmosrietlandgedeelte in 2019 nog bekalkt is. De bekalkingsintensiteiten verschilden echter wel aanzienlijk.

In het bemonsterde trilveen in het Kortenovertje is het EGV boven in het bodemprofiel hoog (Figuur 7.13). Deze locatie is in 2006 voor het laatst bekalkt. Op andere locaties (en habitattypen) is er in de eerste jaren na bekalking vaak een verhoging van het EGV boven in het diepteprofiel zichtbaar, maar daarna verdwijnt dat meestal. Het lijkt dan ook niet erg waarschijnlijk dat de (zeer) hoge EGV's alleen het effect zijn van de bekalking die ca. 15 jaar geleden is uitgevoerd. Ook wanneer de EGV-diepteprofielen van het in 2019 bekalkte veenmosrietland in het Kortenovertje worden beschouwd, lijkt het niet waarschijnlijk dat de hoge EGV's in het trilveen het effect zijn van de bekalking. In het veenmosrietland is het EGV namelijk erg laag in de bovenlaag van de bodem. Van basenaanrijking door bekalking lijkt in het veenmosrietland geen sprake. Mogelijk zijn de hoge EGV's in het trilveen het gevolg van periodieke inundatie van het trilveen met baserijk oppervlaktewater. De maaiveldhoogtes van het trilveen zijn ca. 20 centimeter lager dan die van het veenmosrietland. Het is dus mogelijk dat het trilveentje wel inundeert, maar het veenmosrietland niet. Dit zou het verschil in EGV verklaren. De beheerder van het gebied kan inundatie met oppervlaktewater niet uitsluiten.

	Kalk 40	Kalk 41	Kalk 42	Kalk 43
0 cm	518	478		99
10 cm	492	360	93	82
20 cm	240	270	75	72
30 cm	243	240	79	67
40 cm	203	184	91	96
50 cm	232	281	152	81
60 cm	284	395	165	204
80 cm	427	402	257	233
100 cm	361	396	335	294
120 cm	158	116	330	282
140 cm			273	94
160 cm			107	
180 cm				

**Figuur 7.13** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in het Kortenovertje.

**Figure 7.13** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Kortenovertje. Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding

De concentraties van P, DOP,  $\text{NH}_4$  zijn vrij laag in vergelijking met andere, al dan niet bekalkte, locaties (Figuren 7.49 t/m 7.51). De  $\text{NO}_3$  concentraties zijn gemiddeld (Figuur 7.52).

## 7.8 Nieuwkoopse plassen (1)

In de Nieuwkoopse plassen zijn verschillende (veenmosrietland- en blauwgrasland)percelen bekalkt. Twee van de percelen die zijn bekalkt, zijn de percelen Tweebeen en Driebeen (Figuur 7.14). In januari 2018 zijn de percelen intensief bekalkt met ca. 4000 kg/ha kalk. De randen van de percelen zijn niet bekalkt, waardoor deze kunnen dienen als controle. Er zijn drie plots uitgezet in de bekalkte delen van het perceel en drie in de niet-bekalkte randen van het perceel. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.14.** Bemonsterde locaties bij 'Tweebeen' en 'Driebeen' in de Nieuwkoopse plassen.  
**Figure 7.14.** Sampled locations at 'Tweebeen' and 'Driebeen' in Nieuwkoopse plassen.



Overzichtsfoto van het bekalkte veenmosrietland van de percelen Tweebeen/Driebeen in de Nieuwkoopse plassen. Foto. S. Kanters

### **7.8.1 Effect van bekalken op de vegetatie**

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

De totale bedekking van de moslaag varieerde in de plots tussen 40% en 95%. Er lijkt geen verschil te zijn in totale mosbedekking tussen de bekalkte plots en de controleplots (Figuur 7.26). De samenstelling van de moslaag verschilt wel tussen de controleplots en de bekalkte plots. In de bekalkte plots lijkt de bedekking met mossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietland lager te zijn dan in de controleplots (Figuur 7.27). De veenmosbedekking is in de bekalkte plots vrijwel volledig verdwenen. De afname in veenmossen in bekalkte plots wordt in meer of mindere mate gecompenseerd door hoge bedekkingen van gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*) en boompjesmos (*Climacium dendroides*). Beide soorten zijn algemeen in Nederland. De bedekkingen met haarmos, trilveenmossen en mossen van voedselrijke rietlanden zijn zowel in de bekalkte plots als in de controleplots laag (Figuren 7.28 t/m 7.30)

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

Er lijken geen verschillen in de vaatplantenbedekking of samenstelling van de kruidlaag aanwezig te zijn tussen de controleplots en bekalkte plots (Figuren 7.31 t/m 7.34). Wel viel in het veld op dat de kruidlaag in de bekalkte delen kenmerken vertoont van dotterbloemhooiland (in plaats van veenmosrietland). In de controles was dat niet het geval.

#### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

In het veenmosrietland in de Nieuwkoopse plassen (1) is sprake van N-limitatie. De N:P ratio varieert er tussen 4,3 en 7,2 (Figuur 7.36). De biomassaproductie en de N:P ratio lijken niet te verschillen tussen de controleplots en de bekalkte plots (Figuren 7.35 en 7.36). Bekalken lijkt dus geen effect te hebben op de biogeochemie van de vegetatie.

### **7.8.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

#### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De natte bulkdichtheid lijkt in de bekalkte plots hoger te zijn dan in de controleplots (Figuur 7.37). De droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte verschillen niet significant tussen de bekalkte plots en controleplots (Figuren 7.38 en 7.39).

#### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

Bekalken leidde in het veenmosrietland van Tweebeen/Driebeen niet tot veranderingen in de basenhuishouding (Figuren 7.40 t/m 7.47). Ook de EGV-metingen van zowel het porievocht als de EGV-diepteprofielen (Figuur 7.15) laten een laag EGV in de topbodem zien. Op één van de bekalkte locaties (Kalk 26) is het EGV in de bovenste 10 cm hoger. Omdat het EGV daaronder weer afneemt, is dit mogelijk een bekalkingseffect. In de andere twee bekalkte plots is dit effect echter niet zichtbaar.

#### **Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding**

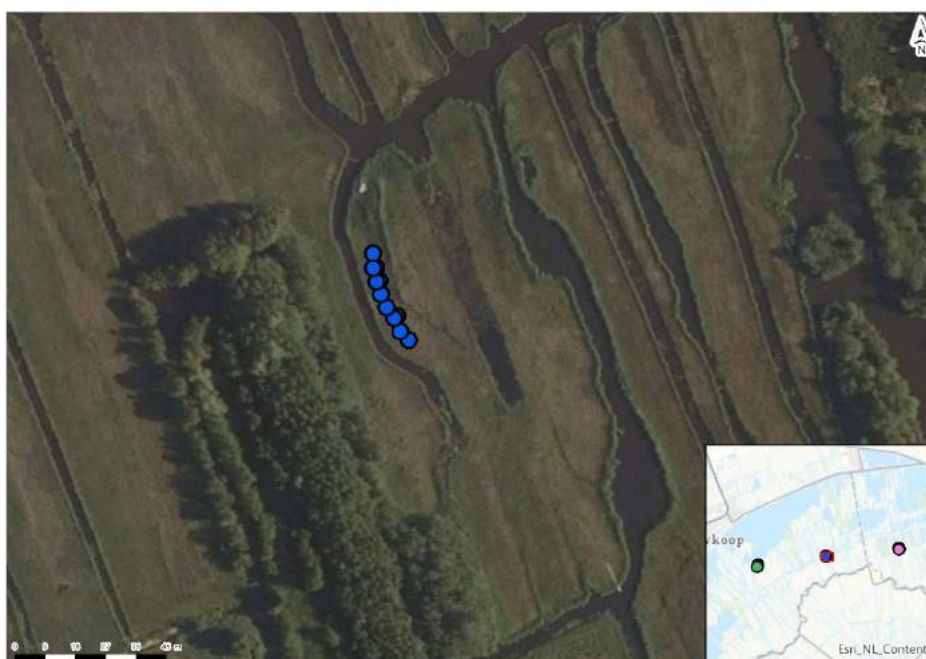
Bekalken lijkt geen effect te hebben op de nutriëntenhuishouding in Tweebeen/Driebeen. Er zijn geen verschillen in P-, DOP-, NH<sub>4</sub>- en NO<sub>3</sub>-gehalte tussen de bekalkte plots en de controleplots (Figuren 7.49 t/m 7.52).

	Kalk 26	Controle 27	Kalk 28	Controle 29	Controle 30	Kalk 31
0 cm	211	70	21		122	66
10 cm	231	73	31	29	135	114
20 cm	118	80	122	73	92	203
30 cm	133	81	199	120	75	206
40 cm	154	143	120	126	99	191
50 cm	65	150	103	130	97	177
60 cm	89	85	176	87	68	218
80 cm	155	68	202	152	134	230
100 cm	194	160	166	186	157	270
120 cm	194	214	190	221	205	244
140 cm	224	221	206	267	182	224
160 cm	242	246	175	249	255	234
180 cm	237	246	193		267	277

**Figuur 7.15.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van bemonsterde plots in Nieuwkoopse plassen (1).  
**Figure 7.15.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Nieuwkoopse plassen (1). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 7.9 Nieuwkoopse plassen (2)

In 2006 is in een van de veenmosrietlanden van de Nieuwkoopse plassen een experiment uitgevoerd naar de effecten van bekalking met verschillende intensiteit op de vegetatie en biogeochemie (Van Diggelen *et al.* 2015). Voor het experiment zijn drie controleplots, drie plots die werden bekalkt met een intensiteit van 1000 kg/ha, drie plots die werden bekalkt met een intensiteit van 2000 kg/ha en drie plots die werden bekalkt met een intensiteit van 4000 kg/ha uitgezet. Ten behoeve van voorliggend bekalkingsonderzoek zijn de betreffende locaties in de zomer van 2021 opnieuw onderzocht. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.16.** Bemonsterde locaties in de Nieuwkoopse plassen (2).  
**Figure 7.16.** Sampled locations at Nieuwkoopse plassen (2).



Voorbeeld van één van de plots uit het experiment van Van Diggelen *et al.* (2015), die opnieuw is bemonsterd. Foto: C. Cusell

### **7.9.1 Effect van bekalken op de vegetatie**

In het veld was het zeer moeilijk de plots terug te vinden, ondanks het feit dat Jose van Diggelen, die de bekalkingsproef destijds heeft uitgevoerd, mee was. Uit de analyse komt dan ook dat er, ca. 15 jaar nadat de plots zijn bekalkt, geen effecten van bekalking meer zichtbaar is in de vegetatie. Het gehele perceel is momenteel weer sterk verzuurd.

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

In de moslaag zijn momenteel geen effecten meer zichtbaar van bekalking. De totale bedekking van de moslaag is in alle plots hoog, en in de meeste plots 95% of hoger (Figuur 7.26). De mos samenstelling bestaat voornamelijk uit veenmossen die kenmerkend zijn voor veenmosrietland (Figuur 7.27). Haarmos en mossen van voedselrijke rietlanden zijn nauwelijks aanwezig (Figuren 7.28 en 7.30) en trilveenmossen zijn niet aangetroffen (Figuur 7.29). In de eerste jaren na bekalking waren echter weldegelijk grote effecten zichtbaar in de moslaag (Van Diggelen *et al.* 2015). De bedekking met veenmossen nam drastisch af in alle bekalkte plots. In de plots die met 4000 kg/ha kalk waren bekalkt, was de veenmosbedekking na 7,5 jaar nog duidelijk lager. In de overige behandelingen was de bedekking met veenmossen na 7,5 jaar weer terug op hetzelfde niveau als voor de bekalking (of zelfs hoger). De effecten van bekalking zijn nu ook in de behandeling met 4000 kg/ha kalk helemaal verdwenen.

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

Er zijn geen verschillen in de vaatplantenbedekking of samenstelling van de kruidlaag tussen de controleplots en de bekalkte plots (Figuren 7.31 t/m 7.34). Effecten op de samenstelling van de vaatplanten werden ook in de eerste jaren na bekalking niet gezien (Van Diggelen *et al.* 2015).

#### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

In dit veenmosrietland is sprake van N-limitatie. De N:P ratio is gemiddeld 11,9 (Figuur 7.36). De biomassa-productie en de N:P ratio verschillen niet tussen de controleplots en de bekalkte plots (Figuren 7.35 en 7.36). Bekalken lijkt, ca. 15 jaar na dato, dus geen effect (meer) te hebben op de biogeochemie van de vegetatie.

	Kalk 52	Kalk 53	Kalk 54	Kalk 55	Controle 56	Kalk 57	Kalk 58	Controle 59	Kalk 60	Controle 61	Kalk 62	Kalk 63
<b>0 cm</b>	107	150	455	158	135	140	170	225	288	114	111	
<b>10 cm</b>	69	152	259	85	101	117	153	170	271	103	77	186
<b>20 cm</b>	40	72	273	81	60	65	211	149	291	161	58	51
<b>30 cm</b>	30	51	277	61	48	79	101	155	166	137	52	40
<b>40 cm</b>	30	39	376	66	40	102	92	118	170	50	83	27
<b>50 cm</b>	43	42	264	35	93	115	177	153	128	63	126	60
<b>60 cm</b>	44	88	374	76	148	183	216	329	210	98	179	133
<b>80 cm</b>	138	101	606	240	211	341	230	287	236	265	181	91
<b>100 cm</b>	206	208	347	323	312	275	300	307	365	359	220	149
<b>120 cm</b>	215	231	308	284	254	239	272	281	300	323	258	214
<b>140 cm</b>	225	266	307	261	280	251	270	309	317	254	281	235
<b>160 cm</b>	227	248	325	286	341	249	248	279	350	328	221	188
<b>180 cm</b>	272	243	266	259	358	253	306	261	300	334	317	226

**Figuur 7.17.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in de Nieuwkoopse plassen (2).

**Figure 7.17.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Nieuwkoopse plassen (2). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 7.9.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte verschillen niet tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.37 t/m 7.39).

### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Er zijn in de onderzochte plots geen verschillen gevonden tussen bekalkte plots en controleplots. Dit geldt voor de pH, het EGV, de basenbezetting, magnesium- en calciumconcentraties, de IC-concentratie en de potentiële verzuringscapaciteit (Figuur 7.40 t/m Figuur 7.48). Bekalken lijkt na ca. 15 jaar dus geen effect meer te hebben op de basenhuishouding. Dit wordt ook bevestigd door de EGV-diepteprofielen (Figuur 7.17), die laten zien dat het EGV in de bovenste 50 cm van de bodem in de meeste plots laag is. Enkele plots, waarvan één controleplot en vooral twee bekalkte plots (respectievelijk 4000 en 2000 kg/ha kalk), hebben een relatief hoog EGV boven in het bodemprofiel. Er lijkt geen patroon te zijn in de ligging van de plots. Het is onduidelijk waardoor het relatief hoge EGV in deze plots wordt veroorzaakt. Dit kan nog een effect van de bekalking zijn, maar het zou ook veroorzaakt kunnen zijn door lokale inundaties met oppervlaktewater in het afgelopen jaar.

### Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding

Bekalken heeft geen effect (meer) op de nutriëntenhuishouding in het veenmosrietlandperceel in de Nieuwkoopse plassen (2). Er zijn geen verschillen in P-, DOP-, NH<sub>4</sub>- en NO<sub>3</sub>-gehalte tussen de bekalkte plots en de controleplots (Figuur 7.49 t/m 7.52).

## 7.10 Nieuwkoopse plassen (3)

De Haak is een blauwgrasland(achtig) perceel nabij de werkschuur van Natuurmonumenten (Figuur 7.18) in de Nieuwkoopse plassen. De helft van het perceel is in 2018 tweemaal bekalkt met ca. 3000 kg/ha (in totaal dus ca. 6000 kg/ha). De andere helft is niet bekalkt. In de Haak zijn twee plots uitgezet in het bekalkte deel, en twee plots in het niet-bekalkte deel. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.18** Bemonsterde locaties in de Haak in de Nieuwkoopse plassen (3).

**Figure 7.18** Sampled locations at 'de Haak' in Nieuwkoopse plassen (3).



Overzichtsfoto van het blauwgrasland(achtige) perceel in De Haak. De overgang van het niet-bekalkte deel (op de voorgrond) naar het bekalkte deel (op de achtergrond) is duidelijk te zien in de vegetatie. Foto: C. Cusell.

### **7.10.1 Effect van bekalken op de vegetatie**

#### **Effect van bekalken op de moslaag**

De totale bedekking van de moslaag varieerde in de plots tussen 0% en 40% (Figuur 7.26), waarbij de bekalkte plots een bedekking van respectievelijk 0% en 1% hadden en de niet-bekalkte plots een mosbedekking van respectievelijk 1% en 40% hadden. Haarmossen, trilveenmossen en mossen van voedselrijke rietlanden zijn in geen van de bemonsterde plots aangetroffen. In de plot met een mosbedekking van 40% bestond de mos samenstelling uit gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) en fraai veenmos (*Sphagnum fallax*).

#### **Effect van bekalken op de kruidlaag**

Er lijken geen verschillen in de vaatplantenbedekking of samenstelling van de kruidlaag te zijn tussen de controleplots en bekalkte plots (Figuren 7.31 t/m 7.34).

#### **Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie**

Bekalken lijkt in het blauwgrasland van de Haak te leiden tot een toename in biomassa-productie (Figuur 7.35). In het veld was dit verschil in biomassa-productie duidelijk te zien (zie foto hierboven): in het bekalkte deel van de Haak stond de vegetatie aanzienlijk hoger dan in het niet-bekalkte deel. De groei van de vegetatie is N-gelimiteerd (Figuur 7.36).

### **7.10.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem**

#### **Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte**

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.37 t/m 7.39).

#### **Effect van bekalken op de basenhuishouding**

Een deel van de parameters die verband houdt met de basenhuishouding kon niet worden gemeten doordat de bodem dermate droog was dat geen porievocht kon worden verzameld in het veld. Over het effect van bekalken op de pH, het EGV, de calciumconcentratie, magnesiumconcentratie, IC-

concentratie en de potentiële verzuringscapaciteit in De Haak is dan ook geen uitspraak te doen. Wat betreft de basenverzadiging lijken er geen verschillen te zijn tussen de bekalkte plots en de controleplots (en 7.45).

Als gevolg van de zeer droge bodem was het in het veld niet mogelijk het EGV in de bovenste laag van de bodem (0 - 10 centimeter) te meten (Figuur 7.19). Juist in deze bovenste laag komen de effecten van bekalking op het EGV vaak het duidelijkst naar voren. Echter, het EGV is ook in het bodemmonster (bovenste 10 cm van de bodem) gemeten. Daaruit bleken geen verschillen in EGV tussen de bekalkte plots en de controles. Bekalking lijkt dus geen effect te hebben op het EGV in de bovenste bodemlaag van De Haak.

	Controle 64	Controle 65	Kalk 66	Kalk 67
0 cm				
10 cm		100		
20 cm	107	106	92	162
30 cm	138	88	93	161
40 cm	141	94	80	128
50 cm	159	73	95	93
60 cm	166	97	74	74
80 cm	263	251	85	71
100 cm	305	340	210	124
120 cm	358	335	290	270
140 cm	410	315	278	325
160 cm	442	444	302	296
180 cm	486	663	280	412

**Figuur 7.19.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in De Haak in de Nieuwkoopse plassen (3).

**Figure 7.19.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in 'De Haak' (Nieuwkoopse plassen (3)). Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Het totaal fosforgehalte, de concentratie opgelost organisch fosfor (DOP), de ammoniumconcentratie en nitraatconcentratie zijn niet gemeten doordat geen porievocht kon worden verzameld in De Haak. Het blijft dus onduidelijk welk effect bekalken heeft op de nutriënthuishouding van De Haak.

## 7.11 De Suikerpot

De onderzoekslocatie in De Suikerpot is in 1998 bekalkt (Figuur 7.20). De locatie maakte deel uit van in totaal zeven natte schraallanden die rond 1998 zijn bekalkt in de Oostelijke Vechtplassen. De destijds gekozen locaties verschilden van elkaar in de mate van verzuring. De Suikerpot behoorde tot de categorie 'sterk verzuurd' (Barendregt *et al.* 2004). Twinspananalyses die destijds zijn uitgevoerd op de vegetatiegegevens typeerden De Suikerpot als haarmostrilveen (Van Haasteren 1999). In De Suikerpot zijn in 1998 negen plots van ca. 3 x 3 meter uitgezet. Drie van de plots dienden als controle, drie werden bekalkt en drie plots zijn bekalkt én geplagd. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.20.** Bemonsterde locaties in De Suikerpot.

**Figure 7.20.** Sampled locations at Suikerpot.



Onderzoekslocatie in De Suikerpot in 1998 (links) en 2021 (rechts). Foto links: A. Barendregt, Foto rechts: C. Cusell

### 7.11.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag is in alle bemonsterde plots hoog: 80 - 100% (Figuur 7.26). Wat betreft de samenstelling van de moslaag lijken er geen verschillen te zijn tussen de controleplots, de bekalkte plots en de bekalkte en geplagde plots. Veenmossen, haarmos en (het voor veenmosrietland kenmerkende) rood viltmos (*Aulacomnium palustre*) domineren de moslaag (Figuren 7.27 en 7.28). De relatief hoge bedekkingen met haarmos wijzen op een sterk verzuurd systeem. Trilveenmossen en mossen van voedselrijke rietlanden zijn niet aangetroffen in de plots in De Suikerpot (Figuren 7.29 en 7.30).

#### Effect van bekalken op de kruidlaag

Er lijken geen verschillen in de vaatplantenbedekking of de samenstelling van de kruidlaag te zijn tussen de controleplots en de behandelingen 'bekalken' en 'bekalken en plaggen' (Figuren 7.31 t/m 7.34). Opvallend is echter, dat de bedekking met kruiden van veenmosrietland in de bekalkte plots aanzienlijk lager lijkt dan in de bekalkte en geplagde plots.

### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

Er zijn geen verschillen in biomassa-productie en N:P ratio tussen de bekalkte plots en de controles (Figuur 7.35 en 7.36). De biomassa-productie is relatief laag in vergelijking met de biomassa-productie op andere locaties. Vermoedelijk ligt de ver gevorderde verzuring (Figuur 7.40) hieraan ten grondslag. Ruim 20 jaar na bekalking lijkt er dus geen effect (meer) te zijn op de biogeochemie van de vegetatie.

### 7.11.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

#### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots, bekalkte en geplagde plots en de controles (Figuren 7.37 en 7.39).

#### Effect van bekalken op de basenhuishouding

De calciumconcentratie is in de plots die bekalkt en geplagd lijken hoger te zijn dan in de controleplots en de bekalkte plots (Figuur 7.41). Echter, in verhouding tot andere - al dan niet bekalkte - veenmosrietlanden, is de calciumconcentratie laag. Hoewel de iets hogere calciumconcentratie mogelijk het effect zijn van het plaggen en bekalken destijds, heeft het momenteel geen effect meer op de vegetatie (zie paragraaf 7.11.1).

De overige parameters die verband houden met de basenhuishouding (de IC-concentratie, het EGV, basenbezetting, magnesiumconcentraties en de potentiële verzuringscapaciteit) verschillen niet significant tussen de controleplots, de bekalkte plots en de bekalkte en geplagde plots (Figuren 7.42 t/m 7.48). Bekalken lijkt dus, ruim 20 jaar na dato, geen effect (meer) te hebben op de basenhuishouding van De Suikerpot. Dit laten de zeer lage EGV-diepteprofielen (Figuur 7.21) ook zien: op alle locaties en over een groot deel van de diepte is er een sterke regenwaterinvloed.

	Controle 44	Controle 45	Kalk 46	Kalk 47	Kalk 48	Kalk 49	Controle 50	Controle 51
0 cm								
10 cm	71	48	26	20	25		125	54
20 cm	112	127	72	96	137	108	145	143
30 cm	89	97	57	66	140	138	143	86
40 cm	34	42	43	51	82	113	149	67
50 cm	30	18	29	49	56	88	140	63
60 cm	29	48	40	82	97	101	134	62
80 cm	55	72	109	55	73	153	169	92
100 cm		160	124	65	160	221		171
120 cm		114			87	176		
140 cm								
160 cm								
180 cm								

**Figuur 7.21.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in De Suikerpot.

**Figure 7.21.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Suikerpot. Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding

Ruim 20 jaar na dato zijn er geen effecten (meer) zichtbaar van bekalken op de nutriëntenhuishouding. Er zijn geen verschillen zichtbaar in P-, DOP-,  $\text{NH}_4$ - en  $\text{NO}_3$ -gehalte tussen de bekalkte plots, bekalkte en geplagde plots en de controles (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.12 Unlân fan Jelsma

Het Unlân fan Jelsma is een parel onder de blauwgraslanden in Nederland. Het blauwgrasland in het Unlân fan Jelsma is ongeveer zes hectare groot. In 2009 zijn in het blauwgrasland vier proefvlakken uitgezet, waarvan er twee zijn bekalkt met een grote hoeveelheid kalk (ca. 10.000 kg/ha). De andere twee proefvlakken dienden als controle. Beide bekalkte plots en beide controles zijn meegenomen in dit onderzoek, en zijn afgelopen zomer dus opnieuw bemonsterd. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.22.** Bemonsterde locaties in het Unlân fan Jelsma.

**Figure 7.22.** Sampled locations at Unlân fan Jelsma.



Onderzoekslocatie in het Unlân fan Jelsma, een blauwgrasland van in totaal ca. 6 hectare. Foto: S. Kanters

### 7.12.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

De totale bedekking van de moslaag is in alle bemonsterde plots relatief laag: 10 - 50% (Figuur 7.26). De soorten met de hoogste bedekkingen zijn gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*) en heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*). Beide mossen worden veel in blauwgraslanden aangetroffen. Veenmossen, haarmossen en trilveenmossen zijn niet aangetroffen in de plots in het Unlân fan Jelsma (Figuren 7.27 t/m 7.29). Mossen die kenmerkend zijn voor voedselrijke rietlanden zijn minimaal aangetroffen (Figuur 7.30). Er lijken geen verschillen te zijn in de mosbedekking en -samenstelling tussen de bekalkte en niet-bekalkte plots. In de vegetatieopnames van 2014 was de bedekking met heideklauwtjesmos aanzienlijk lager in de bekalkte plots dan in de controles. In 2021 was dit niet meer het geval. De bedekking van de overige mossen bleef tussen 2009 en 2014 min of meer stabiel. Ook in de opnames van 2021 waren de bedekkingen vergelijkbaar.

#### Effect van bekalken op de kruidlaag

Er lijken geen verschillen te zijn in de vaatplantenbedekking of de samenstelling van de kruidlaag tussen de controleplots en bekalkte plots (Figuren 7.31 t/m 7.34). De bedekking van de kruidlaag is iets hoger in de bekalkte plots, maar het verschil is niet significant (Figuur 7.31). De samenstelling van de vaatplanten in de bekalkte en niet-bekalkte plots is vergelijkbaar. Voornamelijk blauwgraslandsoorten als blauwe zegge (*Carex panicea*) blonde zegge (*Carex hostiana*), Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*), borstelgras (*Nardus stricta*) en tandjesgras (*Danthonia decumbens*) komen veel voor. Ook in 2009 en 2014 waren dit veel voorkomende soorten. Opvallend is wel, dat de bedekking met blauwe zegge in 2014 in de bekalkte plots was toegenomen ten opzichte van 2009. Momenteel lijkt de bedekking met blauwe zegge in de bekalkte plots juist lager (ca. 10%) te zijn dan in de niet-bekalkte plots (ca. 20%). De bedekking met grassen is sinds 2014 ongeveer gelijk gebleven en is min of meer hetzelfde tussen de bekalkte en de onbekalkte plots. Hetzelfde geldt voor Spaanse ruiter.

#### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

In het blauwgrasland in het Unlân fan Jelsma is sprake van N-limitatie. De N:P ratio is gemiddeld 8,3 (Figuur 7.36). De biomassa-productie en de N:P ratio lijken niet te verschillen tussen de controleplots en de bekalkte plots (Figuren 7.35 en 7.36). Bekalken lijkt, ca. 12 jaar na dato, dus geen effect (meer) te hebben op de biogeochemie van de vegetatie.

### 7.12.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

#### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.37 t/m 7.39).

#### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Een deel van de parameters die verband houdt met de basenhuishouding kon niet worden gemeten doordat de bodem dermate droog was dat geen porievocht kon worden verzameld in het veld. Over het effect van bekalken op de pH, het EGV, de calciumconcentratie, magnesiumconcentratie, IC-concentratie en de potentiële verzuringscapaciteit in het Unlân fan Jelsma is dan ook geen uitspraak te doen. Wat betreft de basenverzadiging lijken er geen verschillen te zijn tussen de bekalkte plots en de controleplots (Figuur 7.45). Uit metingen van de heer Jager bleek dat de pH in de bekalkte plots in 2014 sterk was toegenomen ten opzichte van de nulmeting in 2009 (Jager, niet gepubliceerd). In de niet-bekalkte plots is de pH ongeveer gelijk gebleven. Omdat metingen van het porievocht ontbreken, is onduidelijk in hoeverre de pH in de bekalkte plots ook in 2021 nog hoger was.

Het bodemprofiel in het Unlân fan Jelsma is over de gehele diepte behoorlijk rijk aan ionen (Figuur 7.23). De bodem bestaat deels uit klei, wat het relatief hoge EGV kan verklaren. Oorspronkelijk werd het blauwgrasland gevoed met basen door overstromingen in het winterhalfjaar. Tegenwoordig is hiervan geen sprake meer (Jager 2014). Hierdoor verzuurt het blauwgrasland. In 2009 is dan ook een bekalkingsproef gestart om te onderzoeken of de, weliswaar langzame, verzuring en verschraving door bekalken kon worden tegengehouden of geremd.

	Controle 22	Kalk 23	Kalk 24	Controle 25
0 cm	150	162		
10 cm	137	165		
20 cm	103	194	141	94
30 cm	473	465	334	283
40 cm	290	226	201	310
50 cm	374	253	317	347
60 cm	391	294	361	385
80 cm	277	428	344	404
100 cm	282	464	238	248
120 cm	270	406	303	298
140 cm	266	349	274	293
160 cm	318	373	253	303
180 cm	347	393	321	340

**Figuur 7.23.** EGV-diepteprofielen (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van de bemonsterde plots in het Unlân fan Jelsma.

**Figure 7.23.** Depth profiles of the EC in the sampled locations in Unlân fan Jelsma. Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

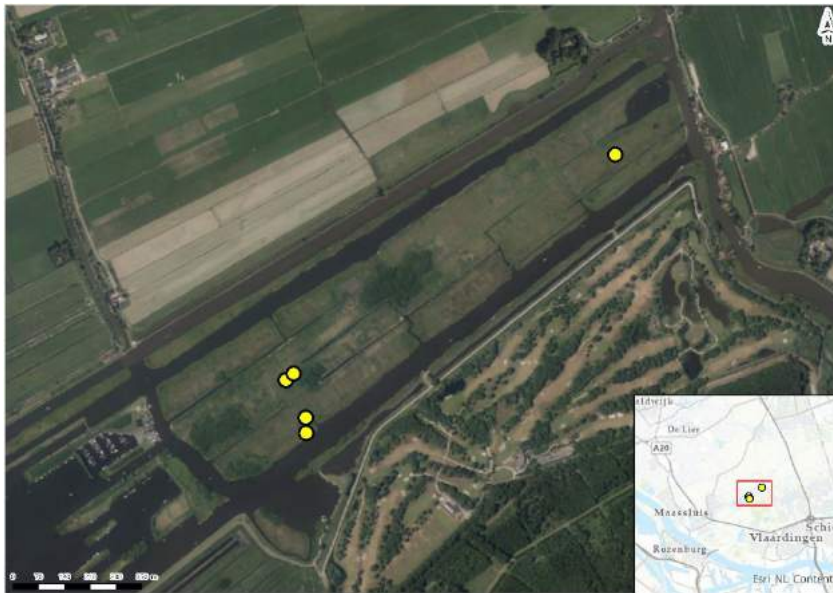
#### Effect van bekalken op de nutriënthuishouding

Het totaal fosforgehalte, de concentratie opgelost organisch fosfor (DOP), de ammoniumconcentratie en nitraatconcentratie zijn niet gemeten doordat geen porievocht kon worden verzameld in het Unlân fan Jelsma. Het blijft dus onduidelijk welk effect bekalken heeft op de nutriënthuishouding van het Unlân fan Jelsma.

## 7.13 Vlaardingse Vlietlanden

De dotterbloemhooilanden in de Vlaardingse Vlietlanden (Figuur 7.24) worden al bijna 20 jaar bekalkt. Het grootste deel van de Vlietlanden is sindsdien ten minste één keer bekalkt, maar er zijn nog steeds (delen van) percelen die nog nooit bekalkt - en daardoor zuurder - zijn. De bekalking in de Vlietlanden wordt naar behoefte uitgevoerd door de betreffende beheerders van Natuurmonumenten. Dit betekent dat er wordt bekalkt zodra de veenmossen terugkeren. De enkele percelen die nog nooit bekalkt zijn vormen hierop een uitzondering: hier staan veel veenmossen.

In de Vlietlanden zijn twee niet-bekalkte plots bemonsterd en vier bekalkte plots, waarvan twee plots drie keer zijn bekalkt, één plot twee keer is bekalkt en één plot eenmalig is bekalkt. De coördinaten van de plots zijn opgenomen in Tabel 7.3 (paragraaf 7.18).



**Figuur 7.24.** Bemonsterde locaties in de Vlaardingse Vlietlanden.  
**Figure 7.24.** Sampled locations at Vlaardingse Vlietlanden.



Onderzoeklocatie in de Vlaardingse Vlietlanden. Foto: C. Cusell

### 7.13.1 Effect van bekalken op de vegetatie

#### Effect van bekalken op de moslaag

Er lijken geen verschillen in de totale mosbedekking te zijn tussen de bekalkte en de controleplots (Figuur 7.26). Ook wat betreft de samenstelling van de moslaag lijken de bekalkte plots niet te verschillen van de controleplots, alhoewel de bedekking met veenmossen in de bekalkte plots aanzienlijk lager lijkt te zijn dan in de controleplots (Figuren 7.27 t/m 7.30). Zowel in de bekalkte plots als in de controleplots is de bedekking met trilveenmossen en haarmossen zeer laag (Figuren 7.28 en 7.29). De bedekking met gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) en hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*) is in één van de bekalkte plots in het totaal 40%. In de overige plots is er sprake van een minimale bedekking van maximaal enkele procenten (Figuur 7.30).

### Effect van bekalken op de kruidlaag

Er lijken geen verschillen te zijn in de vaatplantenbedekking of de samenstelling van de kruidlaag tussen de controleplots en de bekalkte plots (Figuren 7.31 t/m 7.34). Ook in de kruidlaag zijn echter wel patronen zichtbaar die vermoedelijk het gevolg zijn van de bekalking. Het meest opvallende verschil in de bekalkte plots ten opzichte van de controleplots, is de grote bedekking met moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*). Deze soort komt voor bij (relatief) nutriëntarme en basenrijke condities. Het lijkt hier dus waarschijnlijk dat bekalking de oorzaak is van de hoge bedekking met moeraskartelblad in de bekalkte plots.

### Effect van bekalken op de biogeochemie van de vegetatie

In de dotterbloemhooilanden in de Vlaardingse Vlietlanden is sprake van N-limitatie. De N:P ratio is gemiddeld 5,0 (Figuur 7.36). De biomassa-productie en de N:P ratio lijken niet te verschillen (Figuren 7.35 en 7.36). Bekalken lijkt in de dotterbloemhooilanden van de Vlaardingse Vlietlanden dus geen effect te hebben op de biogeochemie van de vegetatie.

### 7.13.2 Effect van bekalken op de biogeochemie van de bodem

#### Effect van bekalken op de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte

De natte en droge bulkdichtheid en het organisch stofgehalte lijken niet te verschillen tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.37 t/m 7.39).

#### Effect van bekalken op de basenhuishouding

Bekalken lijkt in de dotterbloemhooilanden van de Vlaardingse Vlietlanden geleid te hebben tot een toename in pH, basenbezetting en calcium- en magnesiumconcentratie (Figuren 7.40 t/m 7.42 en Figuur 7.45). Bekalken lijkt dus een positief effect te hebben op de basenhuishouding van de Vlaardingse Vlietlanden.

Het EGV-diepteprofiel van de Vlaardingse Vlietlanden bestaat uit een laag met hoge EGV's vanaf ca. 60 centimeter diepte en een bovenlaag met wisselende, matig hoge EGV's (Figuur 7.25). In de controleplots is het EGV op een diepte van 20 - 40 centimeter aanzienlijk lager dan in de bekalkte plots. In de bovenste 10 centimeter lijkt er weinig verschil tussen de controles en de bekalkte plots, wat doet vermoeden dat het kalk is uitgespoeld naar (wat) diepere delen van de bodem. Verschillende vaatplanten wortelen tot deze diepte, waardoor de bekalking vermoedelijk nog steeds effect heeft op de vegetatieontwikkeling.

	Kalk 7	Kalk 8	Controle 9	Controle 10	Kalk 11	Kalk 12
0 cm		187	283	390	375	371
10 cm	206	184	413	380	392	403
20 cm	219	369	110	114	154	291
30 cm	262	412	110	141	356	330
40 cm	339	561	128	231	480	469
50 cm	365	572	220	377	703	544
60 cm	410	782	368	586	708	620
80 cm	528	719	327	702	800	653
100 cm	578	830	525	745	919	672
120 cm	652	717	708	937	889	793
140 cm	778	400	886	889	1000	670
160 cm	852	915	915	1078	860	912
180 cm	749	656	904	937	878	971

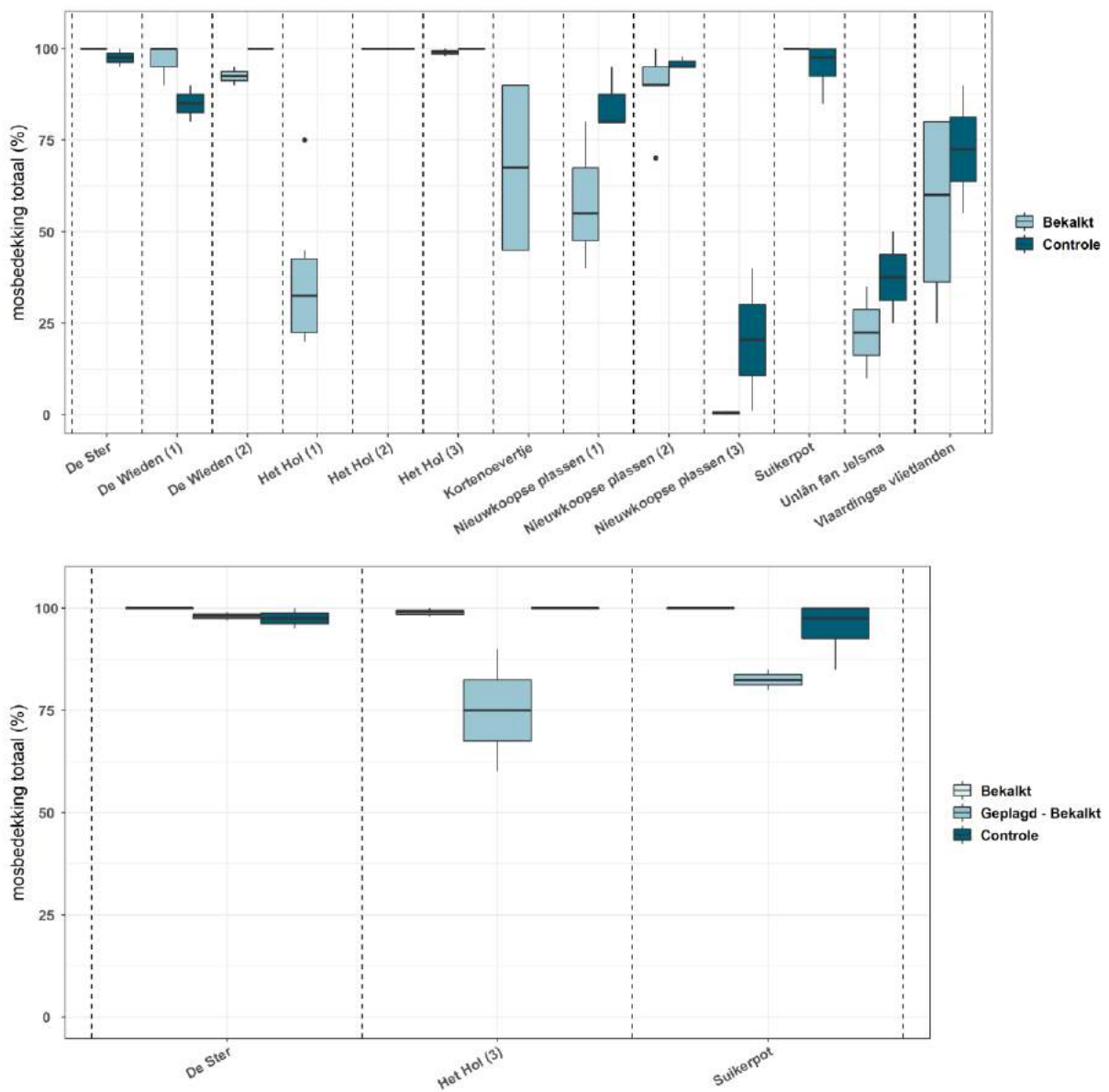
**Figuur 7.25.** EGV-diepteprofielen van de bemonsterde plots in de Vlaardingse Vlietlanden. Waarden zijn in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Figure 7.25.** Depth profiles of the EC in the sampled locations at Vlaardingse Vlietlanden. Values are in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Effect van bekalken op de nutriëntenhuishouding**

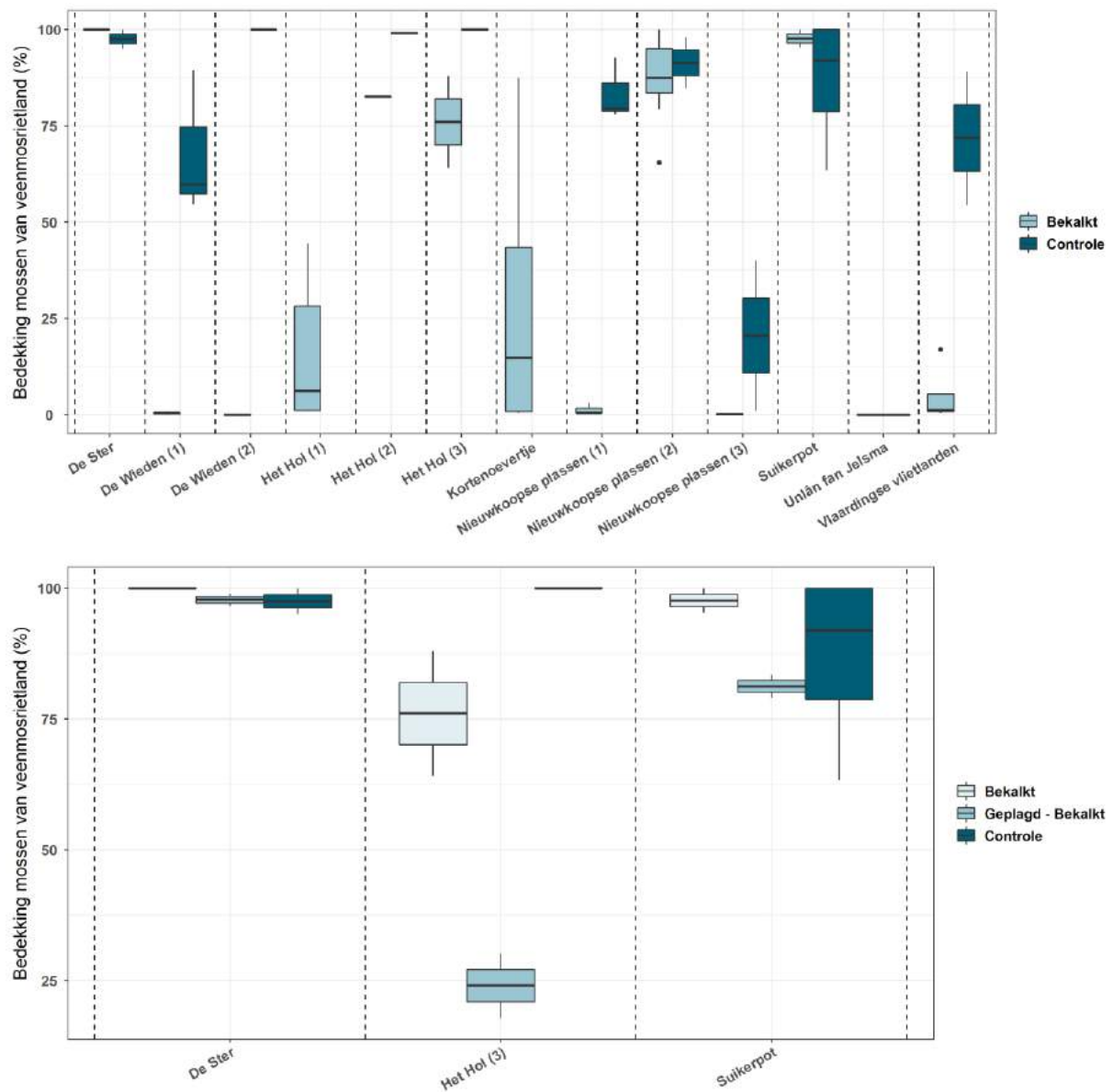
Bekalken heeft in de dotterbloemhooilanden van de Vlaardingse Vlietlanden niet geleid tot veranderingen in de nutriëntenhuishouding. Er zijn geen verschillen in P-, DOP-, NH<sub>4</sub>- en NO<sub>3</sub>-gehalte tussen de bekalkte plots en de controles (Figuren 7.49 t/m 7.52).

## 7.14 Figuren effecten van bekalken op de vegetatie per locatie



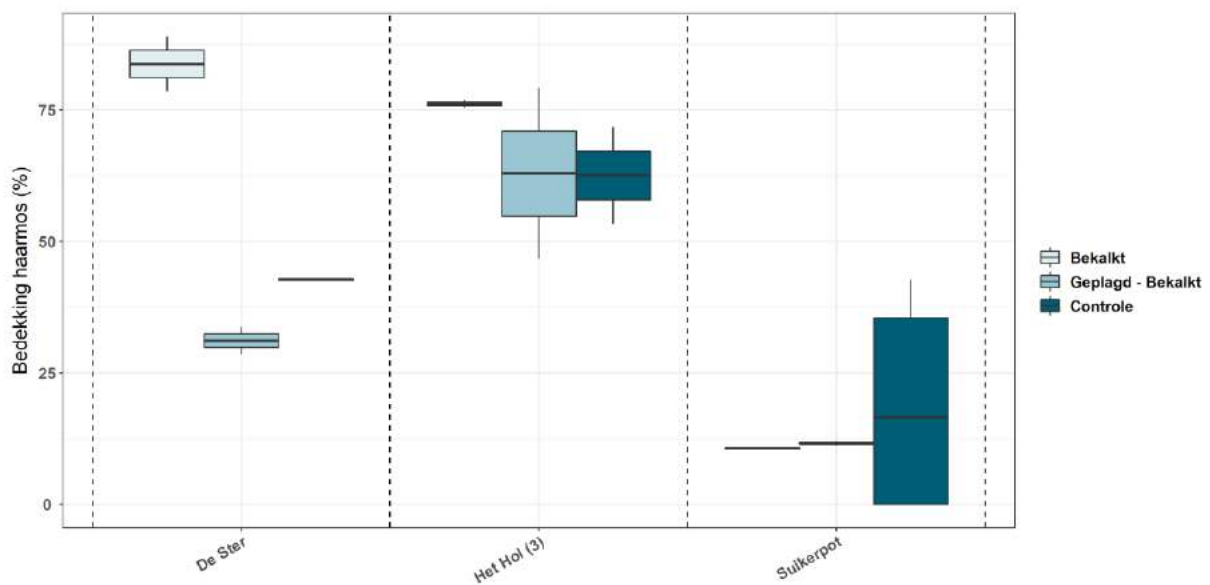
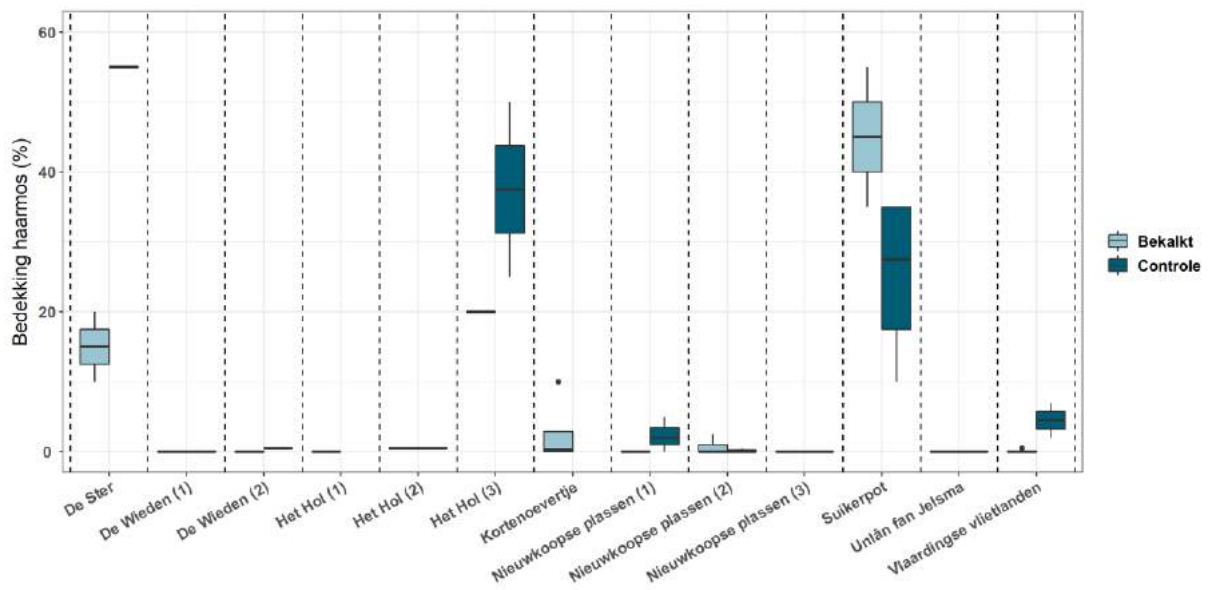
**Figuur 7.26.** Totale mosbedekking per locatie (data niet normaal verdeeld. In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.26.** Total moss cover per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



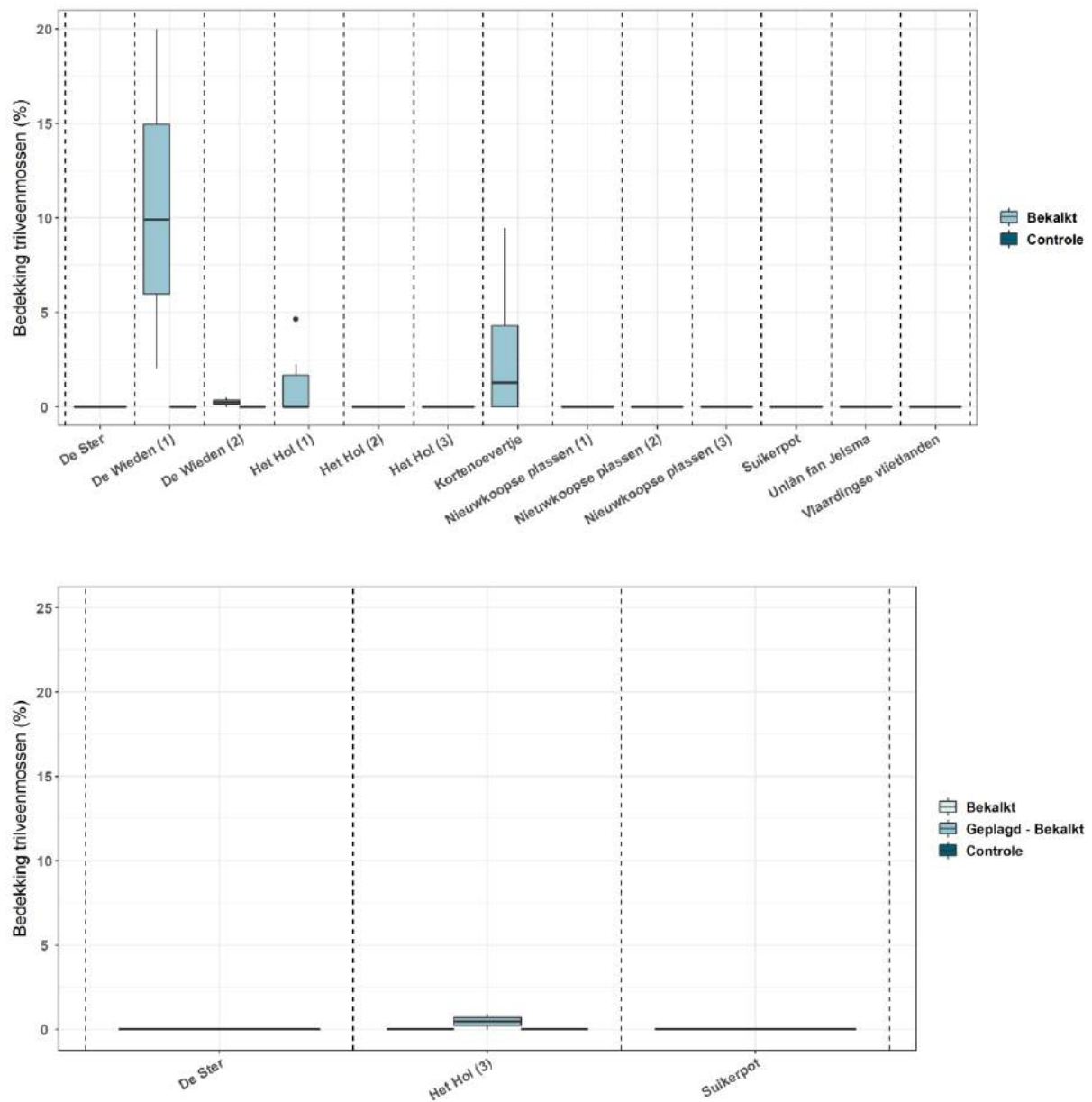
**Figuur 7.27.** Bedekking met mossen van veenmosrietland per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.27.** Percentual moss cover with mosses that are characteristic for poor fens (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



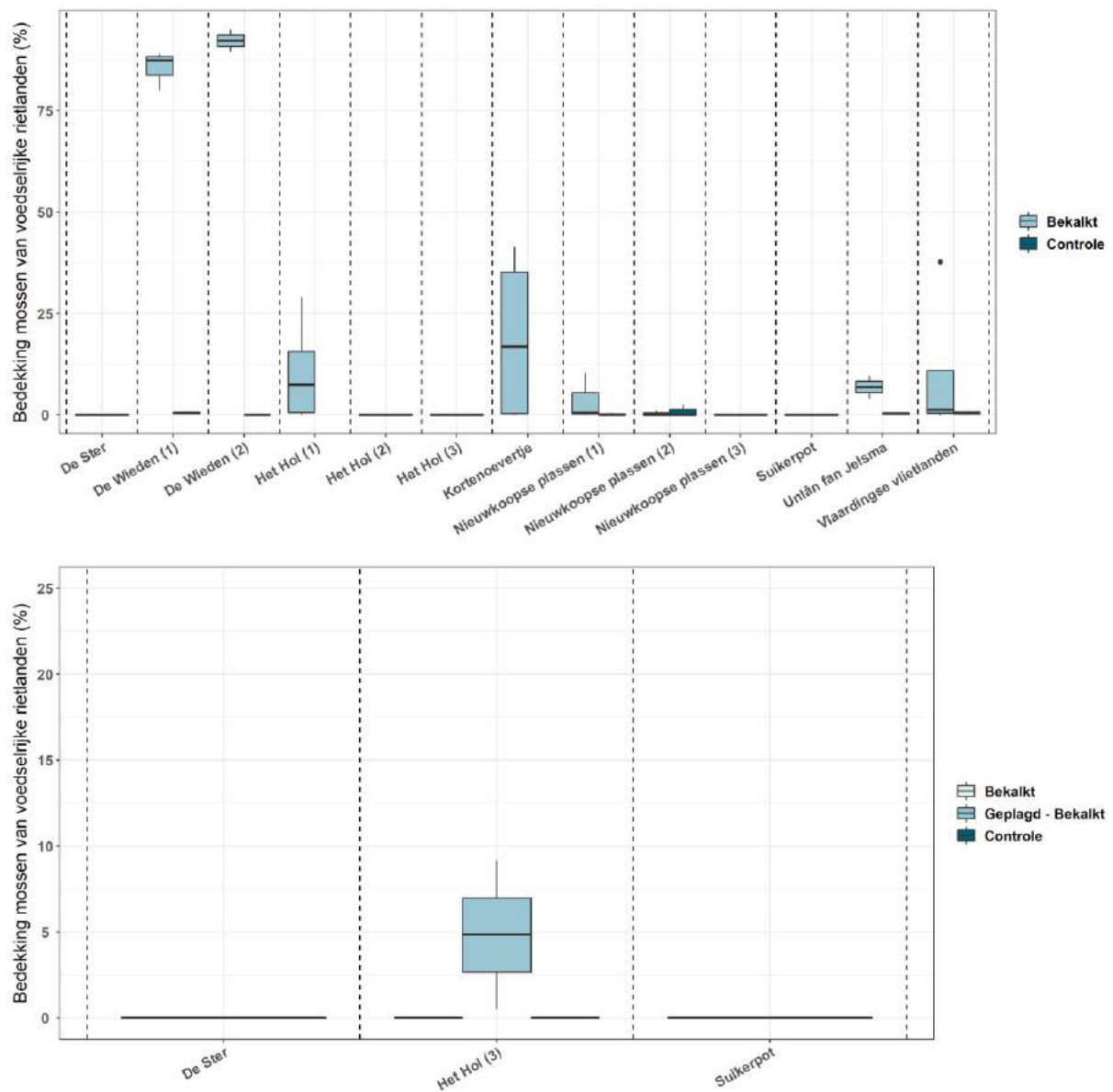
**Figuur 7.28.** Bedekking met haarmos per locatie (data niet normaal verdeeld. In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.28.** Percentual moss cover with Polytrichum spp. (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.

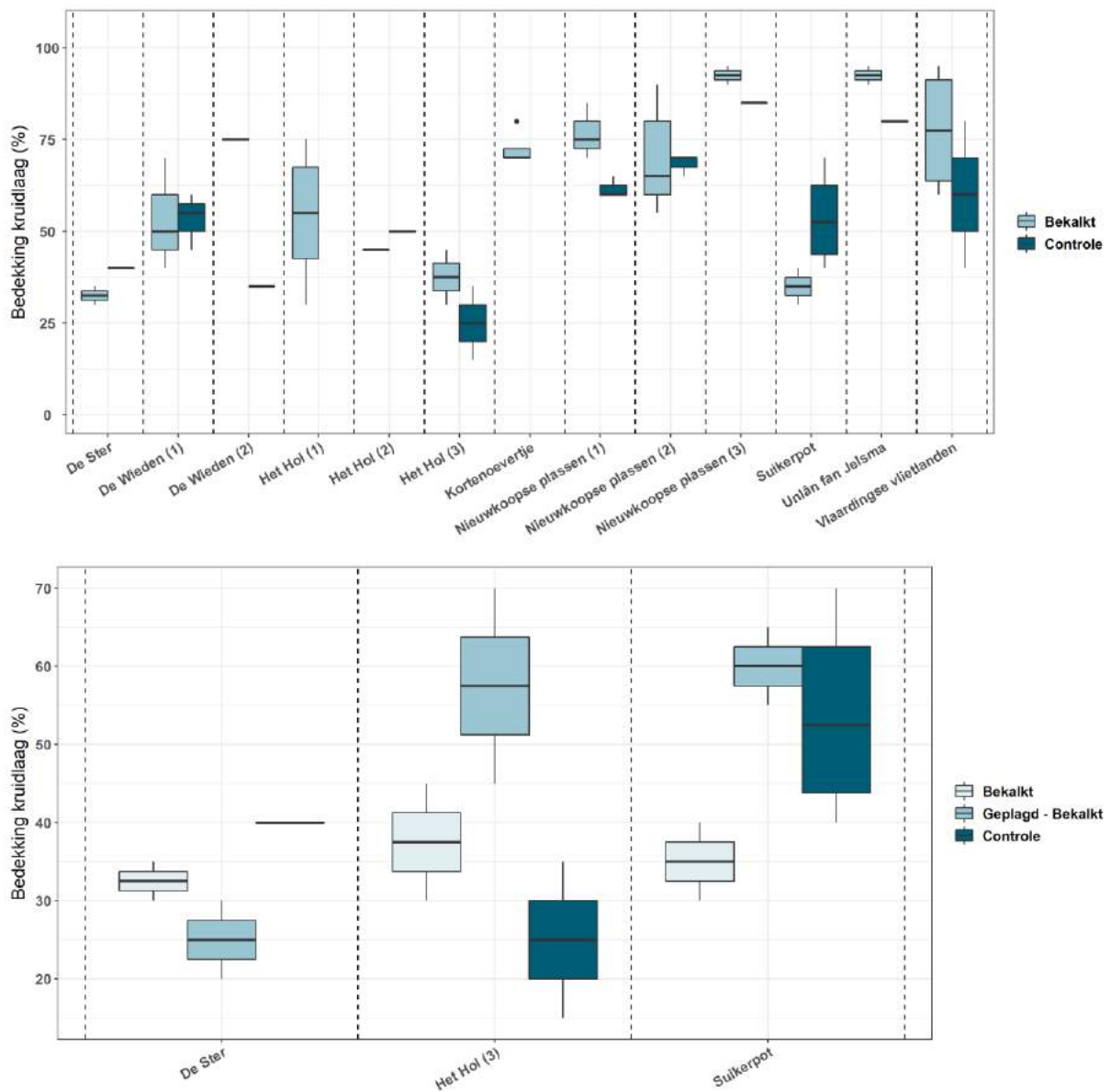


**Figuur 7.29.** Bedekking met trilveenmossen per locatie (data niet normaal verdeeld. In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.29.** Percentual cover with mosses that are characteristic for floating fens (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and top soil removed and control.

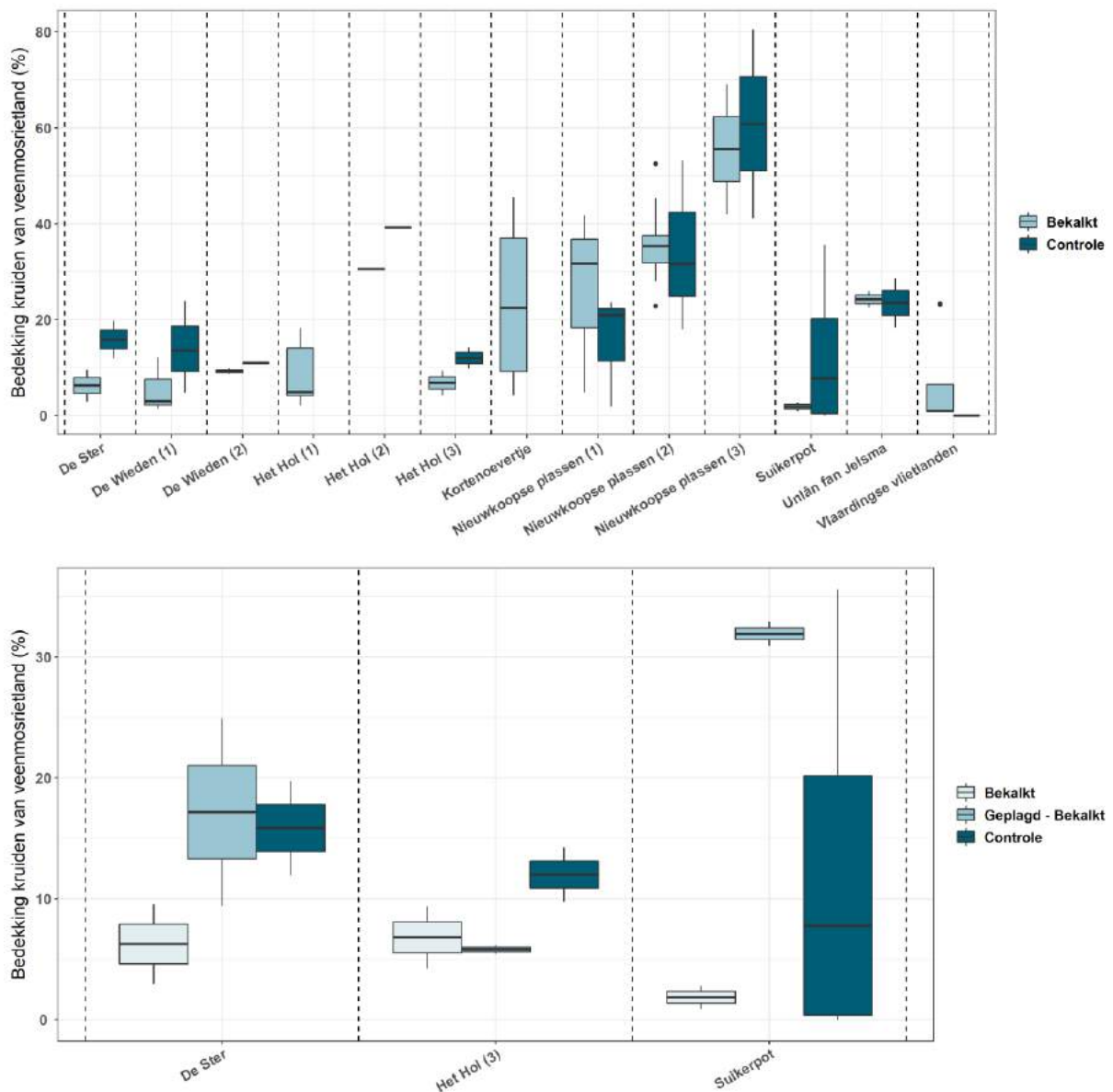


**Figuur 7.30.** Bedekking met mossen van voedselrijke rietlanden per locatie (data niet normaal verdeeld. In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is. **Figure 7.30.** Percentual cover with mosses that are characteristic for eutrophic reed lands (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



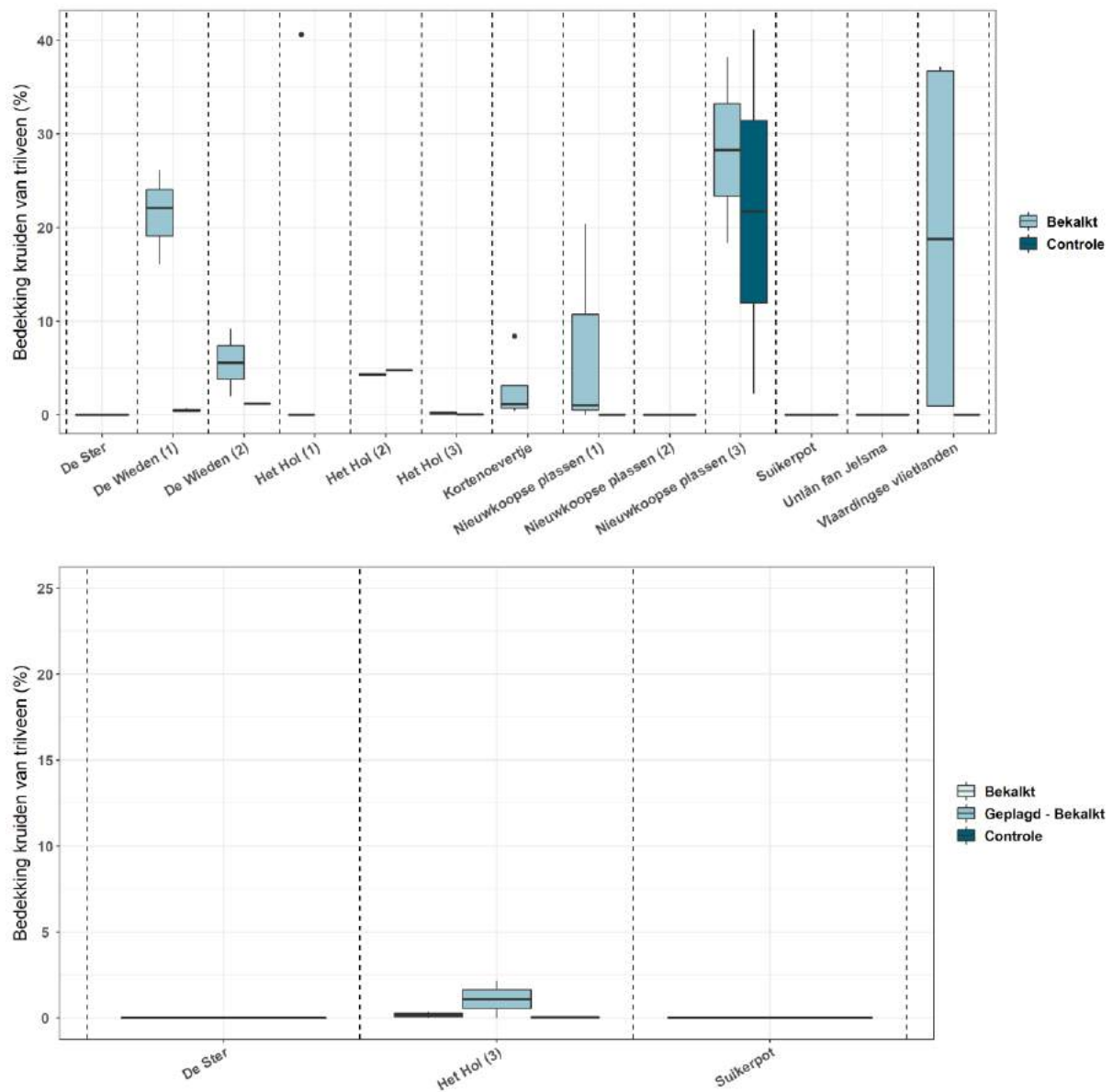
**Figuur 7.31.** Totale bedekking van de kruidlaag per locatie (data normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.31.** Percentual cover with vascular plants (data normally distributed). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



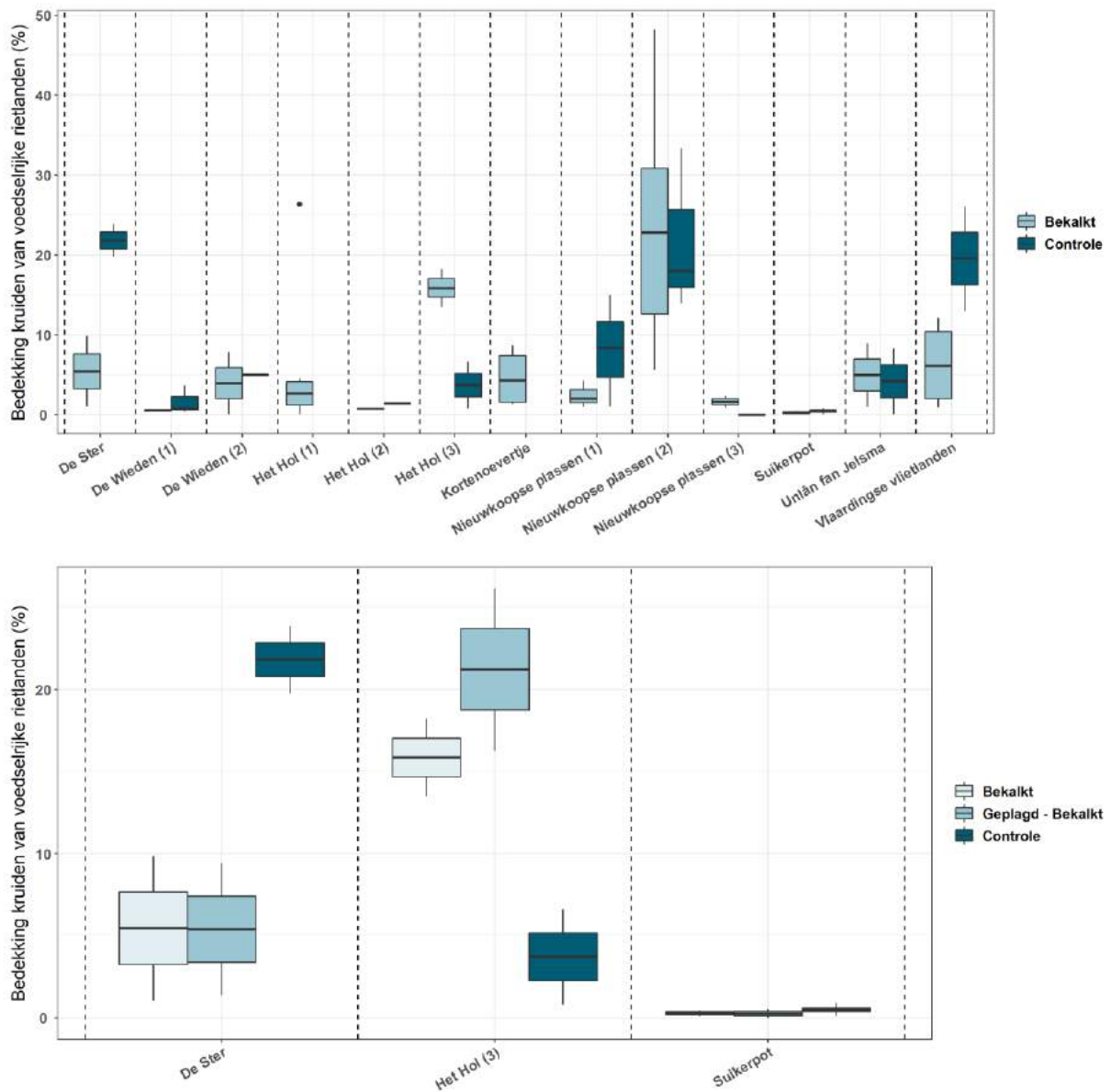
**Figuur 7.32.** Bedekking met vaatplanten van veenmosrietland per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.32.** Percentual cover with vascular plants that are characteristic for poor fens (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



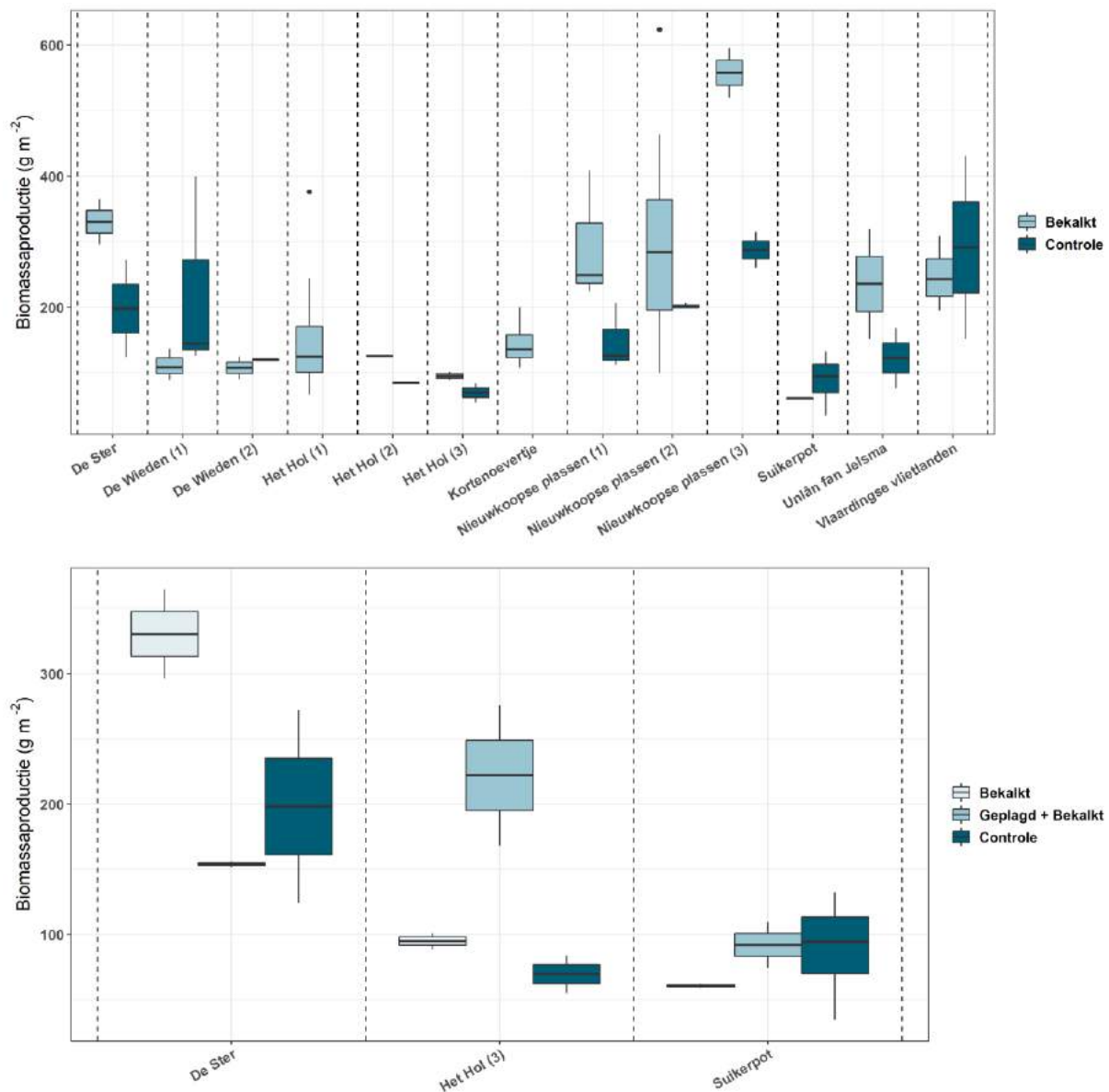
**Figuur 7.33.** Bedekking met vaatplanten van trilveen per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.33.** Percentual cover with vascular plants that are characteristic for floating fens (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



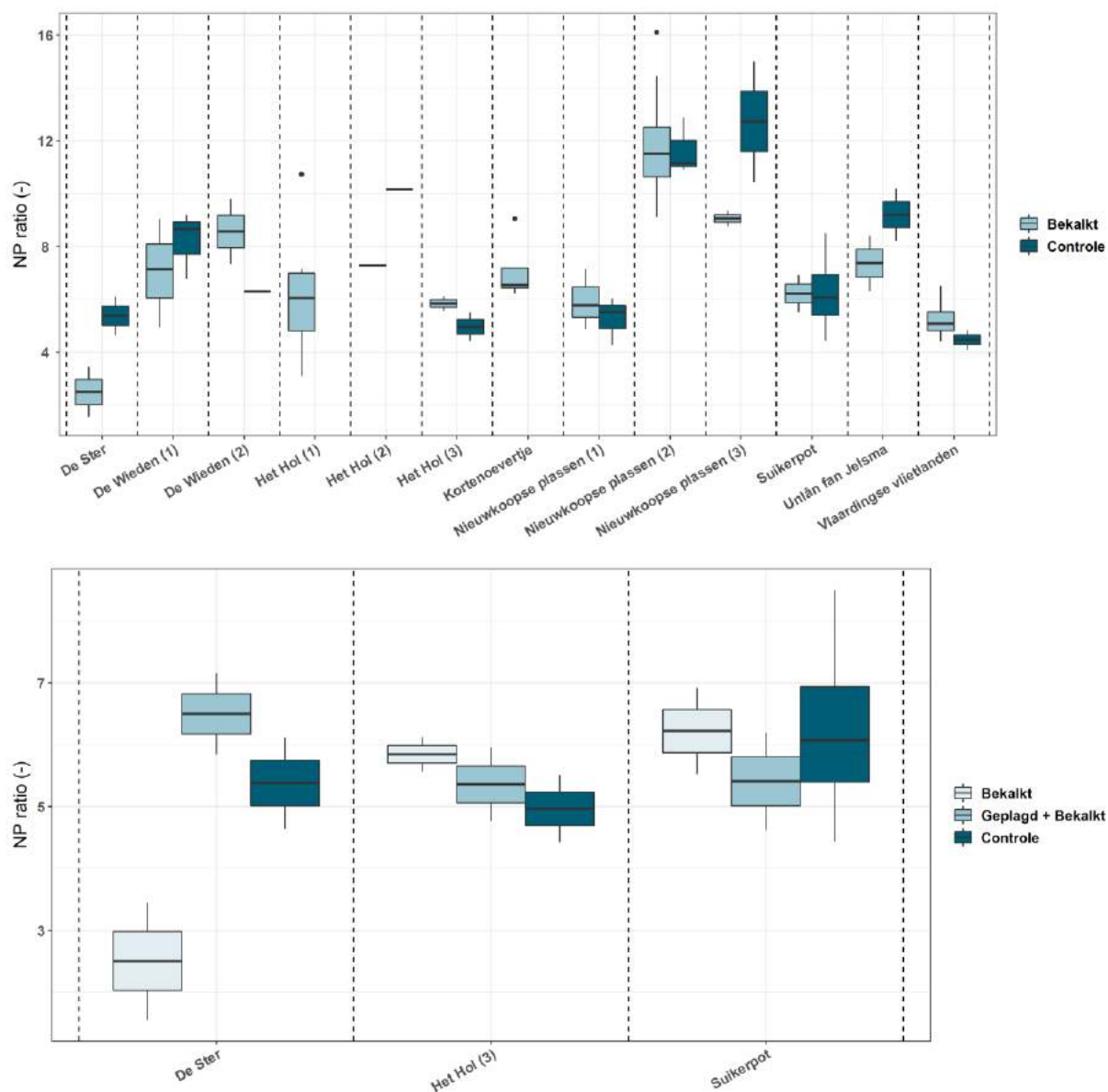
**Figuur 7.34.** Bedekking met vaatplanten van voedselrijke rietlanden per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.34.** Percentual cover with vascular plants that are characteristic for eutrophic reed lands (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



**Figuur 7.35.** Biomassaproductie in gram drooggewicht per vierkante meter per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

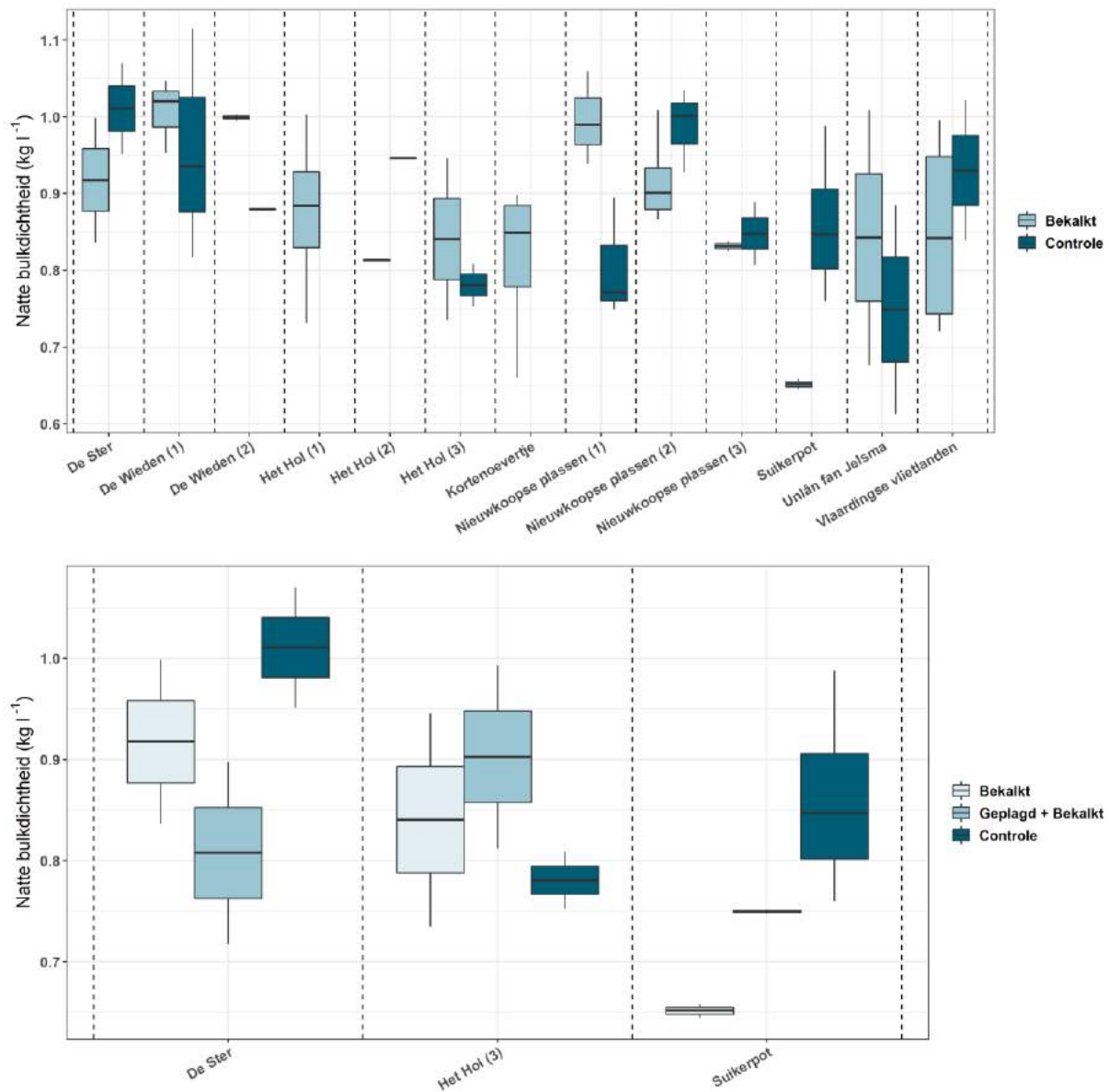
**Figure 7.35.** Biomass production (gDW m<sup>-2</sup>, data normally distributed after transformation) per location. Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



**Figuur 7.36.** N:P ratio (stikstof:fosfor) per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

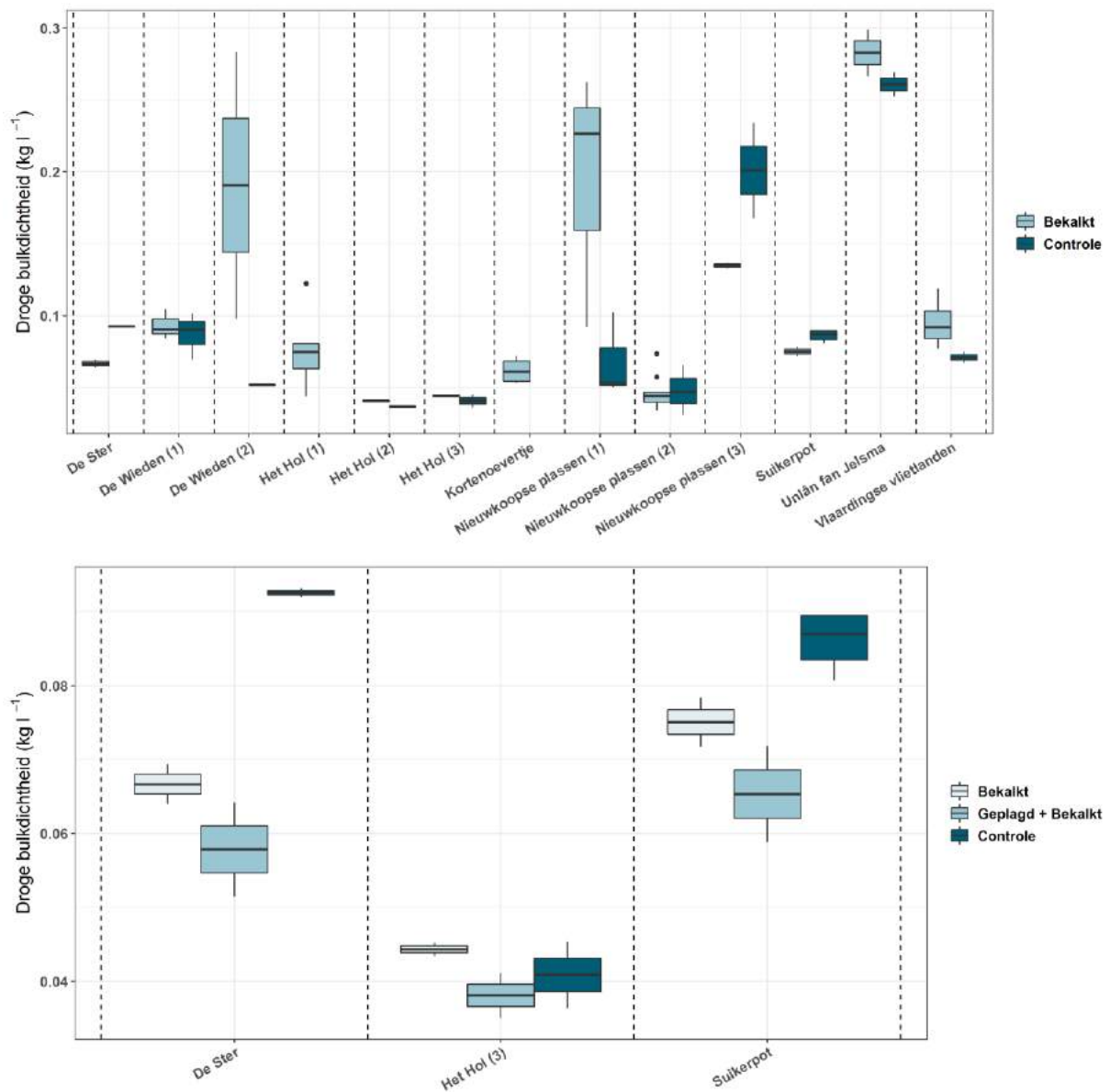
**Figure 7.36.** N:P ratio (nitrogen:phosphorus, data normally distributed after transformation) per location. Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.

## 7.15 Figuren effecten van bekalking op de biogeochemie, per locatie



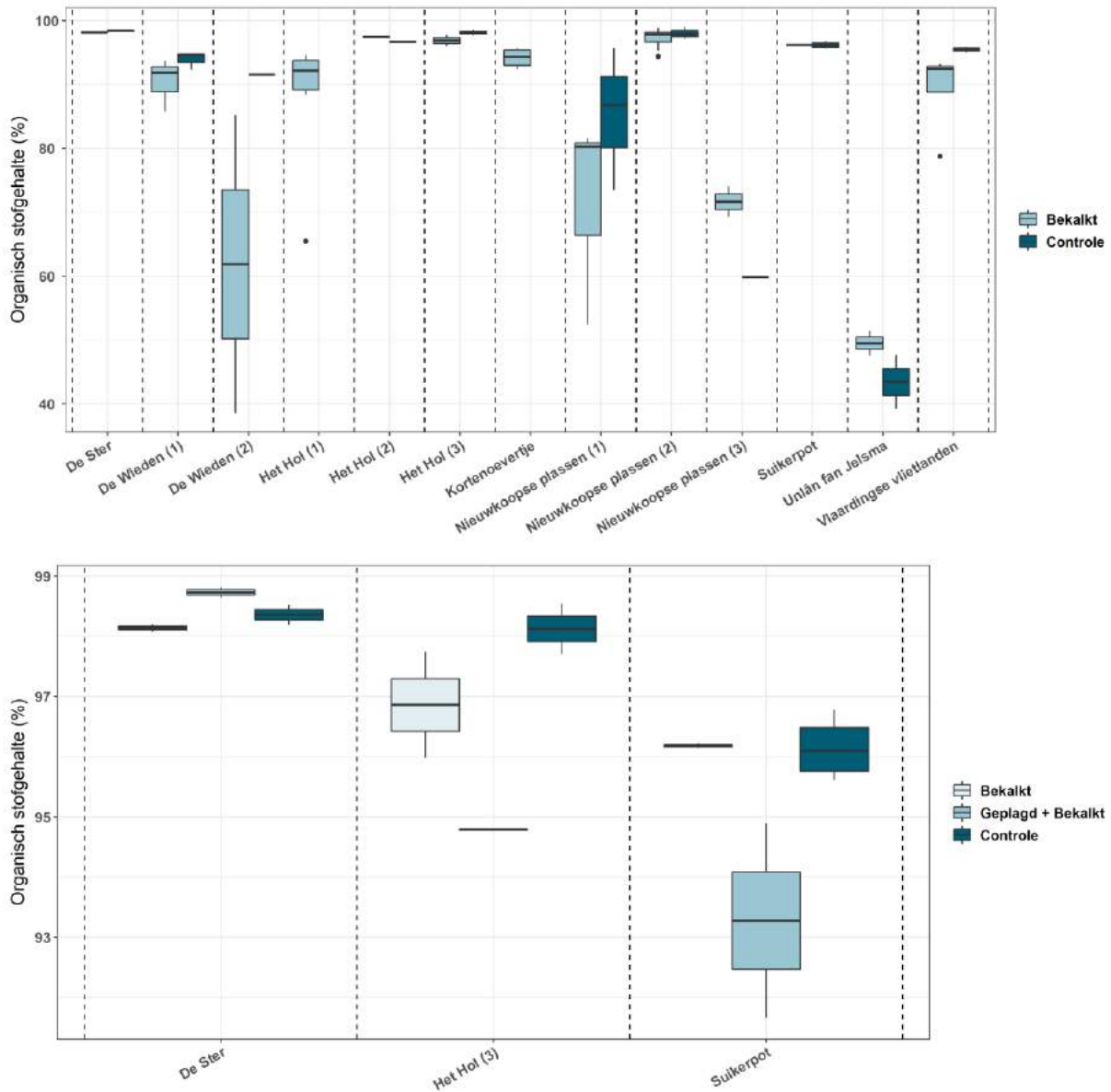
**Figuur 7.37.** Natte bulkdichtheid per locatie (kg l<sup>-1</sup>; data normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.37.** Wet bulk density per location (kg l<sup>-1</sup>; data normally distributed). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



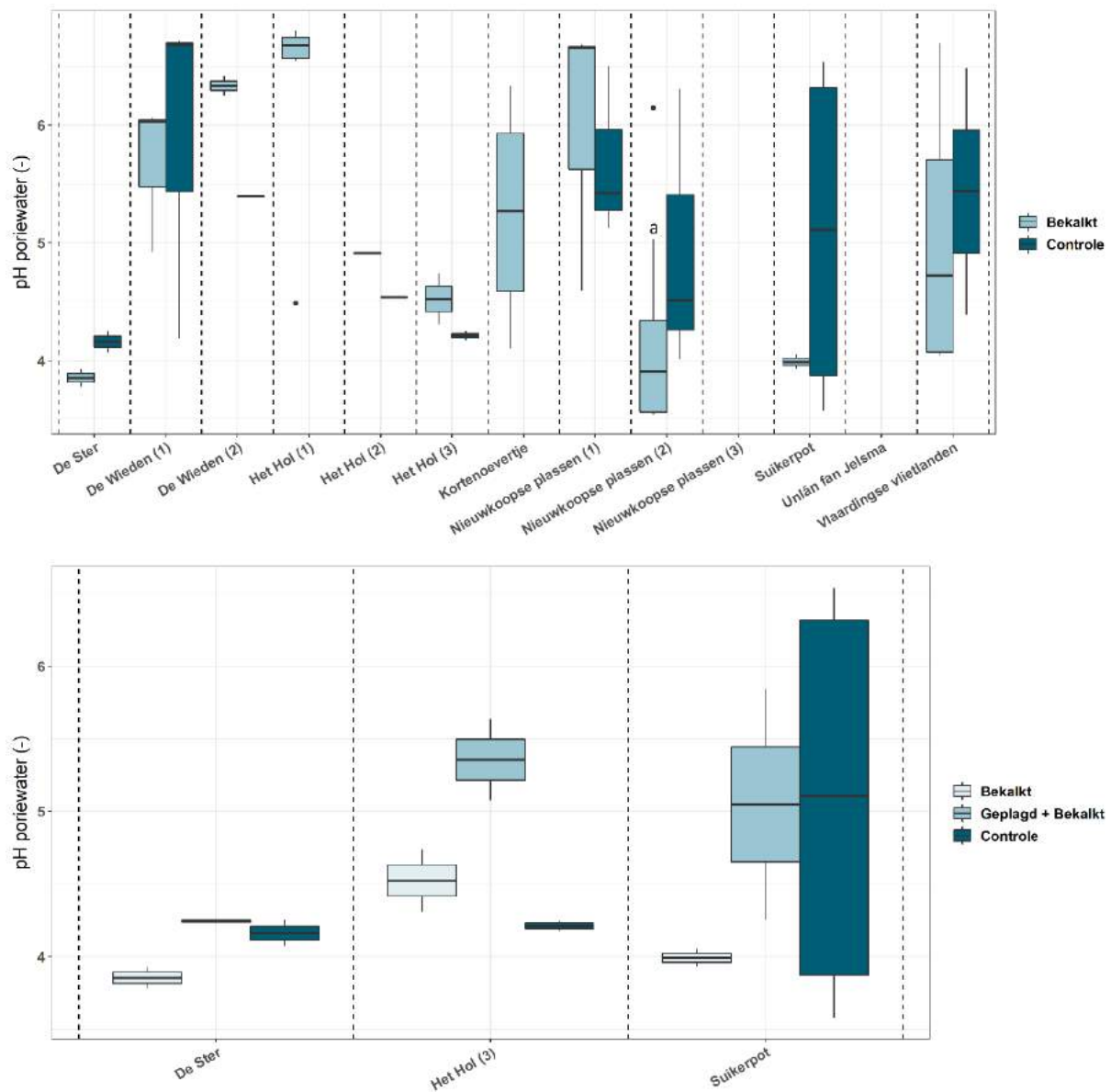
**Figuur 7.38.** Droge bulkdichtheid per locatie (kg l<sup>-1</sup>; data normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.38.** Dry bulk density per location (kg l<sup>-1</sup>; data normally distributed). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



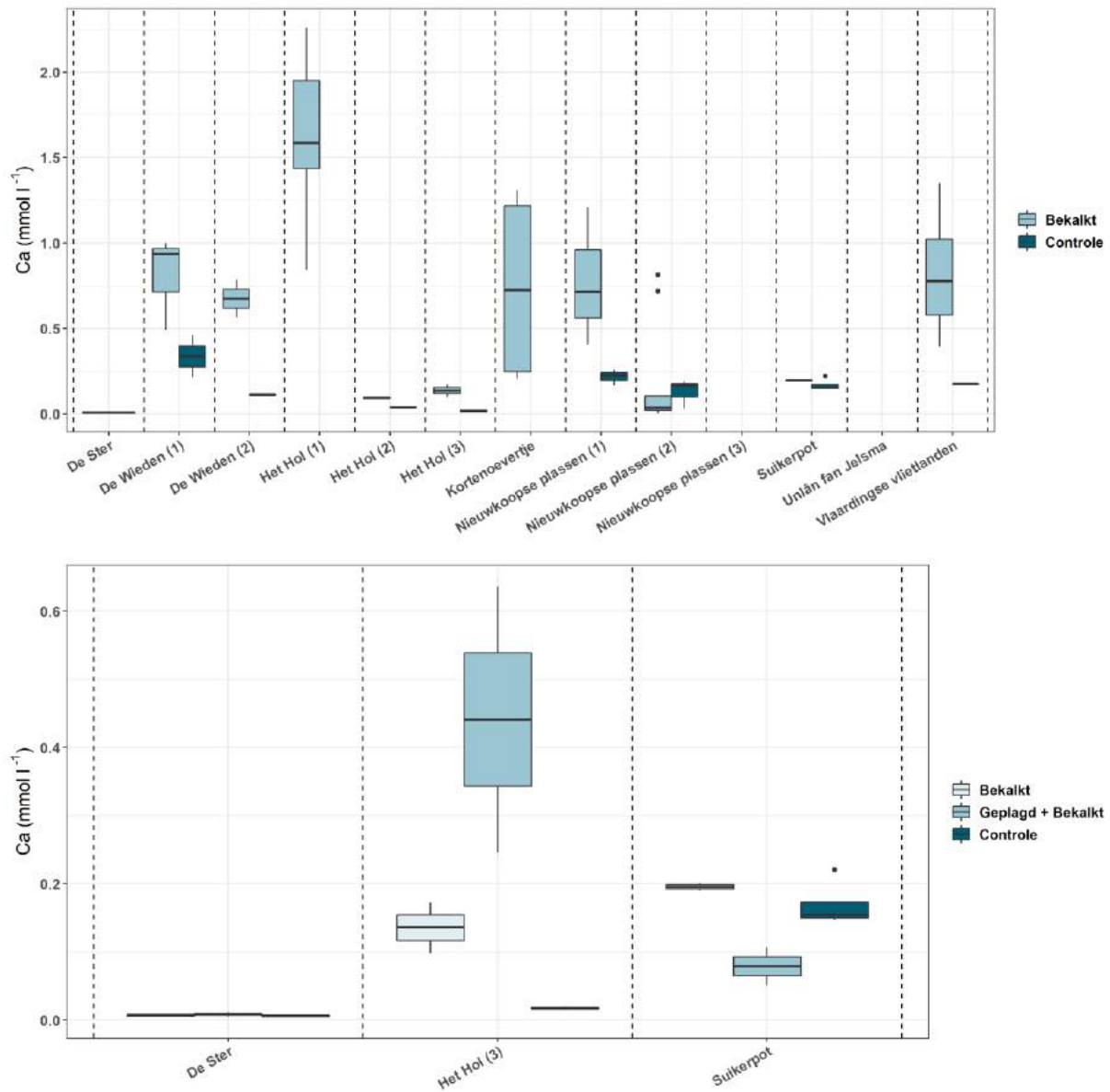
**Figuur 7.39.** Organisch stofgehalte per locatie (%; data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.39.** Organic matter content per location (%; violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



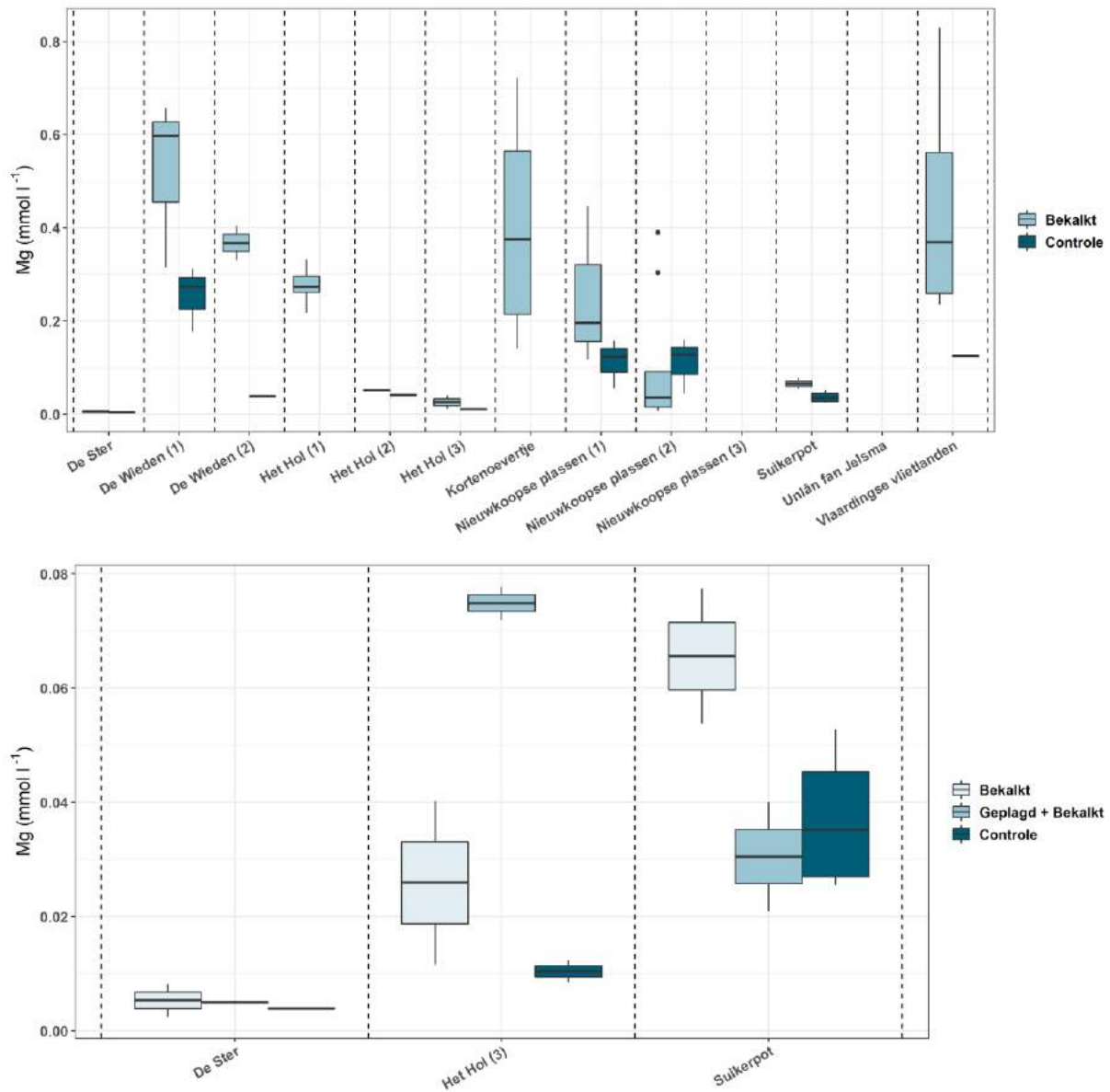
**Figuur 7.40.** pH per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.40.** pH per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



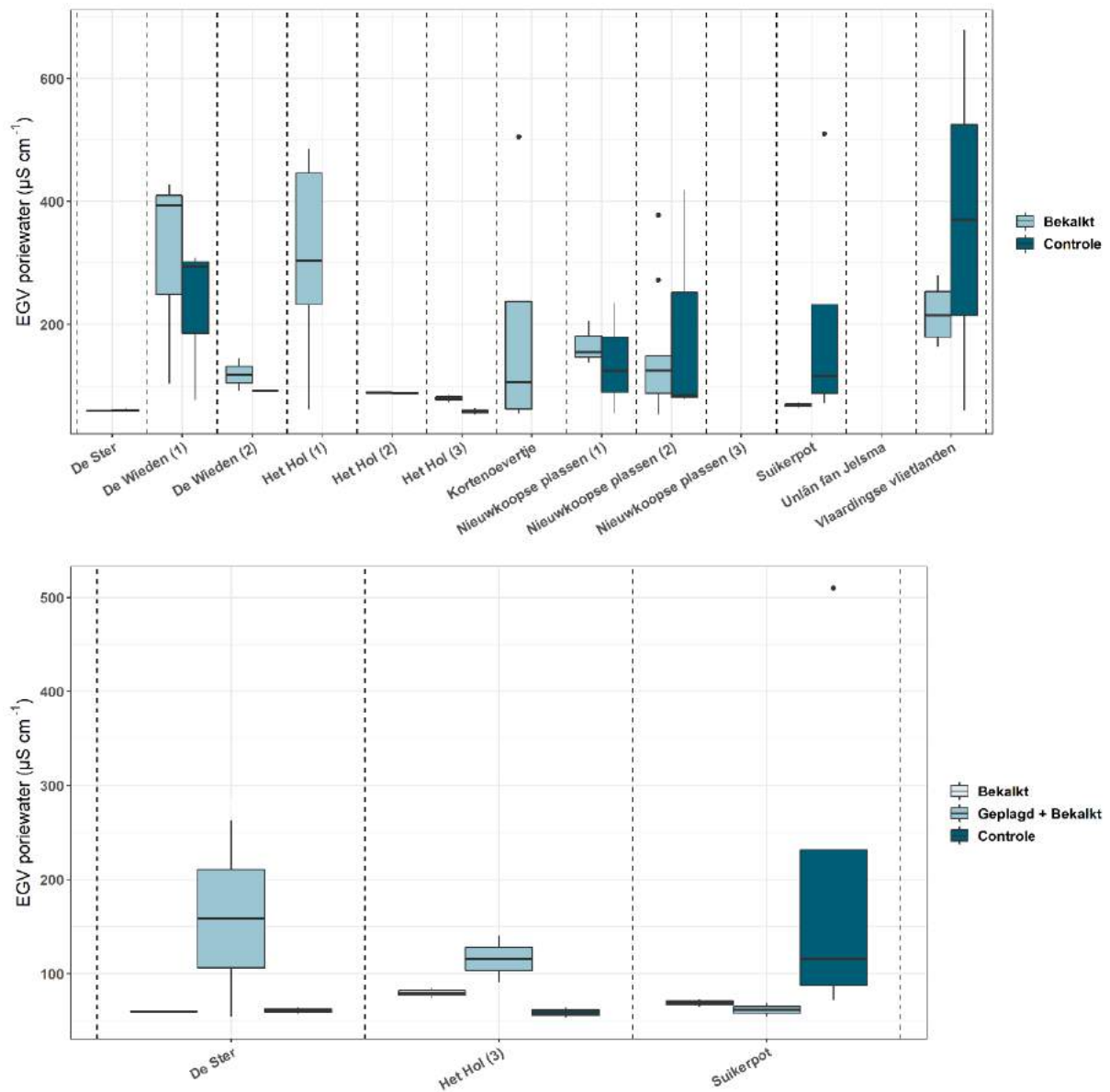
**Figuur 7.41.** Calciumconcentratie per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.41.** Calcium concentration per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



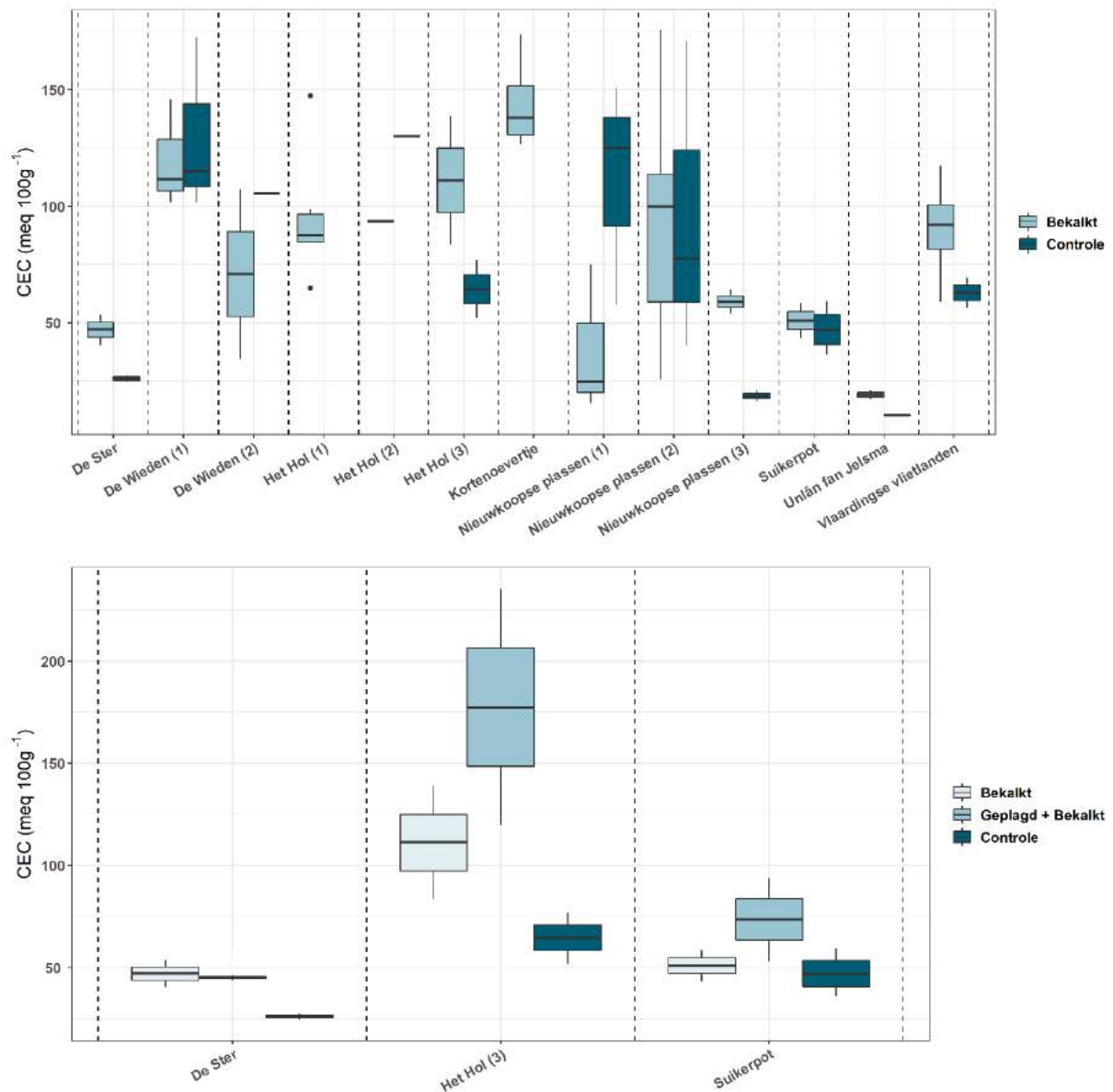
**Figuur 7.42.** Magnesiumconcentratie per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.42.** Magnesium concentration per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



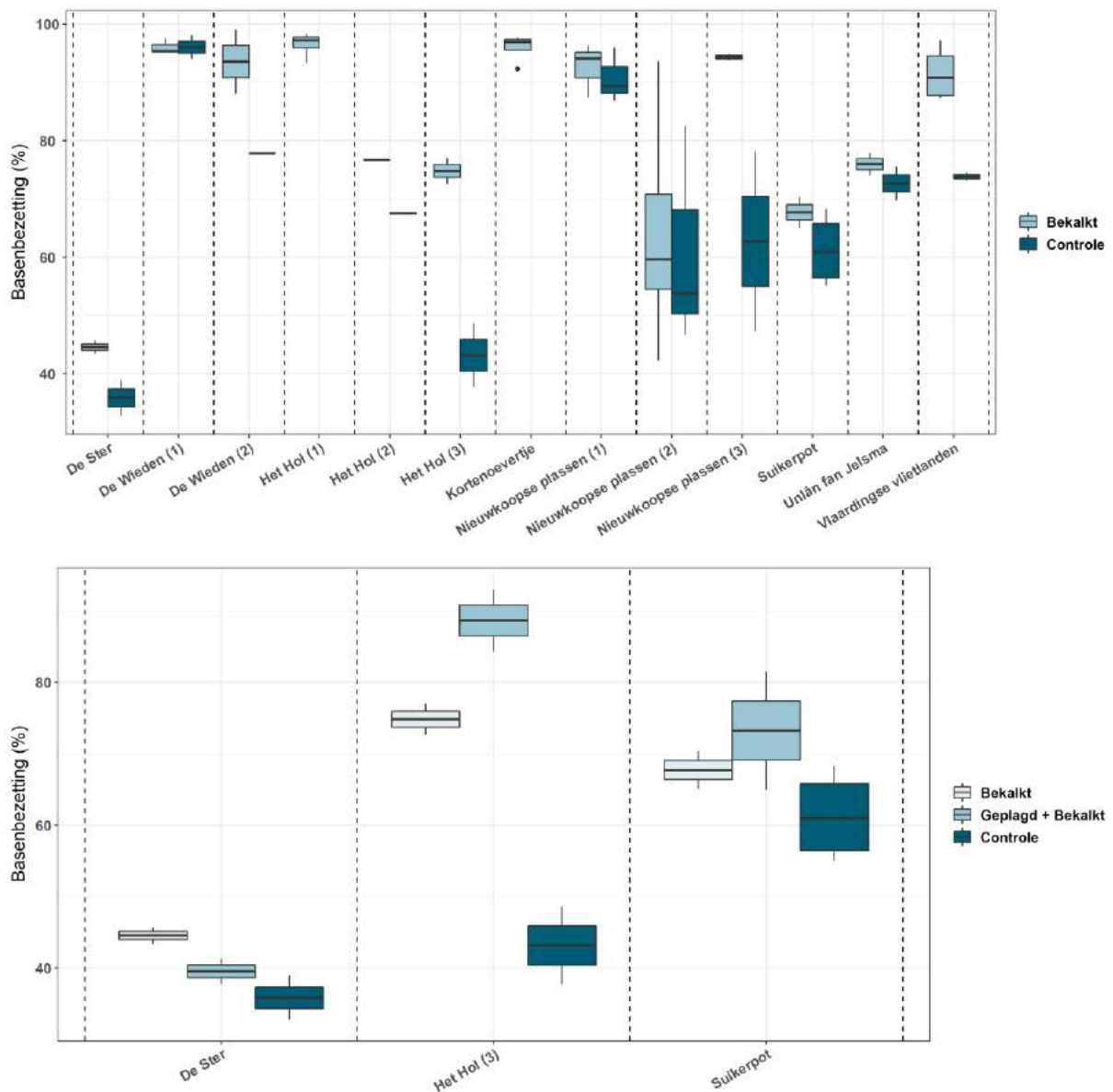
**Figuur 7.43.** Elektrisch geleidend vermogen (EGV) per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.43.** Electric conductivity (EC) per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



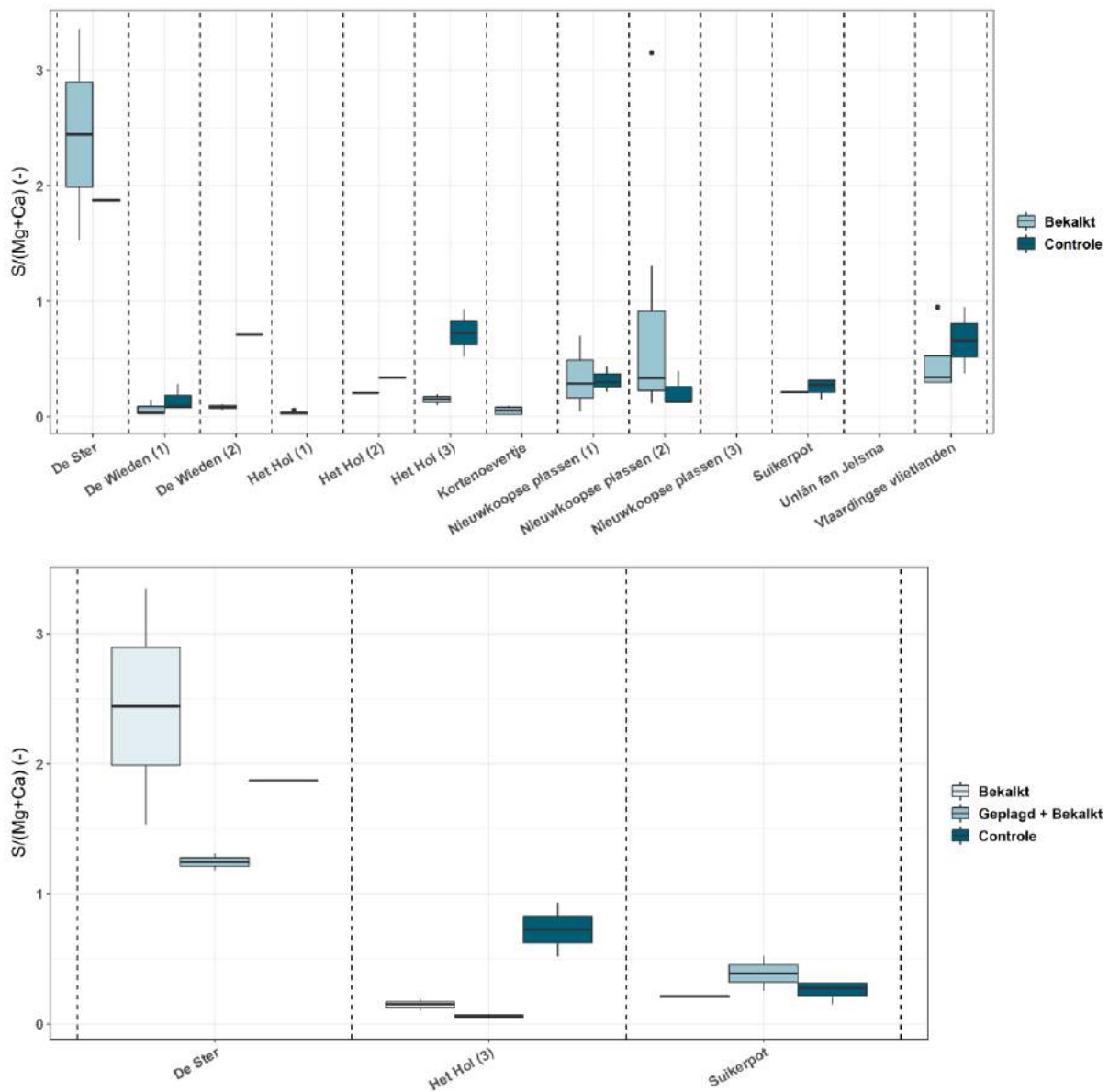
**Figuur 7.44.** Kationuitwisselingscapaciteit (CEC, meq/100g) per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.44.** Cation exchange capacity (CEC, meq/100g) per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



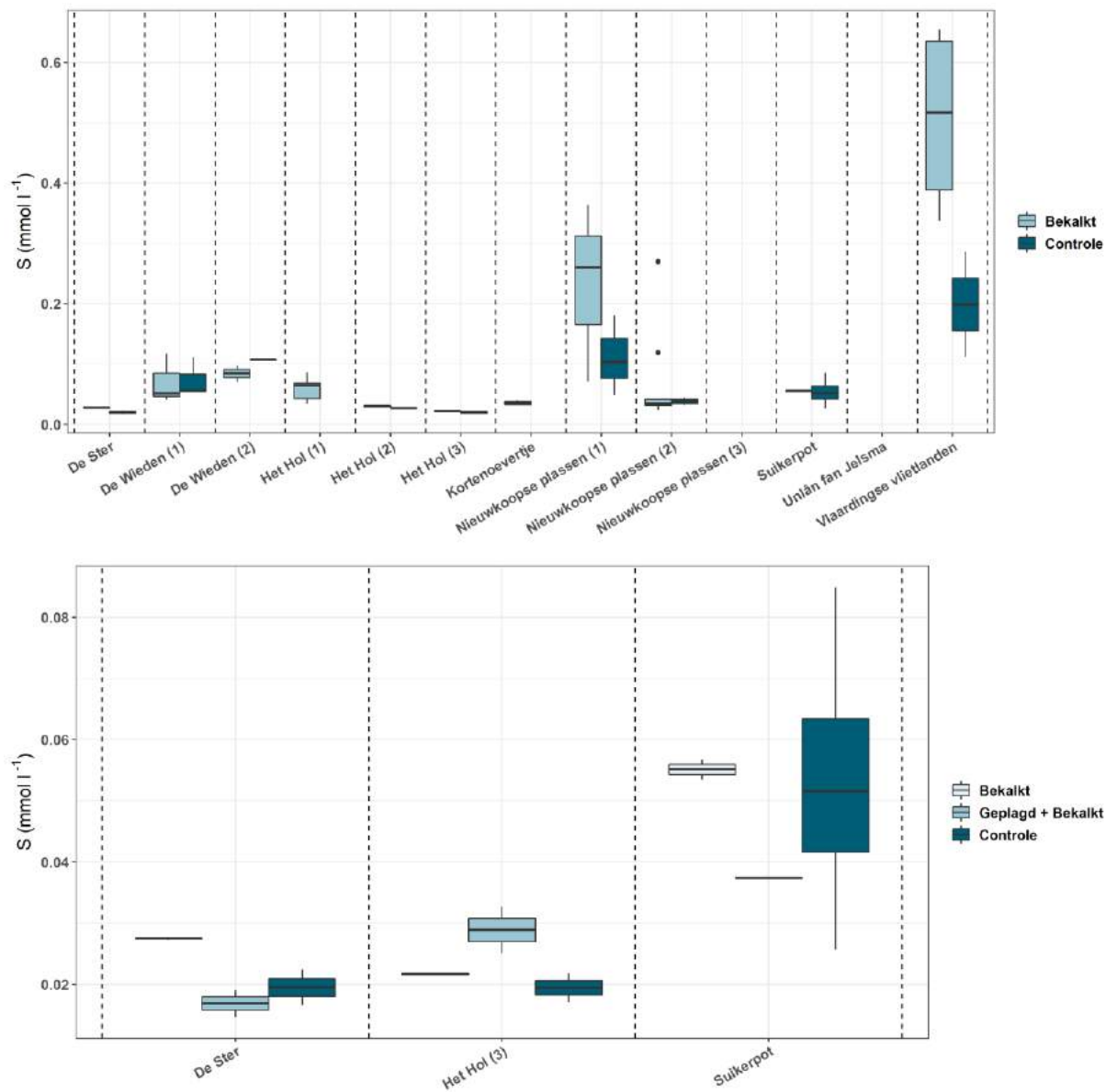
**Figuur 7.45.** Basenbezetting (%) per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.45.** Base saturation (%) per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



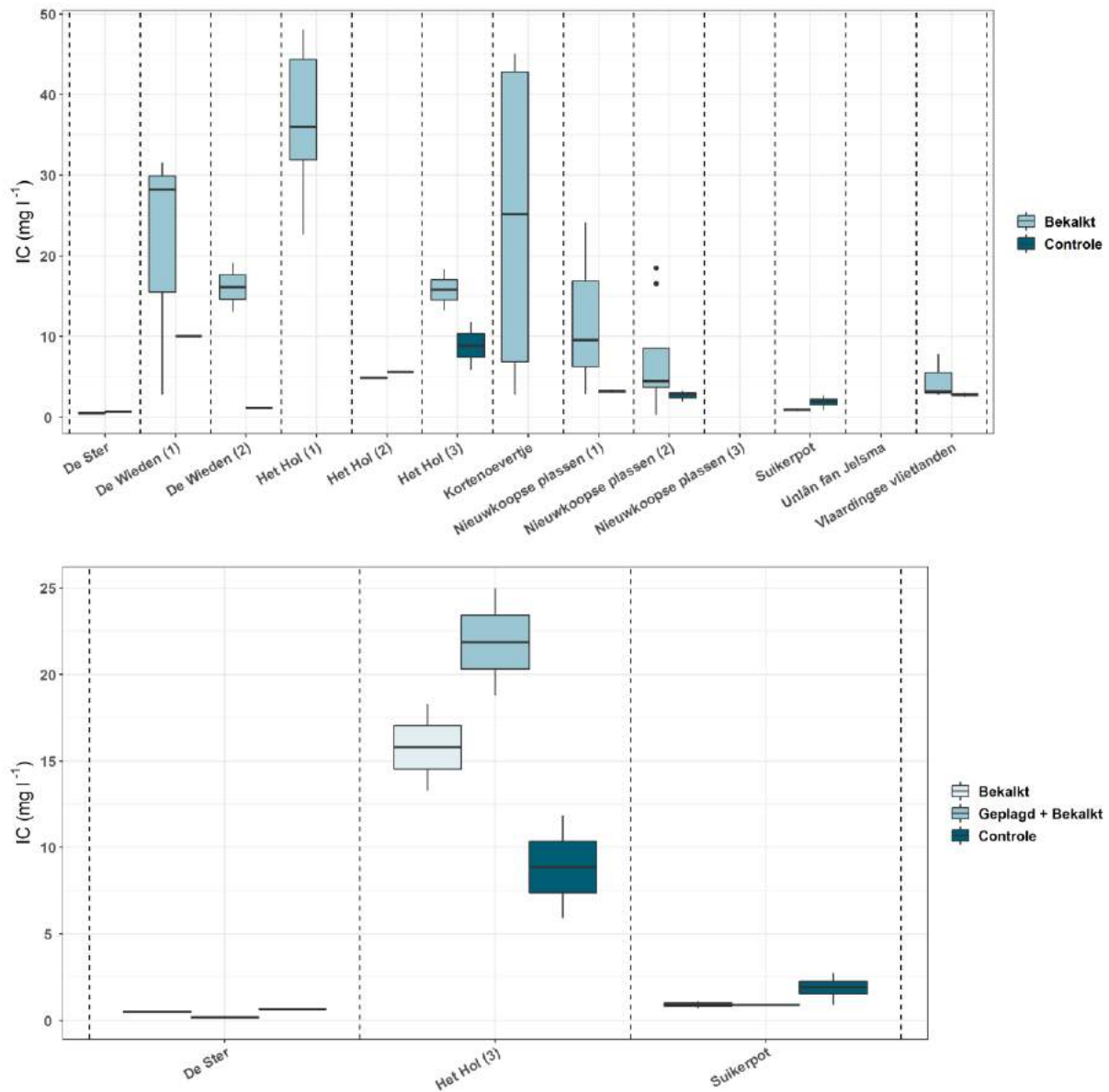
**Figuur 7.46.** Potentiële verzuringscapaciteit ( $S/(Mg+Ca)$ ) per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.46.** Potential acidification capacity ( $S/(Mg+Ca)$ ) per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



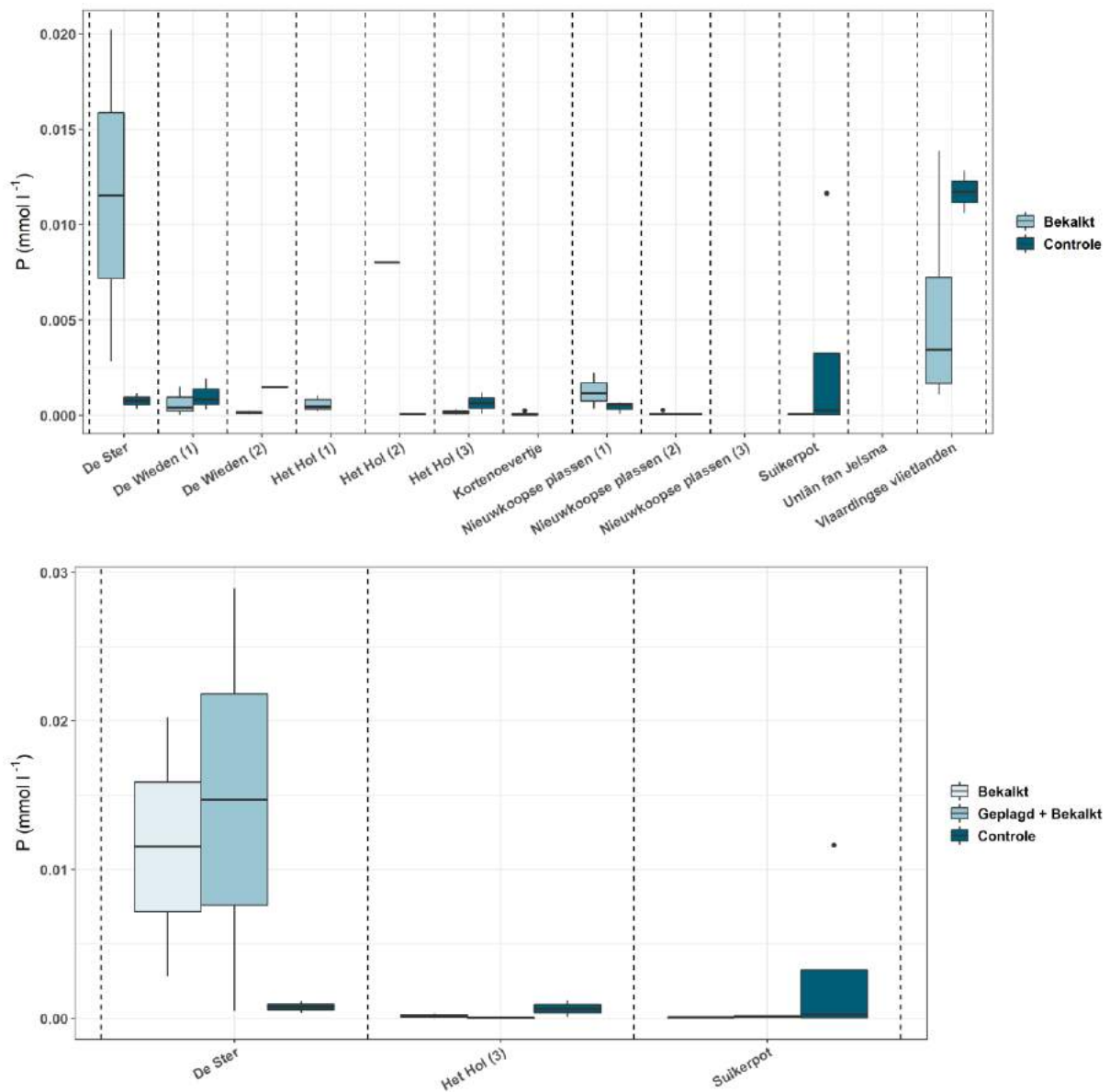
**Figuur 7.47.** Zwavelconcentratie per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.47.** Sulfur concentration per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



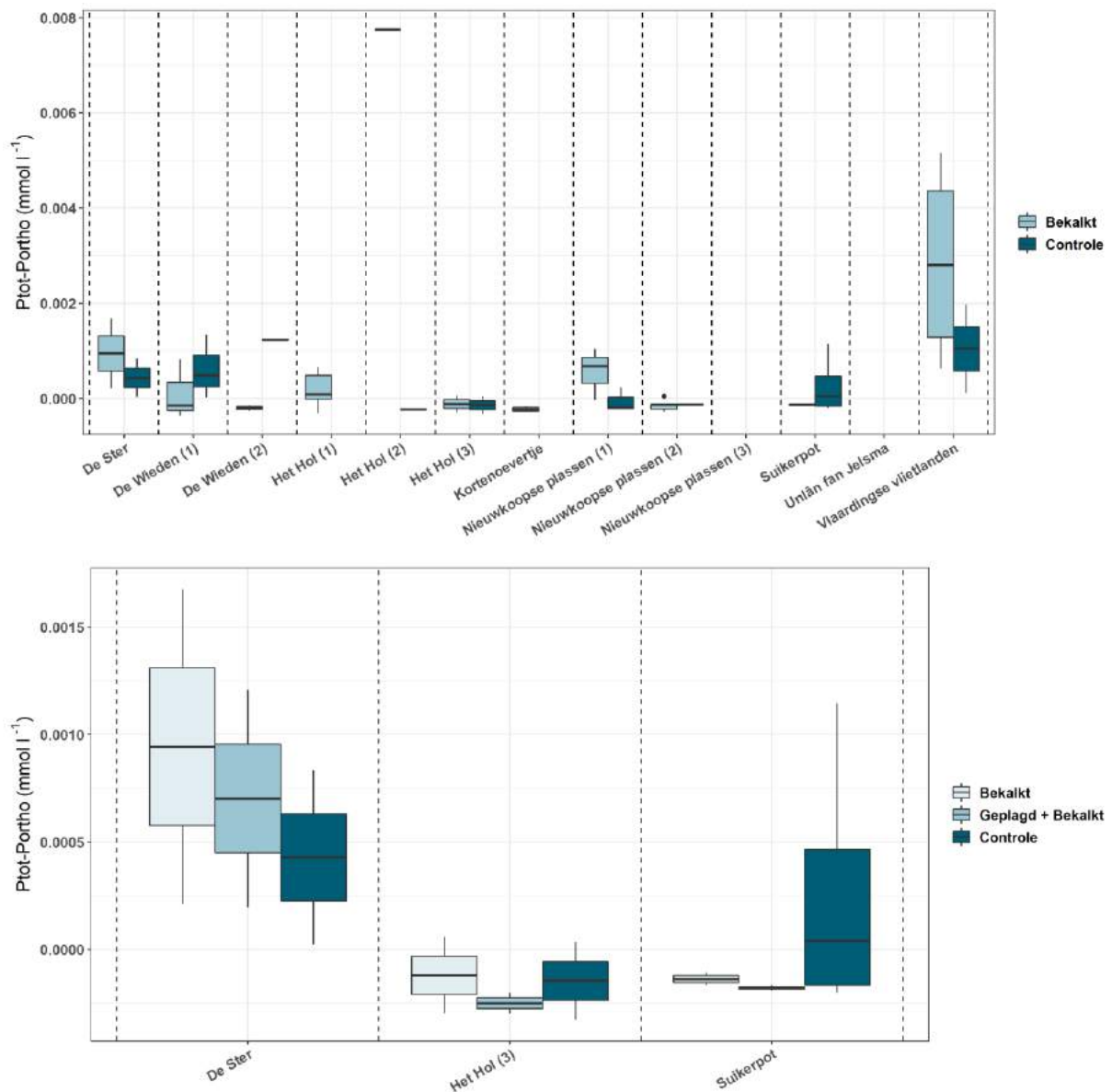
**Figuur 7.48.** Anorganisch koolstof (IC) per locatie (data normaal verdeeld na transformatie). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.48.** Inorganic carbon (IC) per location (data normally distributed after transformation). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.

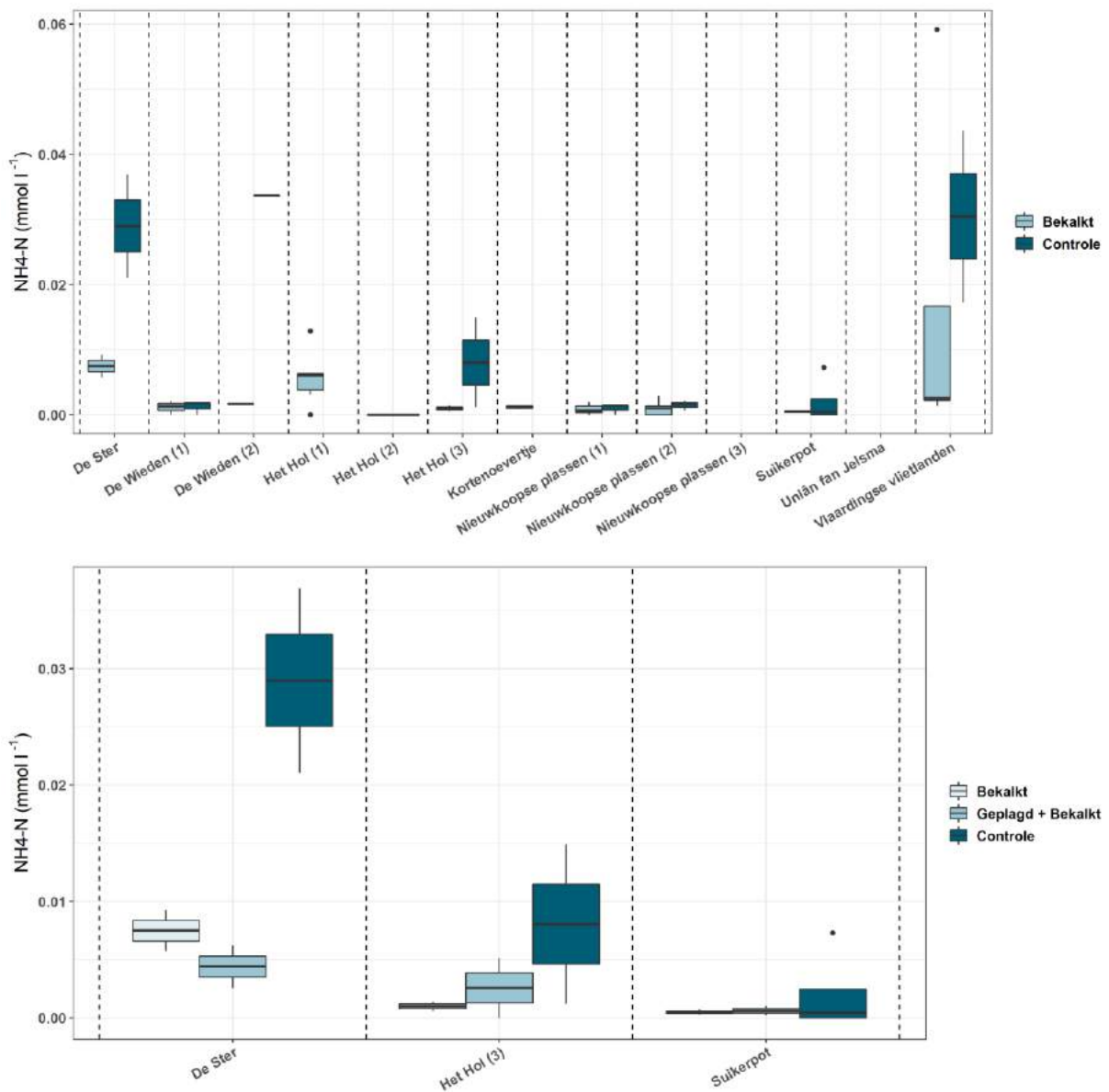


**Figuur 7.49.** Fosforconcentratie per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.49.** Phosphorus concentration per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.

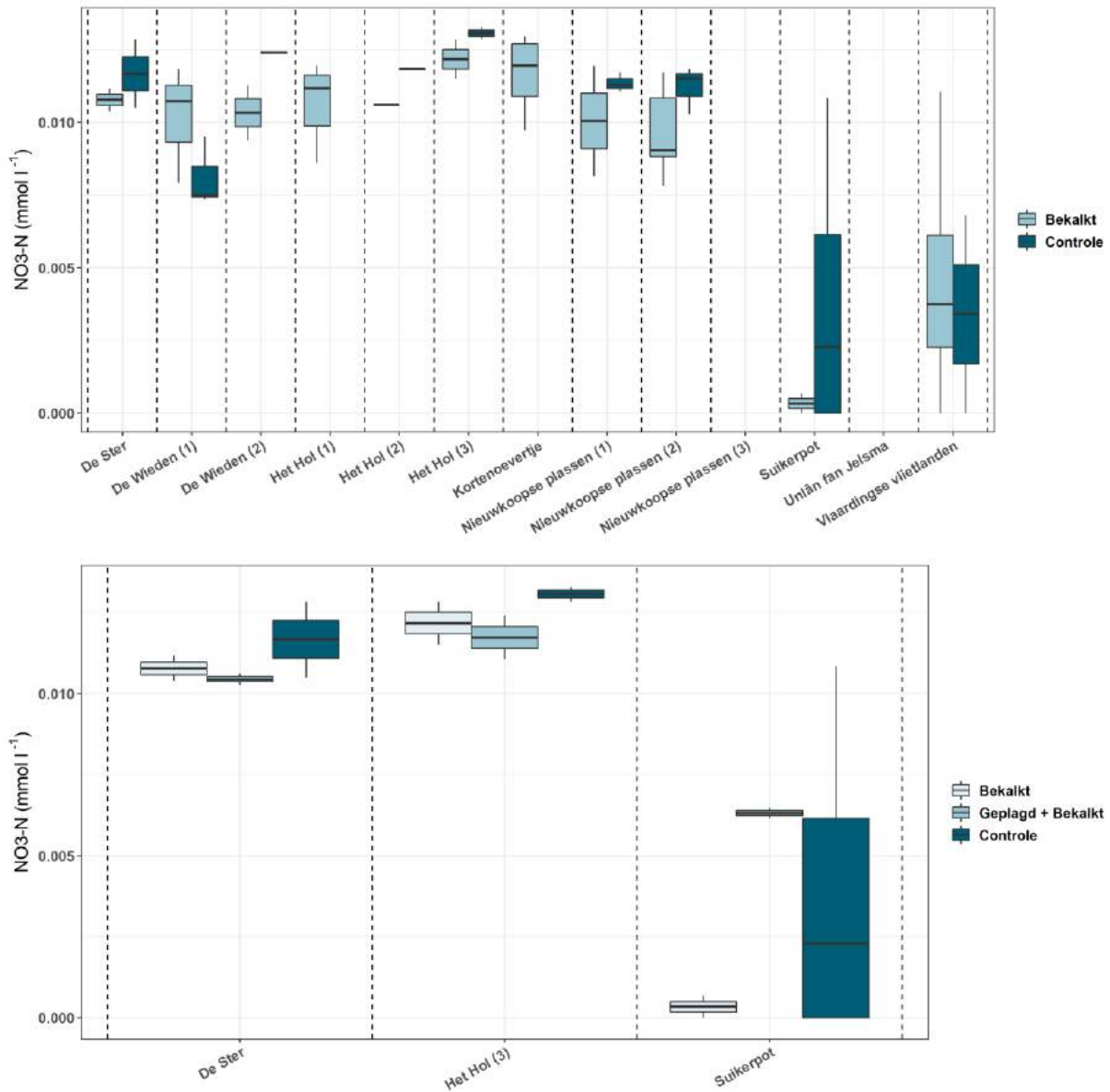


**Figuur 7.50.** Opgelost organisch fosfor ( $DOP = P_{\text{totaal}} - P_{\text{ortho}}$ ) per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is. **Figure 7.50.** Dissolved organic phosphorus ( $DOP = P_{\text{total}} - P_{\text{ortho}}$ ) per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



**Figuur 7.51.** Concentratie stikstof als ammonium per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.51.** Ammonium-N per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.



**Figuur 7.52.** Concentratie stikstof als nitraat per locatie (data niet normaal verdeeld). In de onderste figuur zijn de locaties weergegeven waar naast een behandeling 'bekalken' (> 20 jaar geleden), ook een behandeling 'plaggen en bekalken' (> 20 jaar geleden) is.

**Figure 7.52.** Nitrate-N per location (violation of normal distribution). Distinguished groups are: upper figure: limed and control; lower figure: limed, limed and topsoil removed and control.

## 7.16 Vragen enquête en interviews

De enquête bestond uit drie secties, waarbij in sectie 1 werd gevraagd naar de kennis van de geënquêteerde omtrent uitgevoerde bekalkingsproeven, sectie 2 bestond uit vragen over reeds bij ons bekende bekalkingsproeven en in sectie 3 werd gevraagd naar kennis van overige bekalkingsproeven en personen die mogelijk kennis van bekalkingsproeven konden hebben. De enquête is zodanig opgesteld, dat geënquêteerden die geen kennis hadden van bekalkingsproeven, alleen secties 1 en 3 te zien kregen en de enquête in ca. 2 minuten konden voltooien. Indien men aangaf wel kennis van bekalkingsproeven te hebben, duurde de enquête ca. 20 minuten.

Hieronder worden de gestelde vragen per sectie beschreven.

### Sectie 1

1. Wat is uw naam?  
*Indien de geënquêteerde anoniem wenste te blijven, kon bij deze vraag 'anoniem' worden ingevuld.*
2. Wat is uw rol/expertise met betrekking tot bekalking van trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland of dotterbloemhooiland?
3. Hebt u kennis van één of meerdere bekalkingsproeven die in het verleden zijn uitgevoerd in trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland of dotterbloemhooiland?
  - *Ja* → sectie 2
  - *Nee* → sectie 3

### Sectie 2

In deze sectie is allereerst gevraagd of men de reeds bij het onderzoeksteam bekende bekalkingsonderzoeken kende (zie hoofdstuk 3). Voor elk van de onderzoeken die bij de geënquêteerde bekend was, werden de volgende vragen gesteld:

1. Denkt u dat de exacte locaties van het onderzoek nog zijn terug te vinden in het veld?
  - *Ja* → vraag 2
  - *Nee* → vraag 10
  - *Weet ik niet* → vraag 2
2. Denkt u dat u zelf de exacte locatie nog kunt terugvinden in het veld?
  - *Ja* → vraag 5
  - *Nee* → vraag 3
3. Is er iemand die de exacte locaties wel kent?
  - *Ja* → vraag 4
  - *Nee* → vraag 10
4. Met wie kunnen we hiervoor het beste contact opnemen?
5. Kent u de (exacte) locatie van bekalken?
  - *Ja, ik ken de coördinaten* → vraag 6
  - *Ja, ik weet de exacte locatie in het veld* → vraag 8
  - *Nee, maar ik ken iemand die de locatie wel kent* → vraag 9
  - *Nee* → vraag 10
6. Heeft u de coördinaten van de exacte locaties (zowel van de bekalkte als niet bekalkte locaties)?
  - *Ja, ik ken de coördinaten en op die plekken is het voor onderzoekers gelijk duidelijk welke plots/gebieden bekalkt zijn, zodat zij zonder hulp van anderen gelijk aan de slag kunnen* → vraag 7
  - *Ja, ik ken de coördinaten maar op die plekken is het voor onderzoekers onduidelijk welke plots/gebieden bekalkt zijn, zodat zij hulp van anderen nodig hebben om aan de slag te kunnen* → vraag 7
  - *Nee* → vraag 8
7. Wat zijn de coördinaten?

8. Ik schat in dat ik de exacte locatie in het veld terug kan vinden, zodat onderzoekers deze locaties opnieuw kunnen bemonsteren?
  - *Ja, en ik ben bereid om met de onderzoekers het veld in te gaan → vraag 10*
  - *Ja, maar ik ben niet bereid om met de onderzoekers het veld in te gaan → vraag 10*
  - *Nee, maar ik ken iemand die dat wel kan → vraag 9*
  - *Nee en er is niemand die dat kan → vraag 10*
9. U kunt het beste contact opnemen met...
10. In hoeverre was het experiment succesvol?
11. Hebt u (naast de benoemde standplaatscondities in het artikel/rapport) aanvullende informatie over de standplaatscondities op de locaties van het experiment?
  - *Ja → vraag 12*
  - *Nee → vraag 13*
  - *Enigszins → vraag 12*
12. Ik kan deze gegevens beschikbaar stellen
  - *Ja, via een digitaal interview → vraag 13*
  - *Ja, als ruwe data met een toelichting → vraag 13*
  - *Ja, ik kan dat nu globaal aangeven → vraag 13*
  - *Nee, want deze gegevens en kennis zijn niet openbaar toegankelijk en in privébezit → vraag 13*
13. Weet u hoe de locaties zijn beheerd na de kalktoediening (incl. de referentie plots/percelen)?
  - *Ja → vraag 14*
  - *Nee → vraag 15*
14. Hoe zijn de locaties beheerd na kalktoediening?
15. Kwamen bepaalde plantsoorten die kenmerkend zijn voor het habitatype terug gedurende het experiment?
  - *Ja → vraag 16*
  - *Nee → vraag 17*
  - *Weet ik niet → vraag 17*
16. Welke plantensoorten kwamen terug?
17. Is er in het experiment ook onderzoek verricht naar de reactie van fauna op bekalking?
  - *Ja → vraag 18*
  - *Nee → vraag 19*
  - *Weet ik niet → vraag 19*
18. Hoe reageerde de fauna op bekalking?
19. Weet u of er naast de gerapporteerde parameters nog aanvullende parameters gemonitord zijn gedurende het experiment?
  - *Ja → vraag 20*
  - *Nee → vraag 21*
20. Welke parameter(s) betreft dit?
21. Waren er vergunningen nodig voor deze proef?
  - *Ja → vraag 22*
  - *Nee → vraag 23*
  - *Weet ik niet → vraag 23*
22. Welke vergunningen waren nodig?
23. Hebt u nog overige opmerkingen over deze proef?

### **Sectie 3**

1. Acht u bekalken een zinvolle maatregel ter herstel van trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland en/of dotterbloemhooiland?
2. Wat zijn volgens u succes- en faalfactoren voor bekalken?
3. Zou u bekalken als herstelmaatregel voor laagveengebieden aanbevelen? Waarom wel/niet?

4. Bent u naast de genoemde experimenten bekend met andere bekalkingsexperimenten in trilvenen, veenmosrietlanden, dotterbloemhooilanden en/of blauwgraslanden die al dan niet gepubliceerd zijn?
  - *Ja* → *vraag 5*
  - *Nee* → *vraag 8*
5. Kunt u een korte samenvatting geven van de proef?
6. Waar heeft de proef plaatsgevonden?
7. Met wie kunnen we hierover het beste contact opnemen?
8. Kent u personen die mogelijk kennis hebben van bekalkingsexperimenten in trilveen, blauwgrasland, veenmosrietland en/of dotterbloemhooiland, die niet betrokken waren bij de eerdergenoemde onderzoeken?
  - *Ja* → *vraag 9*
  - *Nee* → *vraag 10*
9. Hoe he(e)t(en) deze perso(o)n(en)?
10. Bent u er akkoord mee dat uw antwoorden eventueel gepersonaliseerd in de OBN-rapportage over bekalking worden opgenomen?

## **7.17 Referentiewaarden trilveen en veenmosrietland in relatie tot bekalkingsonderzoek**

**Tabel 7.1.** F- en P-waarden van de ANOVA's van de vergelijking tussen de referentiedataset van Van Diggelen et al. (2018) en de in het bekalkingsonderzoek bemonsterde veenmosrietlanden. Ook zijn de gemiddelde waarden uit de referentiedataset van Van Diggelen et al. (2018), de behandelingen "0 - 5 jaar geleden bekalkt", "6 - 20 jaar geleden bekalkt", "> 20 jaar geleden bekalkt" en de controles uit het bekalkingsonderzoek gegeven. P-waarden onder de gemiddelden geven aan of de betreffende groep significant verschilt van de referentiedataset. Een significantielevel van  $P = 0,05$  is aangehouden.

**Table 7.1.** F- and P-values of the ANOVAs comparing the reference dataset of Van Diggelen et al. (2018) and the sampled poor fens. Average values of the reference dataset, the liming treatments of the current research and the controls of the current research are given as well. P-values (significance level  $P = 0.05$ ) underneath the average values indicate significant differences compared to the reference dataset.

Parameter	F-waarde / P-waarde ANOVA	Gem. referentiedataset	Gem. 0 - 5 jr P-waarde	Gem. 6 - 20 jr P-waarde	Gem. > 20 jr P-waarde	Gem. Controle P-waarde
Totaal moslaag (%)	F = 8.195 P < 0.001	83.8 ± 15.8	63.7 ± 29.5 P = 0.002	91.1 ± 8.9 P = 0.77	92.4 ± 12.2 P = 0.54	94.6 ± 6.9 P = 0.20
Trilveenmossen (%)	F = 1.957 P = 0.11	1.7 ± 4.1	0.6 ± 1.3 P = 0.64	0 ± 0 P = 0.39	0.1 ± 0.3 P = 0.33	0 ± 0 P = 0.18
Veenmosrietlandmossen (%)	F = 17.14 P < 0.001	69.4 ± 32.6	19.8 ± 30.1 P < 0.001	88.0 ± 11.1 P = 0.35	79.4 ± 28.2 P = 0.80	91.4 ± 10.5 P = 0.05 (ns)
Veenmossen (%)	F = 15.16 P < 0.001	73.4 ± 29.6	12.1 ± 27.2 P < 0.001	88.9 ± 10.2 P = 0.61	46.0 ± 31.8 P = 0.05 (s)	64.2 ± 32.8 P = 0.82
Haarmossen (%)	F = 11.89 P < 0.001	5.4 ± 9.8	0.7 ± 2.6 P = 0.83	0.6 ± 0.9 P = 0.90	32.6 ± 24.5 P < 0.001	17.3 ± 21.0 P = 0.05 (ns)
Voedselrijke rietlanden mossen (%)	F = 5.106 P = 0.001	4.7 ± 10.9	22.9 ± 36.1 P = 0.005	0.3 ± 0.4 P = 0.95	0.8 ± 2.6 P = 0.96	0.2 ± 0.6 P = 0.89
Totaal kruidlaag (%)	F = 9.389 P < 0.001	69.7 ± 17.4	64.0 ± 15.6 P = 0.78	68.9 ± 12.2 P = 0.99	41.2 ± 15.4 P < 0.001	50.9 ± 15.7 P = 0.002
Vaatplanten trilveen (%)	F = 2.594 P = 0.04	4.4 ± 8.8	7.0 ± 12.3 P = 0.81	0 ± 0 P = 0.53	0.2 ± 0.6 P = 0.47	0.4 ± 1.2 P = 0.39
Vaatplanten veenmosrietland (%)	F = 4.051 P = 0.005	16.5 ± 15.3	18.0 ± 14.8 P = 0.99	36.0 ± 8.8 P = 0.005	11.6 ± 11.3 P = 0.86	18.3 ± 14.7 P = 0.99
Vaatplanten voedselrijke rietlanden (%)	F = 6.673 P < 0.001	28.8 ± 27.5	4.3 ± 6.7 P < 0.001	23.2 ± 13.1 P = 0.93	8.1 ± 8.9 P = 0.01	9.0 ± 10.0 P = 0.006
Soortenrijkdom	F = 3.032 P = 0.022	23.2 ± 6.3	25.3 ± 5.1 P = 0.86	18.6 ± 6.0 P = 0.36	18.3 ± 8.3 P = 0.21	19.9 ± 8.2 P = 0.46
Shannon index	F = 7.127 P < 0.001	2.37 ± 0.38	2.02 ± 0.39 P = 0.05 (s)	1.80 ± 0.33 P = 0.002	1.87 ± 0.49 P = 0.003	1.93 ± 0.40 P = 0.003
Simpson index	F = 10.05 P < 0.001	0.84 ± 0.06	0.76 ± 0.07 P = 0.02	0.70 ± 0.08 P < 0.001	0.75 ± 0.10 P = 0.004	0.74 ± 0.08 P < 0.001
Biomassaproductie	F = 11.74 P < 0.001	388.7 ± 205.1	165.0 ± 87.4 P < 0.001	311.3 ± 165.0 P = 0.93	159.0 ± 101.0 P < 0.001	133.7 ± 63.0 P < 0.001
Droge bulkdichtheid (kg/l)	F = 5.593 P < 0.001	0.055 ± 0.03	0.11 ± 0.080 P < 0.001	0.046 ± 0.012 P = 0.98	0.058 ± 0.014 P = 1.00	0.066 ± 0.023 P = 0.90
Natte bulkdichtheid (kg/l)	F = 8.284 P < 0.001	0.72 ± 0.18	0.90 ± 0.11 P < 0.001	0.92 ± 0.05 P = 0.002	0.81 ± 0.12 P = 0.43	0.89 ± 0.10 P < 0.001
Organische stof (%)	F = 5.193	92.10 ± 8.47	82.85 ± 17.39	97.19 ± 1.50	96.33 ± 2.11	94.72 ± 6.25

	P < 0.001		P = 0.018	P = 0.60	P = 0.67	P = 0.88
N/P	F = 41.78 P < 0.001	14.46 ± 4.17	6.39 ± 1.76 P < 0.001	11.95 ± 2.21 P = 0.56	5.31 ± 1.55 P < 0.001	7.19 ± 2.72 P < 0.001
C/P	F = 44.46 P < 0.001	539.18 ± 190.45	161.89 ± 49.08 P < 0.001	329.21 ± 45.23 P < 0.001	165.10 ± 48.07 P < 0.001	176.62 ± 75.50 P < 0.001
C/N	F = 18.36 P < 0.001	37.24 ± 6.31	25.92 ± 7.00 P < 0.001	27.96 ± 3.88 P < 0.001	32.05 ± 6.76 P = 0.09	24.62 ± 3.99 P < 0.001
pH <sub>water</sub>	F = 26.2 P < 0.001	4.84 ± 0.69	6.67 ± 0.96 P < 0.001	4.64 ± 0.34 P = 0.93	4.7 ± 0.43 P = 0.97	4.77 ± 0.47 P = 1.00
CEC (meq/100g)	F = 3.357 P = 0.014	53.13 ± 30.46	87.26 ± 40.10 P = 0.060	92.14 ± 45.68 P = 0.087	84.22 ± 57.46 P = 0.19	82.42 ± 50.16 P = 0.15
Basenverzadiging (%)	F = 4.105 P = 0.004	74.50 ± 23.04	95.83 ± 4.58 P = 0.002	77.54 ± 12.32 P = 0.99	76.35 ± 15.24 P = 1.00	76.71 ± 15.87 P = 0.99
TIC (mg/l)	F = 11.31 P < 0.001	14.10 ± 8.76	20.52 ± 15.96 P = 0.96	7.15 ± 6.61 P = 0.060	7.22 ± 9.58 P = 0.002	3.36 ± 2.89 P < 0.001
Ca (mmol/l)	F = 11.82 P < 0.001	0.22 ± 0.21	0.96 ± 0.86 P < 0.001	0.20 ± 0.32 P = 0.64	0.14 ± 0.18 P = 0.58	0.13 ± 0.09 P = 0.69
K (mmol/l)	F = 1.998 P = 0.103	0.052 ± 0.083	0.023 ± 0.062 P = 0.054	0.040 ± 0.057 P = 1.00	0.049 ± 0.063 P = 0.93	0.037 ± 0.060 P = 0.75
Mg (mmol/l)	F = 11.34 P < 0.001	0.09 ± 0.12	0.26 ± 0.11 P < 0.001	0.11 ± 0.14 P = 1.00	0.035 ± 0.030 P = 0.14	0.065 ± 0.059 P = 0.91
P (mmol/l)	F = 4.572 P = 0.002	0.008 ± 0.009	0.0011 ± 0.0020 P = 0.021	8.8E-05 ± 7.2E-05 P = 0.028	0.0044 ± 0.0096 P = 0.63	0.0012 ± 0.0028 P = 0.015
S (mmol/l)	F = 2.202 P = 0.076	0.10 ± 0.09	0.096 ± 0.093 P = 1.00	0.069 ± 0.081 P = 0.84	0.031 ± 0.013 P = 0.083	0.058 ± 0.045 P = 0.41
NH <sub>4</sub> (mmol/l)	F = 1.86 P = 0.127	0.006 ± 0.007	0.0038 ± 0.0035 P = 0.94	0.0015 ± 0.0011 P = 0.73	0.0030 ± 0.0031 P = 0.86	0.0096 ± 0.013 P = 0.51
NO <sub>3</sub> (mmol/l)	F = 72.57 P < 0.001	0.001 ± 0.002	0.010 ± 0.0014 P < 0.001	0.0096 ± 0.0013 P < 0.001	0.0094 ± 0.0036 P < 0.001	0.011 ± 0.0023 P < 0.001
S/(Mg+Ca)	F = 7.903 P < 0.001	0.55 ± 0.49	0.13 ± 0.17 P < 0.001	0.80 ± 0.97 P = 0.99	0.75 ± 0.97 P = 1.00	0.54 ± 0.54 P = 1.00
P <sub>tot</sub> -P <sub>ortho</sub> (mmol/l)	F = 4.521 P = 0.002	0.002 ± 0.003	0.00069 ± 0.0020 P = 0.12	0.00016 ± 9.6E-05 P = 0.028	0.00016 ± 0.00063 P = 0.033	0.00020 ± 0.00057 P = 0.014

**Tabel 7.2.** Gemiddelde waarden (inclusief standaarddeviatie) uit de referentiedataset van Van Diggelen et al. (2018) en het in onderzoek bemonsterde trilveentje (Kortenovertje, voor het laatst bekaakt in 2006). Een t-toets is uitgevoerd om te onderzoeken of de verschillen significant zijn.

**Table 7.2.** Average values (including standard deviations) of the reference dataset of Van Diggelen et al. (2018) and of the floating fen that was sampled in this liming research (Kortenovertje, most recently limed in 2006). A t-test has been performed to test for significance (significance level  $P = 0.05$ ).

<b>Parameter</b>	<b>Gemiddelde referentiedataset</b>	<b>Gemiddelde bekalkingsonderzoek</b>	<b>t-waarde</b>	<b>P-waarde</b>
Totaal moslaag (%)	72.6 ± 27.0	45.0 ± 0	- 4.21	< 0.001
Trilveenmossen (%)	53.2 ± 34.9	6.0 ± 4.9	- 5.16	< 0.001
Veenmosrietlandmossen (%)	1.2 ± 3.0	0.7 ± 0.3	- 0.66	0.51
Veenmossen (%)	3.9 ± 6.0	0 ± 0	- 2.66	0.02
Haarmossen (%)	0 ± 0	0.25 ± 0.35	1.0	0.50
Voedselrijke rietlandmossen (%)	12.7 ± 13.5	37.3 ± 5.8	5.26	< 0.001
Totaal kruidlaag (%)	78.5 ± 12.8	75.0 ± 7.1	- 0.61	0.61
Vaatplanten trilveen (%)	28.3 ± 30.5	4.9 ± 4.9	- 2.86	0.01
Vaatplanten veenmosrietland (%)	9.1 ± 7.8	7.5 ± 4.7	- 0.13	0.91
Vaatplanten voedselrijke rietlanden (%)	18.0 ± 18.3	4.2 ± 3.9	- 1.88	0.24
Soortenrijkdom	24.7 ± 4.7	28.0 ± 4.2	1.0	0.46
Shannon index	2.38 ± 0.25	1.93 ± 0.28	- 2.23	0.23
Simpson index	0.85 ± 0.04	0.78 ± 0.09	- 1.17	0.44
Biomassaproductie	265.8 ± 86.9	125.9 ± 25.7	- 5.03	0.004
Droge bulkdichtheid (kg/l)	0.077 ± 0.039	0.07 ± 0.003	- 0.7909	0.4399
Natte bulkdichtheid (kg/l)	0.81 ± 0.14	0.89 ± 0.01	2.0708	0.054
Organische stof (%)	84.77 ± 9.79	93.83 ± 2.11	3.23	0.01
N/P	19.92 ± 5.20	7.81 ± 1.75	-5.42	0.06
C/P	747.97 ± 192.46	224.64 ± 53.76	-8.69	<0.001
C/N	37.87 ± 4.55	28.71 ± 0.45	-7.98	<0.001
pH_water	5.97 ± 0.61	6.64 ± 0.35	2.32	0.16
CEC (meq/100g)	70.43 ± 23.65	150.31 ± 33.32	4.146	0.09972
Basenverzadiging (%)	89.77 ± 15.78	99.01 ± 0.75	2.3912	0.029
TIC (mg/l)	46.46 ± 21.10	43.56 ± 2.13	0.18	0.86
Ca (mmol/l)	1.33 ± 0.81	1.25 ± 0.09	0.56	0.58
K (mmol/l)	0.02 ± 0.03	0.03 ± 0.04	-0.37	0.77
Mg (mmol/l)	0.20 ± 0.10	0.62 ± 0.15	5.41	0.03
P (mmol/l)	0.004 ± 0.005	0.00003 ± 0.00001	-3.24	0.005
S (mmol/l)	0.08 ± 0.06	0.03 ± 0.005	3.09	0.007
NH4 (mmol/l)	0.004 ± 0.005	0.001 ± 0.00035	-2.44	0.03
NO3 (mmol/l)	0.001 ± 0.001	0.01 ± 0.0002	57.52	<0.001
S/(Mg+Ca)	0.07 ± 0.06	0.02 ± 0.005	-3.67	0.02
Ptot-Portho (mmol/l)	0.002 ± 0.002	-0.0002 ± 0.00008	-5.36	<0.001

## 7.18 Coördinaten van de plots per locatie

**Tabel 7.3.** De X- en Y-coördinaten (Rijksdriehoekskoördinaten (m)) van een van de hoekpunten van de verschillende plots. De coördinaten zijn per locatie weergegeven. Indien er geen coördinaten van een van de hoekpunten beschikbaar was, zijn de coördinaten van het midden van de locatie gegeven (weergegeven met \* achter de naam van de locatie).

**Table 7.3.** The X- and Y-coordinates (Rijksdriehoekskoördinaten) of one of the corners of the plots. The coordinates are shown per location. When the coordinates of the corners were not available, the coordinates of the centre of the location are given (shown with \* after the name of the location).

Plotnummer	Locatie	X	Y
1	Het Hol (1)	133740,1	470152,8
2	Het Hol (1)	133741,9	470159,9
3	Het Hol (1)	133787,8	470134,9
4	Het Hol (1)	133742,6	470180,9
5	Het Hol (1)	133729,5	470192,7
6	Het Hol (1)	133751,9	470155,5
7	Vlaardingse vlietlanden	81555,05	440024,4
8	Vlaardingse vlietlanden	81555,29	440024,3
9	Vlaardingse vlietlanden	80663,61	439415,2
10	Vlaardingse vlietlanden	80684,42	439432,8
11	Vlaardingse vlietlanden	80717,98	439313,2
12	Vlaardingse vlietlanden	80718,25	439272,7
13	De Wieden (1)	204390,5	521683,1
14	De Wieden (1)	204370,1	521665,6
15	De Wieden (1)	204366,6	521779,2
16	De Wieden (1)	204368,9	521774,3
17	De Wieden (1)	204167,8	521563,8
18	De Wieden (1)	204030,7	521507,2
19	De Wieden (2)	198434,0	527213,7
20	De Wieden (2)	198428,6	527230,0
21	De Wieden (2)	198666,0	527253,9
22	Unlân fan Jelsma	190415,6	566532,4
23	Unlân fan Jelsma	190414,5	566528,8
24	Unlân fan Jelsma	190420,4	566575,3
25	Unlân fan Jelsma	190418,5	566574,5
26	Nieuwkoopse plassen (1)	114354,2	461926,7
27	Nieuwkoopse plassen (1)	114341,6	461912,5
28	Nieuwkoopse plassen (1)	114342,1	461886,9
29	Nieuwkoopse plassen (1)	114332,0	461884,8
30	Nieuwkoopse plassen (1)	114327,1	461884,4
31	Nieuwkoopse plassen (1)	114324,0	461875,7
32	Het Hol (2)	134402,4	469990,6
33	Het Hol (2)	134399,6	469986,1
34	Het Hol (3)	134025,9	469854,0
35	Het Hol (3) *	134024,7	469851,4
36	Het Hol (3)	134026,7	469850,8
37	Het Hol (3)	134033,6	469848,9
38	Het Hol (3)	134032,1	469846,0
39	Het Hol (3)	134039,0	469844,3
40	Kortenovertje	134825,2	471871,5
41	Kortenovertje	134785,7	471895,4

42	Kortenovertje	134705,9	471939,8
43	Kortenovertje	134691,6	471947,6
44	Suikerpot	135990,0	470175,0
45	Suikerpot*	135990,0	470175,0
46	Suikerpot*	135986,0	470177,0
47	Suikerpot*	135983,0	470179,0
48	Suikerpot*	135983,0	470179,0
49	Suikerpot*	135980,0	470180,0
50	Suikerpot*	135991,0	470180,0
51	Suikerpot*	135988,0	470182,0
52	Nieuwkoopse plassen (2)	116002,3	462118,6
53	Nieuwkoopse plassen (2)	115998,9	462125,7
54	Nieuwkoopse plassen (2)	115998,8	462125,8
55	Nieuwkoopse plassen (2)	115993,6	462136,2
56	Nieuwkoopse plassen (2)	115992,6	462140,3
57	Nieuwkoopse plassen (2)	115991,7	462144,4
58	Nieuwkoopse plassen (2)	115999,7	462121,2
59	Nieuwkoopse plassen (2)	115998,0	462125,1
60	Nieuwkoopse plassen (2)	115995,8	462128,3
61	Nieuwkoopse plassen (2)	115994,0	462132,2
62	Nieuwkoopse plassen (2)	115992,7	462136,0
63	Nieuwkoopse plassen (2)	115991,7	462139,9
64	Nieuwkoopse plassen (3) *	117766,0	462330,0
65	Nieuwkoopse plassen (3) *	117772,0	462304,0
66	Nieuwkoopse plassen (3) *	117746,0	462329,0
67	Nieuwkoopse plassen (3) *	117752,0	462297,0
68	De Ster	135758,3	468035,3
69	De Ster	135757,6	468039,2
70	De Ster	135758,0	468042,9
71	De Ster	135761,5	468045,4
72	De Ster	135760,9	468050,6
73	De Ster	135761,9	468053,7

**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  
[info@vbne.nl](mailto:info@vbne.nl)

Alle publicaties en  
producten van het  
OBN Kennisnetwerk  
zijn te vinden op  
[www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

**o+bn**



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit

