Het effect van vernatten en bekalken op de nutriëntenlimitatie van Dotterbloemgraslanden.

Hans Inberg

april 1995

D 521

D 521

Het effect van vernatten en bekalken op de nutriëntenlimitatie van Dotterbloemgraslanden.

Hans Inberg

Begeleiding: drs. Iris van Duren

Laboratorium voor Plantenoecologie

Rijksuniversiteit Groningen

april 1995

Rijksuniversiteit Groningen
Bibliotheek Biologisch Centrum
Kerklaan 30 — Postbus 14
9750 AA HAREN

Voorwoord

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van een doctoraal onderwerp aan de Rijksuniversiteit Groningen, op het Laboratorium voor Plantenecologie. Het onderzoek vormt een onderdeel van de studie naar maatregelingen die kunnen leiden tot herstel van (half)natuurlijke graslanden in beekdalen (BION-project "Scenarios for the restoration of wet meadows by rewetting dessicated brook valley grasslands"). De begeleiding was in handen van drs. Iris v. Duren.

Met dank aan Jacob Hogendorf en andere medewerkers van het laboratorium voor plantenoecologie voor hulp bij practisch werk in het veld, in de kas en op het lab..

Inhoudsopgave

Samenvatting 3

1 Inleiding 4

2 Materiaal en methode 7
2.1 Onderzoeksgebieden 7
2.1.1 Drentse Aa 7
2.1.2 Gützkow 7
2.1.3 Blokslootpolder 7
2.2 Methode 12
2.2.1 Veldbemestingsexperiment 12
2.2.1 Bouma Janssen experimenten 13
2.2.3 Fytometerexperiment 15
2.3 Data analyse 18

3 Resultaten 19
3.1 Veldbemestingsexperiment Drentse Aa 19
3.2 Bouma Janssen experiment Gützkow 21
3.3 Bouma Janssen experiment Blokslootpolder 23
3.4 Fytometerexperiment Drentse Aa 25

4 Discussie 29
4.1 Veldbemestingsexperiment 29
4.2 Bouma Janssenexperimenten 29
4.3 Fytometerexperiment Drentse Aa 29
4.4 Drentse Aa: vergelijking tussen 3 typen experimenten 30

Literatuur 32

Bijlage I. Veldbemestingsexperiment Drentse Aa: gemiddelden en standaard fouten. 33

Bijlage II. Soortensamenstelling veldbemestingsplotjes. 34

Bijlage IV. Voedingsoplossingen Bouma Janssen experimenten 37

Bijlage V. Bouma Janssenexperiment Gutzkow: Gemiddelden en standaard fouten. 40

Bijlage VI. Soortensamenstelling BJ zoden Gützkow 41

Bijlage VII. Bouma Janssenexperiment Blokslootpolder: gemiddelden 42

Bijlage VIII. Soortensamenstelling BJ zoden Blokslootpolder 43

Bijlage IX. Fytometerexperiment: gemiddelden en standaard fouten. 44

Bijlage X. Fytometer experiment: versgewichten. 45

Bijlage XI. Fytometerexperiment: 46

Samenvatting

Drie graslanden waarin Dotterbloem (Caltha palustris) de kenmerkende soort is of was zijn onderzocht op hun limitatie door de nutriënten N, P en K. Tevens werd onderzocht of vernatting en bekalking van invloed is op de nutriëntenlimitatie.
Onderzoek is verricht langs de Drentse Aa tussen Oudemolen en Taarlo (Drente), in de Peenewiese bij Gutzkow (Duitsland) en in Polder Bloksloot tussen Sneek en Joure (Friesland). Langs de Drentse Aa zijn 2 percelen onderzocht. Op één perceel staat een goed ontwikkeld Calthion, op de ander een voormalig Calthion, dat sterk is verdroogd. Het Calthion in Gutzkow is een goed ontwikkeld Calthion op zeer kalkrijke bodem. Het voormalige Dotterbloemgrasland in de Blokslootpolder is sterk verzuurd. Caltha palustris, die hier voorheen talrijk was, is er grotendeels verdwenen. In dit gebied is eenmalige bekalking uitgevoerd, waarvan het effect op de nutriëntenlimitatie is onderzocht.
Er is een veldbemestingsexperiment uitgevoerd in beide percelen langs de Drentse Aa. Er zijn Bouma Janssen experimenten uitgevoerd met intacte zoden afkomstig uit Gutzkow en de Blokslootpolder. Bij deze experimenten kreeg vegetatie voedingsoplossingen toegediend met een wisselende samenstelling. Daarnaast is er een fytometerexperiment uitgevoerd met grond uit beide percelen van de Drentse Aa. Als fytometer werd *Holcus lanatus* gebruikt. De grond uit het verdroogde perceel werd experimenteel vernat en de invloed van vernatting werd onderzocht.
Uit het Bouma Janssenexperiment met zoden uit het Calthion in Gutzkow blijkt dat stikstof hier het belangrijkse limiterende nutriënt is, terwijl ook kalium en mogelijk fosfor in mindere mate limiterend zijn. Uit het Bouma Janssenexperiment met zoden uit het verzuurde dotterbloemhooiland in de Blokslootpolder bleek eveneens dat stikstof het belangrijkste nutriënt is, terwijl ook fosfor en kalium limiterend zijn. Bemesten met kalk heeft wel een verhoging van de pH tot gevolg, maar geen verandering in de totale fytomassaproduktie en nutriëntenlimitatie.
Met het veldbemestingsexperiment in het goed ontwikkelde Calthion in de Drentse Aa is geen nutriëntenlimitatie aangetoond. In het verdroogde Calthion lijkt kalium limiterend te zijn. Een Bouma Janssen experiment toont aan dat in beide percelen zowel stikstof als kalium limiterend kunnen zijn. In de discussie wordt benadrukt dat het verschil in de wijze van experimenteren de verklaring is voor het verschil tussen beide experimenten.
Uit het fytometer experiment met grond uit de Drentse Aa blijkt dat kalium limiterend is voor de groei van *Holcus lanatus*. N limitatie speelt vrijwel geen rol en P is niet limiterend. Bij vernatten lijkt de kalium limitatie voor *Holcus* verminderd te worden. Vernatten van de onbemeste grond verhoogt de produktie van *Holcus*, terwijl vernatten in combinatie met K bemesting de produktie verlaagt. Voor *Holcus* heeft eenmalige bekalking geen invloed op de nutriëntenlimitatie. Nutriëntenlimitatie lijkt in het Calthion in de Drentse Aa geen belangrijke factor te zijn. Lokale omstandigheden lijken van grote invloed te zijn op de nutriëntenlimitatie.

1 Inleiding

De soortenrijkdom van halfnatuurlijke graslanden is in de laatste eeuw sterk achteruit gegaan. Oorzaken zijn o.a. schaalvergroting en intensivering van de landbouw (van Diggelen & Everts, 1991). Om deze negatieve ontwikkeling te keren worden diverse restauratieprogramma's uitgevoerd in gebieden die intensief door de landbouw gebruikt werden. Bij veel van deze projekten probeert men een voedselarmere bodem te krijgen d.m.v. een beheer van maaien en afvoeren, waarbij niet bemest wordt. Bij andere projekten probeert men te verschralen door middel van begrazing. Onderzoek naar de vegetatie-ontwikkeling, o.a. vanuit het Laboratorium voor Plantenoecologie van de Rijksuniversiteit te Groningen (Grootjans, 1985; Bakker, 1988) liet zien dat dit interne beheer alleen niet voldoende was. Om de effekten van externe invloeden binnen de reservaten zoveel mogelijk te beperken bleek een extern beheer noodzakelijk (v. Diggelen & Everts, 1991). Uit onderzoek in veengebieden bleek, dat een beheer van maaien en afvoeren niet altijd succesvol is als het grondwaterpeil te laag is. Bij een te lage grondwaterstand mineraliseren veenbodems onder invloed van zuurstof uit de lucht. Door deze mineralisatie komen zeer grote hoeveelheden aan voedingsstoffen vrij, soms meer dan bij intensief agrarisch gebruik (ruim 400 kg stikstof per ha./jaar). De standplaats wordt sterk eutroof en soorten die aangepast zijn aan voedselarme omstandigheden verdwijnen. Verhoeven et al. (1983) vergeleken de fytomassaproduktie op veengronden in de omgeving van Utrecht. De verschillen tussen deze venen bleken niet veroorzaakt te worden door verschillen in grondwatersamenstelling of regenwater, maar uitsluitend het gevolg te zijn van verschillen in mineralisatiesnelheden tussen de venen.
In verdroogde venen kan basenrijk grondwater de wortelzone van de vegetatie niet bereiken. De vegetatie staat onder invloed van regenwater, dat een andere nutriëntensamenstelling heeft dan het grondwater en doorgaans veel zuurder is. Vernatting van verdroogde vegetaties heeft tot gevolg, dat de mineralisatie vermindert, omdat zuurstof uit de lucht niet meer in de bodem doordringt. Vernatting zou dus voor veenbodems een zeer belangrijk mechanisme kunnen zijn waardoor het de voedselrijkdom vermindert. Als gevolg van vernatting zou zowel de grootte als ook de samenstelling van de nutriëntenpool in een snel tempo kunnen veranderen. Hoe deze verandering tot stand komt en wat het effect ervan is, is niet precies bekend.

In relatief voedselarme omstandigheden zijn nutriënten vaak limiterend voor de vegetatie. Nutriëntenlimitatie werd voor het eerst bestudeerd door Von Liebig in 1840. Hij concludeerde dat de individuele plant gekenmerkt wordt door een volgorde van limitatie van elk van zijn nutriënten. Als dit nutriënt wordt toegevoegd, zal de produktie omhoog gaan, totdat een tweede nutriënt limiterend wordt. Deze waarneming wordt wel de 'Law of de Minimum' genoemd. Als gevolg van een aantal factoren is het niet altijd mogelijk om één overheersende beperkende factor aan te wijzen. In natuurlijke vegetaties wordt de limitatie bepaald door alle soorten die in die vegetatie aanwezig zijn. Soorten hebben verschillende manieren om voedingsbronnen te benutten. Een factor die beperkend is voor de ene soort hoeft dus niet beperkend te zijn voor een andere soort. Ook kunnen er interacties zijn tussen soorten. Ook kunnen er interacties zijn tussen nutriënten. Uit de fysiologie is bekend dat de N-opname bevorderd wordt door een goede beschikbaarheid van andere ionen (Verhoeven et. al., 1994).

Voor het vaststellen van de nutriëntenlimitatie kan men gebruik maken van verschillende methoden. Aanwijzingen voor nutriëntenlimitatie zijn vaak te halen uit beschrijvend-correlatief veldonderzoek, waarbij gemeten waarden van abiotische factoren worden gerelateerd aan soortensamenstelling. Dit type onderzoek levert echter vaak geen eenduidig beeld op omtrent nutriëntenlimitatie (Verhoeven et. al. 1994). Een andere methode is om de nutriëntenlimitatie vast te stellen is het meten van de nutriëntengehalten in planten. Wanneer het nutriënten aanbod wordt verminderd, daalt ook het nutriëntengehalte van de planten, totdat een 'kritische waarde' wordt bereikt, waarna de groei afneemt en beperkt wordt door de betreffende voedingsstof. Een nadeel van deze methode is, dat de kritische waarden die hiervoor gebruikt worden afkomstig zijn uit de landbouw. In hoeverre deze waarden toepasbaar zijn voor soorten uit relatief omstandigheden is niet geheel duidelijk.

Een derde methode om nutriëntenlimitatie vast te stellen is het bemestingsexperiment. Vanwege de 'Law of the minimum' is het mogelijk om het verschil tussen de werkelijke groei en de potentieel mogelijke groei te gebruikten als maat voor de nutriëntenlimitatie (Chapin, 1986). Bemestingsexperimenten kunnen uitgevoerd worden in de veldsituatie en onder experimentele omstandigheden. In de experimentele situatie is standaardisatie mogelijk. Door een volledig factoriele bemesting uit te voeren is het mogelijk de interactie tussen de nutriënten te bepalen.

Stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K) zijn macro nutriënten die vaak beperkend zijn in graslanden. Verhoeven et. al. (1983) vonden een limitatie van N en P. Ook Moizuk and Livingstone (1966) vonden een limitatie van N en P in een veensysteem. Een limitatie van K is minder vaak onderzocht en gevonden. In 34 onderzochte graslanden werd slechts in één geval groeibeperking door kalium gevonden en in 4 gevallen co-limitatie door K met N of P (Verhoeven et. al. 1994). In laagvenen die sinds zeer lange tijd jaarlijks zijn gemaaid is P vrijwel steeds beperkend, terwijl in niet of onregelmatig of nog maar sinds kort gemaaide laagvenen N beperkend is (Verhoeven et. al. 1994).

In dit onderzoek wordt de nutriëntenlimitatie in drie verschillende dotterbloemhooilanden onderzocht.
De dominante soort van Dotterbloemgraslanden, de Dotterbloem *(Caltha palustris)*, groeit op plaatsen met zuurstofrijk water, dat vlak onder of vlak boven het maaiveld staat. Volgens Weeda et. al. (1985) mijdt zij fosfaatrijk of ammoniakhoudend water en is ze vaak te vinden op plaatsen met ijzerhoudend (kwel) water, omdat ijzer fosfaat neerslaat.
Synsystematisch horen Dotterbloemhooilanden meestal tot het Calthion verbond, maar soms tot het Arrhenatherion (zie paragraaf 2.1.3).
Calthions komen van oorsprong in grote delen van vochtig Nederland voor. In de zandgebieden in Oost-Nederland komen ze met name voor in gebieden met een hoge intensiteit van schoon, basisch kwelwater (Weeda et. al., 1985). Behalve *Caltha* hebben *Scirpus sylvaticus*, *Filipendula ulmaria* en verschillende *Carex* soorten een hoge presentie in deze Calthions in Oost Nederland.

In 1993 is er een kasexperiment uitgevoerd, met intacte zoden afkomstig van een dotterbloemhooiland in de Drentse Aa (Aerts, 1993). Voor dit experiment, een Bouma Janssenexperiment, waren zoden gestoken in een goed ontwikkeld Calthion en in een verdroogd Calthion. De helft van de zoden uit het verdroogde Calthion werd gedeeltelijk vernat, de andere werden onder gedraineerde omstandigheden onderzocht. Uit dit experiment

bleek, dat N en K in beide graslanden limiterend zijn, terwijl P niet limiterend was. Vernatting van de plaggen uit het verdroogde perceel leverd geen verandering op in de fytomassaproduktie. In het verdroogde Calthion leek K meer limiterend te zijn dan in het goed ontwikkelde Calthion.
Een veldbemestingsexperiment in dezelfde graslanden had geen duidelijk resultaat, maar dit was waarschijnlijk het gevolg van het feit dat het experiment te laat is ingezet en de oppervlakte die geoogst werd erg klein was (20 x 20 cm), zodat er een grote heterogeniteit geconstanteerd werd tussen de bemestingsplotjes. De enige conclusie die uit dit experiment getrokken kon worden is, dat produktie in het goed ontwikkelde Calthion hoger is dan in het verdroogde Calthion.
In de winter van 1993/1994 is er een fytometerexperiment uitgevoerd waarbij *Caltha palustris* is gekweekt op grond afkomstig uit beide percelen langs de Drentse Aa. Zowel in het goed ontwikkelde Calthion als in het verdroogde Calthion bleken K en N limiterende factoren te zijn voor de groei van *Caltha*. Een mogelijk P limitatie is niet getest, omdat dat niet waarschijnlijk werd geacht (mondelinge mededeling Iris v. Duren). Aan het gebruik van *Caltha* als testsoort zijn een aantal nadelen verbonden. Het is moeilijk om aan genetisch identieke *Caltha* planten te komen. Ook vergelijk tussen verschillende typen graslanden is niet mogelijk, omdat *Caltha* slechts onder specifieke omstandigheden kan groeien.

In dit onderzoek is het veldbemestingsexperiment herhaald, om te onderzoeken wat de nutriëntenlimitatie is van een Calthion en of de nutriëntenlimitatie in een verdroogd Calthion anders is dan dan in een goed ontwikkeld Calthion. Tevens zijn er experimenten uitgevoerd met intacte zoden afkomstig uit een Calthion in Gutzkow (Oost Duitsland) en een dotterbloemhooiland in de Blokslootpolder (Bouma Janssenexperimenten). Dit laatste hooiland is sterk verzuurd. De effecten van bekalking op de fytomassaproduktie zijn onderzocht. Bouma Janssenexperimenten nemen veel ruimte in de kas in beslag en zijn daarom slechts uit te voeren met een beperkt aantal replica's. Doorgaans wordt niet geheel factorieel bemest, maar worden voedingsoplossingen gebruikt met alle voedingsstoffen, oplossingen waar één van de nutriënten uit weggelaten is en een controle waar geen van de voedingsstoffen in de oplossing zit. Verder is met grond uit de Drentse Aa een volledig factorieel bemestingsexperiment uitgevoerd met *Holcus lanatus* als fytometer. *Holcus* heeft een aantal eigenschappen die hem geschikt maken als fytometer (zie paragraaf 2.2.3). In dit onderzoek zijn de effecten van vernatten op de nutriëntenlimitatie onderzocht met een groot aantal replica's en met behulp van een volledige factoriele bemesting.

2 Materiaal en methode

2.1 Onderzoeksgebieden

2.1.1 Drentse Aa

De Drentse Aa is een stroomdal in het noorden van Nederland.
Hoewel de middenloop van dit gebied hydrologisch relatief goed gebufferd is, vertoont ook hier 43 % van de door SBB beheerde terreinen tekenen van verdroging (van Diggelen en Everts, 19??).
Het onderzoeksterrein is gelegen in de middenloop van het stroomdal. Het omvat 2 percelen gelegen aan het 'Oudemolense Diep', tussen Oudemolen en Taarlo (zie fig. 1). In dit smalle gedeelte van het beekdalsysteem is de kwelintensiteit hoog. De percelen zijn in 1970 uit agrarisch gebruik en sindsdien niet meer bemest (Aerts, 1994). De percelen worden één keer per jaar gemaaid, waarbij het maaisel wordt afgevoerd (Aerts, 1994). Het perceel dat het dichtst bij de beek gelegen is heeft een vegetatie die te beschouwen is als een goed ontwikkeld Calthion palustris. De vegetatie wordt gedomineerd door *Caltha palustris, Filipendula ulmaria, Scirpus sylvaticus, Carex acutiformis en Ranunculus repens*. Het andere perceel ligt verder van de beek. Dit perceel is verdroogd. In de vegetatie komen soorten voor als *Ranunculus acris, Festuca rubra, Plantago lanceolata* en *Rhinanthus angustifolium*.

2.1.2 Gützkow

Het onderzoeksgebied 'Peene Wiese bij Gützkow' is een hooiland met enkele soortenrijke vegetatietypen, waaronder een Calthion. Het gebied is gelegen in het oosten van Duitsland (fig. 2). De pH van het gebied is hoog en het hooiland wordt onregelmatig gemaaid (mond. med. I. v. Duren).

2.1.3 Blokslootpolder

Het onderzoeksgebied Blokslootpolder ligt in Friesland, tussen Sneek en Joure (fig. 3). Het is een zomerpolder, die aan 3 zijden wordt omringd door eutroof boezemwater van het Snekermeer. De polder ligt beneden het peil van het boezemwater. In de zomer wordt het gebied drooggemalen, maar in de winter staat er water op. In tegenstelling tot de andere onderzoeksgebieden bestaat de bodem hier uit klei op veen. Deze klei wordt afgezet in de winter, wanneer het gebied overstroomt. Alleen in de diepe ondergrond is veen aanwezig. Het gebied wordt beheerd door Staatsbosbeheer Friesland. Het beheer is primair gericht op weidevogels. Er wordt 2 keer per jaar gemaaid en nageweid (?????). Volgens de beheerder groeide hier vroeger massaal Caltha palustris.
Synsystematisch betrof het hier mogelijk de associatie van Kievitsbloem en Grote Vossestaart (Fritellario-Alopecuretum pratensis). Dit is een associatie binnen het Glanshaververbond (Arrhenatherion elatioris). Binnen deze gemeenschap heeft Caltha een hoge presentie. De abiotiek van deze gemeenschap lijkt opvallend veel op de abiotiek die wij in het veld aantreffen: de associatie is optimaal ontwikkeld op kleibodems, waar zich veen in de ondergrond bevindt en die in de winter onder water staan (Westhoff & den Held, 1969). Tegenwoordig is het voorkomen van Caltha in dit gebied beperkt tot enkele slootkanten. In 1993 zijn er pH metingen uitgevoerd in het gebied. De pH's bleken opvallend laag te zijn, gemiddeld 4.0.
Eind 1993 zijn een aantal percelen bekalkt door de beheerder met het doel om

Dotterbloemvegetaties terug te krijgen.

De percelen die geselecteerd zijn voor het onderzoek zijn niet of nauwelijks bemest geweest. Ze zijn naast elkaar gelegen en hebben op het oog een vrijwel identieke vegetatie. Eén van beide percelen is door de beheerder bekalkt en de andere is niet bekalkt. In deze percelen was de pH vóór de bekalking 3.9 in het bekalkte perceel en 4.1 in het onbekalkte perceel. In de zomer van 1994 was de pH in het bekalkte perceel 5.0.

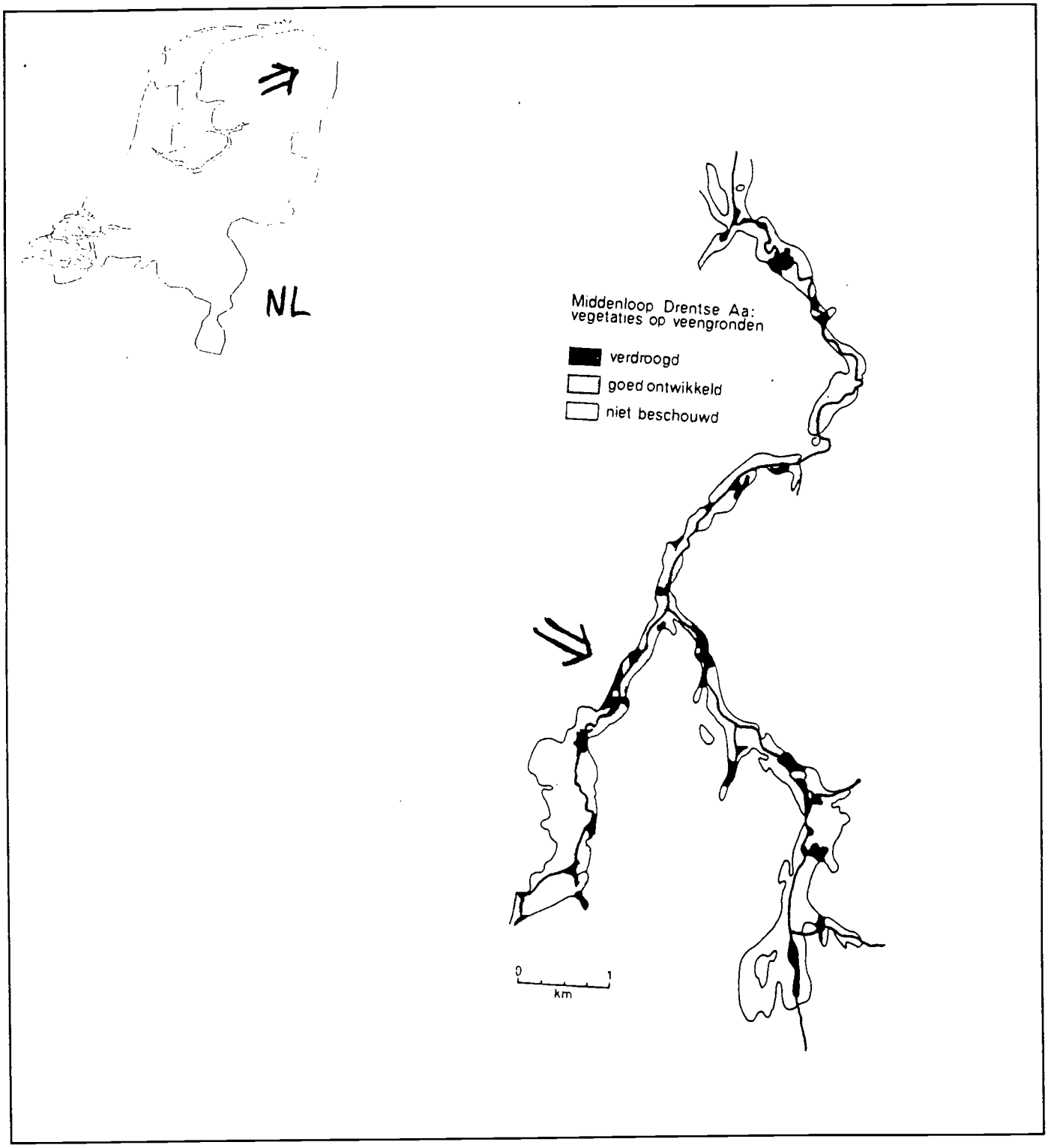


Fig. 1. Stroomdal van de Drentse A (53°02'N, 6°39'O). Het onderzoeksgebied is met een pijltje aangegeven (Naar Everts & de Vries, 1991).

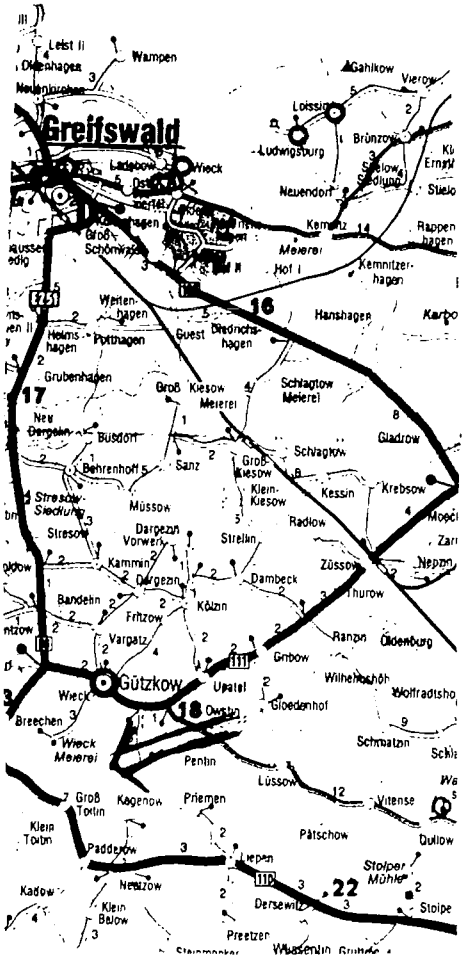


Fig. 2. Peenewiese bij Gützkow. Het onderzoeksgebied wordt met pijltjes aangegeven.

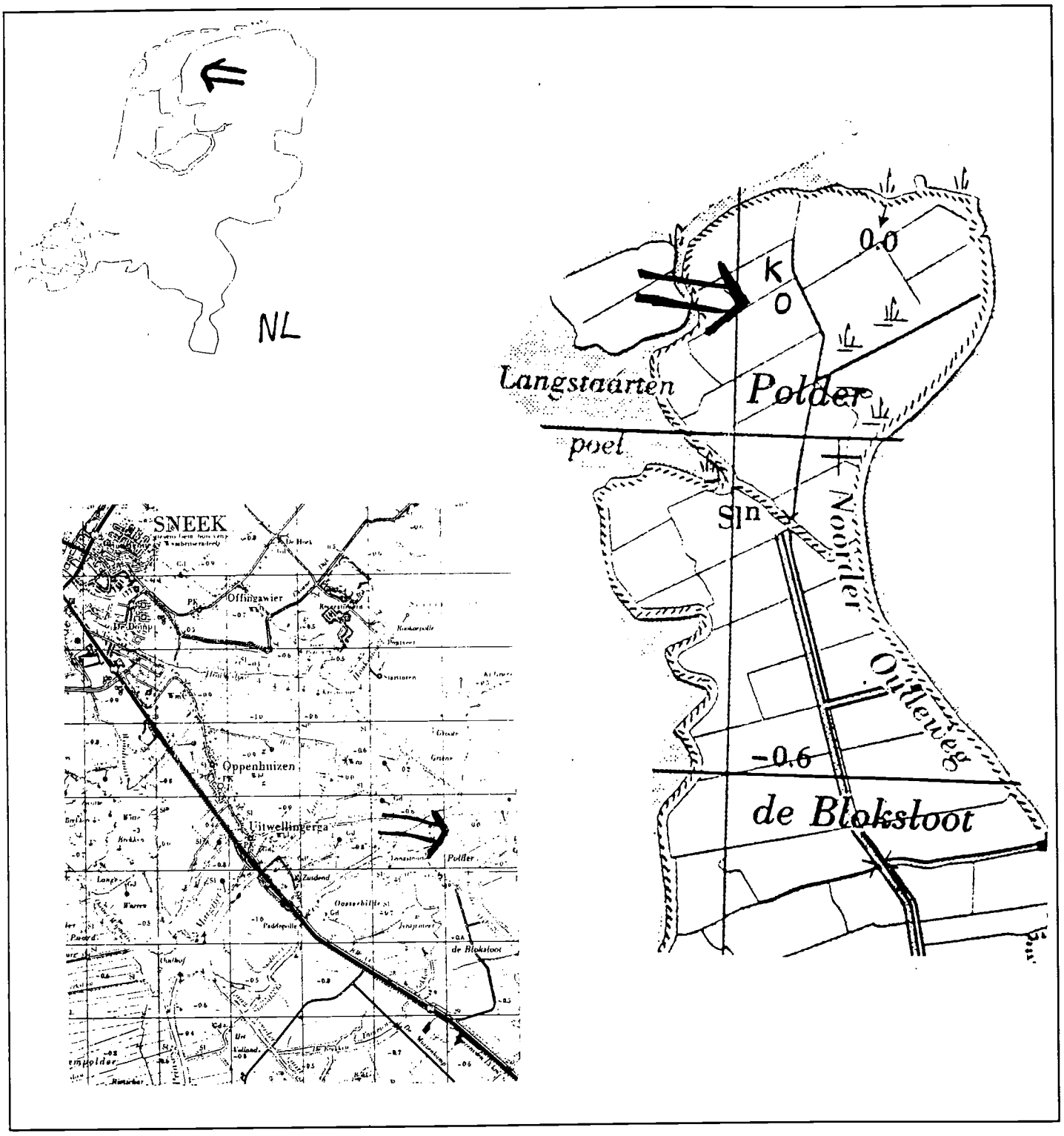


Fig. 3. Kop van Blokslootpolder. De onderzochte percelen zijn aangeduid met 'K' (bekalkt perceel) en 'O' (onbekalkt perceel).

2.2 Methode

2.2.1 Veldbemestingsexperiment

Het doel van dit experiment is een vergelijking te maken tussen de nutriëntenlimitatie in het goed ontwikkeld Calthion en het nabijgelegen verdroogde Calthion in de Drentse Aa. Experimentele vernattingen zijn in dit experiment niet uitgevoerd.

In 1994 zijn in beide percelen bemestingsplotjes uitgezet (Aerts,1993). Deze bemestingsplotjes zijn in april 1995 opnieuw bemest, volgens hetzelfde schema en met dezelfde hoeveelheid bemesting als in 1994.

De plotjes (0.6 x 0.6 m) zijn in 1994 "at random" uitgezet in een homogene vegetatie. Er is bemest met een volledig factoriele bemesting van N, P en K (zie tabel 1).

Tabel 1. Bemestingsschema veldbemestingsexperiment Drentse Aa. Alle bemestingen zijn 5 x uitgevoerd (oppervlakte 0.6 x 0.6 m).

perceel	0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK	0 + kalk	NPK + kalk
goed ontwikkeld										
verdroogd										

Er is 200 kg N 80 kg P en 200 kg K per hectare opgebracht. N is gegeven in de vorm van ureum ($CO(NH_2)_2$), P in de vorm $Ca(H_2PO_4)_2$ en K in de vorm K_2O. Alle bemestingen zijn in vijf-voud uitgevoerd. Het voordeel van het gebruik van osmocote korrels is, dat de het een slow release fertilizer is. Meststoffen komen zeer geleidelijk vrij en uitspoeling en verbranding worden geminimaliseerd. Bij de bepaling van de toe te dienen P is rekening gehouden met het feit dat de bodem sterk ijzerhoudend zijn. Sterk ijzerhoudende bodems bezitten een groot ijzerfixerend vermogen, waardoor niet alle toegediende fosfaat voor de planten beschikbaar is. Aerts (1993) heeft voor beide percelen het fosfaatfixerende vermogen bepaald en aan de hand daarvan de toe te dienen fosfaat berekend.

De pH van het verdroogde perceel ligt gemiddeld 0.5 eenheden lager dan de pH van het referentieperceel (resp. 4.8 en 5.3) (Aerts, 1993). In het verdroogde perceel is een bekalkingsexperiment uitgevoerd om het effect van pH verhoging op de fytomassaproduktie te testen. De hoeveelheid toe te dienen kalk die nodig is om de pH 0.5 eenheden te verhogen is bepaald door gebruik te maken van het humus percentage van de bodem (zie: Aerts, 1993) Er is bemest met 4250 kg $CaCO_3$ per hectare. De bekalking in het goed ontwikkelde Calthion is in 1995 niet meer uitgevoerd, aangezien deze bemesting voor het doel van dit onderzoek niet relevant is. De bekalking is zowel uitgevoerd met plotjes die volledig bemest zijn als met plotjes die onbemest zijn.

De plotjes zijn in juni 1994 geoogst. In tegenstelling tot het experiment in 1993 zijn de hele plotjes (60 x 60 cm) geoogst, om de heterogeniteit tussen de plotjes voldoende te kunnen

ondervangen. Hierbij werd de bovengrondse fytomassa hoger dan ca. 3 cm. boven de grond verwijderd. Een deel van deze plotjes (20 x 20 cm) is bij het oogsten apart gehouden en gesorteerd op soort. De oogst is gedroogd (24 uur bij 80°) en onmiddelijk na het drogen gewogen.

2.2.1 Bouma Janssen experimenten

Bij Bouma Janssen (BJ) experimenten (voor het eerst vermeld door Janssen, 1974) wordt nutriëntenlimitatie onderzocht onder homogene omstandigheden in intakte vegetaties. Alle 3 onderzocht dotterbloemhooilanden zijn met behulp van deze methode onderzocht. Bij het Bouma Janssenexperiment 'Blokslootpolder' werd tevens een vergelijking gemaakt tussen de nutriëntenlimitatie in een bekalkt perceel en een onbekalkt perceel. Bij het Bouma Janssenexperiment kunnen zoden onder natte en droge omstandigheden worden onderzocht. Voorafgaand aan de Bouma Janssenexperimenten werden met behulp van plastic ringen zoden gestoken in de onderzoeksgebieden.
Op 27 april 1993 werden zoden gestoken in de Drentse Aa (Aerts, 1994), op 7 april 1994 in Gützkow en op 29 april 1994 in de Blokslootpolder. De zoden werden gestoken met behulp van plastic ringen. Deze ringen hebben een doorsnede van 20 cm en een hoogte van 10 cm. De zoden werden gestoken in een op het oog zo homogeen mogelijke vegetatie. De zoden zijn overgebracht naar een open kas, waarin temperatuur en lichtregime heerst als in de omgeving. Hier werden ze op geperforeerde platen gezet die op emmers geplaatst werden. Deze emmers werden gevuld met demi-water. Er zijn twee proefopstellingen gebruikt. Zie fig. 4.

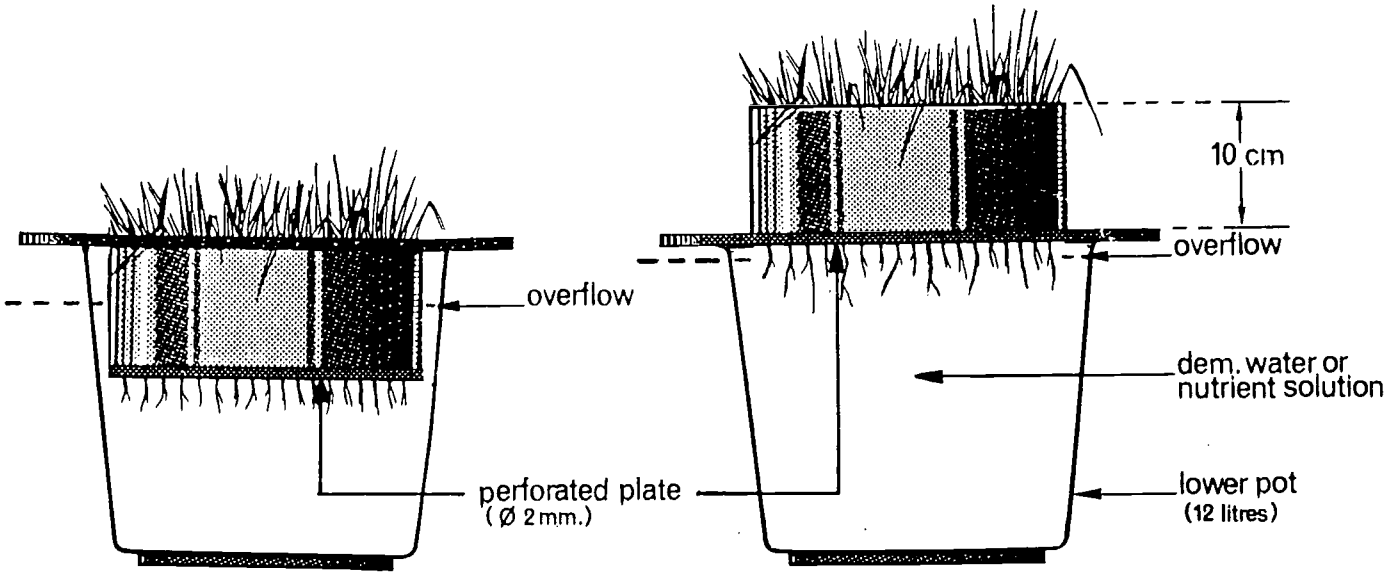


Fig. 4. Proefopstelling Bouma Janssen experiment. De opstelling links is de 'natte' opstelling, waarbij de bodem met water verzadigd is. De opstelling rechts is de 'droge' opstelling, waarbij de vegetatie de voedingsoplossing alleen kan bereiken met wortels die door de geperforeerde plaat heengroeien.

Bij de ene proefopstelling is vrijwel de hele plag verzadigd met water. Bij de andere

proefopstelling is de watervoorziening geringer en is de bodem niet met water verzadigd. De planten kunnen in deze laatste opstelling alleen water en voedingsstoffen uit de voedingsoplossing opnemen met behulp van wortels die door de perforaties in de geperforeerde plaat groeien. De zoden afkomstig van het goed ontwikkelde Calthion van de Drentse Aa zijn allemaal nat behandeld. De zoden uit het verdroogde Calthion zijn ten dele droog behandeld en ten dele nat, om de invloed van vernatting van deze zoden op de nutriëntenlimitatie te onderzoeken. De zoden uit de Blokslootpolder zijn allemaal droog behandeld, omdat het terreintype relatief droog is.
De zoden afkomstig uit Gützkow zijn allemaal nat behandeld, omdat het terrein gedurende het hele groeiseizoen relatief nat is (zie tabel 2).

Tabel 2. Bemestingsschema Bouma Janssen experimenten. Alle bemestingen zijn 4 x uitgevoerd.

exp.	perceel	behandeling	0	NP	NK	PK	NPK
Drentse Aa	verdroogd	nat					
		droog					
	goed ontwikkeld	nat					
Gützkow		nat					
Blokslootpolder	onbekalkt	droog					
	bekalkt	droog					

Toen er voldoende plantenwortels door de geperforeerde plaat groeiden (ongeveer na twee weken) werden de emmers gevuld met voedingsoplossingen. Er zijn 5 verschillende typen voedingsoplossingen gebruikt (zie tabel 2). Deze voedingsoplossingen verschilden in de aanwezigheid van de macro ionen NO3- (N), H2PO4- (P) en K^+ (K). In de 0 oplossing zit geen van deze 3 ionen, in de NPK oplossing zitten alle 3 de ionen. In de overige oplossingen is steeds één van de nutriënten N, P of K weggelaten. Vanwege plaatsgebrek in de kas konden de enkelvoudige bemestingen niet uitgevoerd worden. Bij de samenstelling van de voedingsoplossingen is uitgegaan van
een totale ion concentratie van 20 $mmol.l^{-1}$, hetgeen theoretisch overeenkomt met 0.48 atm. bij 20°C. Na+ en Cl- werden gebruikt om de totale ionenbalans op peil te houden.
Microionen (in $\mu mol.l^{-1}$) waren: 35 Fe (als Fe-DTPA), 10 Mn (als $MnSO_4.5H_2O$), 3 Zn (als $ZnSO_4.7H2O$), 20 B (als $Na_2B_4O_7.10H_2O$), 0.5 Cu (als $CuSO_4.5H_2O$) en 0.5 Mo (als $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$).
De pH was niet ingesteld en voor de experimenten met zoden uit 3 verschillende onderzoeksgebieden zijn verschillende Ca^{2+} concentraties gebruikt, om de Ca^{2+} concentratie en daarmee de pH van de voedingsoplossing overeen te laten komen met de situatie in het veld. De voedingsoplossingen die voor het BJ experiment in Gutzkow zijn gebruikt hebben een hoge Ca^{2+} concentratie. Voor het BJ experiment in de Blokslootpolder zijn voedingsoplossingen gebruikt met een lage Ca^{2+} concentratie. De zoden afkomstig van het bekalkte perceel en de zoden afkomstig van het onbekalkte perceel kregen de zelfde calciumconcentratie toegediend. Voor het BJ experiment in de Drentse Aa (Aerts, 1993)

werden voedingsoplossingen gebruikt met een middelmatig hoge Ca^{2+} concentratie. In bijlage IV staan de concentraties van alle macroionen die in de voedingsoplossingen zijn gebruikt.
Alle combinaties zijn in vier voud uitgevoerd. De Bouma Janssenpotten werden in een random volgorde geplaatst in een kas, per experiment gescheiden. Alle zoden werden iedere dag begoten met demi-water, om vochtverlies door verdamping en evaporatie te compenseren. Elke 3 weken werden de voedingsoplossing vervangen door verse voedingsoplossingen. Elke 6 weken werd er geoogst. Hierbij werden de zoden op ongeveer 4 cm boven de grond afgeknipt.
Alle oogsten van het Drentse Aa experiment zijn op soort gesorteerd. Hier wordt verder niet op ingegaan. Zie Aerts (1994). De eerste en de derde oogst van het Gützkow experiment zijn op soort geselecteerd, om de soortensamenstelling te bepalen, en tevens de verschillen en de veranderingen daarin te kwantificeren.

De oogsten van het Blokslootpolder experiment zijn niet op soort gesorteerd. Om toch een indruk te krijgen van de soortensamenstelling en de verschillen daarin, zijn van alle plaggen soortenlijsten gemaakt.

2.2.3 Fytometerexperiment

In een fytometerexperiment werd een vergelijking gemaakt tussen fytomassaproduktie van *Holcus lanatus*, die werd gekweekt op grond afkomstig van het goed ontwikkeld Calthion en op grond afkomstig van het verdroogde Calthion in de Drentse Aa. *Holcus lanatus* (fig. 5) is als indicator voor bodemvruchtbaarheidsexperimenten in mesotrofe systemen (mondelinge mededeling I. van Duren). De plant is makkelijk te kweken en de relatieve groeisnelheid is hoog (Watt, 1978). De bodemkundige range waarop hij groeit is groot (Watt, 1978) en de plant komt in veel verschillende vegetietypen voor, zodat de plant erg geschikt is om bodemvruchtbaarheid in verschillende bodems te vergelijken. Ook in het onderzoeksgebied in de Drentse Aa komt *Holcus lanatus* voor, met name in het verdroogde perceel. Voor dit experiment is gebruik gemaakt van genetisch identiek materiaal uit Engeland.

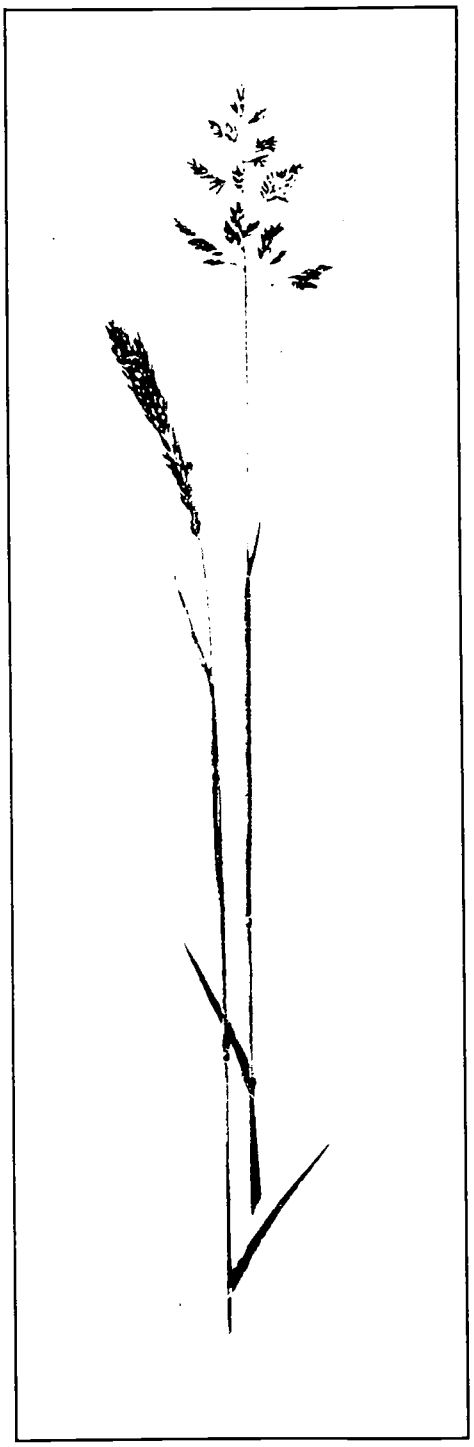


Fig. 5. *Holcus lanatus*

Het is de bedoeling, dat in de toekomst meerdere bodems gescreend zullen worden op nutriëntenlimitatie, waarbij ook *Holcus lanatus* wordt gebruikt. Deze experimenten zullen uitgevoerd worden volgens de hieronder gepresenteerde methode.
Pollen volwassen planten zijn op 3 centimeter boven de grond afgeknipt, gescheurd en

afzonderlijk geënt op steenwol, waarop ze 2 weken geacclimatiseerd zijn. Half april is er grond opgehaald uit het onderzoeksgebied. Er is vlak onder de zode gegraven, tot maximaal een halve meter diep. De grond is gezeefd om het van wortelmateriaal te ontdoen en te homogeniseren. Vervolgens werd 400 gram grond afgewogen. Deze grond werd vermengd met osmocotekorrels en werd in potjes (diameter max. 12 cm, hoogte 9 cm). gebracht, volgens het volgende bemestingsschema in tabel 3.

Tabel 3. Bemestingsschema veldbemestingsexperiment Drentse Aa. Alle bemestingen zijn 5 x uitgevoerd (oppervlakte 0.6 x 0.6 m).

herkomst grond	behandeling	bemesting							
		0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
goed ontwikkeld Calthion	nat								
verdroogd Calthion	onbekalkt								
	bekalkt								
	nat								

Op de bodem van de potjes werd een stukje vitrage geplaats om te voorkomen dat de grond door het gat in de bodem naar buiten zou spoelen. Uit het vergelijkbare experiment met *Caltha palustris* bleek dat de gift 200 kg N, 80 kg P en 200 kg K per hectare te hoog was. (mondelinge mededeling I. van Duren). Daarom zijn in dit experiment de bemestingen teruggebracht naar resp. 125, 40 en 90 kg per hectare, wat neerkwam op 252 mg N osmocote, 176 mg P osmocote en 189 mg K osmocote per pot. N is gegeven in de vorm van ureum ($CO(NH_2)_2$), P in de vorm $Ca(H_2PO_4)_2$ en K in de vorm K_2O. Kalk werd toegevoegd om het effect van pH verhoging te onderzoeken. Ook als gevolg van vernatten gaat de pH omhoog Alle mogelijke combinaties zijn in 6 a 7 voud uitgevoerd, zodat 205 potjes gevuld werden.
Op 25 april 1994 zijn identiek ogende planten van de steenwol overgebracht naar de potjes grond. In elk potje werd 1 plantje geplaatst. Het gemiddelde gewicht van deze planten was 0.01544 gram. De potjes zijn naast elkaar in een klimaatkamer gezet, "at random" gerangschikt. De grond uit het goed ontwikkelde Calthion kreeg een 'natte behandeling'. Deze potten zijn in een wit bakje geplaatst (10.5 x 10.5 cm, hoogte 6.0 cm), tot de rand gevuld met een bicarbonaat oplossing (simulatie van kalkrijk grondwater). Deze bakjes werden iedere dag bijgevuld. De oplossing in de bakjes bevatte, onder klimaatkameromstandigheden, 80 mg $CaCO_3$ per liter en werd bewaard in grote vaten, waarin de kalk d.m.v. beluchting in oplossing wordt gehouden. De oplossing is bereid uit CaCl en $Na(CO_4)2$. Een deel van de potten uit het verdroogde perceel is eveneens op deze natte manier behandeld. Een ander deel van deze potten is op de droge manier behandeld (zie schema). Deze potten zijn niet in en bakje geplaatst. Ze werden iedere dag begoten met demi water. Opkomende kiemplantjes werden meteen verwijderd.
De klimaatkamer heeft een temperatuur tussen 16°C en 20°C, en een luchtvochtigheid van 80 % . De planten groeiden onder een lichtregime van 8 uur donker, 16 uur licht, bij een

lichtsterkte van 1500 lux.
De planten zijn na 2 maanden geoogst. Hierbij zijn de planten bij de stengelvoet afgeknipt. Hierna werd dood materiaal en levend materiaal gescheiden. Van het levende materiaal werd het versgewicht bepaald. Vervolgens werd al het materiaal gedurende 24 uur gedroogd in een droogstoof bij 80°C en werden de gewichten bepaald. Tenzij anders aangegeven wordt met drooggewicht bedoeld de som van het drooggewicht van het dode materiaal en het drooggewicht van het levende materiaal.

2.3 Data analyse

Eerst is onderzocht in hoeverre er significante verschillen zijn tussen de bemestingen en de verschillende behandelingen. Dit werd gedaan met behulp van een one-way variance analysis met Tukey contrast tussen gemiddelden. De homogeniteit van de varianties werd getoetst met behulp van de Cochran's C test.
Vervolgens werd onderzocht wat de effecten zijn van N, P en K afzonderlijk en of er interacties zijn tussen de nutriënten Hiervoor werd een multiple variance analysis (MANOVA) uitgevoerd. Daarmee werden main effecten en interacties berekend. Met de resultaten van deze berekeningen is een F toets uitgevoerd. Als de F kleiner is dan 0.05 is het effect of de interactie van significant, anders niet. Ook voor andere factoren, zoals kalk, veld en behandeling (vernat of droog) werden op deze manier berekeningen uitgevoerd. In de experimenten waar geen volledig factoriele bemesting is uitgevoerd is de interactie niet te bepalen. In dit geval is alleen een one-way variance analysis uitgevoerd, en een MANOVA waarbij alleen de main effecten berekend zijn.
Alle fytomassa's werden log getransformeerd, alvorens de berekeningen te beginnen.

3 Resultaten

3.1 Veldbemestingsexperiment Drentse Aa

De resultaten van dit experiment worden weergegeven in figuur 6a (goed ontwikkeld Calthion) en 6b (verdroogd Calthion). De significanties worden met letters boven de grafiekjes weergegeven. In bijlage I staan de groepsgemiddelden, met bijbehorende standaard fouten. In tabel 4 staan de resultaten van de multivariate analysis (MANOVA). Significante effecten ($F < 0.05$) worden met een sterretje aangegeven.
In het goed ontwikkelde Calthion is slechts één significant verschil tussen de bemestingen: proefveldjes met NP-, NK-, PK- en NPK bemesting hebben een significant hogere fytomassaproduktie dan veldjes met P bemesting MANOVA toont aan dat er een interactie is tussen P en K, maar er zijn geen main effects.
In het verdroogde perceel verhoogt bemesting met K de fytomassaproduktie significant. MANOVA toont aan dat er een sigmificant effect is van K bemesting en dat er een een interactie is tussen N en K en tussen N,P en K.
De soortensamenstelling van de veldjes is weergegeven in bijlage II a en b. Zowel in het goed ontwikkelde Calthion als in het verdroogde Calthion zijn geen duidelijke veranderingen in de soortensamenstelling waarneembaar als gevolg van de bemestingen.

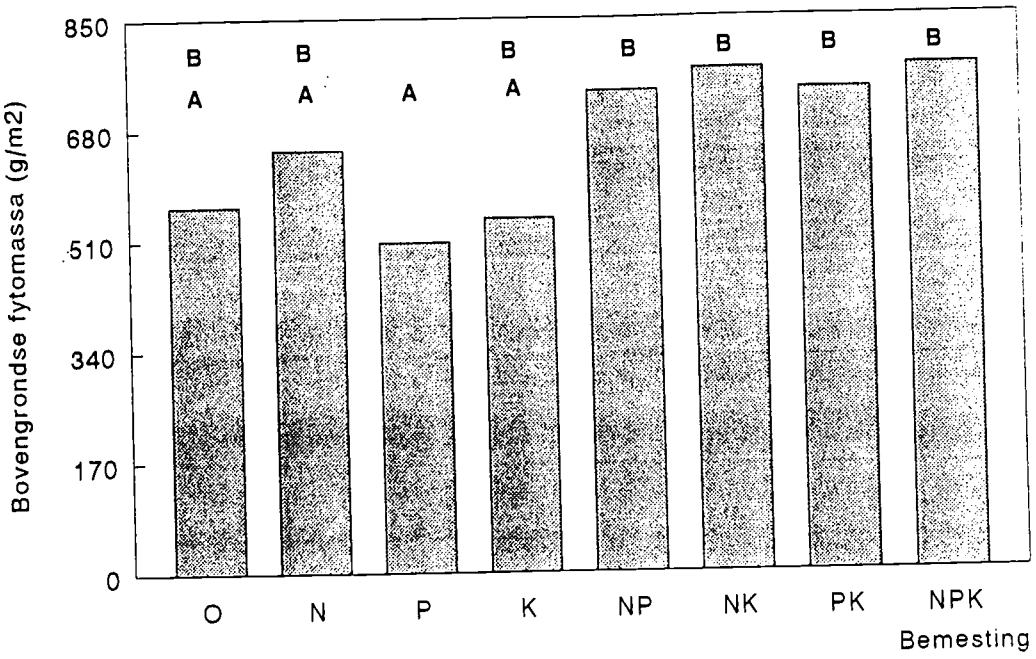
Tabel 4. Resultaten van de multiple variance analysis, uitgevoerd met de resultaten van het veldbemestingsexperiment. Een sterretje duidt aan dat $F > 0.05$ en de invloed van de betreffende variabele significant is.

Goed ontwikkeld Calthion

Source of variation	Significance of F	
N	0.072	
P	0.183	
K	0.372	
N by P	0.691	
N by K	0.871	
P by K	0.036	*
N by P by K	0.587	

Verdroogd Calthion

Source of variation	Significance of F	
N	0.136	
P	0.145	
K	0.000	*
ca	0.977	
N by P	0.742	
N by K	0.038	*
P by K	0.262	
N by P by K	0.027	*



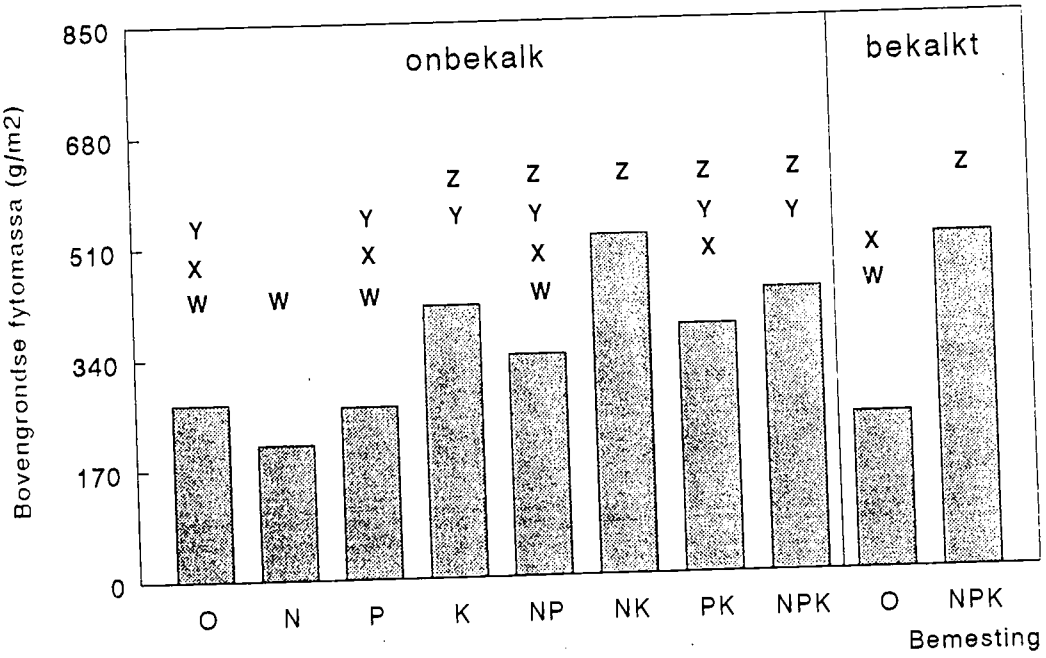


Fig. 6. Het effect van het toedienen van nutrienten op de bovengrondse fytomassaproduktie van bemestingsplots in een Calthion langs de Drentse Aa (fig. 6a) en een verdroogd Calthion in een aangrenzend perceel (fig. 6b). (per m^2)
0 = onbemest; N = Stikstof toegediend, P = Fosfor toegediend, K = Kalium toegediend. Verder betekend b.v. NP: bemest met stikstof én fosfor. Eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p>0.05$)

3.2 Bouma Janssen experiment Gützkow

De resultaten van dit experiment zijn weergegeven in figuur 7. Hierin staat de gesommeerde fytomassaopbrengst van oogst 1 tm 4. In bijlage V zijn groepsgemiddelden gegeven, met bijbehorende standaard fouten. In tabel 5 staan de resultaten van de multivariate analysis (MANOVA).
Het weglaten van N uit de voedingsoplossing (dwz. bemesten met P en K) levert geen significant verschil op met de O bemesting.
Het weglaten van P (dwz bemesten met N en K) resulteert in een significant hogere fytomassaproduktie vergeleken met de 0 bemesting. Deze produktie is significant lager dan de produktie van de NPK bemesting.
Het weglaten van K geeft hetzelfde beeld als het weglaten van P.
De soortensamenstelling van de BJ zoden is weergegeven in bijlage VI. Er zijn grote verschillen in soortensamenstelling tussen de eerste en de derde oogst, als gevolg van de seizoenen en als gevolg van verschillen tussen soorten in gevoeligheid voor knippen. In oogst 1 bepaalt Caltha voor meer dan 80 % de fytomassaproduktie, in oogst 3 niet meer dan 40 %. In oogst 1 komen grassen nauwelijks voor, in oogst 3 maken ze meer dan 50 % uit van de biomassa. Er zijn geen duidelijke verschillen tussen de behandelingen.

Tabel 5. Resultaten van de multiple variance analysis, uitgevoerd met de resultaten van het Bouma Janssenexperiment in Gützkow. Een sterretje duidt aan dat $F < 0.05$ en de invloed van de betreffende variabele significant is.

Source of variation	Significance of F	
N	0.000	*
P	0.541	
K	0.000	*

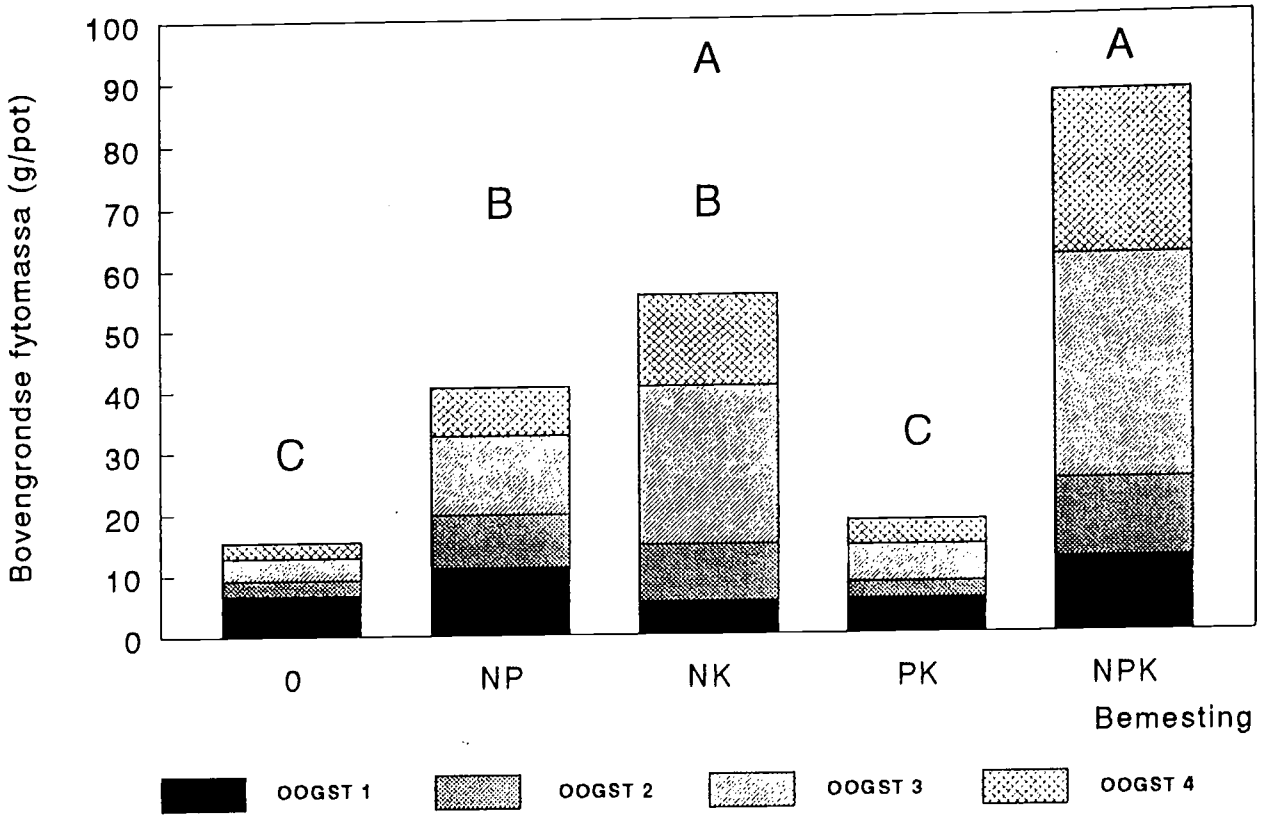


Fig. 7. Het effect van het toedienen van voedingsoplossingen op de over vier ooogsten gesommeerde bovengrondse fytomassaproduktie van zoden afkomstig van de Peenewiese bij Gützkow. (gem. per pot, n=4).
0 = onbemest; N = Stikstof toegediend, P = Fosfor toegediend
K = Kalium toegediend. Verder betekend b.v. NP: bemest met stikstof én fosfor. Eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen. (Tukey na log transformatie $p>0.05$)

3.3 Bouma Janssen experiment Blokslootpolder

De resultaten van dit experiment worden weergegeven in figuur 7. In Bijlage VII staan de groepsgemiddelden, met bijbehorende standaard fouten. In tabel 6 staan de resultaten van de multivariate analysis (MANOVA).
Hier is het volgende waar te nemen:
Het bemesten met de combinatie van P en K levert geen significant verschil op met de O bemesting. Het bemesten met de combinatie van N en K levert daarentegen een fytomassaproduktie op die significant hoger is dan de 0 bemesting. Deze produktie is significant lager dan de produktie van de NPK bemesting. Het bemesten met N en P geeft hetzelfde beeld als het bemesten met N en K: de fytomassaproduktie is significant lager dan de produktie bij de NPK bemesting. Er zijn geen significante verschillen in fytomassaproduktie tussen het bekalkte en het onbekalkte perceel.
De soortensamenstelling van de BJ zoden is weergegeven in bijlage VIII. Er zijn enkele verschillen tussen de beide velden. De volgende soorten hebben in het bekalkte perceel een (veel) hogere frequentie dan in het onbekalkte perceel: Ranunculus acris en R. repens, Rumex acetosa en Festuca rubra. Ranunculus flammula en Carex nigra hebben in het onbekalkte perceel een hogere frequentie. Het is echter niet met zekerheid te zeggen of dit een gevolg is van de kalkbemesting.

Tabel 6. Resultaten van de multiple variance analysis, uitgevoerd met de resultaten van het Bouma Janssenexperiment in Friesland. Een sterretje duidt aan dat F> 0.05 en de invloed van de betreffende variabele significant is.

Source of variation	Significance of F	
N	0.000	*
P	0.038	*
K	0.017	*
perceel	0.950	

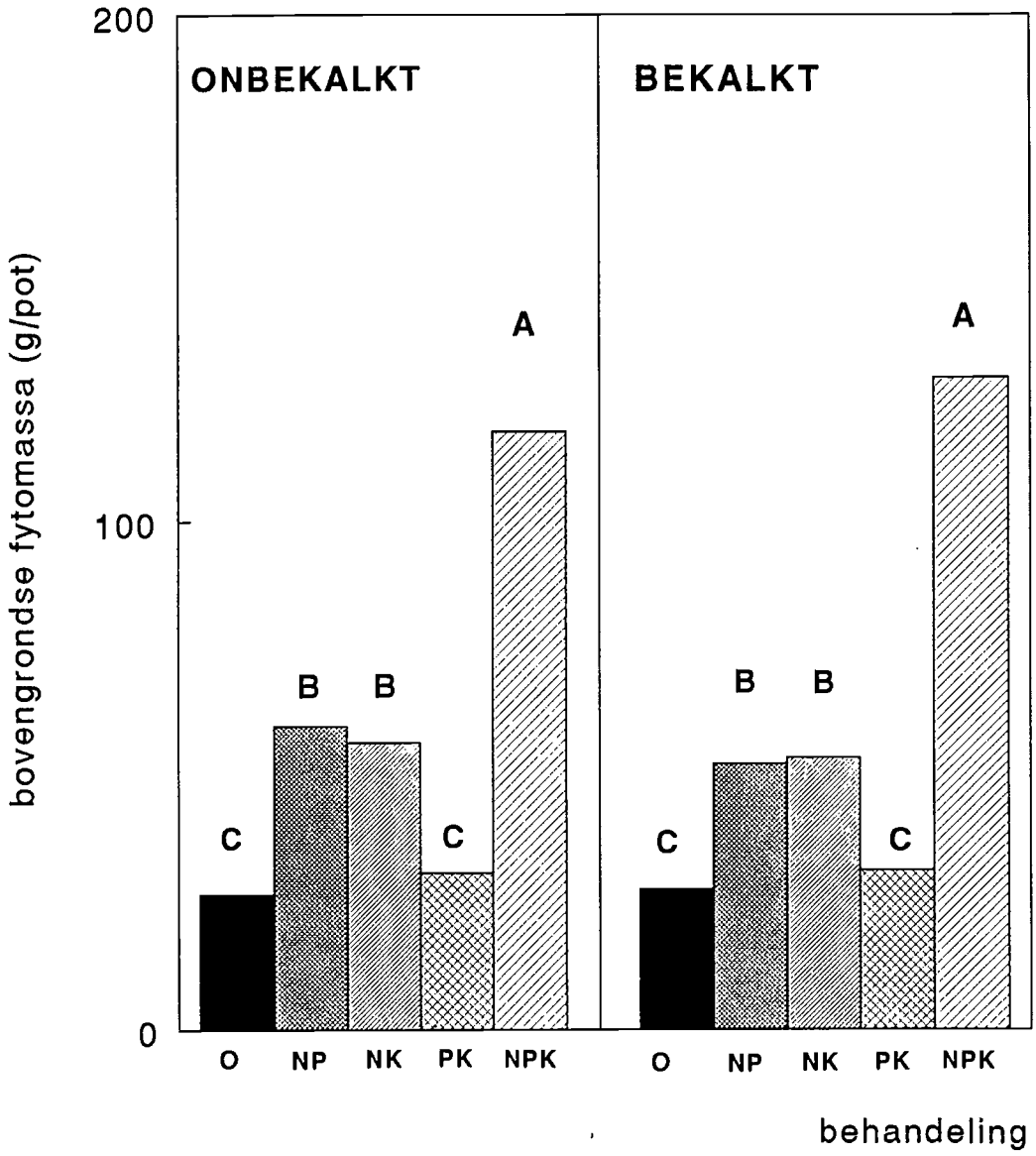


Fig. 8. Het effect van het toedienen van voedingsoplossingen op de over vier oogsten gesommeerde bovengrondse fytomassaproduktie van zoden afkomstig uit de Blokslootpolder (gem. per pot, n=4). De linker helft van de figuur heeft betrekking op zoden afkomstig uit het bekalkte perceel en de rechterhelft heeft betrekking op zoden afkomstig uit het onbekalkte perceel. 0 = onbemest; N = Stikstof toegediend, P = Fosfor toegediend. K = Kalium toegediend. Verder betekend b.v. NP: bemest met stikstof én fosfor. Eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p > 0.05$)

3.4 Fytometerexperiment Drentse Aa

In figuur 9 zijn de resultaten weergegeven per behandeling. In bijlage IX staan de groepsgemiddelden, met bijbehorende standaard fouten. In tabel 7 staan de resultaten van de multivariate analysis (MANOVA). Bij de meeste behandelingen levert K bemestingen een significant hogere produktie op dan de O bemesting en verschilt de produktie van de K potten niet significant van de NPK potten. Alleen in de vernatte situatie is de produktie in de K potten niet significant verschillend van de produktie in de 0 potten en verschilt significant van de NPK potten. In de meeste gevallen is de produktie in de NP potten significant lager dan de produktie in de NPK potten, behalve in het Calthion, waar de lagere produktie niet significant is. De NK en PK bemestingen verschillen niet significant van de NPK bemestingen en de N en P bemestingen niet van de 0 bemesting.
In bijlage X staan dezelfde figuren, waarbij echter niet de drooggewichten, maar de versgewichten zijn weergegeven.
In drie van de vier behandelingen levert de K bemesting een significant hogere produktie op dan de O bemesting, die niet significant verschilt van de NPK bemesting. De NP bemesting is in geen van de behandelingen significant hoger dan de O bemesting, maar is in alle behandelingen lager dan de NPK bemesting.
In bijlage XI is voor enkele bemestingen het percentage levend gewicht weergegeven. Voor alle behandelingen geldt, dat het percentage levend gewicht van de planten die niet bemest zijn met K lager is dan van de planten die wel bemest zijn met K.
In figuur 10 wordt de droge behandeling vergeleken met de natte behandeling. De planten in potjes waar K in zit hebben in de vernatte behandeling een significant lagere fytomassaproduktie dan in de droge potjes. Daarentegen hebben de planten in potjes waar K niet in zit in de vernatte behandeling een significant hogere fytomassaproduktie dan in de droge potjes.
In figuur 11 wordt per bemesting een vergelijking gemaakt tussen de opbrengst van de onbekalkte potjes grond uit het verdroogde perceel en de bekalkte potjes grond uit hetzelfde perceel. Deze fytomassaopbrengsten verschillen slechts in één geval significant.

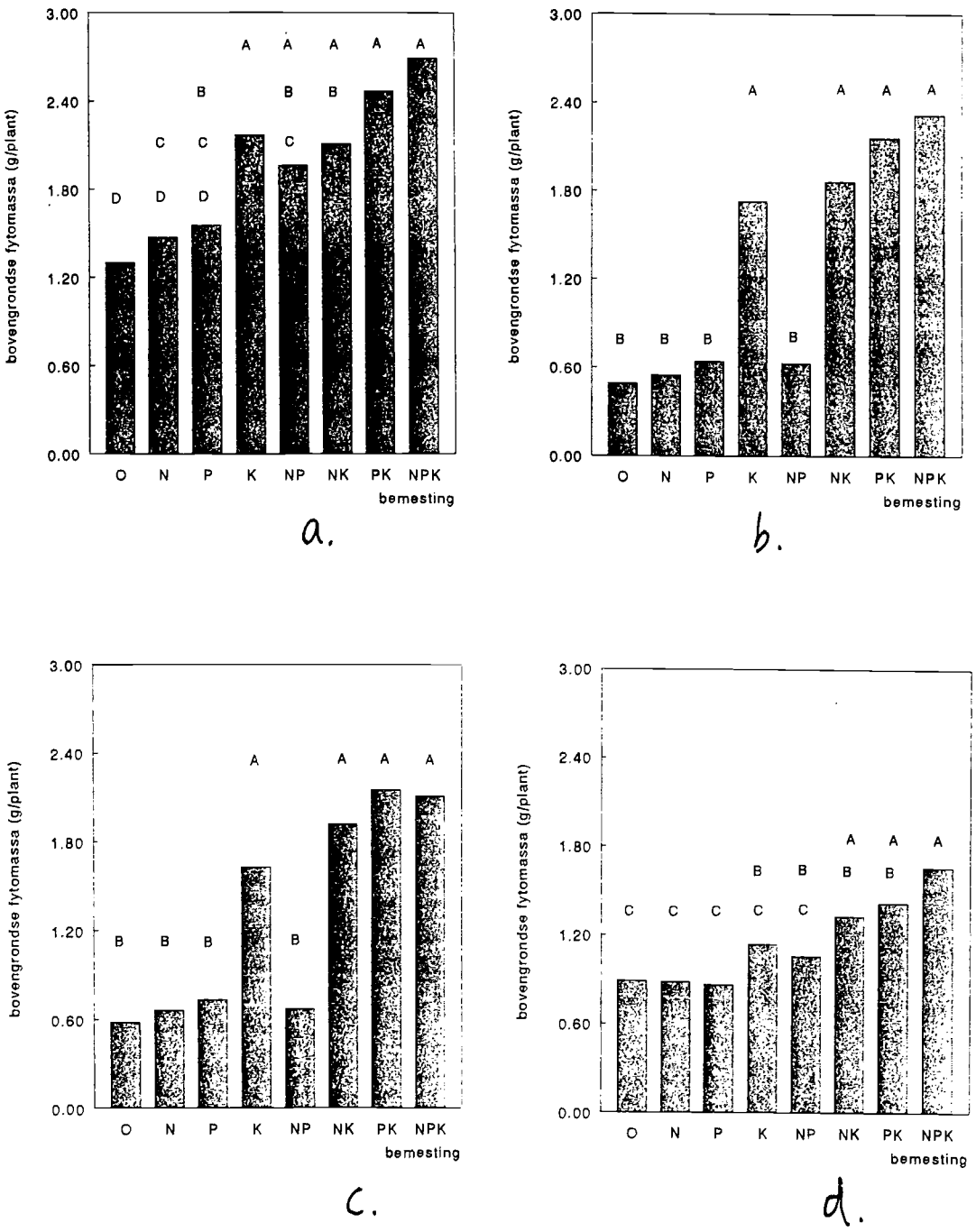


Fig. 9. Het effect van het toedienen van voedingsoplossingen op de bovengrondse fytomassaproduktie van *Holcus lanatus* groeiend op grond afkomstig van de Drentse Aa:
figuur 9a: goed ontwikkeld Calthion.
figuur 9b: verdroogd perceel, droge behandeling, bekalkt.
figuur 9c: verdroogd perceel, droge behandeling, onbekalkt.
figuur 9d: verdroogd perceel, natte behandeling.
0 = onbemest; N = Stikstof toegediend, P = Fosfor toegediend
K = Kalium toegediend. Verder betekend b.v. NP: bemest met stikstof én fosfor. Voor hoeveelheid bemesting: zie tekst. Significanties: eenzelfde cijfer boven twee balkjes binnen één grafiek betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p > 0.05$).

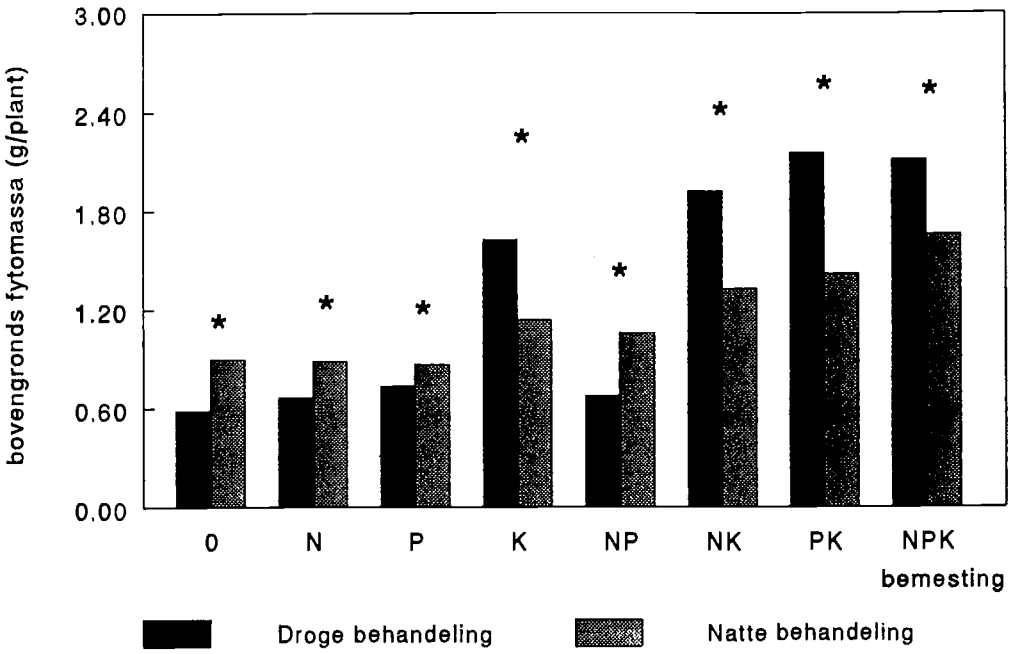


Fig. 10. Bovengrondse fytomassaopbrengsten van *Holcus lanatus* groeiend op grond afkomstig van het verdroogde perceel. Vergelijking tussen de droge behandeling (zonder kalk) en de natte behandeling. Afkortingen als in figuur 9. Significanties: eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p > 0.05$).

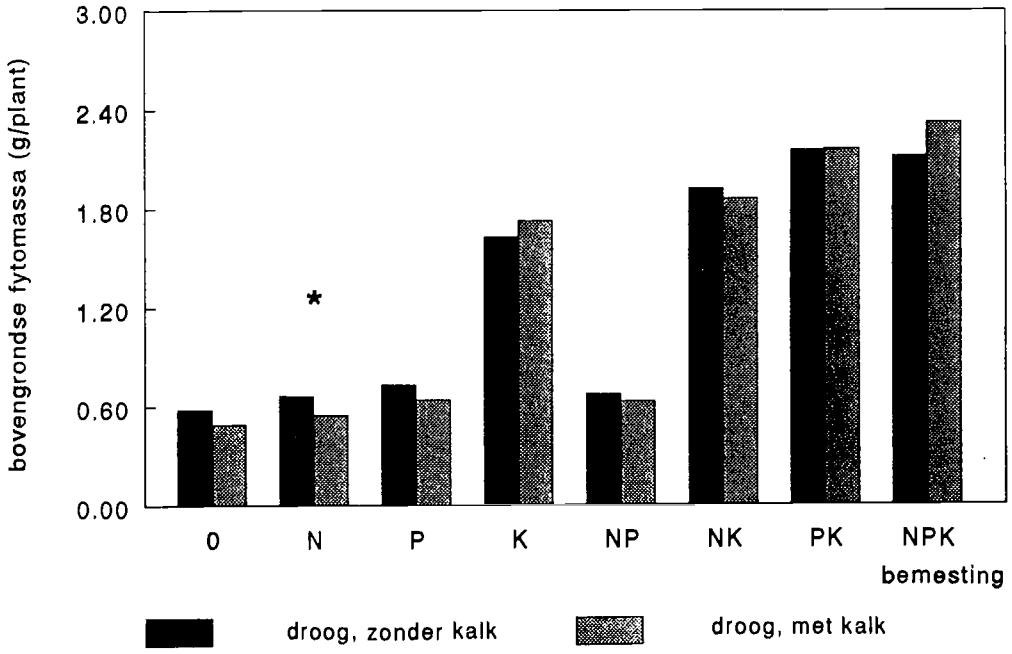


Fig. 11. Bovengrondse fytomassaopbrengsten van *Holcus lanatus* groeiend op grond afkomstig van het verdroogde perceel. Vergelijking tussen de droge behandeling zonder kalk en de droge behandeling met kalk. Afkortingen als in figuur 9.
Significanties: eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p > 0.05$).

Tabel 7. Resultaten van de multiple variance analysis, uitgevoerd met de resultaten van het fytometerexperiment. Een sterretje duidt aan dat F> 0.05 en de invloed van de betreffende variabele significant is.

Source of variation	Significance of F	
N	0.035	*
P	0.000	*
K	0.000	*
beh	0.000	*
N by P	0.441	
N by K	0.534	
N by beh	0.609	
P by K	0.870	
P by beh	0.392	
K by beh	0.000	*
N by P by K	0.410	
N by P by beh	0.143	
N by K by beh	0.271	
P by K by beh	0.792	
N by P by K by beh	0.951	

4 Discussie

4.1 Veldbemestingsexperiment

Het veldbemestingsexperiment heeft een beeld omtrent nutriëntenlimitatie opgeleverd. Het Calthion lijkt in de veldsituatie niet gelimiteerd te worden door één van de onderzocht nutriënten. De resultaten in het verdroogde perceel wijzen in de richting van een K limitatie, maar door een zeer grote spreiding is dit niet significant.
Een mogelijke oorzaak is, dat de heterogeniteit tussen de proefvlakjes redelijk groot is. Door in elk proefvlakje vakjes van 60 bij 60 cm te oogsten in plaats van vakjes van 20 bij 20 cm (zoals vorig jaar gedaan is) is het probleem van de heterogeniteit tussen de proefvlakjes niet geheel ondervangen. Voornamelijk Liesgras speelt hier een grote rol in. Veldjes waarin Liesgras aanwezig is, lijken een hogere fytomassaproduktie te hebben dan de veldjes waarin geen Liesgras aanwezig is.
Zie verder paragraaf 4.4.

4.2 Bouma Janssenexperimenten

Uit de Bouma Janssen experimenten in het Calthion van Gutzkow blijkt dat stikstof de belangrijkste limiterende voedingsstof is, terwijl fosfor en kalium in mindere mate limiterend zijn. De beide graslanden in de Blokslootpolder in Friesland vertonen vrijwel hetzelfde beeld, hoewel hier P niet limiterend is. Dit is opvallend, omdat de graslanden in Friesland en Drente zowel vegetatiekundig als bodemkundig zeer verschillend zijn. Het Bouma Janssen experiment met zoden uit het Calthion langs de Drentse Aa wijst op een limitatie van zowel kalium als stikstof. Dit Calthion lijkt zowel vegetatiekundig als bodemfysisch meer op het Calthion in Oost Duitsland, maar vertoont desondanks een totaal verschillende nutriëntenlimitatie. Mogelijk is dit Calthion van oorsprong eveneens P gelimiteerd geweest. In de winter overstroomt de Drentse Aa regelmatig en hiermee kan fosfaat door de bodem worden opgenomen. *Caltha palustris* prefereert bodems waar weinig fosfaat in zit (Weeda et.al.), mogelijk omdat ze bij een hoger fosfaatgehalte wordt weggeconcurrereerd door hoog opgroeiende grassen en zeggen.

Bekalking heeft geen invloed op de fytomassaproduktie in het experiment in Friesland. Wel moet benadrukt worden dat bekalking slechts 1 keer is uitgevoerd. Langere termijnseffecten zijn dan ook niet uit te sluiten.

4.3 Fytometerexperiment Drentse Aa

De vergelijkingen tussen de verschillende combinaties wijzen er op dat zowel in het verdroogde perceel als in het goed ontwikkelde perceel is K limiterend voor *Holcus* produktie.
Dit blijkt uit vergelijking van de drooggewichten, maar ook uit de vergelijking van de versgewichten. Uit de vergelijking van de percentages levend gewicht komt naar voren dat de planten die geen K toegediend hebben gekregen voor een groter gedeelte dood zijn op het moment van oogsten dan de planten die K wel toegediend kregen. Dit geeft aan dat deze planten onder stress zijn.
Manova wijst er op dat er ook een effect is van N en van P. Het neveneffect van N is het grootst.
De gemiddelde produktie in de PK potjes is in alle gevallen lager dan de gemiddelde

produktie in de NPK potjes (hoewel niet significant). De gemiddelde produktie in de NP potjes is daarentegen is in geen van de behandelingen lager dan de NPK potjes. De vergelijkingen tussen de bemestingen wijzen er op dat P niet limiterend is voor *Holcus*.

Het blijkt, dat vernatting het belang van de K limitatie vermindert. De verklaring is, dat K dan minder wordt uitgespoeld. K is een klein element, die in ionvorm (K+) aanwezig is. Het wordt los gebonden aan het absorpsiecomplex. Het spoelt daardoor gemakkelijk uit met regenwater. N en P zijn als geoxideerde toestand in de bodem aanwezig, vaak gebonden aan het absorptiecomplex. Uitspoeling door regenwater heeft op deze nutriënten een veel geringere invloed. In verdroogde systemen speelt uitspoeling door regenwater een veel grotere rol dan in natte systemen. Het is mogelijk dat het Calthion dat wij als referentie gebruiken ook verdroogd is geweest.
Zie ook paragraaf 4.4 voor vergelijking tussen de experimenten.

4.4 Drentse Aa: vergelijking tussen 3 typen experimenten

De 3 typen experimenten die langs de Drentse Aa zijn uitgevoerd, of die uitgevoerd zijn met zoden of grond uit dit gebied, geven geen eenduidig beeld omtrent de nutriëntenlimitatie.
Van limitatie is in de veldsituatie mogelijk is minder sprake, omdat planten van een groter volume bodem potentieel kunnen gebruiken om voldoende nutriënten te verwerven. De bodem is in Bouma Janssenpotten slechts 20 cm diep. In de veldsituatie kunnen de wortels veel dieper groeien. Mogelijk kunnen de planten uit het bodemvocht extra voedingsstoffen op nemen. Wortelstokken kunnen zich horizontaal spreiden en voedingsstoffen opnemen uit naburige plotjes die meer bemest zijn. Aan de andere kant wordt in de Bouma Janssenexperimenten de bodem met opzet extra verarmd, doordat vier keer geoogst wordt en door knippen de groei gestimuleerd wordt. De fytomassaproduktie wordt verhoogd doordat lichtconcurrentie wordt tegengegaan. Het intensieve maairegime beïnvloedt de soortensamenstelling van de zoden. Resultaten omtrent soortsverschuivingen moeten daarom met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, omdat de verdwenen soorten andere responsies kunnen vertonen dan de soorten die zijn overgebleven.
De Bouma Janssen methode is geschikt om onder gecontroleerde omstandigheden te onderzoeken welke nutriënten limiterend kunnen worden, terwijl de veldmethode een veel reëler beeld geeft in welke mate deze limitatie in het veld een rol speelt. Het grote voordeel van een fytometer experiment is, dat het experiment weinig ruimte in beslag neemt, waardoor een volledig factoriele bemesting uitgevoerd kan worden met een groter aantal replica's. De effecten van heterogeniteit tussen de replica's en concurrentie tussen planten worden teniet gedaan. Zodoende kunnen processen worden opgespoord die wel degelijk een rol spelen optreden als de bodem vernat wordt, maar als gevolg van ruis niet opgemerkt worden. Wel moet goed in de gaten gehouden worden dat de resultaten alleen betrekking hebben op *Holcus lanatus*, die zich op een andere manier kan gedragen dan de andere plantensoorten. In deze experimenten is dit het duidelijkste voor de N limitatie: de zoden van het Bouma Janssenexperiment is N duidelijk limiterend, in het fytometerexperiment niet. Er zijn twee verklaringen: Mogelijk heeft *Holcus* minder N nodig dan de intacte vegetatie. *Holcus* staat echter bekend als een soort die goed responsief is voor N (Watt, 1978). Waarschijnlijk is echter dat de Bouma Janssenpotten verder verschraald zijn als gevolg van het knippen en is N hierdoor niet meer voldoende aanwezig in de bodem. Stikstof is een element waarvan planten relatief grote hoeveelheden nodig hebben. Stikstof metingen in het plantenmateriaal en in de bodem hadden uitkomst kunnen bieden.
In het fytometerexperiment en het veldexperiment is de produktie in het Calthion hoger dan

in het verdroogde perceel. In het Bouma Janssenexperiment is dit niet in alle gevallen significant.
Verschraling is in ieder geval niet de juiste maatregel om in het verdroogde perceel een Calthion terug te krijgen, mede omdat Calthions niet echt voedselarm zijn. Verschraling van het Calthion in een Bouma Janssenexperiment verlaagt de produktie in verhouding met de produktie in het verdroogde perceel. Waarschijnlijk spelen andere bodemfysische en bodemchemische aspecten voor de vegetatie een belangrijkere rol dan de nutriëntenlimitatie, zoals lichtconcurrentie, toxiciteit, veranderde verhoudingen van allerlei elementen en sponswerking van de bodem.

Literatuur

Aerts B.A. (1993). Vernatting en het effect op de nutriëntenbeschikbaarheid. Doctoraalverslag Rijksuniversiteit Groningen.

Chapin III F.S., P.M. Vitousek & P.M. van Cleve (1986). The nature of nutriënt limitation to plant communities. Amer. Nat. 127: 48-58.

Diggelen R. van & H. Everts (1991) Beekdalvegetaties in relatie tot geohydrologie. Econieuws 16.

Everts F.H. & N.P.J. de Vries (1991). De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Diss. R.U. Groningen.

Janssen B.H. (1974). A double pot technique for rapid soil testing. Trop. Agric. (Trinidad) 51: 161-166.

Verhoeven J.T.A., S. van Beek, M. Dekker & W. Storm (1983). Nutriënt dynamics in small mesotrophic fens surrounded by cultivated land. I Productivity and nutriënt uptake by the vegetation in relation to the flow of eutrophicated ground water. Oecologica 60: 25-33.

Verhoeven J.T.A., M.J. Wassen, A.F.M. Meuleman & W. Koerselman (1994). Op zoek naar de bottleneck. Landschap 11/2: 25-39.

Watt T.A. (1978). The biology of *Holcus lanatus L.* (Yorkshire fog) and its significance in grasslands. Herbage Abstracts 48-6: 195-203.

Weeda E.J., R. Westra, Ch. Westra & T. Westra (1985). Nederlandse oecologische flora, wilde planten en hun relaties deel 1. De Lange/Van Leer, Deventer.

Westhoff V. & A.J. den Held (1969). Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen.

Bijlage I. Veldbemestingsexperiment Drentse Aa: gemiddelden en standaard fouten.
Voor elke combinatie tussen bemesting en perceel staat weergegeven: gemiddelde bovengrondse fytomassaproductie (drooggewicht, n=5), standaardfout en significantie. De significantie is weergegeven met een letter. Als 2 groepen in de tabel dezelfde letter hebben, betekent dit, dat hun gemiddelde niet significant (Tukey na log transformatie, $p>0.05$) verschillen. Afkortingen als in figuur 6.

	O	O bekalkt	N	P	K
Goed ontwikkeld Calthion	202.9812 19.6442 AB	-	233.9624 3.0265 AB	182.63 27.9078 A	195.7232 19.7129 AB
Verdroogd Calthion	97.4942 12.1979 WXY	86.421213 .9676 WX	74.819 11.7885 W	95.1974 7.8343 WXY	150.5096 9.2081 YZ

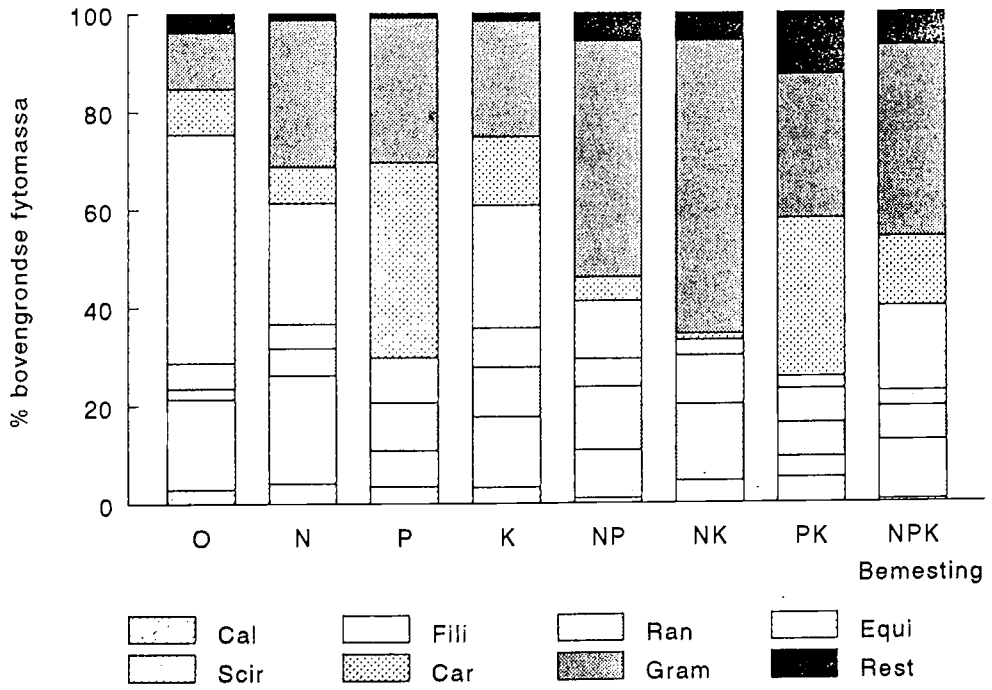
(vervolg)

	NP	NK	PK	NPK	NPK bekalkt
Goed ontwikkeld Calthion	265.8476 22.32355 B	277.3452 18.32249 B	266.0392 21.12023 B	278.5412 26.09995 B	-
Verdroogd Calthion	122.3408 24.39454 WXYZ	187.6682 21.31893 Z	137.196 5.775768 XYZ	156.5312 23.46830 YZ	184.8512 15.0382 Z

Bijlage II. Soortensamenstelling veldbemestingsplotjes.

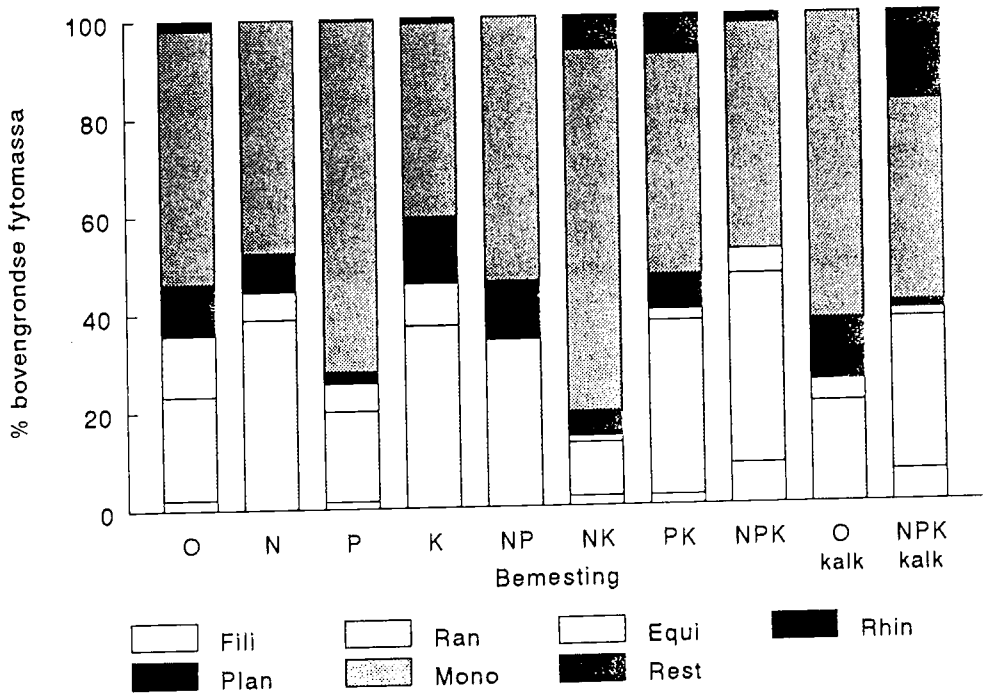
Bijlage IIa. Soortensamenstelling Calthion Drentse Aa.

Cal	= *Caltha palustris*;
Fili	= *Filipendula ulmaria*;
Ran	= *Ranunculus repens* *Ranunculus acris*;
Equi	= *Equisetum fluviatile* *Equisetum palustre*;
Scir	= *Scirpus sylvaticus*;
Car	= *Carex acutiformis* *Carex aquatilis*;
Gram	= grassen: *Glyceria maxima* *Holcus lanatus* *Phalaris arundinacea* *Poa spec.*;
Rest	= overige soorten: *Cardamine pratensis* *Epilobium spec.* *Galium palustre* *Juncus effusus* *Lychnis flos-cuculi* *Myosotis spec.* *Rumex acetosa*

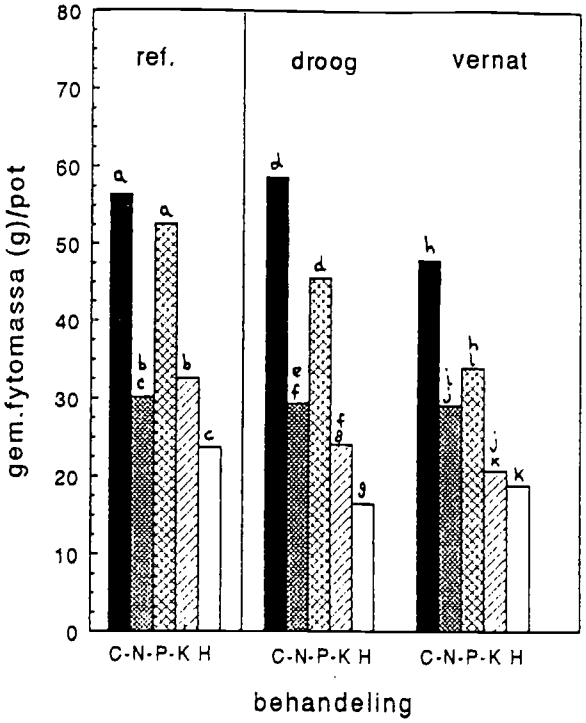


Bijlage IIb. Soortensamenstelling Verdroogd Calthion Drentse Aa.

Fili	= *Filipendula ulmaria*;
Ran	= *Ranunculus acris* *Ranunculus repens*;
Equi	= *Equisetum spec.*;
Rhin	= *Rhinanthus angustifolium*;
Plan	= *Plantago lanceolata*;
Mono	= monocotylen: *Agrostis spec.* *Anthoxanthum odoratum* *Deschampsia cespitosa* *Glyceria maxima* *Holcus lanatus* *Poa spec.* *Scirpus sylvaticus*;
Rest	= *Caltha palustris* *Cardamine pratensis* *Galium spec.* *Lychnis flos-cuculi* *Rumex acetosa*;



Bijlage III. Bouma Janssen experiment Drentse Aa (Aerts (1993)).
Het effect van het stapsgewijs weglaten van specifieke nutrienten op de over vier oogsten gesommeerde fytomassaproduktie (gem. per pot, n=4) bij drie behandelingen (referentie, droog en vernat). C betekent volledige voeding, H betekent alleen H_2O en b.v. -N betekent een voedingsoplossing zonder N. Een zelfde letter boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant (Tukey na log transformatie, $p<0.05$) van elkaar verschillen.



Bijlage IV. Voedingsoplossingen Bouma Janssen experimenten

Bijlage IV.a Voedingsoplossingen BJ experiment Gützkow.

voedingsoplossing stockoplossing	O ml/l	NP ml/l	NK ml/l	PK ml/l	NPK ml/l
1 M KNO_3			2.00		2.00
1 M $NaNO_3$		2.00			
1 M KH_2PO_4				0.67	0.67
1 M NaH_2PO_4		0.67			
0.5 M K_2SO_4			2.00	2.00	2.00
1.0 M Na_2SO_4		1.00			
1 M KCl			0.67	2.00	
1 M $Ca(NO_3)_2$		3.00	3.00		3.00
1 M $CaCl_2$	3.00			3.00	
1 M $MgSO_4$		1.33	1.33	1.33	1.33
ijzer (FEDTPA)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
sporenelementen	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

Bijlage IV.b. Voedingsoplossingen BJ experiment Blokslootpolder.

voedingsoplossing stockoplossing	O ml/l	NP ml/l	NK ml/l	PK ml/l	NPK ml/l
1 M KNO_3			2.00		2.00
1 M $NaNO_3$		6.50	4.50		4.50
1 M KH_2PO_4				0.67	0.67
1 M NaH_2PO_4		0.67			
0.5 M K_2SO_4			2.00	2.00	2.00
1.0 M Na_2SO_4		1.00			
1 M KCl			0.67	2.00	
1 M $Ca(NO_3)_2$		0.75	0.75		0.75
1 M $CaCl_2$	0.75			0.75	
1 M $MgSO_4$		1.33	1.33	1.33	1.33
ijzer (FEDTPA)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20
sporenelementen	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

Bijlage IV.c. Voedingsoplossingen BJ experiment Drentse Aa. (Aerts, 1993).

voedingsoplossing stockoplossing	O ml/l	NP ml/l	NK ml/l	PK ml/l	NPK ml/l
1 M KNO_3			2.00		2.00
1 M $NaNO_3$		2.00			
1 M KH_2PO_4				0.67	0.67
1 M NaH_2PO_4		0.67			
0.5 M K_2SO_4			2.00	2.00	2.00
1 M Na_2SO_4		1.00			
1 M KCl			0.67	2.00	
1 M $Ca(NO_3)_2$		3.00	3.00		3.00
1 M $CaCl_2$				3.00	
1 M $MgSO_4$		1.33	1.33	1.33	1.33
ijzer (FEDTPA)		0.20	0.20	0.20	0.20
sporenelementen		0.15	0.15	0.15	0.15

Bijlage V. Bouma Janssenexperiment Gutzkow: Gemiddelden en standaard fouten.
Voor elke bemesting staat weergegeven: gemiddelde bovengrondse fytomassaproductie (drooggewicht, n=4, over vier oogsten gesommeerd), standaardfouten en significantie volgens Tukey. De significantie is weergegeven met een letter. Als 2 groepen in de tabel dezelfde letter hebben, betekent dit, dat hun gemiddelden niet significant (Tukey na log transformatie, $p<0.05$) verschillen. Afkortingen als in figuur 7.

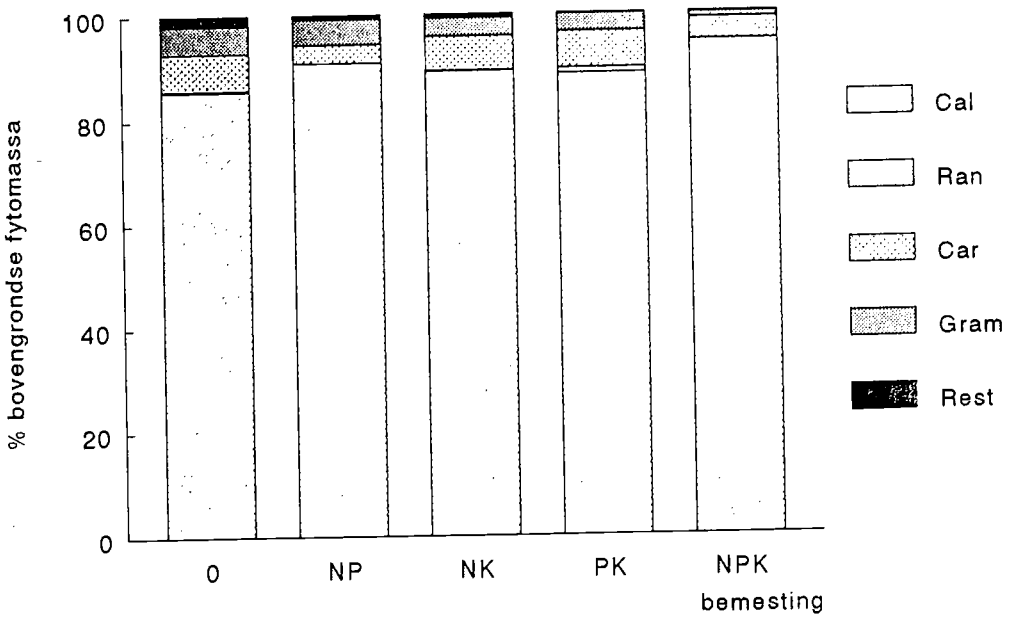
0	NP	NK	PK	NPK
15.48 2.25 C	40.40 4.52 B	55.32 2.37 AB	18.46 2.28 C	187.66 18.46 A

Bijlage VI. Soortensamenstelling BJ zoden Gützkow

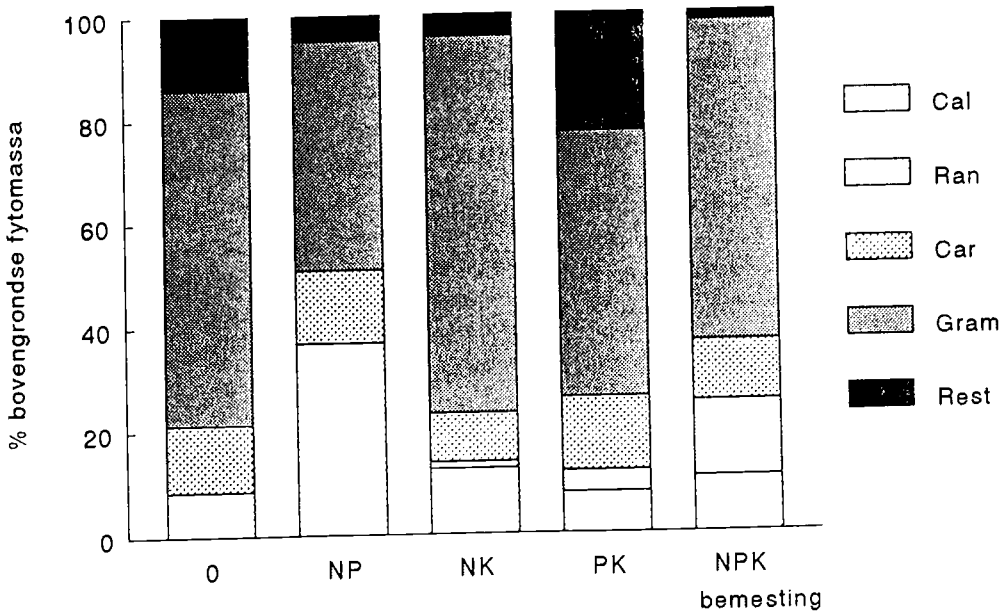
Afkortingen:

Cal	=	*Caltha palustis*;
Ran	=	*Ranunculus acris*;
Car	=	*Carex spec.*;
Gram	=	*Deschampsia cespitosa*
		Poa trivialis
		Holcus lanatus
		Anthoxanthum odoratum;
Rest	=	*Juncus subnodulosus*
		Equisetum palustris
		Lathyrus pratensis
		Epilobium spec.
		Potentilla erecta
		Mentha aquatica;

Bijlage VI.a. Soortensamenstelling BJ zoden Gützkow aan het begin van het experiment.



Bijlage VI.b. Soortensamenstelling BJ zoden Gützkow aan het eind van het experiment.



Bijlage VII. Bouma Janssenexperiment Blokslootpolder: gemiddelden en standaard fouten.
Voor elke combinatie tussen bemesting en veld staat weergegeven: gemiddelde bovengrondse fytomassaproductie per pot (drooggewicht, n=4, over vier oogsten gesommeerd), standaardfout en significantie. De significantie is weergegeven met een letter. Als 2 groepen in de tabel dezelfde letter hebben, betekent dit, dat hun gemiddelde niet significant verschilt (Tukey na log transformatie, $p<0.05$). Afkortingen als in figuur 8.

	0	NP	NK	PK	NPK
ONBEKALKT	26.6 1.932804 B	59.8925 7.828475 C	56.6025 5.560200 C	30.805 3.296309 B	117.7175 8.964334 A
BEKALKT	27.68 1.939942 B	52.32 1.506452 C	53.6375 3.716723 C	31.3175 2.476343 B	128.275 10.91567 A

Bijlage VIII. Soortensamenstelling BJ zoden Blokslootpolder
Weergegeven wordt het percentage zoden waarin de soort voorkomt.

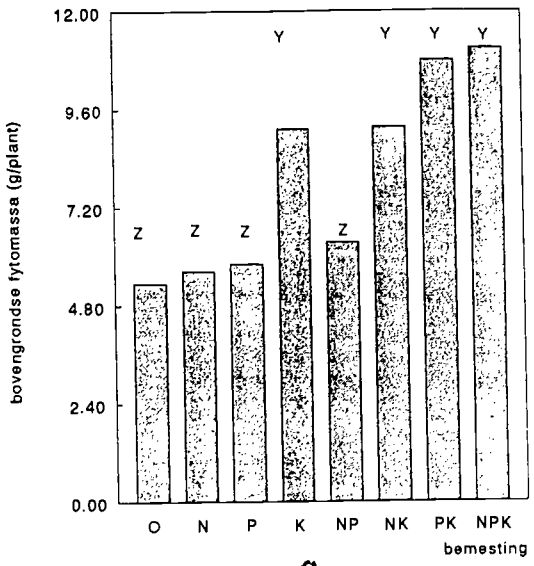
	ONBEKALKT	BEKALKT
Anthoxanthum odoratum	80	75
Carex riparia	25	85
Rumex acetosa	-	85
Ranunculus repens	10	60
Holcus lanatus	35	30
Festuca rubra	-	65
Ranunculus acris	20	35
Agrostis spec.	25	30
Ranunculus flammula	35	5
Carex nigra	25	5
Glyceria maxima	30	0
Juncus effusus	25	5
Phalaris arundinacea	20	0
Compositae spec.	5	10
Rhitidiadelphus squarrosus	0	10
Poa pratensis	0	5

Bijlage IX. Fytometerexperiment: gemiddelden en standaard fouten.
Voor elke combinatie tussen bemesting, veld en behandeling staat weergegeven: gemiddelde bovengrondse fytomassaproductie per pot (drooggewicht, n=6 of n=7), standaardfout en significantie. De significantie is weergegeven met een letter. Als 2 groepen in één rij dezelfde letter hebben, betekent dit, dat hun gemiddelde niet significant verschilt (Tukey na log transformatie, $p<0.05$). Afkortingen als in figuur 9.

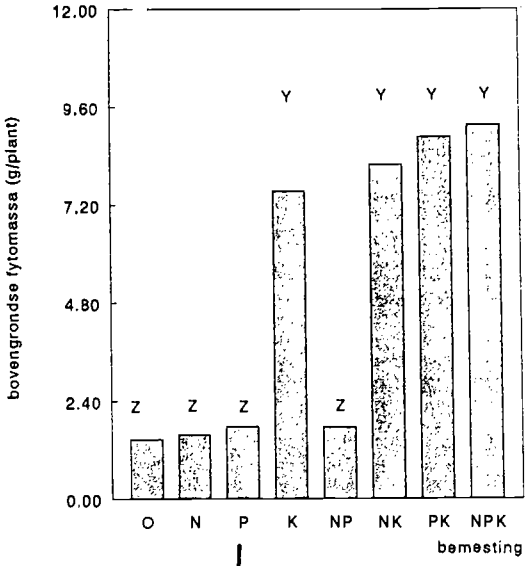
	0	N	P	K
Calthion	1.301 0.129917 B	1.47 0.088390 B	1.553 0.075038 B	2.167 0.125846 A
Droog + kalk	0.491 0.024773	0.547 0.048529	0.643 0.046236	1.726 0.186914
Droog - kalk	0.582 0.048246	0.661 0.058498	0.733 0.067128	1.627 0.191392
Vernat	0.893 0.133367	0.884 0.069730	0.864 0.054794	1.137 0.068667

	NP	NK	PK	NPK
Referentie	1.959 0.133338 B	2.108 0.245147 A	2.464 0.147288 A	2.691 0.169519 A
Droog + kalk	0.628 0.066556	1.86 0.088287	2.16 0.133987	2.316 0.093785
Droog - kalk	0.671 0.046013	1.92 0.168061	2.151 0.112589	2.11 0.162969
Vernat	1.056 0.099929	1.326 0.076292	1.416 0.104321	1.656 0.114256

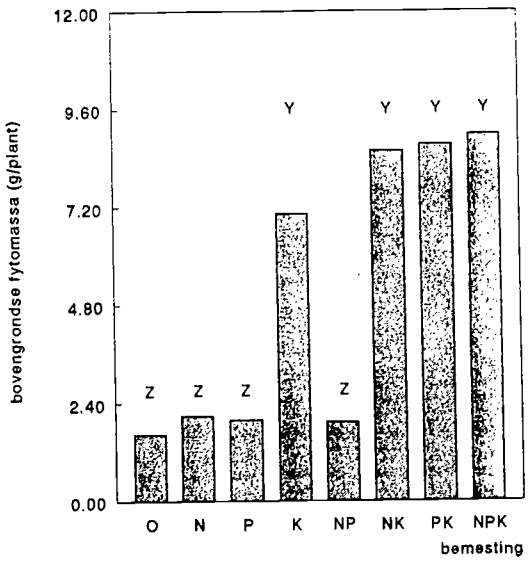
Bijlage X. Fytometer experiment: versgewichten.
Het effect van het toedienen van voedingsoplossingen op de bovengrondse fytomassaproduktie van *Holcus lanatus* groeiend op grond afkomstig van de Drentse Aa. Gemiddelde bovengrondse fytomassaproductie per pot (versgewicht, n=6 of n=7)
0 = onbemest; N = Stikstof toegediend, P = Fosfor toegediend
K = Kalium toegediend. Verder betekent b.v. NP: bemest met stikstof én fosfor. Eenzelfde cijfer boven twee balkjes betekent dat deze balkjes niet significant van elkaar verschillen (Tukey na log transformatie $p<0.05$).
bijlage 10a: goed ontwikkeld Calthion.
bijlage 10b: verdroogd perceel, droge behandeling, bekalkt.
bijlage 10c: verdroogd perceel, droge behandeling, onbekalkt.
bijlage 10d: verdroogd perceel, natte behandeling.



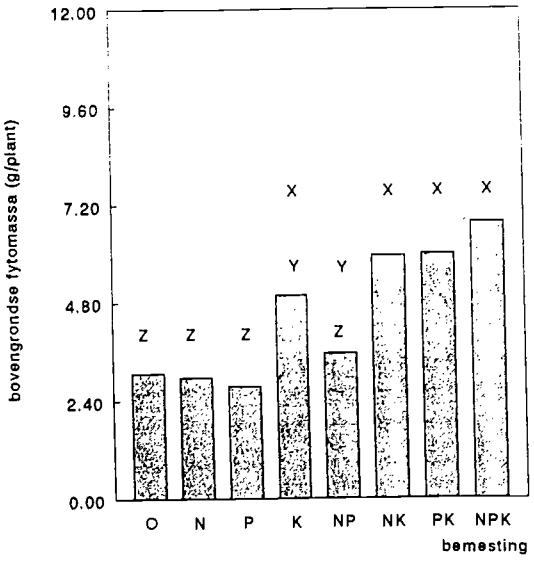
a

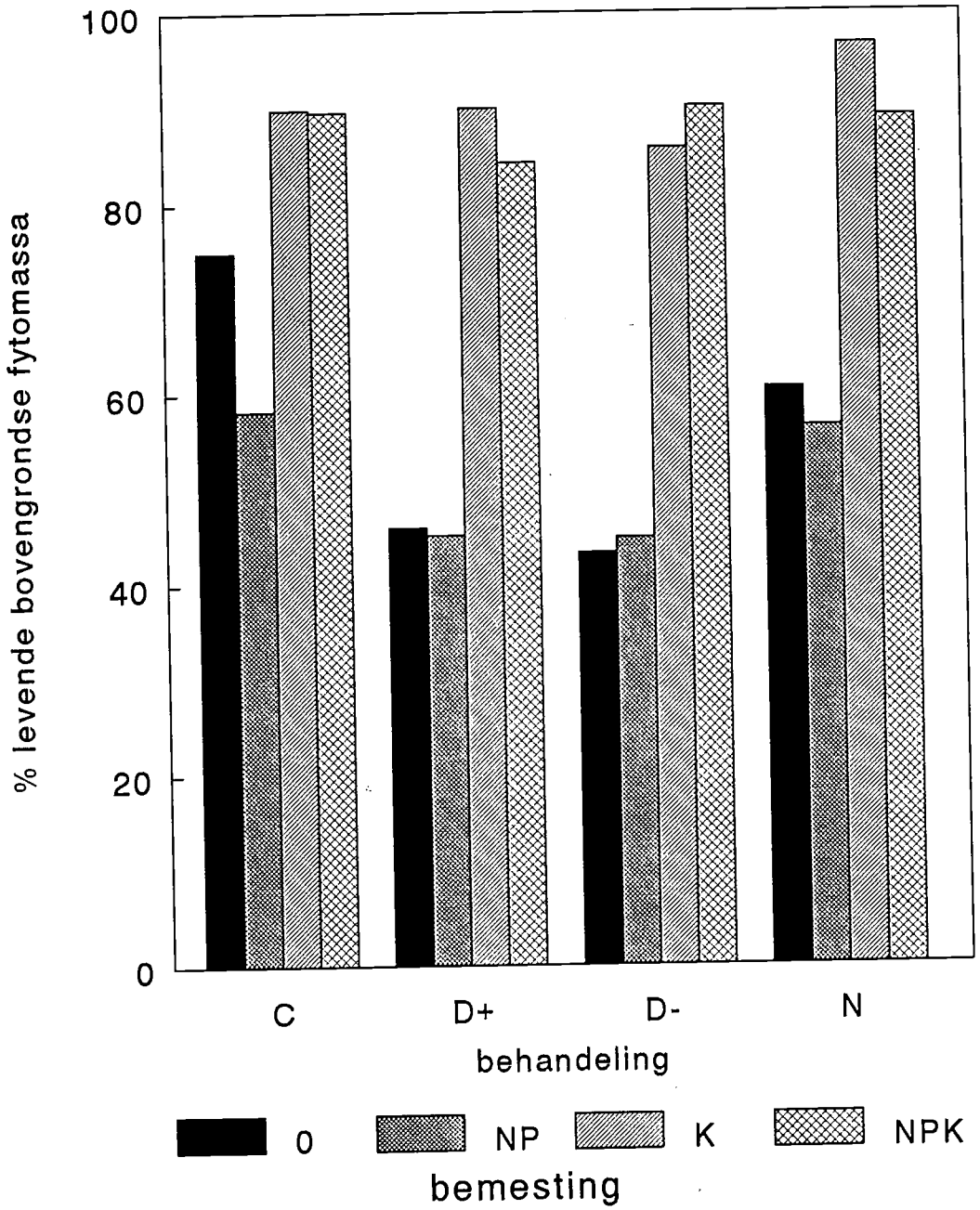


b.



c.



d.

Bijlage XI. Fytometerexperiment: Voor elke behandeling is voor 4 bemestingen het gemiddeld percentage levend gewicht weergegeven (n=6 of n=7). Afkoringen als in figuur 9.