

Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Gelderse Achterhoek)

D. van der Hoek
J. van Walsem



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



Wageningen Universiteit
Leerstoelgroep natuurbeheer en
plantenecologie

© 2004 Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport EC-LNV nr. 2004/282-O
Ede, 2004

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Expertisecentrum LNV onder vermelding van code 2004/282-O en het aantal exemplaren.

Oplage 100 exemplaren

Samenstelling D. van der Hoek, J. van Walsem

Druk Ministerie van LNV, directie IFA/Bedrijfsuitgeverij

Productie Expertisecentrum LNV
Bedrijfsvoering/Vormgeving en Presentatie
Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41
Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede
Telefoon : 0318 822500
Fax : 0318 822550
E-mail : Balie@minlnv.nl

Voorwoord

Een van de onderzoeksvelden binnen het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) van het Ministerie van LNV is "Natte Schraallanden". In deze natte ecosystemen is op praktijkschaal in diverse terreinen, onderzoek gedaan naar de effecten van maatregelen tegen verzuring, vermesting en verdroging. In het Korenburgerveen is het onderzoek in 1991 gestart; destijds nog in het kader van het programma Effectgerichte maatregelen (EGM). Verschillende instanties zijn bij de uitvoering van het onderzoek betrokken. De begeleiding is verzorgd door het deskundigenteam Natte Schraallanden.

Een beschrijving van het gebied (geologie, geschiedenis, waterhuishouding en vegetatie) is opgenomen in het rapport van de eerste fase monitoring (Van der Hoek et al., 1994). In Van der Hoek et al. (1994, 1996, 1999 en 2000) zijn de resultaten van de monitoring gedurende de periode 1991-1999, gerapporteerd.

Dit eindrapport bevat de ontwikkelingen in water, bodem en vegetatie gedurende 1991-2002 als gevolg van de genomen maatregelen. Het rapport bevat naast de resultaten van het onderzoek ook de consequenties voor de praktijk van het terreinbeheer.

Ir. H. de Wilde
Waarnemend Directeur Expertisecentrum LNV

Inhoudsopgave

Samenvatting		7
1	Inleiding	9
1.1	OBN kader en doel van het onderzoek	9
1.2	Hydrologische ligging	11
2	Materiaal en methoden	15
2.1	Meetnet monitoring	15
2.1.1	Gebied noord	16
2.1.2	Gebied zuid	16
2.2	Grondwaterstanden	16
2.2.1	Gebied noord	16
2.2.2	Gebied zuid	16
2.3	Grondwaterkwaliteit	16
2.4	Bodem	17
2.5	Vegetatie	17
2.6	Data-analyse	18
3	Resultaten en conclusies	19
3.1	Waterstanden	19
3.1.1	Slootpeilen	19
3.1.2	Drainage van de percelen	20
3.1.3	Conclusies	22
3.2	(Grond)waterkwaliteit	22
3.2.1	Plageffecten	22
3.2.2	Begreppelingseffecten	30
3.3	Bodem	38
3.3.1	Aanpak	38
3.3.2	Plageffecten	39
3.3.3	Temporele verschillen	45
3.4	Vegetatie	46
3.4.1	Aanpak	46
3.4.2	Plantengemeenschappen	46
3.4.3	Ecologische soortengroepen	50
3.4.4	Rode lijst soorten	51

4	Aanbevelingen voor inrichting en beheer	55
5	Literatuur	57
Bijlage	Codering bemonstering plagonderzoek en begreppelingsonderzoek	59

Samenvatting

In het natuurreservaat het Korenburgerveen is sinds de jaren vijftig de jaarlijks gemiddeld laagste grondwaterstand gedaald. Als gevolg van deze verdroging is er verzuring opgetreden in enkele schraalgraslanden die bestaan uit voormalige basenrijke blauwgraslanden en Kleine zeggenvegetaties. In het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN, Min. LNV) is op praktijkschaal onderzoek gedaan naar de effecten van maatregelen tegen de verzuring. De afvoer van het regenwater is verbeterd door (ondiep) te begreppelen en er zijn zure toplagen verwijderd door middel van plaggen.

Het doel van het OBN-onderzoek was om door middel van monitoring inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van begreppeling en plaggen voor het herstel van natte, basische standplaatscondities en voor de vestiging en ontwikkeling van verzuringsgevoelige vegetaties. Er is een vergelijkend onderzoek gedaan naar (grond) waterstand en -kwaliteit, bodem en vegetatie in relatie tot de wijze van begreppeling en het plaggen in twee gebieden: gebied noord en gebied zuid. Het drainagesysteem van deze gebieden verschilt hierin dat, aansluitend op een tweetal diepe greppels, alleen in gebied zuid meerdere ondiepe greppels zijn aangebracht. Tijdens de monitoringsperiode is de afwatering van de schraalgraslanden geoptimaliseerd. Pas na het uitvoeren van hydrologische maatregelen (1996) zijn er 's zomers geen extreem lage slootpeilen meer waargenomen; er zijn sindsdien wel langdurig hoge peilen en inundaties opgetreden. In natte tijden worden de schraalgraslanden door de diepe greppels gedraineerd en hebben de plaglekken een waterafvoerende functie. Ondiepe greppeltjes zorgen in natte tijden bij de dan heersende hoge grondwaterstanden voor een snelle afvoer van neerslagwater.

Het plaggen heeft in gebied noord, geleid tot hogere calcium- en bicarbonaat gehalten van het grondwater terwijl het sulfaat gehalte is verlaagd. Binnen gebied noord bleken er ruimtelijke verschillen in de grondwaterkwaliteit voor te komen die door de hoogteligging zijn veroorzaakt: op laaggelegen plaatsen en in het midden van het onderzoeksperceel is het grondwater beter gebufferd. Ook zijn er belangrijke grondwaterkwaliteitsverschillen in de tijd waargenomen, zowel tussen de seizoenen als gedurende de twaalf jaar van de monitoring. In het zomerseizoen treden er hogere bicarbonaatgehalten op, vooral op de geplagde plekken. Er werden trends aangetoond in het calcium-, bicarbonaat- en sulfaat gehalte. Het calciumgehalte van het grondwater is vooral op laaggelegen plaatsen, waar voorheen hogere concentraties voorkwamen, afgenomen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een afname van de kwel. Het bicarbonaat gehalte van het grondwater daarentegen is op de laaggelegen plaatsen juist toegenomen terwijl daar ook een afname van het sulfaat gehalte is opgetreden. Deze resultaten wijzen erop dat er hier sulfaatreductie plaatsvindt.

Het verschil in wijze van begreppeling verklaart dat het calcium- en het bicarbonaatgehalte van het grondwater in gebied zuid hoger zijn dan langs de greppels in gebied noord. De relatief hoge bicarbonaatgehalten die in het grondwater nabij de ondiepe greppeltjes werden aangetroffen bevestigen dat de greppeltjes 's winters aan weerszijden een smalle zone draineren; zij voeren dan neerslagwater af. De neerslaglenzen in de percelen zijn als gevolg daarvan in gebied zuid zwak ontwikkeld; ze zijn in het midden van de percelen dikker dan langs de greppeltjes. Dit geldt vooral voor de lage delen van dit gebied. Wanneer ondiepe greppels ontbreken, zoals in gebied noord, ontwikkelt zich in het perceel, vooral op de hoge plaatsen, een

relatief dikke neerslaglens. De lens is dun in het midden van het perceel en neemt toe in dikte in de richting van de diepe greppels. Op lage plaatsen in gebied noord is de neerslaglens minder ontwikkeld als gevolg van de sterkere kwel. De diepe greppels voeren zowel neerslagwater als grondwater af. In het droge seizoen infiltreert er water uit de greppels het perceel in.

Plaggen heeft overal een verhoging van het zuurbufferend vermogen van de bodem tot gevolg gehad, maar het buffermechanisme is niet sterk. Het plaggen is het meest effectief op de laaggelegen plaatsen in beide schraalgraslanden, in het bijzonder in het midden van gebied noord. De bodem van hooggelegen plaatsen is relatief zwak gebufferd en plaggen leidt hier niet of nauwelijks tot een verbetering. Het plaggen heeft in gebied noord, in tegenstelling tot gebied zuid, geen (verlagend) effect gehad op het organische stof gehalte en op de nutriëntenvoorraad. Dit komt omdat de sterk humeuze A horizont hier relatief dik is en bij het plaggen nauwelijks werd aangetast. Van de beschikbare nutriënten bleek alleen P-oxalaat door het plaggen verlaagd te zijn, vooral in gebied noord. Op plagplekken is een toename van pH-H₂O en pH-KCl opgetreden tijdens de meetperiode (1991-2002), dit in tegenstelling tot de niet geplagde plekken waar geen trend kon worden aangetoond. Er heeft in die tijd overal een afname plaatsgevonden van P-water. Omdat de biomassa-productie en de soortensamenstelling van blauwgrasland en Kleine zeggevegetaties door P wordt bepaald kan worden gesteld dat het plaggen naast een verhoging van het bufferend vermogen van de bodem heeft geleid tot een belangrijke verschraling.

De variatie aan plantengemeenschappen die in de plagplekken is ontstaan wordt bepaald door de tijdsduur na het plaggen en door de variatie in hoogteligging. Op de hoogstgelegen plagplekken ontwikkelt de vegetatie zich in de richting van heischraalgrasland, op intermediair gelegen plekken komen blauwgraslandsoorten voor terwijl op de laagstgelegen plagplekken een ontwikkeling naar kleine Zeggevegetaties optreedt. De vegetatieverschillen tussen beide gebieden zijn klein en er zijn (nog) geen opvallende vegetatieverschillen op plagplekken waargenomen die het gevolg zijn van de wijze van begreppeling.

In de Kleine zeggevegetaties van niet-geplagde plaatsen heeft mos (vooral Haarmos) een hoge bedekking. In gebied zuid komen meer soorten van heischrale graslanden voor, vooral op de hoger gelegen plaatsen. Sinds 1991 is de vegetatie van de niet-geplagde plaatsen nauwelijks veranderd. Er zijn ook geen positie effecten aangetroffen.

Het plaggen heeft geleid tot een toename van het aantal rode lijst soorten. Op niet geplagde plaatsen in gebied zuid is het aantal rode lijst soorten gelijk gebleven en in gebied noord is het aantal afgenomen (op meer gebufferde plaatsen) of zijn de rode lijstsoorten zelfs verdwenen.

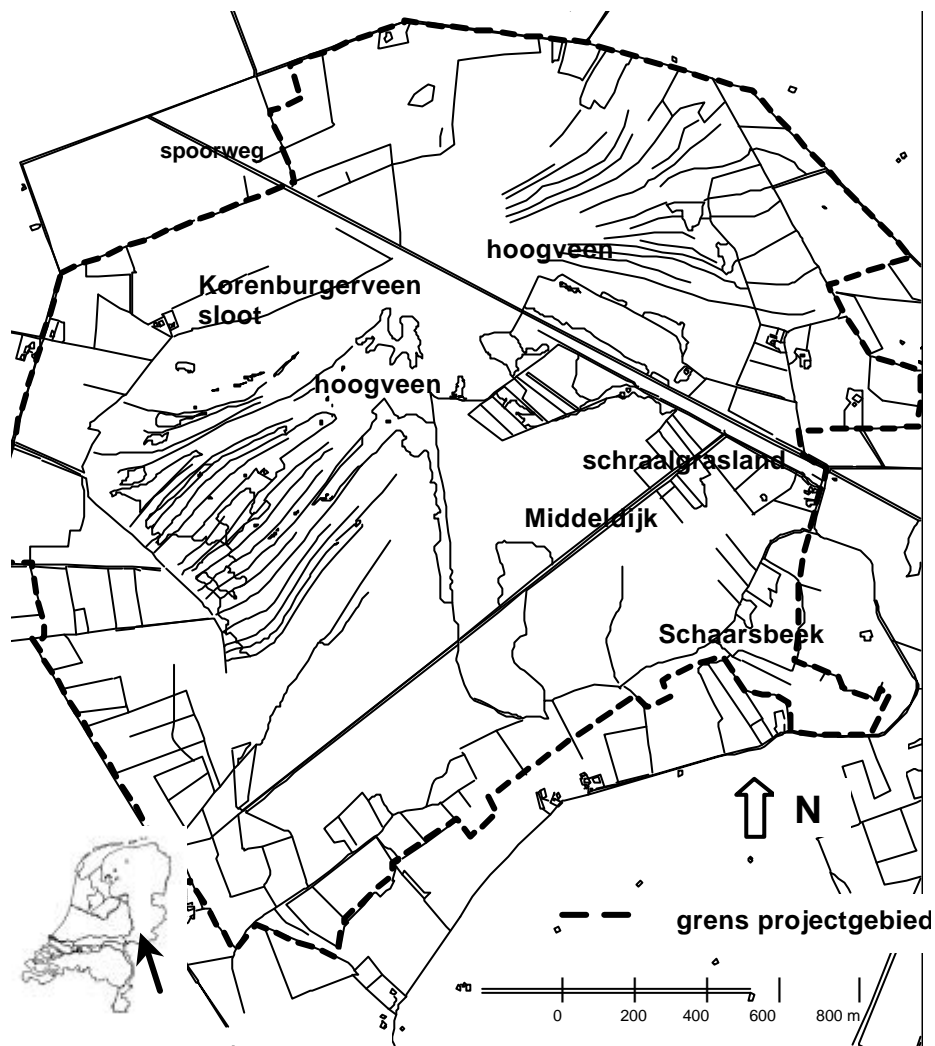
Door een zorgvuldig peilbeheer moet het mogelijk zijn om bij de huidige waterhuishoudkundige inrichting het optreden van inundaties te beperken en hoge zomerpeilen te behouden. Met aanvullende maatregelen, zoals ondiepe begreppeling en plaggen, is het haalbaar om vooral op lage plaatsen het aandeel van blauwgrasland uit te breiden en het aandeel van de Kleine zeggegemeenschappen te beperken.

1 Inleiding

1.1 OBN kader en doel van het onderzoek

Een van de onderzoeksobjecten binnen het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) van het Ministerie L en V, is "Natte Schraallanden". In deze natte ecosystemen is op praktijkschaal in diverse terreinen, waaronder het Korenburgerveen, onderzoek gedaan naar de effecten van maatregelen tegen verzuring en vermisting. Het onderzoek is in 1991 gestart in het kader van het programma Effectgerichte maatregelen (EGM). Verschillende instanties zijn bij de uitvoering van het onderzoek betrokken. De begeleiding is verzorgd door het deskundigenteam waarin de onderzoekers zitting hebben.

De schraalgraslanden die door de Wageningen Universiteit zijn onderzocht bevinden zich aan de rand van het Korenburgerveen, aan weerszijden van de Middeldijk (zie Figuur 1). De schraalgraslanden bestaan uit voormalige basenrijke blauwgraslanden en Kleine zeggenvegetaties.



Figuur 1 Ligging schraalgraslanden in het natuureservaat het Korenburgerveen.

In de schraalgraslanden van het Korenburgerveen is gezorgd voor een verbeterde afvoer van het regenwater door (ondiep) te begreppelen en zijn zure toplagen verwijderd door middel van pluggen (Jansen, 1991). Het doel van het OBN-onderzoek in de schraalgraslanden was om door middel van monitoring inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van begreppeling en pluggen voor het herstel van natte, basische standplaatscondities en voor de vestiging en ontwikkeling van verzuringsgevoelige soorten en vegetaties. De verwachting was dat verzuringsgevoelige soorten en vegetatietypen door deze lokale maatregelen zouden kunnen worden hersteld en behouden, totdat de depositie en de ontwatering vanuit de omgeving in voldoende mate zou zijn teruggebracht.

In dit eindrapport wordt er een overzicht gegeven van de ontwikkelingen die in water, bodem en vegetatie gedurende 1991-2002 zijn opgetreden onder invloed van de genomen maatregelen. In dit rapport zijn ook de analysegegevens van de laatste, extensieve, monitoringsfase (2000-2002) verwerkt. In Van der Hoek et al. (1994, 1996, 1999 en 2000) zijn de gegevens en resultaten van de voorgaande monitoring, gedurende de periode 1991-1999, gerapporteerd.

Voor een algemene beschrijving van het gebied (geologie, geschiedenis, waterhuishouding en vegetatie) wordt verwezen naar het rapport van de eerste fase monitoring (Van der Hoek et al., 1994).

1.2 Hydrologische ligging

Het Korenbugerveen is gelegen op de westelijk rand van een brede, diepe N-Z smeltwatergeul. De schraalgraslanden staan onder invloed van grondwater dat via de smeltwatergeul uit het noorden en noordoosten toestroomt. Dit water is voor een deel afkomstig uit het Meddose Veengebied en uit het nabijgelegen agrarische gebied (Figuur 2). Deze aanvoer gaat gepaard met kwel in de schraalgraslanden, vooral in het natte seizoen.

Al eerder is geconstateerd (Straathof en Vegt, 1979) dat de waterstanden in het hele natuurreservaat sterk fluctueren. Dit is het gevolg van de aanzienlijke grondwateronttrekkingen die in het stroomgebied plaatsvinden en van de waterafvoer in het agrarische gebied. De Schaarsbeek, die is aangesloten op een uitgebreid afwateringsstelsel, heeft een drainerende werking.

De schraalgraslanden zijn niet alleen ontstaan onder de invloed van toestromend grondwater maar zijn ook beïnvloed door oppervlaktewater. Vooral in natte tijden had het schraalgrasland dat ligt ten noorden van de Middeldijk te maken met oppervlaktewater dat via een noordelijk gelegen verbindingsgeul uit het Meddose veengebied werd aangevoerd en met eutroof water uit de spoorsloot dat het schraalgrasland incidenteel overstroomde.



Figuur 2 De stroming van het grondwater in het Tweede watervoerende pakket naar: Waterschap Rijn en IJssel, 1998).

Tijdens de monitoringsperiode is de lokale waterhuishouding van de schraalgraslanden in gebied noord enkele keren aangepast. Allereerst is bij de start van het onderzoek (1992) een damwand aangebracht, halverwege de oostelijke sloot bij het onderzoeksperceel, om grondwaterstroming in wel en niet gedraineerde delen met elkaar te kunnen vergelijken. De beheerder heeft nadien de afwatering enkele keren gewijzigd om de grote fluctuaties in de grondwaterstanden en de toestroming van oppervlaktewater van buiten het gebied te beperken. Tot 1994 verliep de afwatering van gebied noord via twee sloten langs de Middeldijk. De noordelijke sloot voerde het water af naar het hoogveen, maar kon via een duiker en de zuidelijke sloot langs de Middeldijk lozen op de Schaarsbeek. Te hoge waterstanden in het hoogveengebied werden voorkomen door te spuien via pvc pijpen op de Schaarsbeek. In 1994 werden er twee houten damwanden in de sloot ten noorden van de Middeldijk aangebracht, uit het oogpunt van waterconservering. Figuur 3 toont de afwatering zoals die nadien tot 1996 functioneerde. In gebied noord verliep de waterafvoer sindsdien via een duiker onder de Middeldijk en de sloot langs de Middeldijk (zuidzijde) naar de sloot die het water in zuidelijke richting naar de Schaarsbeek afvoerde. Eind 1995 werd deze afwatering naar de Schaarsbeek geblokkeerd d.m.v. een aarden dam. Het overtollige water werd in het ten zuidwesten gelegen elzenbroek opgevangen. Bij extreem hoge waterstanden kon het water over deze dam stromen naar de Schaarsbeek. In natte periodes kwam het voor dat water afkomstig uit de sloot langs het spoor om de oostelijke damwand heen stroomde, het noordelijke schraalgrasland in.

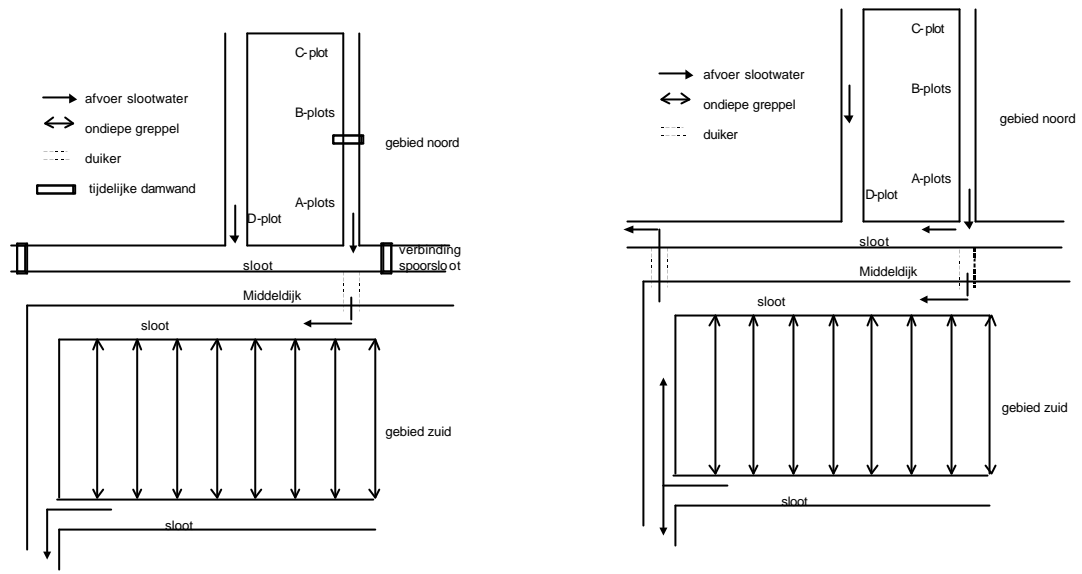
In 1996 zijn er de volgende wijzigingen in de afwatering aangebracht: de pvc pijpen, waardoor het hoogveengebied bij hoge waterstanden losde op de Schaarsbeek, werden afgesloten. Bovendien werden de damwanden in de sloot aan de noordzijde van de Middeldijk verwijderd; de westelijke damwand werd vervangen door een aarden dam waar het water overheen kon stromen, richting veengebied. De duiker bij de spoorloot werd afgesloten en er werd een extra duiker in de Middeldijk aangebracht die beide afvoersloten langs de Middeldijk verbindt. De afwatering van gebied noord verloopt sindsdien via deze twee sloten naar het veengebied, dat zelf zijn overtollige water in de zuidoost hoek van het reservaat kan lozen op de Schaarsbeek.

Later werd er nog een tweetal aanvullende maatregelen uitgevoerd om het aandeel van overtollig neerslagwater in natte tijden te kunnen beperken: In 1999 is de aarden dam in de sloot naar de Schaarsbeek voorzien van een pvc pijp; deze kan worden afgesloten als het peil in de schraallanden teveel daalt. In 2001 werd er rondom de schraalgraslanden een aarden wal aangebracht om te voorkomen dat in natte tijden water vanuit het veengebied in de schraalgraslanden stroomt.

De houten damwand in de sloot langs het noordelijk onderzoeksperceel functioneerde na 1996 slecht; hij is verwijderd in 2002.

Deze maatregelen van 1996 in de schraalgraslanden en hun omgeving zijn ontworpen en uitgevoerd om te lage zomerstanden te voorkomen. Later zijn er aanvullende maatregelen genomen ter bestrijding van te hoge waterstanden (en inundaties) in het natte seizoen.

Volgens het Hydrologisch inrichtingsplan van het Korenburgerveen (Hullenaar, 1998) worden er nu in het natuurreservaat en in zijn omgeving hydrologische maatregelen genomen om het hoogveen en de schraalgraslanden te herstellen. In 2002 zijn er volgens dit plan uit het oogpunt van waterconservering in het veengebied lange damwanden aangebracht. Verwacht wordt dat hierdoor tevens de aanvoer met ondiep grondwater naar de schraalgraslanden wordt vergroot. Het waterverlies uit de schraalgraslanden door wegzijging naar de Schaarsbeek zal worden beperkt door verhoging van zijn peil. Per saldo zullen deze maatregelen de kwel in de schraalgraslanden versterken, volgens een prognose van Waterschap Rijn en IJssel (1998).

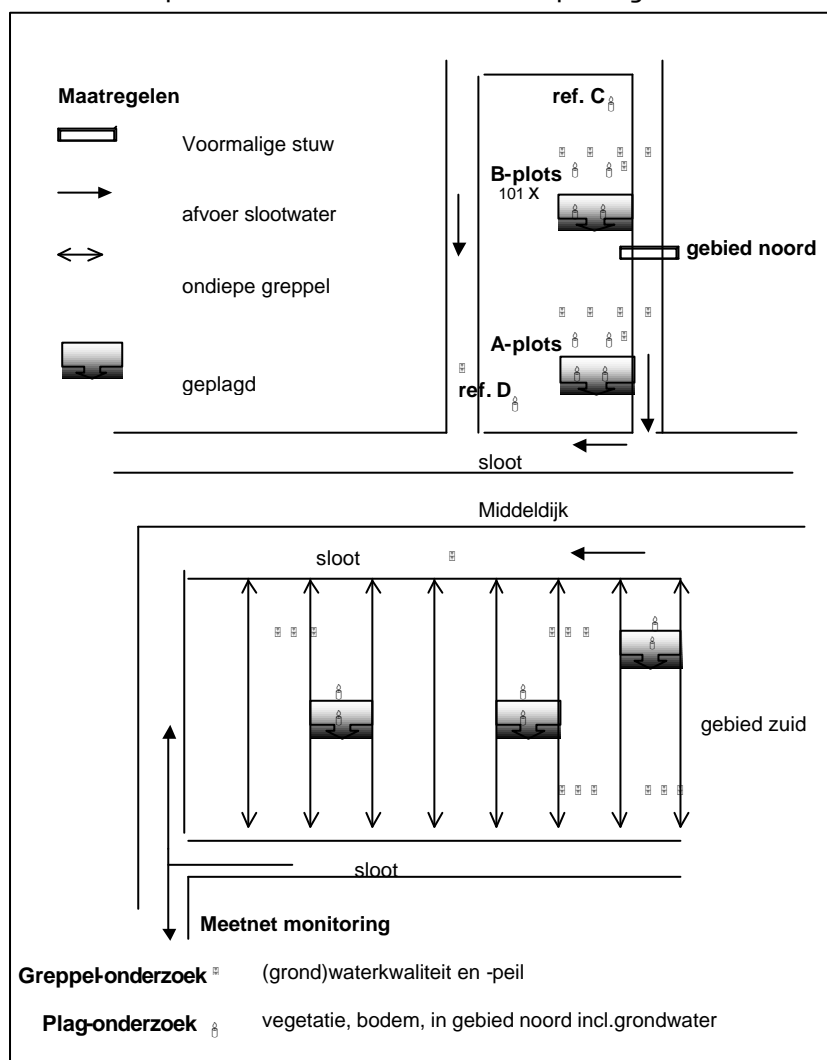


Figuur 3 Afwatering van de schraalgraslanden voor- en na 1996.

2 Materiaal en methoden

2.1 Meetnet monitoring

Figuur 4 geeft een overzicht van het meetnet in de schraalgraslanden. Het monitoringsonderzoek vindt plaats in twee schraalgraslanden aan weerszijden van de Middeldijk: gebied Noord (sinds 1991) en in gebied Zuid (sinds 1997). In Bijlage 1 zijn de codes vermeld van de plots waar het onderzoek heeft plaatsgevonden.



Figuur 4 Ligging van de schraallanden van het Korenburgerveen (gebied noord en -zuid). Voor informatie over de codering van de plots voor het plag- en begreppelingsonderzoek, zie Bijlage 1.

2.1.1 Gebied noord

De A-plots zijn gelegen nabij de in 1991 gegraven 70 cm diepe sloot, die in maart 1992 halverwege met een damwand werd afgesloten om te voorkomen dat er een drainerende werking zou optreden van de B-plots. De A-plots zijn (hydrologisch) hoog- en de B-plots zijn (hydrologisch) laaggelegen. De damwand functioneerde niet meer na 1996 en werd verwijderd. Op beide locaties komt, aansluitend op de sloot, een plagstrook voor van 6 x 10 m. In elke plagstrook zijn 2 vaste monsterplaatsen gelegen (op 2 en 9 m afstand van de sloot) en naast elke monsterplaats komt op een overeenkomstige positie een niet-geplagde controle plot voor. De plots A₁, A₃, B₁ en B₃ zijn gelegen in de geplagde stroken. A₂, A₄, B₂ en B₄ zijn voor deze plots de niet geplagde referenties (Bijlage 1). Plot C en D zijn niet-geplagde controle plots binnen gebied noord. Zij zijn aangelegd om zicht te kunnen krijgen op het voorkomen van een eventuele gradiënt in het perceel.

2.1.2 Gebied zuid

In dit gebied zijn in 1990 acht ondiepe greppels (20 cm breed en diep) aangebracht, waardoor er percelen van 7 m breed ontstonden; bovendien is er, aansluitend op de greppeltjes, op enkele plaatsen geplagd. De greppels zijn aan noord- en zuidzijde verbonden met sloten die zorgdragen voor de afvoer van het water. Deze afvoer verloopt nu via een duiker onder de Middeldijk het veengebied in. De mogelijkheid bestaat echter om het water in zuidelijke richting naar de Schaarsbeek af te voeren.

2.2 Grondwaterstanden

2.2.1 Gebied noord

In het kader van de monitoring zijn bij elk plot een ondiepe peilbuis (fd. 20 cm -mv) en een diepere peilbuis (fd. 60 cm -mv) geplaatst, welke gecodeerd werden als bijvoorbeeld A_{3o} en A_{3d}. Het peil van de sloot bij A (A_s) en bij D (D_s) werd geregistreerd. Om een drainerende of infiltrerende werking van de sloot te kunnen waarnemen werden er grenzend aan de slootkanten twee extra peilbuizen geplaatst (A_o en B_o). De grondwaterstanden zijn 2x per maand door medewerkers van Natuurmonumenten opgenomen, sinds 1991. Op basis van deze gegevens zijn er tijdstijghoogtelijnen geconstrueerd die zijn geïnterpreteerd om inzicht te krijgen in de hydrologische variatie van dit gebied in relatie tot het plagen. In het kader van het aanvullende onderzoek naar de greppelwerking zijn in dit gebied vier extra raaien met peilbuizen aangebracht, waarvan er twee gedeeltelijk overlappen met het aanwezige meetnet.

2.2.2 Gebied zuid

Er zijn alleen voor het onderzoek naar de greppelwerking peilbuizen geplaatst: 4 korte raaien van 3 peilbuizen (fd. 60 cm -mv), waarvan één in de greppel. De raaien staan loodrecht op de ondiepe greppels. Twee raaien liggen op relatief hoge- en twee op relatief lage plaatsen in het terrein.

2.3 Grondwaterkwaliteit

Het grondwater is in de laatste monitoringsperiode twee maal bemonsterd, op 16-03-99 en 16-08-99, om informatie te verkrijgen over de kwaliteit van het grondwater in het droge en natte seizoen. De bemonstering van het (grond)water gebeurde op dezelfde wijze als in voorgaande monitoringsrapporten werd beschreven.

Om een indruk te krijgen van de chemische samenstelling van het water en de veranderingen hierin zijn de volgende parameters bepaald: pH, EGV, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N en PO₄³⁻. De bepalingen zijn uitgevoerd overeenkomstig de laboratoriumhandleidingen van de sectie Natuurbeheer (WUR). De bewerking van de chemische analyseresultaten vond plaats met behulp van het computerprogramma MAIONF versie 2.0. Per monster werd de chemische verwant-

schap berekend met drie standaardreferentiemonsters: Atmotroof, Lithotroof (Angelo) en Rijn (Souer,1988). In een aparte rekenmodule (Jansen,1996) werd de verwantschap van elk monster met de standaardreferentiemonsters, vergeleken met die van monsters uit een zgn. MIX-bestand. Op deze wijze kon van elk monster worden berekend wat de mengverhouding (op volume basis) van deze referentiemonsters is en in welke mate er sprake is van verontreiniging.

Alle sinds 1991 verzamelde (grond)waterkwaliteitsgegevens zijn voor deze rapportage samengevoegd tot een tweetal datasets:

1. Gebied noord: diepte 20 en 60 cm. Locatie A en B: geplagd en controle op, rand en midden perceel en twee referentie locaties. Frequentie 2x/jr gedurende 1991-2002.
2. Gebied noord en gebied zuid: diepte 10, 20, 40 en 60 cm in raaien dwars op greppel. Twee raaien op locatie A en B (gebied noord) en 4 raaien in gebied zuid. Afstand tot de greppel van meetpunten in gebied noord: 0,5, 3 en 13 m in gebied zuid: 0,5 en 3 m. Frequentie 2x/jr 1998-2002.

Dataset 1 is gebruikt om inzicht te krijgen in het effect van plaggen op de grondwaterkwaliteit. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen ruimtelijke- en temporele verschillen.

Dataset 2 is gebruikt om de invloed van de greppels op de grondwaterkwaliteit na te gaan.

2.4 Bodem

In het kader van het monitoringsonderzoek werd de bodem bemonsterd op de plaatsen waar ook vegetatieopnamen zijn gemaakt. De bodembemonstering is uitgevoerd met behulp van een wortelboor volgens de methode die is beschreven in Van der Hoek et.al. 1994.

Bij de analyse van de bodemmonsters zijn de volgende variabelen bepaald:

- pH-H₂O en pH-KCl;
- vochtgehalte (A-getal), gloeiverlies (% organische stof), %C (Kurmies-methode);
- P-water, P-oxalaat;
- N-tot en P-tot (destructie);
- CEC-gebufferd en basenverzadiging;
- kationenbezetting: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺,

De bodem is in gebied noord bemonsterd voor het plaggen (1991,) en vervolgens in 1993, 1997, 1999 en 2002 op zowel de geplagde- als de controle plots van de locaties A en B en op de referentie locaties C en D. In gebied zuid is in 1997, 1999 en 2002 gemonsterd op 3 locaties (geplagd en controle): M15/M18 (hooggelegen), M14/M19 en M16/M20 (laaggelegen). Zie Bijlage 1.

Bij de data-analyse zijn de effecten van het plaggen op de bodem gerelateerd aan de ruimtelijke verschillen op een tweetal schaalniveaus:

1. binnen gebied noord (1993– 2002) en binnen gebied zuid (1997– 2002).
2. tussen gebied noord en zuid (1997–2002). De bemonstering voor het plaggen (1991) is bij deze laatste vergelijking niet meegenomen.

2.5 Vegetatie

Van 10 PQ's uit gebied noord zijn in juli, voor het plaggen (1991) en in 1993, 1997, 1999 en 2001 op zowel de geplagde- als de controle plots van de locaties A en B en op de referentie locaties C en D vegetatieopnamen gemaakt volgens de methode van Braun-Blanquet (oppervlakte: 2*2 m; gecombineerde 9-delige schaal van Braun-Blanquet, Doing & Segal). In gebied zuid zijn in 1997, 1999 en 2001 vegetatieopnamen gemaakt op 3 locaties (elk met een geplagd- en een controle plot): M15/M18, M14/M19, M16/M20 (Bijlage 1). Er is ook aandacht gegeven aan de voorkomende mossen.

Om inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke- en temporele variatie in de vegetatie zijn alle vegetatieopnamen tezamen verwerkt met TWINSPAN. Bij de naamgeving van de clusters (plantengemeenschappen) werd gebruik gemaakt van Schaminee (1995, 1996).

Overeenkomstig het besluit binnen het Deskundigenteam Natte Schraallanden is de vegetatie bovendien geanalyseerd, in relatie tot de genomen maatregelen, op het voorkomen van ecologische soortengroepen volgens Everts & de Vries (Grootjans, et al., 2000). Daarvoor werd per opname de verdeling van de soorten over de verschillende ecologische groepen berekend op basis van de bedekking; per groep van opnames werd daarbij uitgegaan van de gemiddelde bedekking. Bovendien is de ontwikkeling van het voorkomen van rode lijst soorten berekend.

De verspreiding van de dominante plantensoorten over de plagplekken van gebied noord is in bovenvermelde jaren schetsmatig gekarteerd (Van der Hoek, 1994,1999).

2.6 Data-analyse

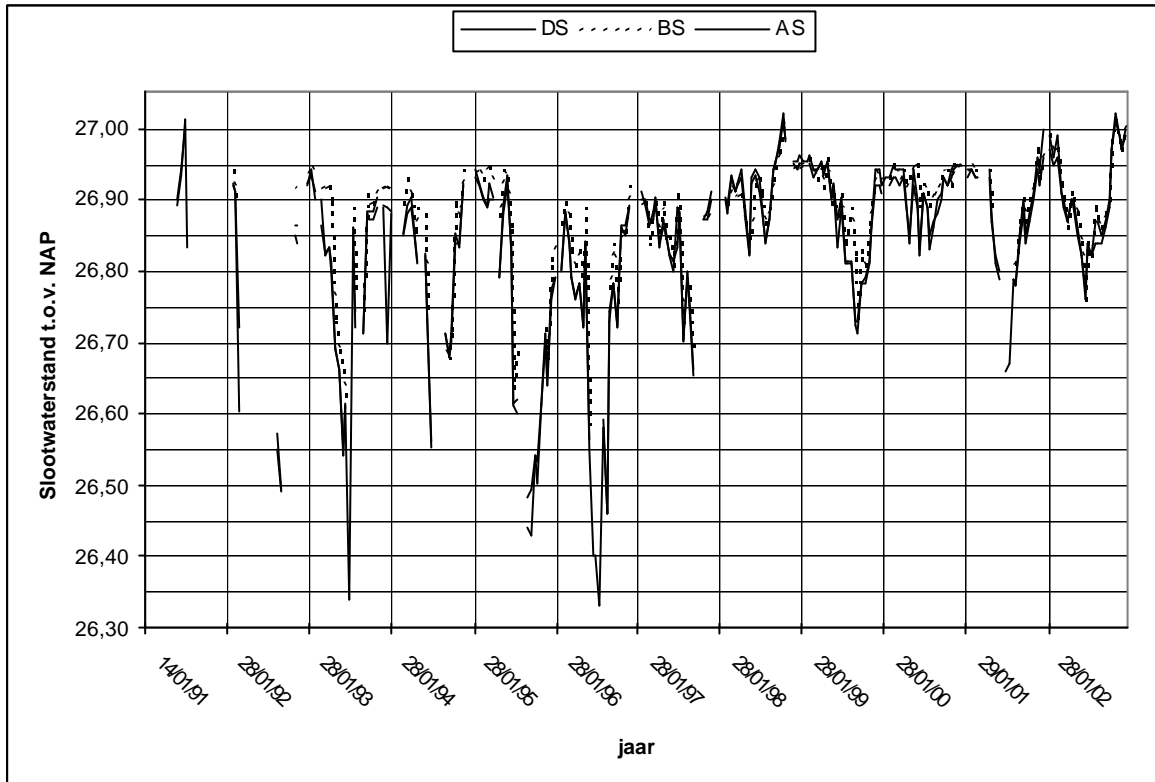
De statistische analyses (Factoriële variantie analyse en regressieanalyse) zijn uitgevoerd met SPSS.

3 Resultaten en conclusies

3.1 Waterstanden

3.1.1 Slootpeilen

Figuur 5 toont de fluctuaties in het peil van de sloten die het onderzoeksperceel in gebied noord omgrenzen. De meetpunten As en Bs zijn gelegen in de oostelijke randsloot respectievelijk ter hoogte van locatie A en B. Tot 1996 werd het water in deze sloot bij locatie B d.m.v. een damwand gestuwd. Voor 1996 was de waterhuishouding ingericht om overtollig water af te voeren naar de Schaarsbeek, deels via het veengebied. Dit resulteerde in relatief sterk wisselende slootwaterstanden. In natte winterperioden stonden de sloten vol en was het schraalgrasland plas dras. In droge zomerperioden viel de oostelijk sloot (As, Bs) droog. De westelijke sloot (Ds) bleef watervoerend door zijn grotere diepte. De sloot bij locatie B (Bs) stond in natte perioden relatief hoog, als gevolg van het opstuwen. Sinds 1996 fluctueren de slootpeilen minder. In dat jaar (1996) werd de waterhuishouding rondom het schraalgrasland gewijzigd in het kader van het op waterconservering gerichte beleid van het gehele reservaat. De sloten vallen sindsdien 's zomers niet meer droog maar er blijken langdurig hogere peilen voor te komen. De aanvullende maatregelen die de laatste jaren zijn genomen, zoals de regelbare lozing op de Schaarsbeek en de omkading van de schraalgraslanden, zijn bedoeld om inundaties zoveel mogelijk te beperken. Er is sinds 1996 geen peilverschil meer tussen de verschillende sloten in gebied noord.



Figuur 5 Slooppeilen t.o.v. NAP 1991-2002 bij locatie A (AS), B (BS) en D (DS).

3.1.2 Drainage van de percelen

3.1.2.1 Aanpak

De sloten (greppels) zijn in 1990 in de schraalgraslanden gegraven om in natte perioden zoveel mogelijk het neerslagwater af te voeren. Door op deze wijze de infiltratie van neerslagwater in de bodem te beperken zou tevens de kwel worden gestimuleerd (Wind, 1986).

De drainage van gebied noord wordt door de twee 70 cm diepe sloten verzorgd. In het afwateringssysteem van gebied zuid kunnen twee drainageniveaus worden onderscheiden, waarbij de hoofdafwatering wordt verzorgd door twee diepe sloten aan de noord en zuidgrens, en de detailafwatering door acht ondiepe greppels die dwars op deze afvoersloten zijn gelegen. De sloten van beide gebieden staan met elkaar in verbinding.

Door een onderlinge vergelijking van de (NAP) standen van het grondwater en van de sloten (greppels) is inzicht verkregen in de drainerende werking van de diepe sloten en van de ondiepe greppels in gebied noord en zuid.

3.1.2.2 Gebied noord

Van gebied noord waren gegevens beschikbaar over de gehele meetperiode 1991–2002; de resultaten van de vergelijking van de tijdstijghoogtelijnen voor dit gebied worden samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Vergelijking grondwater- en slootpeilen (NAP) binnen gebied noord in zeer natte- en natte perioden (slootpeil resp. hoger en lager dan 26.95 NAP), voor en na 1996.

Vergelijking peilen		Zeer natte periode		Natte periode	
type	locatie	Voor 1996	Na 1996	Voor 1996	Na 1996
Sloot – sloot	As – Bs	=	=	<	=
Grondwater – sloot	Ag – As	<	<	>	>
Grondwater – sloot	Bg – Bs	<	<	=	>
Grondwater: geplagd – controle	Ag, Bg	>	>	<	<
Grondwater – grondwater	Ag – Bg	=	=	<	=

s = slootpeil, g = grondwaterpeil

In zeer natte perioden, bij een slootpeil hoger dan 26.95 m NAP, bleek de drainage anders te werken dan in natte- en droge perioden (bij lagere slootpeilen).

In zeer natte perioden, zowel voor als na de maatregelen van 1996, staat de gehele sloot vol. Blijkbaar is de afvoer vanuit het schraalgraslandcomplex dan gestremd.

Vanuit de sloten infiltreert het water het perceel in ($A_g < A_s$ en $B_g < B_s$).

Via geïnundeerde plagplekken wordt de vernatting versterkt (Ag, Bg geplagd > Ag, Bg controle). Bij locatie B trad deze vernatting voor 1996 langdurig op omdat sloot B toen was gestuwd door de damwand.

In minder extreem natte perioden verschilt de situatie van voor 1996 van die van erna. Voor 1996 draineert sloot A wel en sloot B niet ($A_g > A_s$ en $B_g = B_s$). Het gevolg is dat het grondwater op locatie A lager is dan op locatie B ($A_g < B_g$) en dat in natte tijden de gemiddelde grondwaterstand op locatie B overeenkomt met het gemiddelde slootpeil van B ($B_g = B_s$). Na 1996 zijn de slootpeilen bij A en B gelijk ($A_s = B_s$). Het grondwaterpeil is dan middenin het gehele perceel hoger dan het slootpeil, wat wijst op een drainerende werking van de sloot over het gehele gebied ($A_g > A_s$ en $B_g > B_s$). De grondwaterstanden bij locatie A en B komen overeen ($A_g = B_g$).

De plagplekken hebben in natte tijden een sterk drainerende functie (Ag, Bg geplagd < Ag, Bg controle). Op de plagplekken van locatie A komen dan plas dras omstandigheden voor, en soms met een kortdurende inundatie, terwijl er bij B gedurende langere tijd inundaties optreden (in verband met de lagere ligging). In droge tijden infiltreert er slootwater het perceel in, als gevolg van de dalende grondwaterstanden.

3.1.2.3 Gebied zuid

Van gebied zuid zijn alleen gegevens beschikbaar over de peilen na 1996. De verschillen tussen de grondwaterstanden binnen dit gebied zijn kleiner dan in gebied noord. Deze verschillen worden in eerste instantie bepaald door de afvoer via de noordelijke en zuidelijke sloot. De grondwaterstanden midden in gebied zuid zijn hoger dan nabij deze twee afvoerende sloten. Het peil is in de greppeltjes iets hoger dan in de twee afvoerende sloten (Rovdan, 2003). De greppeltjes in gebied zuid functioneren alleen in natte tijden. De greppeltjes blijken de hoger gelegen plaatsen beter te draineren. De waterafvoer van lageregelegen plaatsen raakt bij een hoog peil van de afvoersloten gestremd. Omdat de grondwaterstandsverschillen in de percelen tussen de greppeltjes klein zijn, en de afvoer via de greppeltjes waarschijnlijk snel reageert, zijn er meer gedetailleerde waarnemingen nodig om de werking van de greppeltjes te beschrijven.

Het is opvallend dat de hoogste peilen in gebied zuid 26.95 NAP overschrijden d.w.z. hoger zijn dan in gebied noord. Dat betekent dat in zeer natte tijden de waterafvoer uit gebied noord belemmerd wordt. Waarschijnlijk is dit euvel inmiddels verholpen door de onlangs gerealiseerde lozing op de Schaarsbeek.

Rovdan (2003) heeft gedurende ruim een jaar (april 2001- september 2002) d.m.v. divers de (grond) waterpeilen in een perceel van beide gebieden om de 15 minuten geregistreerd. Met behulp van het SWAP model heeft zij de dynamiek van de grondwaterspiegel beschreven in relatie tot de uitgevoerde begreppeling en het plaggen. Plaggen en ondiepe greppels blijken ervoor te zorgen dat er in natte perioden meer neerslagwater oppervlakkig wordt afgevoerd (zie par. 3. 2. 2. 5).

3.1.3 Conclusies

Het afwateringsysteem van beide schraalgraslanden is zodanig dat met een gericht peilbeheer voorkomen kan worden dat in (zeer) natte tijden langdurige inundaties optreden, met name op de plagplekken. Bovendien kan met het peilbeheer de drainerende werking van de greppels worden gereguleerd.

Door het waterpeil in diepe greppels kan de mate van drainage worden geregeld op gebiedsniveau maar als gevolg van de heterogeniteit binnen een gebied (hoogteligging) en afstand tot de greppels zal de mate van infiltratie ruimtelijk verschillen.

Ondiepe begreppeling is een geschikte maatregel om de infiltratie van neerslagwater verder te beperken. Het is een aanvullende maatregel die effectief is op plaatsen met een relatief sterke kwel en biedt de mogelijkheid voor het verrichten van "maatwerk".

3.2 (Grond)waterkwaliteit

3.2.1 Plageffecten

3.2.1.1 Aanpak

De centrale onderzoeksvraag van het (grond)waterkwaliteitsonderzoek in gebied noord was: Wat is de effectiviteit van plaggen voor het herstel van het gebufferde grondwater in de bovengrond. Omdat verwacht werd dat het plageffect zou kunnen verschillen binnen het gebied, in verband met de abiotische heterogeniteit, is expliciet aandacht besteed aan het voorkomen van ruimtelijke verschillen in de plageffecten.

De volgende factoren- en hun interacties - werden getoetst op hun effect op de gemeten waterkwaliteitsvariabelen: plaggen (wel/niet), (hydrologische)hoogteligging (hooggelegen: locatie A / laaggelegen: locatie B), positie (perceelsrand /-midden) en diepte (20 cm / 60 cm). Bovendien werd verwacht dat het effect van het plaggen op de (grond) waterkwaliteit per seizoen (zomer / winter) zou kunnen verschillen en er werd een jaareffect verondersteld. De factor jaar bleek inderdaad een aantoonbaar effect te hebben, met vele interacties; om deze reden is het onderzoek naar de betekenis van deze factor apart uitgevoerd d.m.v. een trendanalyse (zie: par. 3. 2. 1. 3).

Achtereenvolgens worden de resultaten gepresenteerd van de analyse van de ruimtelijke verschillen in grondwaterkwaliteit (in relatie tot de seizoensafhankelijkheid) en van de trendanalyse.

3.2.1.2 Ruimtelijke verschillen

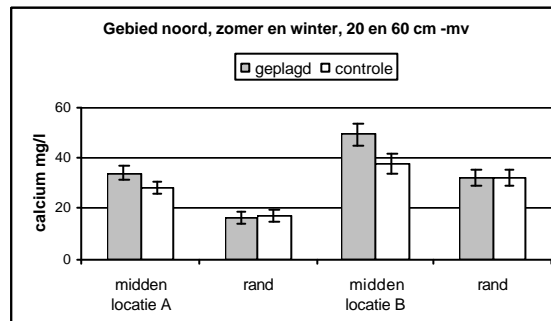
Tabel 2 geeft een overzicht van de onderscheiden factoren en de aangetoonde effecten op de gemeten waterkwaliteitsvariabelen. De bijbehorende figuren 6-16 tonen of de effecten positief dan wel negatief zijn en geven een beeld van de grootte van de effecten.

Tabel 2 Aangetoonde effecten van plaggen, hoogteligging, seizoen, diepte en positie (en interacties) op de kwaliteit van het grondwater in gebied noord. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$)

Variable Factor	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	EGV	pH	Vol% lith.	Fe ²⁺
Plaggen	X	XXX	XX	XXX	XXX			
Hoogte	XXX	XXX		X	XXX	XXX		
Seizoen		XXX		XX	XX		X	
Diepte		XXX	XX		XX			XXX
Positie	XXX	XXX		XX	XXX	XXX		
Plag x hoogte				X				
Plag x seiz				XX				
Hoogte x pos				X	XX	XX		
Hoogte x diepte				XX			X	
Hoogte x seiz				X			X	
Diepte x pos								XX
Plag x seiz x diepte					X	X		

Calcium

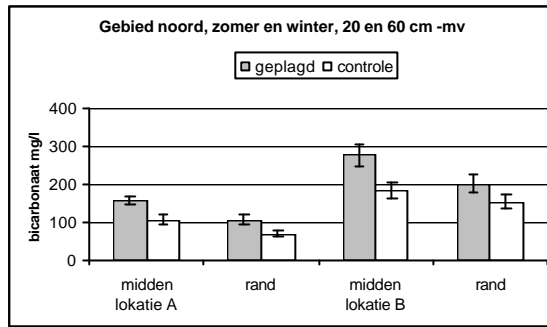
Op het calcium gehalte van het grondwater is een aantoonbaar effect gevonden van hoogte (locatie), positie, en plaggen; het plageffect is relatief minder relevant. Er werden geen interacties aangetroffen. Seizoen en diepte bleken geen aantoonbaar effect te hebben. Figuur 6 laat zien dat het calciumgehalte bij de laaggelegen locatie B hoger is dan bij de hooggelegen locatie A en dat in het midden van het perceel hogere calciumgehalten voorkomen dan aan de rand; op de geplagde plots is het calciumgehalte (midden perceel) hoger dan op de niet geplagde plots.



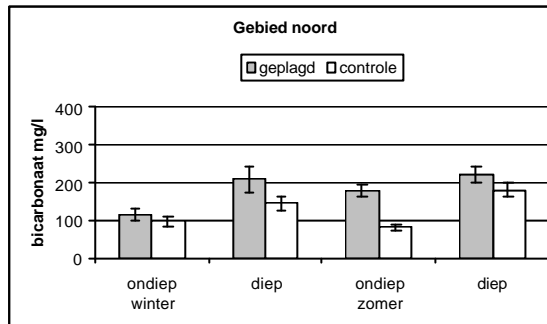
Figuur 6 Gemiddeld calciumgehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten en seizoenen) per locatie en positie.

Bicarbonaat

Alle factoren (plaggen, hoogte (locatie), seizoen, diepte en positie) hebben een sign. effect op het HCO₃⁻ gehalte van het grondwater, zonder dat er interacties bestaan. Figuur 7 toont dat het HCO₃⁻ gehalte bij laaggelegen locatie (B) hoger is dan bij de hooggelegen locatie (A) en dat in het midden van het perceel hogere HCO₃⁻ gehalten voorkomen dan aan de rand; op de geplagde plots is het HCO₃⁻ gehalte hoger dan op de niet geplagde plots. De HCO₃⁻ gehalten bleken 's zomers hoger te zijn dan 's winters en ze zijn op 60 cm diepte hoger dan op 20 cm diepte. Bij een aparte toets met de data van het zomerseizoen is een interactie tussen plaggen en diepte aangetroffen: het verschil in HCO₃⁻ gehalten tussen geplagde plots en controle plots is vooral groot op 20 cm diepte, (zie Figuur 8).



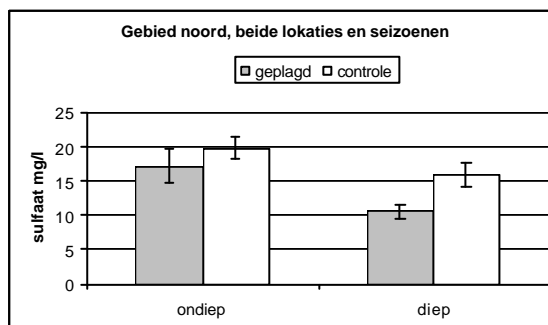
Figuur 7 Gemiddeld bicarbonaatgehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten en seizoenen) per locatie en positie.



Figuur 8 Gemiddeld bicarbonaatgehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide locaties en posities) per seizoen en diepte.

Sulfaat

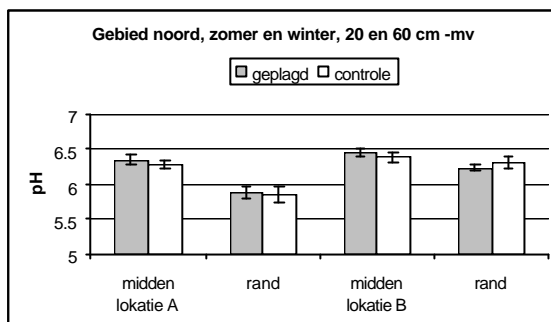
Het sulfaat gehalte blijkt gerelateerd te zijn aan de factoren plaggen en diepte. De sulfaatgehalten zijn op de plagplots lager dan op de controle plots; op 60 cm diepte bleken lagere sulfaatgehalten voor te komen dan op 20 cm diepte (zie Figuur 9).



Figuur 9 Gemiddeld sulfaatgehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide locaties en seizoenen) per diepte.

pH

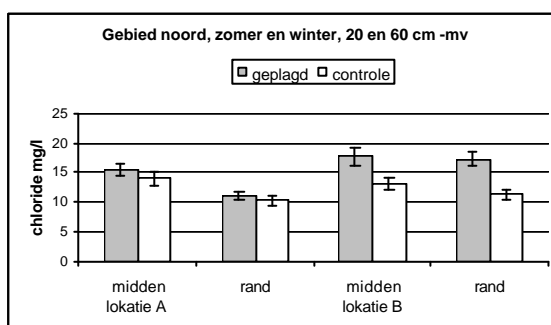
Figuur 10 illustreert de aangetoonde effecten van hoogteligging en positie op de pH. De pH op laaggelegen locatie (B) is hoger dan die op de hooggelegen locatie (A) en de waarden zijn midden op het perceel hoger dan aan de rand. Er werd geen onafhankelijk effect van plaggen (en van seizoenen en diepte) op de pH gevonden, maar wel een zwakke interactie plag x seizoen x diepte.



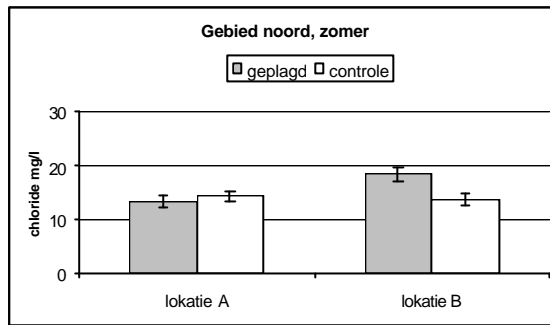
Figuur 10 Gemiddelde pH van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten en seizoenen) per locatie en positie.

Chloride

Er is een aantoonbaar effect gevonden van plaggen, hoogte, seizoen en positie op het chloride gehalte van het grondwater; het plageffect is relatief sterk. Bovendien werden er enkele interacties aangetroffen waaronder plaggen x hoogte en plaggen x seizoen. Figuur 11 laat zien dat het chloridegehalte op de geplagde plots hoger is dan op de niet geplagde plots, in het midden van het perceel komen hogere gehalten voor dan aan de rand en bij de laaggelegen locatie (B) is het gehalte hoger dan bij de hooggelegen locatie (A). De chloride gehalten bleken 's zomers hoger te zijn dan 's winters. Bij een aparte analyse van de data van het zomerseizoen is een interactie plaggen x hoogte aangetroffen hetgeen wijst op de hogere chloride gehalten in de geplagde plots van de laaggelegen locatie (B) (Figuur 12).



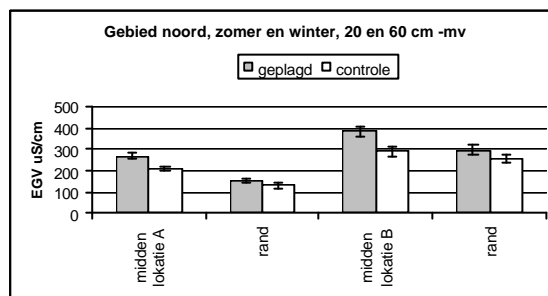
Figuur 11 Gemiddeld chloridegehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten en seizoenen) per locatie en positie.



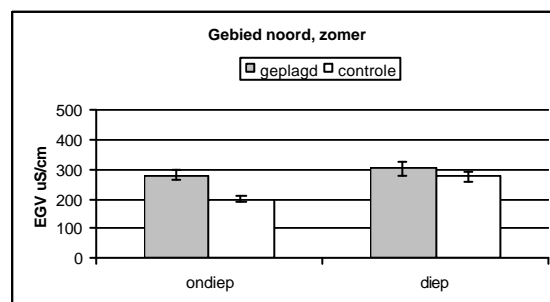
Figuur 12 Gemiddeld chloridegehalte van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten, posities en seizoenen) per locatie.

Elektrisch geleidingsvermogen (EGV)

De effecten van de onderscheiden factoren op het EGV van het grondwater blijken sterk overeen te komen met die op het chloride gehalten (zie Figuur 13). Het enige belangrijke verschil is dat er bij het EGV ook een aantoonbaar diepte effect werd aangetroffen wat wijst naar de hogere waarden op grotere diepten. Bij een aparte analyse van de data van het zomerseizoen blijkt dat er een interactie plaggen x diepte is, wat erop wijst dat het plaggen alleen in het ondiepe grondwater heeft geleid tot hogere EGV waarden in de zomer (Figuur 14).



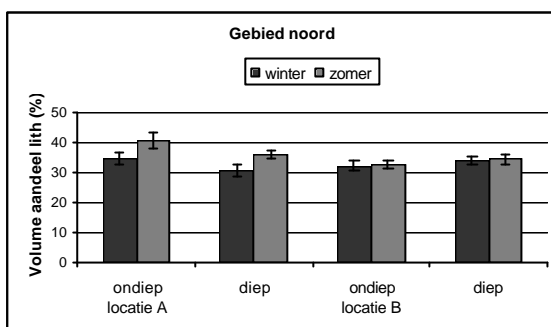
Figuur 13 Gemiddelde Elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide diepten en seizoenen) per locatie en positie.



Figuur 14 Gemiddeld Gemiddelde Elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het grondwater op geplagde- en controle plots van gebied noord (beide locaties en seizoenen) per diepte.

Aandeel lithotroof water (vol% Li)

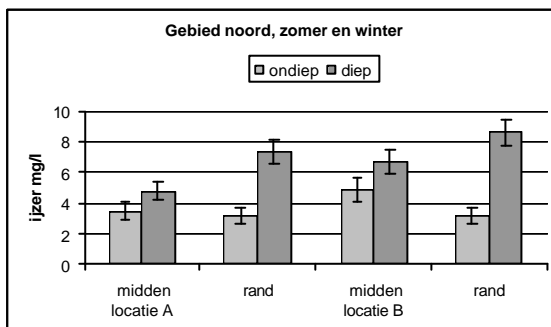
Er is geen onafhankelijk effect van plaggen op het aandeel van lithotroof water (vol% Li) gevonden. De factor hoogte (locatie) heeft geen onafhankelijk effect maar bleek wel een interactie te hebben met seizoenen en diepte. Figuur 15 toont dat alleen op locatie A er 's zomers, zowel ondiep als diep, meer lithogeen water aanwezig is dan 's winters. Dit is het gevolg van het hoge aandeel van lithotroof water dat 's zomers in de rand bij locatie A wordt aangetroffen. Blijkbaar wordt hier het atmotrofe water het beste afgevoerd (en is er een sterkere kwel) of er is infiltratie van relatief lithotroof water vanuit de sloot het perceel in (bijv. plasvorming). Zie par. 3.2.2.



Figuur 15 Gemiddeld volume aandeel van lithotroof water in het grondwater van het winter- en zomerseizoen van gebied noord (zowel geplagde- als controle plots en beide posities) per locatie en diepte.

IJzer

Het ijzer gehalte van het grondwater wordt vooral bepaald door de diepte van bemonstering: het ijzergehalte is hoger op 60 cm dan op 20 cm diepte. Er is bovendien een interactie diepte x positie aangetroffen wat wijst op het relatief grote verschil met de diepte aan de rand van het onderzoeksperceel (zie Figuur 16).



Figuur 16 Gemiddeld ijzergehalte in het grondwater op 20 en 60 cm -mv. in gebied noord (zowel van geplagde- als controle plots en uit beide seizoenen) per locatie en positie.

Nutriënten (N, P)

De nutriëntengehalten van het grondwater blijken niet of nauwelijks gerelateerd te zijn aan de onderscheiden factoren. Er is alleen een aantoonbaar effect gevonden van diepte op het ammonium- en nitraat gehalte van het grondwater. Deze gehalten zijn lager op grotere diepte.

Conclusie

De conclusie is dat plaggen heeft geleid tot onafhankelijke effecten op die variabelen die van directe betekenis zijn voor de buffering van het grondwater. De calcium- en bicarbonaat gehalten zijn erdoor verhoogd terwijl het sulfaat gehalte is verlaagd.

Binnen het gebied noord bestaan er ruimtelijke verschillen: op laaggelegen plaatsen en in het midden van het onderzoeksperceel is het grondwater beter gebufferd door de hogere gehalten aan calcium en bicarbonaat. In het zomerseizoen treden er hogere bicarbonaatgehalten op, vooral op de geplagde plekken.

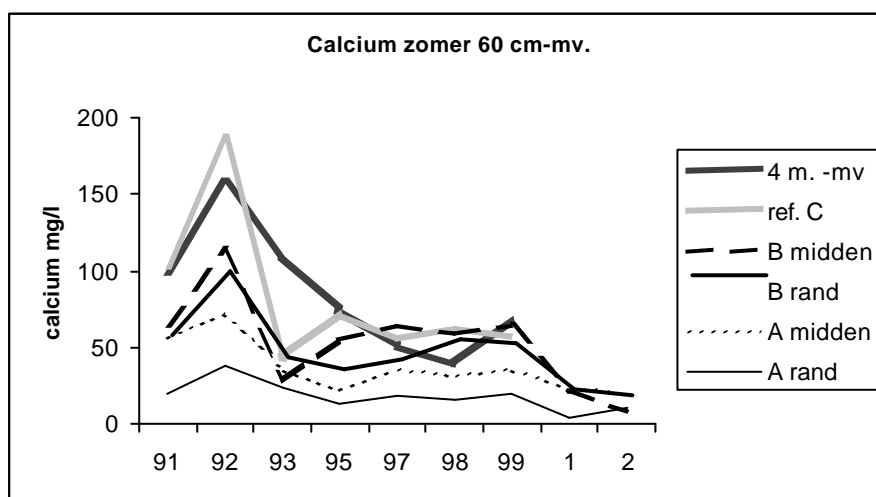
3.2.1.3 Temporele verschillen

Aanpak

Naast de bovenvermelde ruimtelijke benadering bij de analyse van de effecten van het plaggen op de grondwaterkwaliteit is er een tijdreeksanalyse uitgevoerd. Van elk monsterpunt - getypeerd door de factoren: plaggen, hoogte (locatie), diepte en positie - is per seizoen met behulp van lineaire regressie van de betrouwbare correlaties de mate van verandering berekend (regressiecoëfficiënt). Vervolgens is getoetst welke van de bovengenoemde factoren een aantoonbaar effect hebben op de mate van verandering. Op deze wijze was het mogelijk om inzicht te verkrijgen in de duurzame effecten van het plaggen, in relatie tot de variërende abiotische condities in het perceel. Deze tijdreeksanalyse is alleen uitgevoerd met de data van de monsters van de hoog- en laaggelegen locaties (resp. A en B). De ontwikkelingen in grondwaterkwaliteit op locatie C en in het diepe grondwater (buis 101: 4m -mv.) konden niet bij de toets worden betrokken, wegens het ontbreken van replica's en omdat hier op deze plaatsen geen plag- en positie verschillen voorkomen. De waarden van deze monsters zijn in de figuren als referentie weergegeven.

Calcium

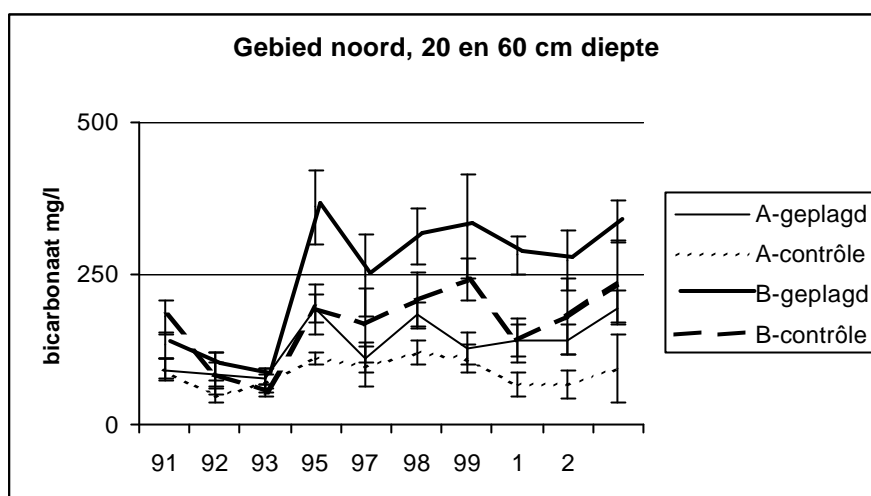
De calciumgehalte van het grondwater, 's zomers op 60 cm diepte, zijn gedurende de monitoringsperiode aantoonbaar afgenomen (Figuur 17). De mate waarin dit plaatsvond bleek afhankelijk te zijn van de hoogteligging en positie. De trend is sterker op de laaggelegen locatie (B) dan op de hooggelegen locatie (A) en deze trend is sterker op het midden van het perceel sterker dan aan de rand. De afname van het calciumgehalte bleek het sterkst te zijn in het midden van het perceel bij de laaggelegen locatie (B). Opvallend is dat ook het calciumgehalte in beide lithogene referentiemonsters (C-1-d en 101) sterk is afgenomen.



Figuur 17 Gemiddeld calciumgehalte in het grondwater op 60 cm -mv. van gebied noord per locatie en positie (van geplagde- en controle plots en van beide seizoenen).

Bicarbonaat

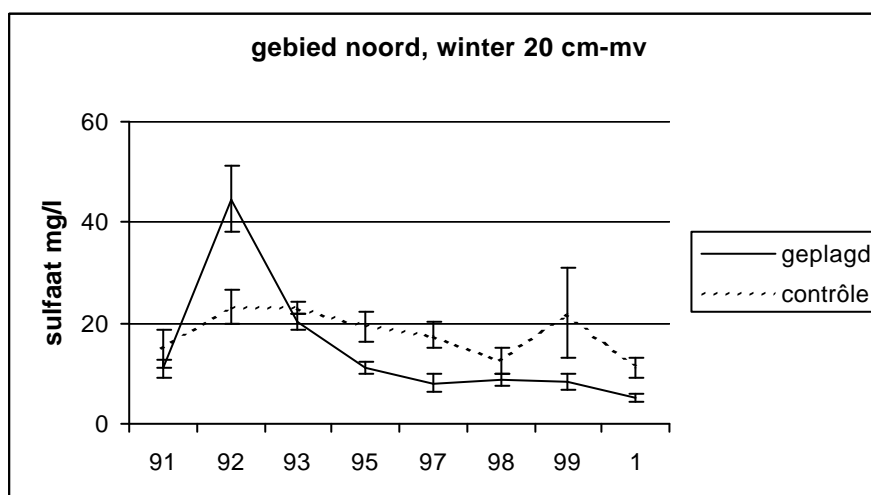
Aangetoond werd dat het bicarbonaat gehalte van het grondwater overal op de laaggelegen locatie (B) is toegenomen en dat het plaggen op deze locatie heeft geleid tot een extra sterke toename (Figuur 18). Deze toename is onafhankelijk van diepte, positie en seizoen. De zwakke toename in het grondwater op de geplagde plots bij de hogergelegen locatie (A) bleek niet significant te zijn.



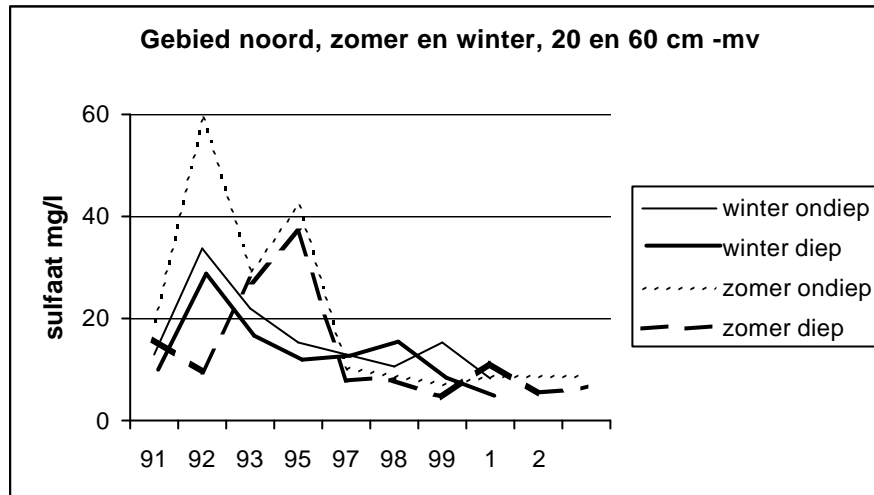
Figuur 18 Gemiddeld bicarbonaatehalte in het grondwater op 20 en 60 cm –mv. van geplagde- en controle plots van gebied noord (van beide seizoenen), per locatie.

Sulfaat

Figuur 19 toont dat er een, bijna algemene, afname van het sulfaat gehalte is opgetreden. De mate van de afname bleek af te hangen van het seizoen en de diepte. Vooral de zomerwaarden zijn sterk afgenomen; de afname was sterker op 20 cm-mv. dan op 60 cm diepte. In de plagplots zijn op 20 cm diepte de winterwaarden relatief sterk afgenomen (Figuur 20); het diepte effect bleek hier alleen 's zomers aantoonbaar te zijn.



Figuur 20 Gemiddeld sulfaatgehalte in het grondwater op 20 cm –mv. van de geplagde- en controle plots van in de winter, van gebied noord (beide locaties).



Figuur 19 Gemiddeld sulfaatgehalte in het grondwater op 20 en 60 cm -mv. van gebied noord per seizoen (in alle geplagde- en controle plots van beide locaties).

Conclusie

De laatste tien jaar, en mogelijk al eerder, zijn de verschillen die in het calcium gehalte van het grondwater aanwezig waren genivelleerd doordat het gehalte vooral is afgenomen op plaatsen waar voorheen hogere concentraties voorkwamen: op de laaggelegen locaties (C en B). Omdat eveneens een afname van het calciumgehalte is opgetreden op grotere diepte (3m -mv, buis 101) zou deze afname veroorzaakt kunnen zijn door een afnemende kwel. De verzuring kan dan worden gezien als het gevolg van een afnemende externe alkalinitasie (Kemmers, 2003).

Opvallend is dat het bicarbonaat gehalte van het grondwater op de laaggelegen locatie (B), vooral op plagplekken, is toegenomen terwijl er een afname van het sulfaat gehalte is opgetreden. Deze resultaten wijzen erop dat sulfaatreductie een sleutelrol speelt. Onder de anaerobe omstandigheden tgv hoge grondwaterstanden, zoals die vooral in plagplots van laaggelegen locatie (B) optreden (plasvorming), kan t.g.v. sulfaatreductie het sulfaatgehalte afnemen en het bicarbonaat gehalte toenemen. Door deze zogenaamde interne alkalinitasie (Lamers 2002; Kemmers 2003) wordt er een relatief hoge pH instand gehouden. Op de niet-geplagde plaatsen van de laaggelegen locatie (B) zal waarschijnlijk ook sulfaatreductie optreden maar wordt het positieve resultaat van de interne alkalinitasie door het indringen van zuur neerslagwater teniet gedaan.

3.2.2 Begreppelingseffecten

3.2.2.1 Aanpak

In gebied noord zijn enkele brede, relatief diepe greppels en in gebied zuid zijn meerdere smalle, ondiepe greppels gegraven, met een onderlinge afstand van respectievelijk 30 en 7 m. Het eerste doel van dit onderzoek was om door een beschrijving van de variatie in grondwaterkwaliteit in relatie tot de afstand tot de greppels inzicht te krijgen in de effectiviteit van beide begreppelingssystemen voor de afvoer van neerslagwater uit de percelen. De verwachting was dat de drainerende werking van de diepe greppels tot op grotere afstand, en tot op grotere diepte, gevolgen zou hebben voor de grondwaterkwaliteit. Onduidelijk was in hoeverre de onderlinge afstand tussen de ondiepe greppels optimaal was voor de gewenste drainage.

Het tweede doel van het grondwaterkwaliteitsonderzoek was om meer inzicht te verkrijgen in de hydrologische variatie tussen en binnen beide gebieden ter verklaring van de variatie in de eigenschappen van de bodem en van de vegetatie.

Gezien deze doelstellingen zijn bij de data-analyse de volgende factoren gehanteerd: gebied, hoogte, positie, diepte en seizoen. Bij deze factoren werden achtereenvolgens de volgende klassen onderscheiden: noord/zuid, (hydrologisch) hoog/-laag, 0.5m/3 m afstand tot de greppel, 10/20/40/60 cm -mv, winter/zomer. De (hydrologische)hoogteligging van de raaien is onderscheiden omdat binnen de gebieden hoge en lage plaatsen voorkomen met respectievelijk meer invloeden van wegzijging en kwel.

Zowel de onafhankelijke effecten als de interactie-effecten van deze factoren op de grondwaterkwaliteitsvariabelen werden bepaald.

Bij de interpretatie van de resultaten van de toetsing is in het bijzonder aandacht besteed aan het voorkomen van significante gebieds- en positie-effecten omdat als uitgangspunt gold dat deze gerelateerd zijn aan het verschil in de effectiviteit van beide begreppelingssystemen; significante interacties tussen deze factoren duiden erop dat er een positie-effect binnen een van de gebieden of dat er een gebiedseffect binnen een van de posities voorkomt. Significante effecten van de andere factoren werden van betekenis geacht voor de tweede doelstelling van dit grondwaterkwaliteitsonderzoek.

De data-analyse heeft zich beperkt tot de grondwatermonsters die op korte afstand (0.5 en 3 m) tot de greppel zijn genomen. De bemonstering op 15 m afstand tot de greppel is bij de data-analyse buiten beschouwing gelaten omdat deze ontbreekt in gebied zuid. De gegevens van de kwaliteit van het grondwater op deze grotere afstand en van het water in de greppels zijn bij de bespreking van de resultaten als referentie gebruikt.

Bij de interpretatie van de resultaten is het uitgangspunt gehanteerd dat verschillen in grondwaterkwaliteit niet door andere, niet-hydrologische, factoren zijn veroorzaakt. Dit is plausibel omdat de schraalgraslanden altijd extensief zijn beheerd; er heeft nooit bemesting plaatsgevonden.

3.2.2.2 Korte afstandseffecten van begreppeling

Tabel 3 geeft het overzicht van de significante effecten van de factoren op de grondwaterkwaliteitsvariabelen. Tussen beide gebieden bestaan significante verschillen in de Ca^{2+} , HCO_3^- , Fe^{2+} en Cl^- gehalten en pH. Het grondwater van beide posities blijkt alleen te verschillen m.b.t. het HCO_3^- gehalte (significant positie-effect). Een significante interactie gebied x positie treedt op m.b.t. het HCO_3^- en Fe^{2+} gehalte. Dit wijst erop dat bij deze variabelen in een van de posities het verschil tussen beide gebieden, of in een van de gebieden het verschil tussen beide posities, relatief groot is. Omdat de variabelen Ca^{2+} en HCO_3^- voor de beoordeling van de effectiviteit van de begreppeling van bijzonder belang zijn wordt allereerst nader ingegaan op de betekenis van de optredende variatie in deze twee variabelen.

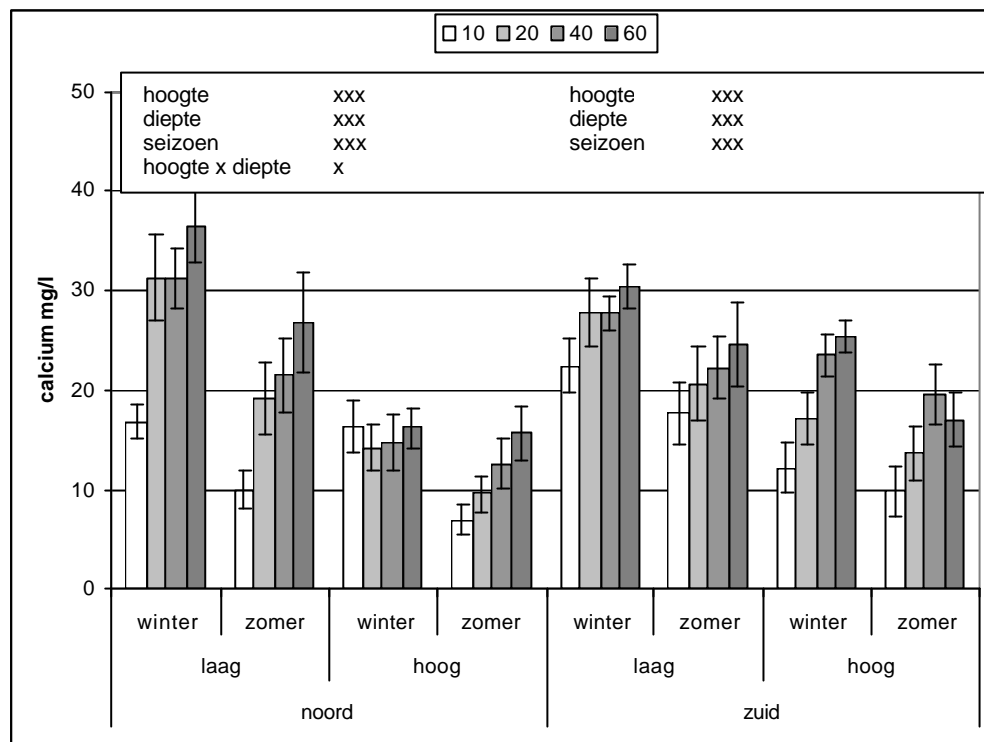
Tabel 3 Significante effecten van de factoren gebied, hoogte, positie, diepte en seizoen op de grondwaterkwaliteit op 0.5 en 3 m afstand van de greppel. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$)

Variable Factor	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	EGV	pH	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Gebied	X	XX	XX		XXX		XXX			
Hoogte	XXX	XXX	XX			XXX	XXX			
Positie		X								
Diepte	XXX	XXX	XXX	XXX	X	XXX	XXX			
Seizoen	XXX	XXX	XXX	XXX	X		XXX		XXX	XXX
Gebied x hoogte		XXX	XX			XX				
Gebied x hoogte x diepte	X	XX				XX	XX			
Gebied x positie		XX	XX							
Gebied x hoogte x positie		XX				XX				
Gebied x seizoen										X
Hoogte x diepte		X				X				
Hoogte x seizoen							X			

Calcium

De calciumgehalten van het grondwater in gebied zuid zijn hoger dan in gebied noord, bij een overeenkomstig seizoen en diepte; het verschil is echter klein (tabel 3 en Figuur 21). De gevonden interactie wijst op de relatief sterke toename van het calciumgehalte met de diepte in het laaggelegen deel van gebied noord. Dit is het gevolg van de relatief sterke kwel op deze plaatsen, mogelijk in combinatie met een beperkte drainage waardoor in de bovengrond neerslagwater stagneert. Een aannemelijke verklaring voor het lagere calciumgehalte in gebied noord is dat door de lagere grondwaterstand, gevolg van de sterke drainage, het neerslagwater dieper in de bodem infiltreert.

In het algemeen geldt voor het calciumgehalte dat het 's zomers lager is dan 's winters, dat het relatief laag is op hoger gelegen plaatsen en dat het overal en altijd met de diepte toeneemt. De variatie van de pH waarden van het grondwater komt overeen met die van het calciumgehalte.



Figuur 21 Gemiddeld calciumgehalte (mg/l) in het grondwater op 10, 20, 40 en 60 cm diepte van beide gebieden. Bij elk gebied staan de aangetoonde effecten vermeld van de verschillende factoren met de interacties. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$).

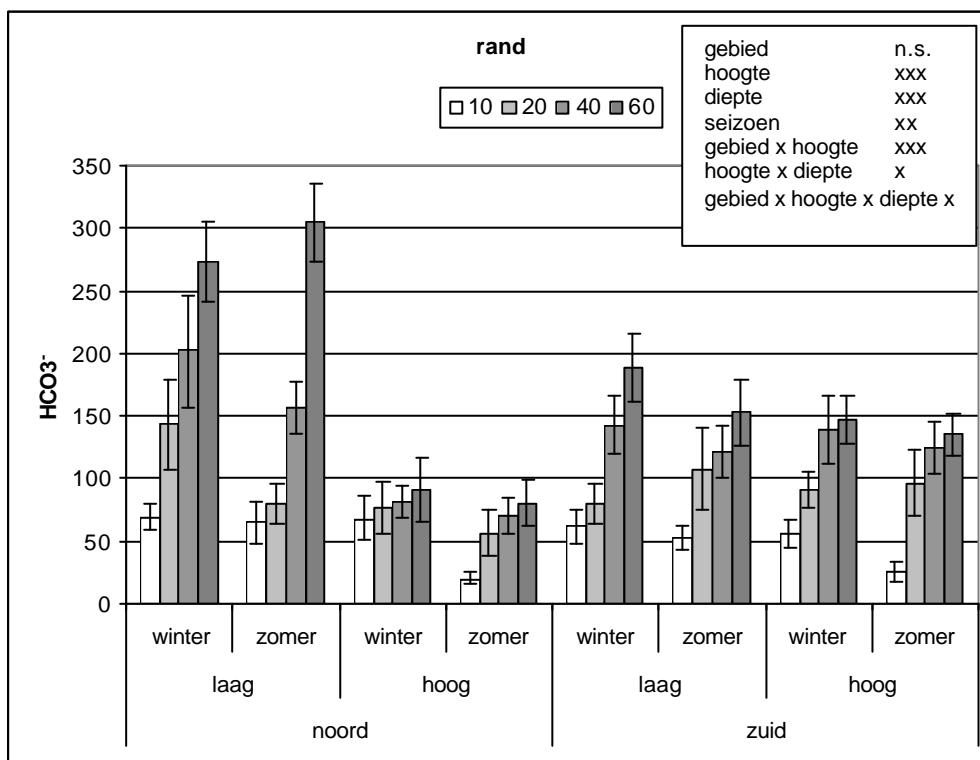
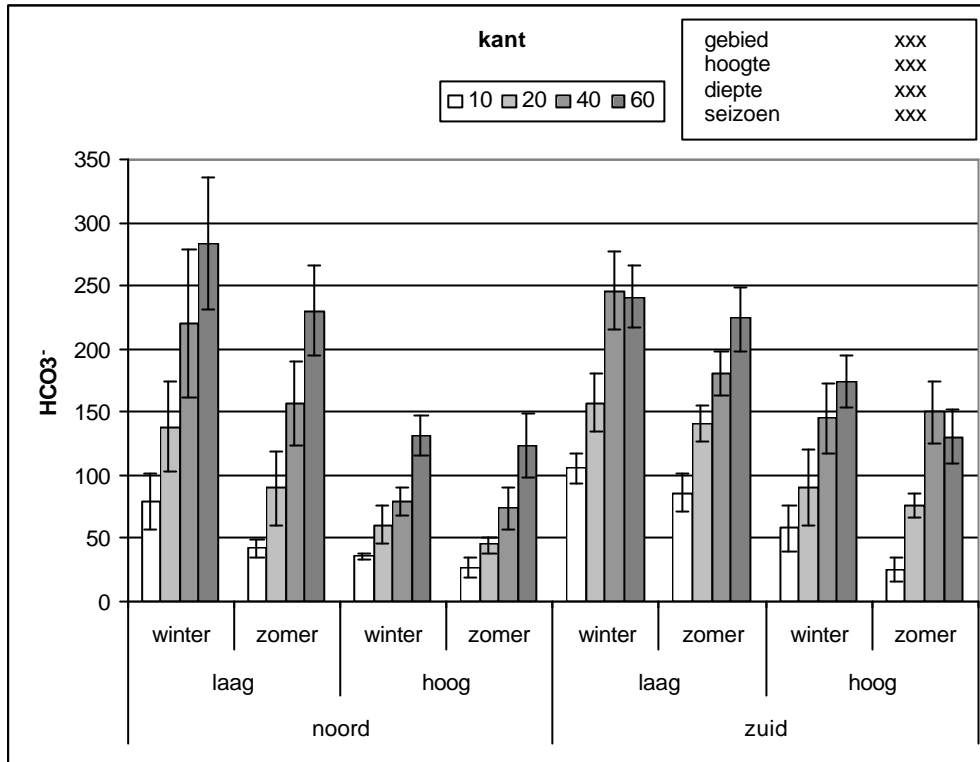
Bicarbonaat

Het bicarbonaatgehalte van het grondwater in gebied zuid is in het algemeen hoger dan in gebied noord, maar de vele significante interacties maken duidelijk dat deze conclusie genuanceerd dient te worden. Wanneer per positie wordt gekeken (Figuur 22) blijkt dat dit gebiedsverschil alleen optreedt op 0.5 m afstand van de greppel (kant positie). Wanneer per gebied wordt getoetst blijkt dat binnen gebied zuid de bicarbonaatgehalten in de kant significant hoger zijn dan in het midden tussen twee greppels, op een afstand van 3 m tot de greppels ($p < 001$); dit geldt vooral voor de lage plaatsen in dit gebied. Blijkbaar gaat de afvoer van neerslagwater in de ondiepe greppels (Figuur 25) van gebied zuid gepaard met hogere HCO_3^- gehalten op korte afstand van deze greppels. Binnen gebied noord is geen verschil in het bicarbonaatgehalte van het grondwater op beide posities.

De interacties tussen hoogte, diepte en gebied in de rand wijzen op de hogere gehalten die op grotere diepten in de lage plaatsen, vooral van gebied noord, zijn aangetroffen. Dit is ook bij het calcium aangetroffen en is het gevolg van de relatief sterke kwel op deze plaatsen. Door de kwel is er een aanvoer van HCO_3^- houdend grondwater en zijn er relatief gunstige omstandigheden voor eventuele sulfaatreductie waarbij HCO_3^- wordt geproduceerd.

Dat er in de hoge plaatsen van gebied noord in het grondwater op beide posities lagere bicarbonaatgehalten voorkomen dan in gebied zuid, wordt veroorzaakt door de diepere drainage.

In het algemeen geldt voor het bicarbonaatgehalte van het grondwater dat het 's zomers lager is dan 's winters, dat het relatief laag is op hoger gelegen plaatsen en dat het overal en altijd met de diepte toeneemt.



Figuur 22 Gemiddeld bicarbonaat gehalte (mg/l) in het grondwater op 10, 20, 40 en 60 cm diepte van beide gebieden in de kant- en randpositie (resp. op 0.5 en 3 m. van de sloot). Bij elke positie staan de aangetoonde effecten vermeld van de verschillende factoren met de interacties. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$).

IJzer

In enkele gebieden die in het kader van het OBN monitoringsonderzoek zijn onderzocht is geconstateerd dat een omslag van kwel naar wegzijging gepaard is gegaan met een ontijzering van het grondwater en de bodem. Kemmers et. al. (2002) stelde dat bij zeer lage ijzergehalten in de bodem de redoxcapaciteit te laag kan worden om reductieprocessen te laten verlopen. Een redoxblokkade als gevolg van ontijzering zou leiden tot een irreversibele verzuring, waarbij herstelmaatregelen geen effect meer sorteren. Vanuit deze achtergrond is de variatie van het ijzergehalte van het grondwater in de schraalgraslanden geanalyseerd. Tabel 3 toont dat er een algemeen effect van diepte en seizoen op het ijzergehalte bestaat: het ijzergehalte neemt toe met de diepte en is 's zomers hoger dan 's winters. Omdat het verschil tussen beide gebieden is gerelateerd aan de hoogte en de positie (interacties) zijn de gegevens per positie nader geanalyseerd. Het bleek dat de ijzergehalten van het grondwater nabij de greppels (0.5m afstand) niet verschilde tussen beide gebieden. Dat is wel het geval op 3m afstand van de greppels: op de lage plaatsen van gebied noord zijn de ijzergehalten significant hoger (5-12 mg/l) dan elders, waar zij gemiddeld 3-5 mg/l bedragen. De verklaring voor dit verschil is dat in het lage deel van gebied noord de kwel het sterkst is. Er is geen sprake van een volledige ontijzering waardoor redoxprocessen zouden kunnen worden geblokkeerd. Dit komt overeen met het feit dat aan het einde van het winterseizoen in de schraalgraslanden aan het oppervlak op veel plaatsen neerslag van ijzerverbindingen en olieachtige vlekken worden waargenomen.

Chloride

Het algemene effect van gebied op het chloride gehalte van het grondwater blijkt aan te tonen dat de chloridegehalten die in gebied noord voorkomen (10-15 mg/l), overal en altijd, hoger zijn dan die in gebied zuid. Deze hogere gehalten in gebied noord zijn het gevolg van vroegere, incidentele overstromingen met eutroof water dat via de spoorloot werd aangevoerd. De spoorloot werd destijds gevoed met water uit het noordelijk gelegen landbouwgebied.

Sulfaat

Het sulfaatgehalte van het grondwater varieert van 10-20 mg/l. Het neemt af met de diepte en is 's winters hoger dan 's zomers. Er zijn nooit extreem hoge sulfaatgehalten (> 100 à 200 mg/l) gevonden op grond waarvan geconcludeerd kan worden dat er geen verzwaveling van het grondwater, als gevolg van denitrificatie onder invloed van ijzersulfiden (pyriet), optreedt (Van Beek et al. 2002).

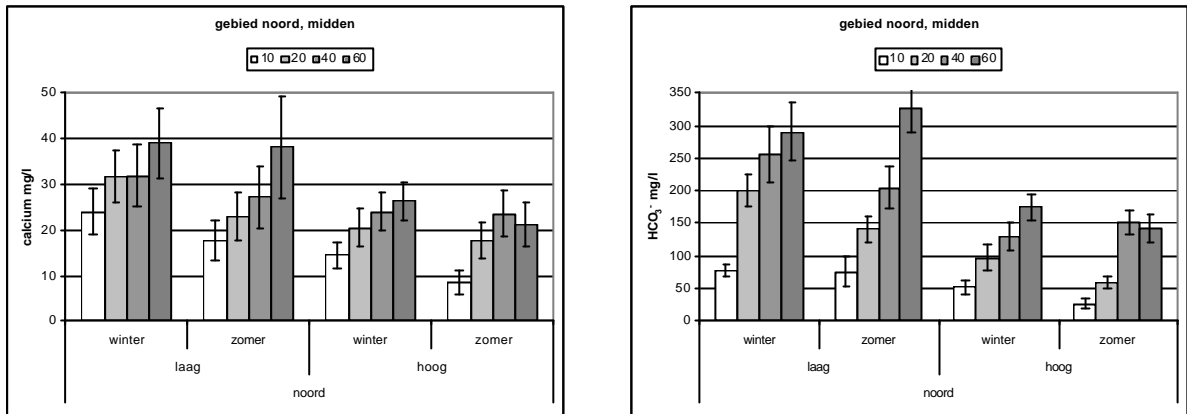
Nutriënten

Het grondwater is overal en altijd zeer arm aan nutriënten (N en P). De gemiddelde gehalten aan NH_4^+ en NO_3^- zijn 's winters hoger (resp. 0.65 en 0.1 mg/l) dan 's zomers (resp. 0.25 en 0.05 mg/l). Het fosfaatgehalte bedraagt gemiddeld slechts 0.05 mg/l.

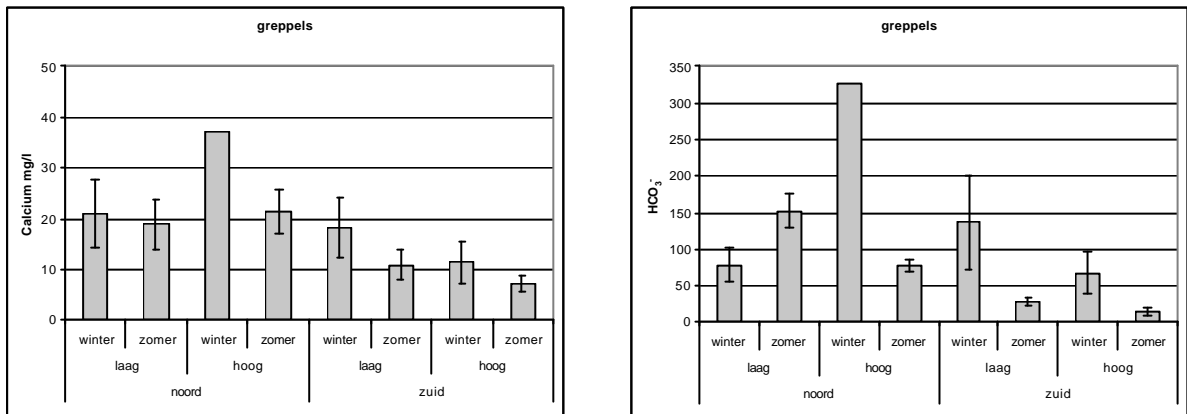
3.2.2.3 Lange afstandseffecten van begreppeling en kwaliteit greppelwater

De calciumgehalten van het grondwater in het midden van het perceel in gebied noord, op een afstand van ca. 13 m van de greppel, zijn over het algemeen gelijk aan de waarden die elders in beide schraalgraslanden werden gevonden, uitgaande van een overeenkomstige diepte, seizoen en hoogteligging. Alleen het grondwater op hoger gelegen plaatsen onderscheidt zich door lagere calciumgehalten (Figuur 23 en 21).

Het bicarbonaatgehalte van het grondwater in het midden van perceel noord, zowel van hoog- als laaggelegen plaatsen, is duidelijk hoger dan in de rand en kant van dit perceel (Figuur 23 en 22). Als gevolg van de relatief sterke invloed van de kwel komen op de laaggelegen plaatsen middenin het perceel de hoogste bicarbonaatgehalten in het grondwater voor, ook in vergelijking met de waarden die in gebied zuid zijn gevonden.



Figuur 23 Gemiddeld calcium- en biocarbonaat gehalte (mg/l) in het grondwater op 10, 20, 40 en 60 cm diepte in het midden van het perceel van gebied noord (op 15 m. van de sloot).



Figuur 24 Gemiddeld calcium- en bicarbonaat gehalte (mg/l) van het water in de greppels van gebied noord en zuid.

De calcium- en bicarbonaatgehaltenes van het greppelwater van gebied noord is hoger dan dat van gebied zuid (Figuur 24). Bovendien zijn de gehaltenes van het greppelwater van gebied noord

hoger dan die van het grondwater van 10 en 20 cm diepte in dit gebied. Voor gebied zuid geldt dat het water in de greppels lagere calcium en bicarbonaatgehaltenes heeft dan het grondwater in de percelen. De greppeltjes in dit gebied voeren neerslagwater af. In gebied noord wordt de diepe greppel ook gevoed met kwelwater.

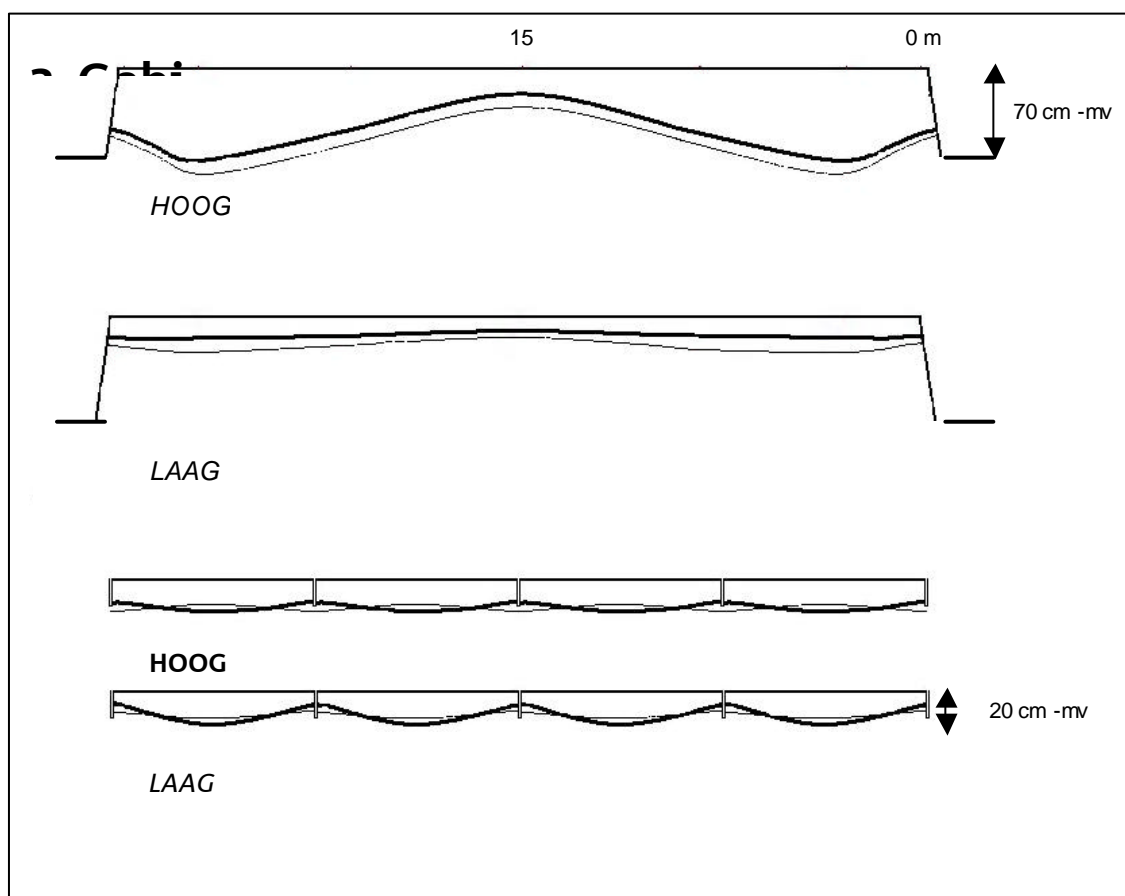
3.2.2.4 Neerslaglenzen

De resultaten van het grondwaterkwaliteitsonderzoek in de raaien laten zien dat de neerslaglenzen die in beide gebieden voorkomen qua dimensie sterk verschillen. In Figuur 25 is weergegeven tot op welke diepte in beide gebieden atmotroof grondwater werd aangetroffen, uitgaande van het criterium dat dit water minder dan 100 mg HCO₃⁻/l bevat.

In gebied noord heeft de lens zijn grootste dikte (50 cm) in het hoge deel, op een afstand van 3 m van de sloot. De lens wigt daarna uit tot het midden van het perceel. Langs de kant van de sloot reikt het atmotrofe grondwater minder diep als gevolg van de sterke drainage van dit water en door de periodieke infiltratie van gebufferd slootwater in het perceel. In het lage deel van gebied noord komt het atmotrofe water niet dieper dan 20 cm voor, over de hele breedte van het perceel, hetgeen een gevolg is van de relatief sterke kwel en de beperkte drainage.

In gebied zuid draineren de ondiepe greppeltjes, 's winters, alleen een smalle zone aan weerszijden en voeren daaruit neerslagwater af. De neerslaglenzen zijn daarom

iets dikker (20 cm) in het midden van deze smalle percelen dan aan de randen. Dit geldt vooral voor de lage delen van dit gebied. Het verschil in greppelwerking tussen de hoge en lage delen binnen gebied zuid is klein omdat het hoogteverschil beperkt is.



Figuur 25 Het voorkomen van atmotroof grondwater ($[HCO_3^-] < 100 \text{ mg/l}$) in gebied noord en -zuid op hoog- en laaggelegen plaatsen, in zomer(—) en winter (---).

3.2.2.5 Conclusies

Diepe greppels (70 cm), met een grotere onderlinge afstand (30 m), hebben een diepe infiltratie (50 cm) van neerslagwater in een brede randzone (min. ca. 3 m) tot gevolg. De breedte van deze zone is afhankelijk van de hoogteligging c.q. van de stijghoogte van de kwel.

Hoewel de greppeltjes in gebied zuid smal en ondiep zijn spelen zij in de drainage een belangrijke rol. Zij voeren alleen in natte perioden grondwater af; dit grondwater is atmotroof. De afvoercapaciteit van alle greppeltjes, die slechts ca. 7 m van elkaar liggen, is voldoende om het indringen van atmotroof water tot dieper dan 20 cm te voorkomen. Het peilbeheer van de twee afvoersloten waarin de greppeltjes lozen, en die in verbinding staan met de sloten van gebied noord, is bepalend voor de effectiviteit van de greppeltjes.

De beschreven effecten op de grondwaterkwaliteit van de twee begreppelingsvarianten en van het plaggen sluiten aan bij de resultaten en conclusies van het modelonderzoek van Rovdan (2003). Op basis van een modelmatige beschrijving met SWAP van het hydrologisch systeem van elk van de schraalgraslanden (zie ook par 3. 1. 1) simuleerde zij het transport van een gidselament (tracer) in de bovengrond van het midden van de percelen. Van deze plaatsen werd ook de mengverhouding van neerslagwater en grondwater berekend, afhankelijk van de diepte en een aantal specifieke omstandigheden. Rovdan

concludeerde dat plaggen, vooral 's zomers, leidt tot een groter aandeel van grondwater in de bovengrond en dat de ondiepe greppels ervoor zorgen dat er vooral in het groeiseizoen meer grondwater in de bovengrond aanwezig is. Beide maatregelen, plaggen en ondiepe greppeling, hebben bovendien tot gevolg dat de fluctuaties in de grondwaterstand en -kwaliteit kleiner zijn. Deze modelmatige benadering signaleerde dat weersomstandigheden van grote invloed zijn op de mengverhoudingen van neerslag- en grondwater in de bovengrond. Dat verklaart dat bij het monitoringsonderzoek, waarbij het grondwater slechts twee maal per jaar werd bemonsterd, maar een klein seizoenseffect is gevonden. Het seizoenseffect is het meest duidelijk op plagplekken, waar 's zomers zowel op 20 als op 60 cm diepte hogere bicarbonaatgehalten zijn aangetroffen. Dat bij het raaienonderzoek, dat op niet-geplagde plaatsen werd gedaan, 's zomers lagere calcium- en bicarbonaatgehalten werden gevonden kan verklaard worden doordat bij de heersende lagere grondwaterstanden relatief veel hangwater is bemonsterd.

3.3 Bodem

3.3.1 Aanpak

Het bodemonderzoek is gericht op het evalueren van de effectiviteit van het plaggen (in combinatie met begreppeling) voor het herstel van gebufferde, voedselarme condities.

De bodem in gebied noord is bemonsterd in 1991 (voor het plaggen), 1993, 1997, 1999 en 2002 op de hoog- en laaggelegen locaties (resp. A en B) en op de referentie locaties C en D. In gebied zuid is m.i.v. 1997 gemonsterd op 3 locaties.

Achtereenvolgens is bij de data-analyse onderzocht:

- of er algemene plageffecten zijn die voor beide gebieden gelden. Daarbij is uitgegaan van de bodemgegevens die in 1997, 1999 en 2002 in beide gebieden zijn verzameld. Samen met de factor plaggen (wel/niet) zijn de volgende factoren - en de eventuele interacties - getoetst op hun effect op de gemeten bodemvariabelen: gebied (noord/zuid) en hoogteligging (hoog/laag);
- wat de effecten van het plaggen binnen elk gebied zijn zodat inzicht wordt verkregen in de betekenis van de heterogeniteit binnen elk gebied; deze heterogeniteit zou voor de vegetatieontwikkeling van belang zou kunnen zijn;
- waarin de bodemeigenschappen van beide gebieden in relatie tot het plaggen van elkaar verschillen;
- welke ontwikkelingen in de bodem sinds het plaggen zijn opgetreden. Dit is alleen gedaan met de gegevens van gebied noord omdat hiervan ook bodemmonsters van de uitgangssituatie (1991) en van een jaar na het plaggen (1993) zijn genomen.

Bij de bespreking van de resultaten wordt aandacht besteed aan variabelen die gerelateerd zijn aan het zuurbufferend vermogen van de bodem (pH-H₂O, pH-KCl, basbez en Ca bez), de organische stof en de nutriënten in de bodem.

3.3.2 Plageffecten

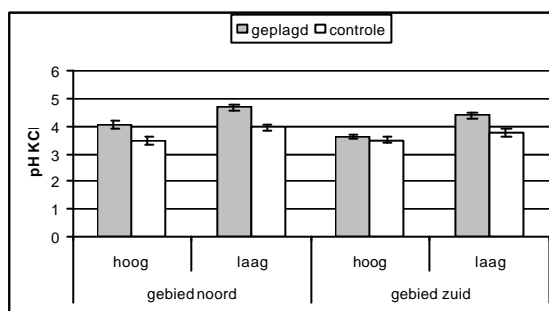
3.3.2.1 Algemene plageffecten

Tabel 4. Aangetoonde effecten van plaggen, gebied en hoogteligging (en interacties) op de bodemeigenschappen van het gehele schraalgraslandcomplex. *Mate van significantie (afnemend): XXX ($P < 0.001$), XX ($P < 0.01$), X ($P < 0.05$).*

Variable Factor	pH-H ₂ O	pH-KCl	basbez	Ca bez	CEC	% org stof	% C	P totaal	P oxalaat
Plaggen	XXX	XXX	XX	XX		X	X		XX
Gebied		X		X	X	XXX	XX	X	XXX
Hoogte	XXX	XXX	XXX	XXX					
Plag x gebied								XX	X

Zuurbufferend vermogen

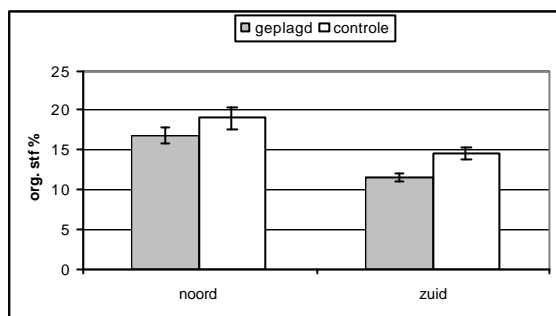
Er is een positief effect van het plaggen op alle variabelen die indicatief zijn voor het zuurbufferend vermogen van de bodem (tabel 4), zoals bijvoorbeeld in Figuur 26 wordt getoond (pH-KCl). De waarden van deze variabelen zijn, zoals te verwachten was, lager op hoger gelegen plaatsen. Voor de pH-KCl en voor de calciumbezetting van het adsorptiecomplex (Cabez) geldt dat de gemiddelde waarden in geplagde- en controle plots van gebied noord hoger zijn dan in de overeenkomstige plots van gebied zuid. De Cabez bedraagt zelfs op de laaggelegen plagplaatsen slechts ca. 40%.



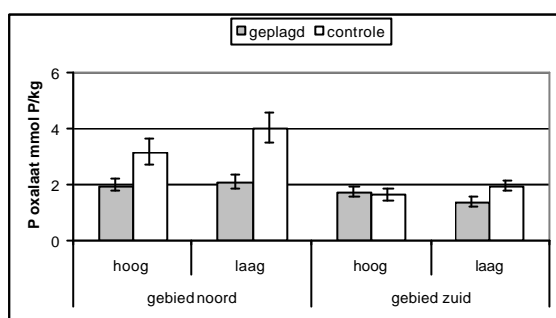
Figuur 26 Gemiddelde pH-KCl in de bodem van geplagde- en controle plots, op laag- en hooggelegen locaties in beide gebieden.

Organische stof en nutriënten

Het plaggen heeft geleid tot een algemene verlaging van het gehalte aan organische stof van de bodem (Figuur 27). Het significante gebiedseffect betekent dat de gehalten in de plots van gebied noord hoger zijn dan die van overeenkomstige plots in gebied zuid. Hetzelfde geldt voor het % C in de organische stof en voor P-oxalaat in de bodem. De interactie plag x gebied bij P-oxalaat benadrukt dat het verlagend effect van plaggen vooral sterk is in gebied noord (Figuur 28).



Figuur 27 Gemiddeld gehalte organische stof in de bodem van geplagde- en controle plots, op laag- en hooggelegen locaties in beide gebieden.



Figuur 28 Gemiddeld P-oxalaat gehalte in de bodem van geplagde- en controle plots, op laag- en hooggelegen locaties in beide gebieden.

3.3.2.2 Plageffecten in gebied noord

Tabel 5 Aangetoonde effecten van plaggen, hoogte en positie (en interacties) op de bodemeigenschappen van gebied noord. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$)

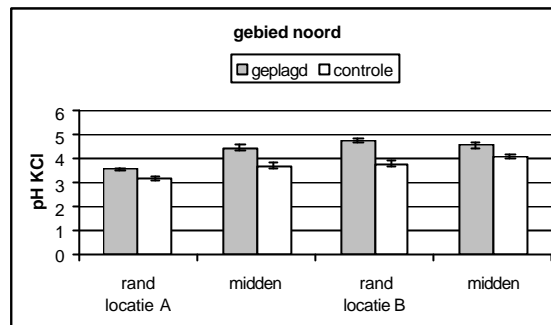
Variable Factor	pH-H ₂ O	pH-KCl	basbez	Ca bez	% org stof	% C	N totaal	P oxalaat
Plaggen	XXX	XXX	XXX	XXX			X	XX
Hoogte	XXX	XXX	XXX	XXX				
Positie	XX	XXX	X	XX				XX
Plag x pos					X	XX	XX	
Plag x hoogte x pos		XX						
hoogte x pos	XX	XXX	XX	XX				

Zuurbufferend vermogen

De geplagde plots hebben een hogere buffercapaciteit dan de controle plots, zoals blijkt uit het aangetoonde positieve effect op de vier variabelen die indicatief zijn voor het zuurbufferend vermogen van de bodem (pH-H₂O, pH-KCl, basenbezetting en calciumbezetting), zie tabel 5 en Figuur 29. Het effect van plaggen is zo goed als onafhankelijk van de andere factoren: locatie en positie.

Op de laaggelegen locatie B komen relatief hoge pH-waarden voor op de plagplots aan de rand. De vier variabelen vertonen ook een sterk overeenkomstige reactie op hoogte- en positie verschillen: in het algemeen zijn de waarden op laaggelegen locatie B (rand) hoger dan op hooggelegen locatie A (rand). De aangetoonde interactie hoogte x positie duidt erop dat bij hooggelegen locatie A een relatief groot verschil voorkomt tussen de buffercapaciteit midden op het perceel en aan de rand.

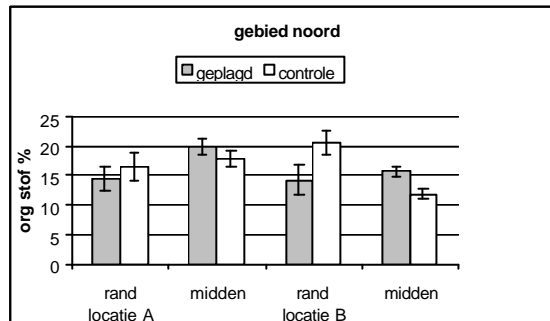
De buffercapaciteit van de bodem aan de rand van locatie A is relatief laag (zowel in de plagplots als in de controle plots).



Figuur 29 Gemiddelde pH-KCl in de bodem van geplagde- en controle plots in gebied noord per hoogte en positie.

Organische stof

Het is opvallend dat het plaggen geen aantoonbaar onafhankelijk effect heeft op het organische stof percentage (en op % C in org. stof); hetzelfde geldt overigens voor hoogte en positie. Er is wel een aantoonbare interactie plag x positie aangetroffen, wat wijst op het relatief sterk verlaagde org. stof gehalte (en % C) bij plagplots aan de rand. In het midden van het perceel is het organische stof gehalte bij hooggelegen locatie A hoger dan bij laaggelegen locatie B (Figuur 30). De beperkte effecten van het plaggen en van de positie op het organische stofgehalte en het ontbreken van hoogteverschillen verklaren dat er geen verschillen in de uitwisselingscapaciteit (CEC) van de bodem zijn aangetroffen.



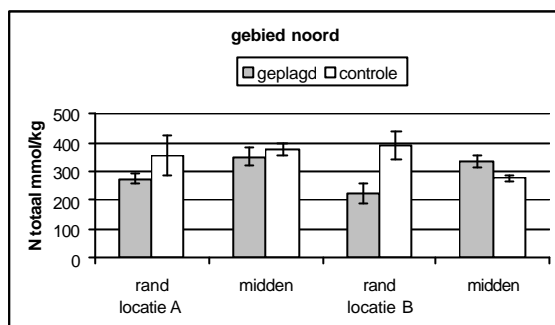
Figuur 30 Gemiddeld gehalte organische stof in de bodem van geplagde- en controle plots in gebied noord per hoogte en positie.

Nutriënten

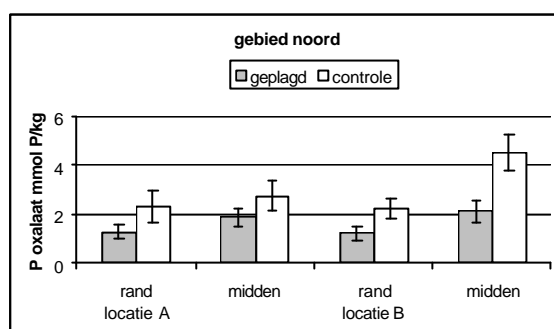
Het plaggen heeft een aantoonbaar verlagend effect gehad op de totale hoeveelheid N in de bodem op de rand van het hele perceel. (Figuur 31).

Op P-totaal en P water zijn geen effecten van plaggen, hoogte en positie aangetroffen.

Bij P-oxalaat zijn onafhankelijk significante effecten van plaggen en positie gevonden. Het plaggen heeft een (verlagend) effect gehad op P-oxalaat. De waarden in de rand van het perceel zijn lager dan in het midden (Figuur 32).



Figuur 31 Gemiddelde gehalte N-totaal in de bodem van geplagde- en controle plots in gebied noord per hoogte en positie.



Figuur 32 Gemiddeld gehalte P-oxalaat in de bodem van geplagde- en controle plots in gebied noord per hoogte en positie.

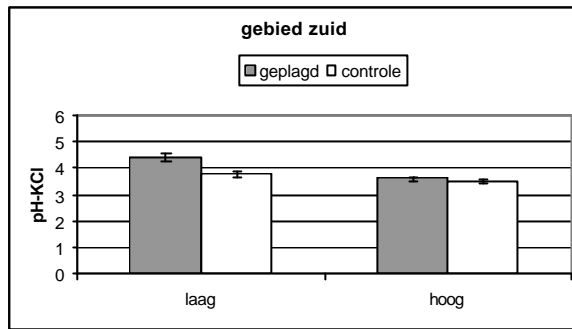
3.3.2.3 Plageffecten in gebied zuid

Tabel 6 Aangetoonde effecten van plaggen, hoogte en positie (en interacties) op de bodemeigenschappen van gebied zuid. Mate van significantie (afnemend): **XXX** ($P < 0.001$), **XX** ($P < 0.01$), **X** ($P < 0.05$), **(X)** ($P < 0.1$).

Variable Factor	pH-H ₂ O	pH-KCl	basbez	Ca bez	% org stof	% C	N totaal	P totaal
Plaggen	(X)	XX			X	XX		
Hoogte	X	XXX	X	XXX				
Plag x hoogte		X					X	XX

Zuurbufferend vermogen

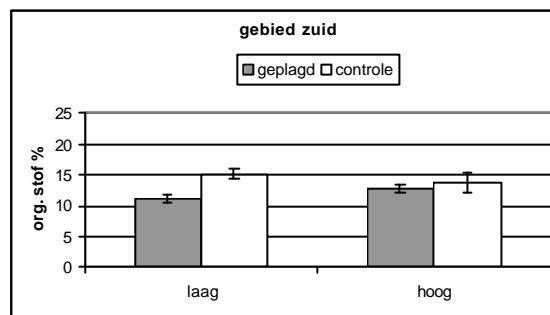
De geplagde plots hebben een hogere buffercapaciteit dan de controle plots hetgeen vooral blijkt uit het aangetoonde effect van het plaggen op de pH-KCl en pH-H₂O van de bodem. De gevonden interactie plaggen x hoogte bij de pH-KCl maakt duidelijk dat dit positieve plageffect vooral op lage plaatsen optreedt (Figuur 33). De waarden van alle vier de variabelen die gerelateerd zijn aan het zuurbufferend vermogen van de bodem zijn op hoger gelegen plaatsen significant lager.



Figuur 33 Gemiddelde pH-KCl in de bodem van geplagde- en controle plots op laag- en hooggelegen plaatsen in gebied zuid.

Organische stof en nutriënten

Het plaggen is overall gepaard gegaan met een daling van het gehalte aan organische stof (en van het % C hierin, Figuur 34). De nutriëntenvoorraad (N- en P totaal) is alleen op de laaggelegen plaatsen door het plaggen afgenomen. Het plaggen had geen effect op de beschikbare hoeveelheden P; de gemiddelde waarden van P-oxalaat en P-water zijn al erg laag (resp. minder dan 2 en 5 mmol/kg).



Figuur 34 Gemiddeld gehalte van organische stof in de bodem van geplagde- en controle plots op laag- en hooggelegen in gebied zuid.

3.3.2.4 Vergelijking plageffecten in gebied noord en gebied zuid

Aanpak

Het doel van deze vergelijking tussen beide gebieden was om na te gaan in hoeverre er in de bodem, in het bijzonder op de plagplekken, verschillen voorkomen die zouden kunnen corresponderen met verschillen in hydrologie en vegetatie. Er is een aparte vergelijking gemaakt tussen a: de middenplots van gebied noord en de plots van gebied zuid en b: de randplots van gebied noord met de plots van gebied zuid. De reden hiervoor is dat geconstateerd was dat het plageffect op de bodemeigenschappen in gebied noord afhankelijk is van de positie (midden/rand). De locaties C en D zijn niet meegenomen bij deze vergelijkingen omdat hier geen plagplots voorkomen; de plots 14A en 19 A (gebied zuid) zijn buiten beschouwing gelaten vanwege hun extreme ligging aan de kant van de greppel. De vergelijking heeft betrekking op de bodemmonsters die in 1997, 1999 en 2002 zijn genomen.

Tabel 7 Aangetoond verschil in bodemeigenschappen van de wel- en niet geplagde plekken van gebied noord (opgesplitst naar positie: midden en rand) en die van gebied zuid. Voor elk getoond verschil geldt dat de waarde in gebied noord hoger is dan in gebied zuid. Mate van significantie (afnemend): +++ (P < 0.001), ++ (P < 0.01), + (P < 0.05).

	Plagplots		Contrôle plots	
	midden	rand	midden	rand
pH-KCl	+			
pH-H ₂ O	+			
Basbez				
Cabez	+			
CEC	+	++		
% org. stof	+++	+		++
%C in org. stof	+++	+		++
N tot				
P tot			+++	+
P-water				
P-oxalaat	+++		+++	+

Zuurbufferend vermogen

Deze analyse, van de data van beide gebieden samen, bevestigde de verwachting dat plaggen een aantoonbaar verhogend effect heeft gehad op het zuurbufferend vermogen (pH-KCl, pH-H₂O, en Cabez) van de bodem. De bodem van de plagplots die in het midden van gebied noord zijn gelegen hebben een hoger zuurbufferend vermogen dan die van de plagplots van gebied zuid (Tabel 7).

Er is geen verschil in het zuurbufferend vermogen van de bodems van de niet geplagde plekken van beide gebieden.

Organische stof

Alle plagplots van gebied noord hebben een hoger organische stof gehalte (en % C in org. stof en CEC) dan de plots van gebied zuid. Dit is het gevolg van de dikkere A horizont in dit gebied.

Nutriënten

Met betrekking tot nutriënten is het aangetoonde verschil in het P-oxalaat gehalten in de bodem van geplagde- en controle plots van beide gebieden opvallend. De bodem van gebied noord (m.u.v. de plagplots die aan de rand zijn gelegen) bevat meer P-oxalaat dan die van gebied zuid. Dit kan worden verklaard door de aanwezigheid van meer ijzer in het grondwater van gebied noord, met name op laaggelegen plaatsen (par. 3.2.2).

3.3.2.4 Conclusies

Plaggen heeft een algehele verhoging van het zuurbufferend vermogen tot gevolg gehad. Het was het meest effectief op de laaggelegen plaatsen van beide schraalgraslanden, in het bijzonder in het midden van gebied noord. De calciumbezetting van het adsorptiecomplex is slechts maximaal 40% zodat geconcludeerd moet worden dat de uitwisseling met het adsorptiecomplex bij de buffering een kleine rol zal spelen, zelfs op de laaggelegen plagplaatsen. De bodem van hooggelegen plaatsen is relatief zwak gebufferd en plaggen leidt hier niet of nauwelijks tot een verbetering.

Het plaggen heeft in gebied noord, in tegenstelling tot gebied zuid, geen effecten gehad op het organische stof gehalte en op de nutriëntenvoorraad. Dit komt omdat de sterk humeuze A horizont hier relatief dik is en bij het plaggen nauwelijks werd aangetast.

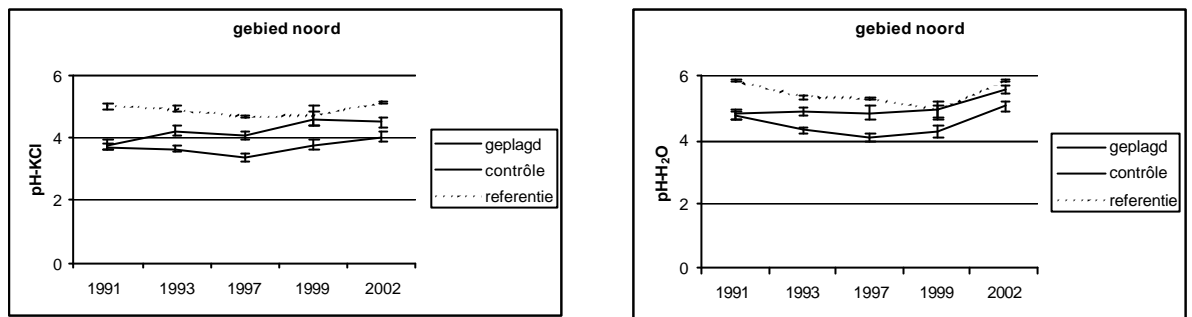
Het plaggen heeft vooral in gebied noord een verlaging van P-oxalaat, en niet van andere nutriëntenfracties, tot gevolg gehad. Waarschijnlijk hebben we hier te maken met een indirect plageffect: door de relatief natte omstandigheden en de sterkere drainage van de plagplekken zijn amorfe hydroxiden gereduceerd en is de daaraan

gebonden P vrijgekomen en afgevoerd. Bij de overheersend natte omstandigheden in plagplekken is een afname van P-water in de bodem geconstateerd (zie par. 3.3.3). De wel- en niet geplagde plots van gebied zuid komen het meest overeen met de aan de rand van gebied noord gelegen plots

3.3.3 Temporele verschillen

Evenals bij de tijdreeksanalyse van het grondwaterkwaliteitsonderzoek in dit gebied heeft ook de tijdreeksanalyse bij het bodemonderzoek zich beperkt tot de locaties A en B. Voor de methode wordt verwezen naar paragraaf 3.2.1.3. In de figuren is de ontwikkeling bij plot C als referentie weergegeven.

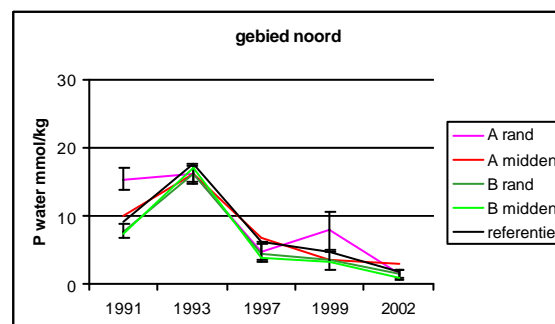
Alleen in de variabelen pH-H₂O, pH-KCl en P-water zijn duidelijke veranderingen in de tijd waargenomen. Op plagplekken is een algehele toename van pH-H₂O en pH-KCl gevonden, dit in tegenstelling tot de niet geplagde plekken waar geen trend kon worden aangetoond (Figuur 35).



Figuur 35 Gemiddelde pH (KCl, H₂O) in de bodem van geplagde- en controle plots in gebied noord. De waarde van locatie C is als referentie weergegeven.

Deze toename is het gevolg van een stijgend bicarbonaatgehalte en een stijgende pH van het grondwater, als gevolg van sulfaatreductie (par. 3.2.1.3). Het bicarbonaatevenwicht zorgt ervoor dat de pH op plagplaatsen nog (zwak) gebufferd wordt en dus verzuring wordt voorkomen. Omdat in het grondwater dalende calciumgehalten zijn aangetroffen en de calciumbezetting van het adsorptiecomplex in de bodem niet significant is toegenomen lijkt externe alkalisatie door kwel van basisch grondwater voor de buffering geen grote rol meer te spelen. Op de niet-geplagde plaatsen van de laaggelegen locatie (B) zal waarschijnlijk ook sulfaatreductie optreden maar wordt het positieve resultaat van de interne alkalisatie door het indringen van zuur neerslagwater teniet gedaan.

Er is een algehele afname opgetreden van P-water (Figuur 36).



Figuur 36 Gemiddeld gehalte P-water in de bodem van gebied noord per locatie en positie. De waarde van locatie C is als referentie weergegeven.

3.4 Vegetatie

3.4.1 Aanpak

De vegetatiegegevens zijn bewerkt voor het opstellen van:

- a. Een beschrijving van de voorkomende plantengemeenschappen. Daarvoor is er een syntaxonomische tabel gemaakt en is per cluster (TWINSPAN) het aandeel van de onderscheiden plantengemeenschappen, op klasse niveau, berekend. De plantengemeenschappen waartoe de vegetaties van de clusters behoren zijn vervolgens nader beschreven volgens Schaminee (1995, 1996) en Staatsbosbeheer (<http://www.synbiosys.alterra.nl/sbbscatalogus/default.htm>).
- b. Een beschrijving van de vegetatie volgens ecologische soortengroepen. Daarvoor is per opname de bedekking van soorten over verschillende ecologische groepen berekend zodat het aandeel van de ecologische soortengroepen op geplagde-, en niet-geplagde plots kon worden weergegeven.
- c. Een beschrijving van de voorkomende rode lijst soorten.

3.4.2 Plantengemeenschappen

3.4.2.1 Globale beschrijving

Op basis van de uitkomsten van de clusteranalyse (TWINSPAN, Bijlage 2) zijn alle vegetatieopnamen ingedeeld in 9 clusters (plantengemeenschappen). Het dendrogram in Figuur 37A geeft een hiërarchisch overzicht van de verwantschap tussen de vegetaties van de clusters volgens TWINSPAN. In Figuur 37B staat van elk cluster globaal aangegeven op welke locatie, tijdstip en behandeling de opnamen van dat cluster betrekking hebben. Figuur 37C laat zien dat in de vegetatie van de schraalgraslanden, op klasse niveau, elementen voorkomen van de volgende vijf plantengemeenschappen: MOLINIO-ARRHENATERETEA (Klasse der matig voedselrijke graslanden), PARVOCARICETEA (Klasse der kleine Zeggen), NARDETEA (Klasse van heischrale graslanden), OXYCOCCO-SPHAGNETEA (Klasse der hoogveenbulten en natte heiden) en LITTORELLETEA (Oeverkruidklasse). De elementen van de PARVOCARICETEA zijn het sterkst vertegenwoordigd.

De diversiteit aan plantengemeenschappen van de geplagde- controle en referentieplots heeft enkele opvallende kenmerken:

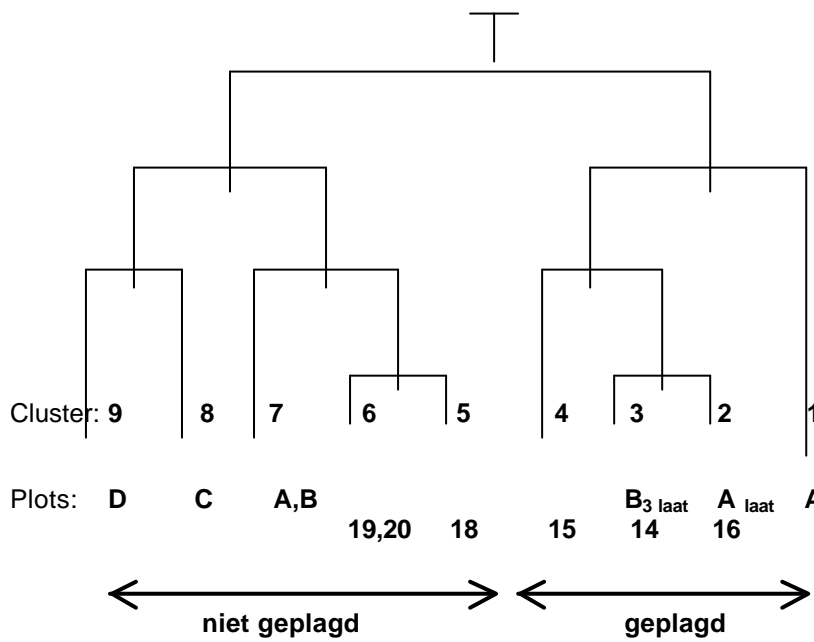
- Het grootste verschil bestaat tussen de vegetaties van de geplagde- (cluster 1-4) en van de niet-geplagde plots (clusters 5-9). In tegenstelling tot de niet-geplagde plots komen er in de geplagde plots elementen van de LITTORELLETEA voor, terwijl het aandeel MOLINIO-ARRHENATERETEA hier relatief klein is.
- De geplagde plots worden verdeeld in enerzijds de vegetaties met veel LITTORELLETEA elementen die in gebied noord de eerste jaren na het plaggen zijn aangetroffen (cluster 1), terwijl anderzijds als uiterste de vegetatie van de geplagde, relatief hooggelegen, plot van gebied zuid voorkomt (cluster 4); op laatstgenoemde locatie ontbreken LITTORELLETEA elementen terwijl de elementen van de NARDETEA juist duidelijk aanwezig zijn. De vegetaties die later op de geplagde plots zijn aangetroffen (clusters 2 en 3), nemen een tussenpositie in.
- De vegetaties op de controle plots van de gebied noord (cluster 7) worden, als gevolg van het grotere aandeel van PARVOCARICETEA elementen, onderscheiden van die van gebied zuid (cluster 6). Vooral de vegetatie van de, relatief hooggelegen, controle plot van gebied zuid (cluster 5) heeft een laag aandeel PARVOCARICETEA.
- De vegetaties van de beide referentie plots (cluster 9 en 8) nemen een aparte positie in door het hoge aandeel van MOLINIO-ARRHENATERETEA ten koste van het aandeel OXYCOCCO-SPHAGNETEA.

3.4.2.2 Gedetailleerde beschrijving

Uitgaande van de syntaxonomische tabel (Bijlage 2) zijn de vegetaties van de clusters nader geënclassificeerd; dit resulteerde in het overzicht volgens tabel 8.

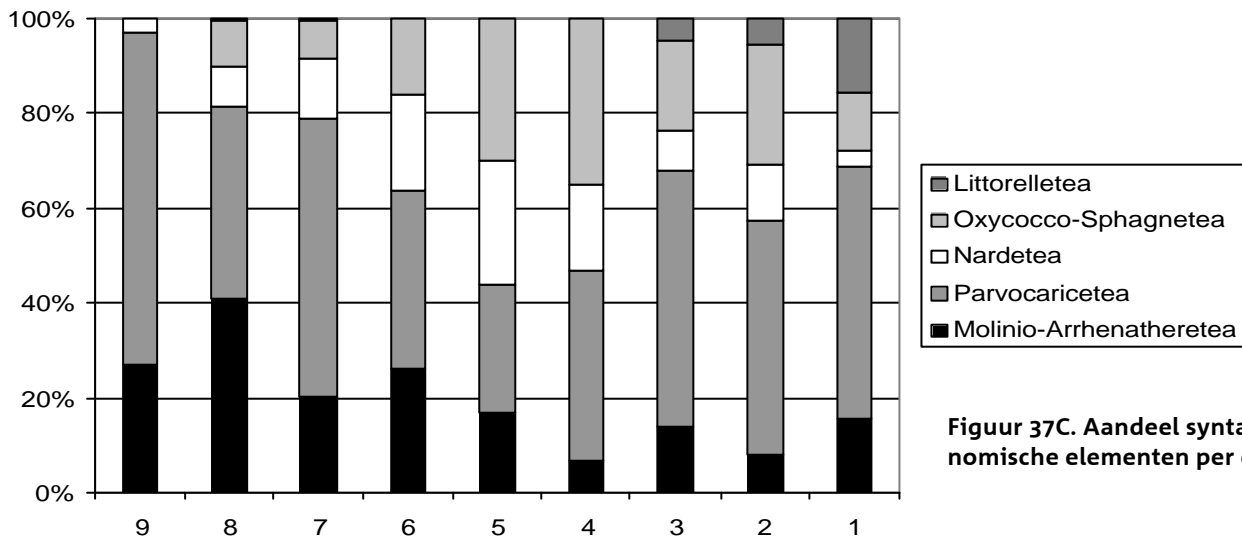
Tabel 8 Plantengemeenschappen per cluster

cluster	plantengemeenschap	
1	RG <i>Juncus bulbosus</i> en <i>Carex oederii</i> [Parvocaricetea]	RG Knolrus en Lage zegge [Kl. kleine Zeggen]
2	Mozaïek van RG <i>Molinia caerulea</i> - <i>Sphagnum palustre</i> - [Parvocaricetea/Junco-Molinion] en <i>Lycopodio-Rhynchosporium</i>	Mozaïek van RG Pijpestrootje-Gewoon veenmos- [Kl. kleine Zeggen /Verbond van Biezeknoppen en Pijpestrootje] en Ass. van Moeraswolfsklauw en Snavelbies
3	<i>Carici curtae</i> - <i>Agrostietum caninae</i> typicum	Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge sub ass. typicum
4	Fragmentair <i>Ericetum tetralicis</i> orchietosum	Fragmentair ass. van Gewone dophei, sub ass. Gevlekte orchis
5	<i>Gentiano pneumonanthes</i> - <i>Nardetum</i>	Ass. van Klokjesgentiaan en Borstelgras
6	DG <i>Polytrichum commune</i> - [Parvocaricetea], met <i>Succisa pratensis</i> en <i>Nardetea</i> elementen	DG Gewoon haarmos [Kl. kleine Zeggen], met Blauwe knoop en soorten van heischrale graslanden
7	DG <i>Polytrichum commune</i> - [Parvocaricetea]	DG Gewoon haarmos [Kl. kleine Zeggen]
8	<i>Carici curtae</i> - <i>Agrostietum caninae</i> , subass. <i>Juncetosum acutiflori</i>	Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge: sub ass. van Veldrus
9	<i>Carici curtae</i> - <i>Agrostietum caninae</i>	Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge

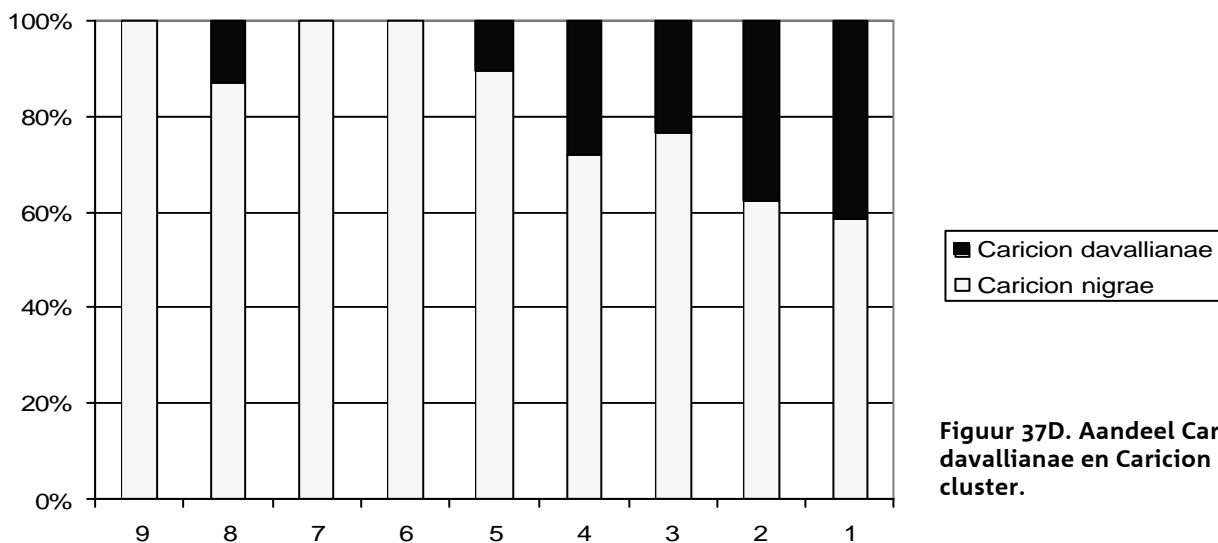


Figuur 37A. Verwantschap tussen de vegetaties van de clusters volgens TWINSpan.

Figuur 37B. Locatie vegetatieopnamen per cluster.



Figuur 37C. Aandeel syntaxonomische elementen per cluster.



Figuur 37D. Aandeel Caricion davallianae en Caricion nigrae per cluster.

Figuur 37 Aandeel en verwantschap van plantengemeenschappen per cluster volgens de syntaxonomische tabel

Onderstaande toelichting op de plantengemeenschappen van elk cluster is ontleend aan de syntaxonomische tabel (Bijlage 2). Ook bij deze meer gedetailleerde vegetatiebeschrijving blijkt dat de verschillen in soortensamenstelling in eerste instantie zijn veroorzaakt door het plaggen.

Geplagde plots

De geplagde plots (cluster 1-4) onderscheiden zich van niet-geplagde plots doordat binnen de kleine zeggenvegetaties een hoog aandeel van het Caricion davallianae (Knopbies-verbond) voorkomt ten opzichte van het van het Caricion nigrae (Figuur 37D). Dit hangt samen met de hoge bedekking van *Carex oederii*, die een kensoort is van het Knopbies-verbond. *Parnassia palustris* is slechts een enkele keer op een plagplek aangetroffen.

De vegetatie die de eerste jaren na het plaggen voorkwam in gebied noord (cluster 1) had een hoge bedekking van *Juncus bulbosus* en *Carex oederi* subsp. *oederi* en is derhalve getypeerd als: RG *Juncus bulbosus* en *Carex oederii* [Parvocaricetea] (RG Knolrus en Lage zegge [Kl. kleine Zeggen]). In gebied zuid zijn destijds geen vegetatieopnamen gemaakt.

Cluster 2 bevat de latere vegetatieopnamen van hoger gelegen plaatsen. De vegetatie is te typeren als een mozaïek van plekken met de RG *Molinia caerulea*-*Sphagnum palustre*-[Parvocaricetea/Junco-Molinion] (RG Pijpestrootje-Gewoon veenmos- [Kl. kleine Zeggen /Verbond van Biezeknoppen en Pijpestrootje]) en plaatsen met vegetaties van het Lycopodio-Rhynchosporium (Ass. van Moeraswolfsklauw en Snelvbies).

Cluster 3 bevat de latere vegetatieopnamen van lager gelegen plaatsen. Deze vegetatie behoort binnen de kleine zeggengemeenschappen tot de subassociatie Carici curtae-Agrostietum caninae typicum (Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge, sub ass. typicum) met als kensoorten *Carex curta*, *Carex echinata* en *Menyanthes trifoliata*.

Cluster 4 wordt gevormd door de vegetatieopnamen van de hooggelegen plagplek in gebied zuid. Deze vegetatie is benoemd als een fragmentair *Ericetum tetralicis* orchietosum (ass. van Gewone dophei, sub ass. Gevlekte orchis); zij bevat enkele kensoorten van de Nardetea (Klasse heischrale graslanden) en de *Ericetalia tertralicis* (Dophei-orde) zoals *Danthonia decumbens* en *Erica tetralicis*. Bovendien zijn er diverse soorten van de subassociatie (orchietosum) waargenomen zoals: *Pedicularis sylvatica*, *Polygala serpyllifolia*, *Dactylorhiza maculata*.

Vooraf op de laagstgelegen plagplekken is de bedekking van Gewoon veenmos de laatste jaren sterk toegenomen; de bedekking van Gewoon haarmos is nog beperkt.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de variatie aan plantengemeenschappen die in de plagplekken is ontstaan wordt bepaald door de tijdsduur na het plaggen en door de variatie in hoogteligging. Op de hoogstgelegen plagplekken ontwikkelt de vegetatie zich in de richting van heischraalgrasland, op intermediair gelegen plekken komen blauwgraslandsoorten voor terwijl op de laagstgelegen plagplekken een ontwikkeling naar kleine Zeggenvegetaties optreedt. Het gebiedseffect lijkt ondergeschikt te zijn en er zijn geen positieve effecten waargenomen.

Controle plots

Cluster 5 bevat de vegetatieopnamen van de relatief hooggelegen locatie in gebied zuid en neemt binnen de controle plots een aparte plaats in. De vegetatie behoort tot het *Gentiano pneumonanthes*-*Nardetum* (Ass. van Klokjesgentiaan en Borstelgras) omdat hier, behalve de soorten die in cluster 6 voorkomen, o.a. ook aanwezig zijn: *Danthonia decumbens*, *Potentilla erecta* en *Erica tetralicis*.

De vegetatie van de clusters 7 en 6, die respectievelijk bestaan uit vegetatieopnamen van de controle plots van gebied noord en zuid, kan het beste worden beschreven als DG *Polytrichum commune*- [Parvocaricetea], een derivaatgemeenschap van de kleine zeggevegetaties (SBB: 09/c). Het *Junco* Molinion is hier meer fragmentair aanwezig dan elders terwijl *Molinia caerulea* en *Polytrichum sp* domineren. De vegetatie van cluster 6 onderscheidt zich door de hoge bedekking van *Succisa pratensis* en van

kensoorten van het Nardetea (*Pedicularis sylvatica*, *Polygala serpyllifolia*, *Dactylorhiza maculata*).

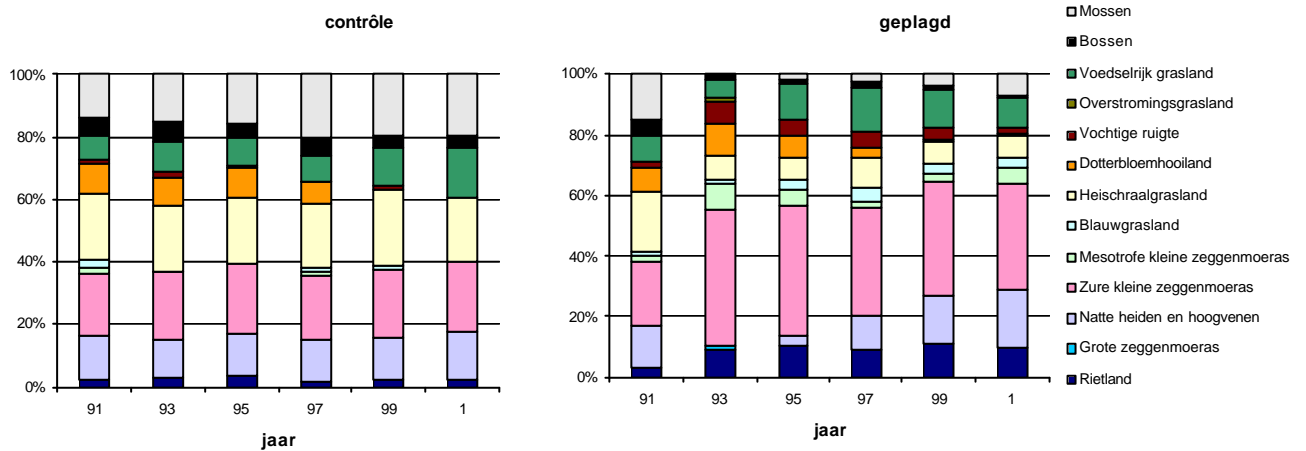
De variatie in plantengemeenschappen in de controle plots blijkt dus in de eerste plaats samen te hangen met gebiedsverschillen en in de tweede plaats met de hoogteligging. Er zijn geen positie effecten waargenomen en de vegetaties van de controle plots zijn sinds 1991 nauwelijks veranderd.

Referentie plots

De vegetatie van beide referentieplots (C en D resp. cluster 8 en 9) behoort tot de associatie *Carici curtae-Agrostietum caninae* (Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge). In beide clusters komen ook relatief veel MOLINIETALIA elementen voor. Omdat de vegetatie van cluster 8 elementen van het Junco Molinion bevat wordt deze vegetatie tot de subassociatie *Juncetosum acutiflori* (subassociatie van Veldrus, SBB:09Aa3c) gerekend. Op de referentielocatie C komt vrij veel *Parnassia palustris* voor. De vegetaties van de referentie plots zijn sinds 1991 weinig veranderd.

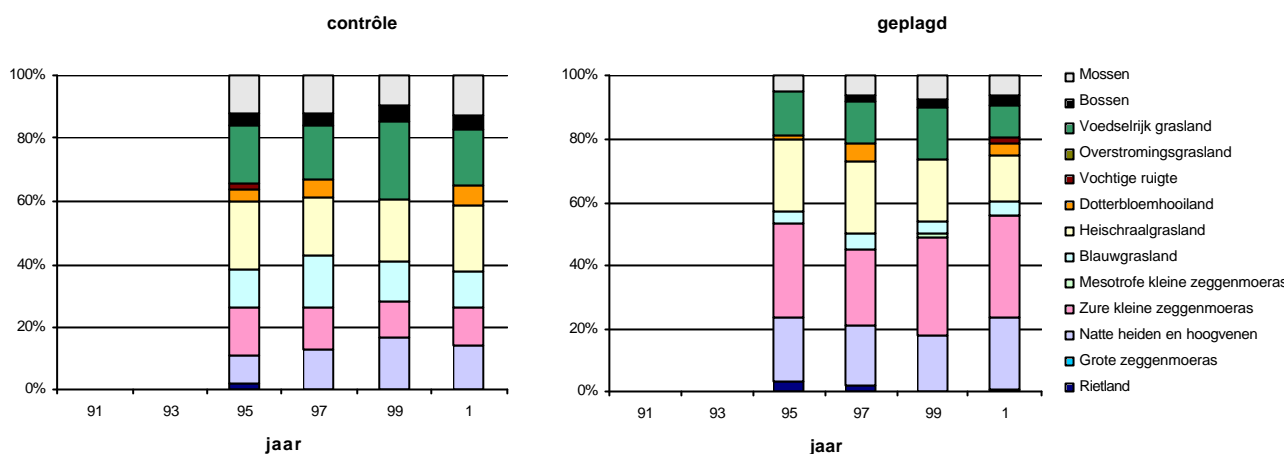
3.4.3 Ecologische soortengroepen

De variatie die is aangetroffen in de vertegenwoordiging van de onderscheiden ecologische soortengroepen wordt in eerste instantie bepaald door het plageffect. Door het plaggen zijn mossen verwijderd en is het aandeel van heischraalgrasland en natte heiden en hoogvenen afgenomen terwijl het aandeel van blauwgrasland en kleine zeggemoerasen is toegenomen (Figuur 38). In de plagplekken is vervolgens een successie opgetreden waarbij in beide gebieden soorten van de groepen van natte heide en hoogvenen en mossen weer zijn gaan toenemen. Binnen de plagplekken is na het tijdseffect het gebiedseffect van enig belang als verklaring voor de aangetroffen variatie. In gebied noord zijn, in tegenstelling tot gebied zuid, de soorten van het dotterbloemhooiland op den duur verdwenen.

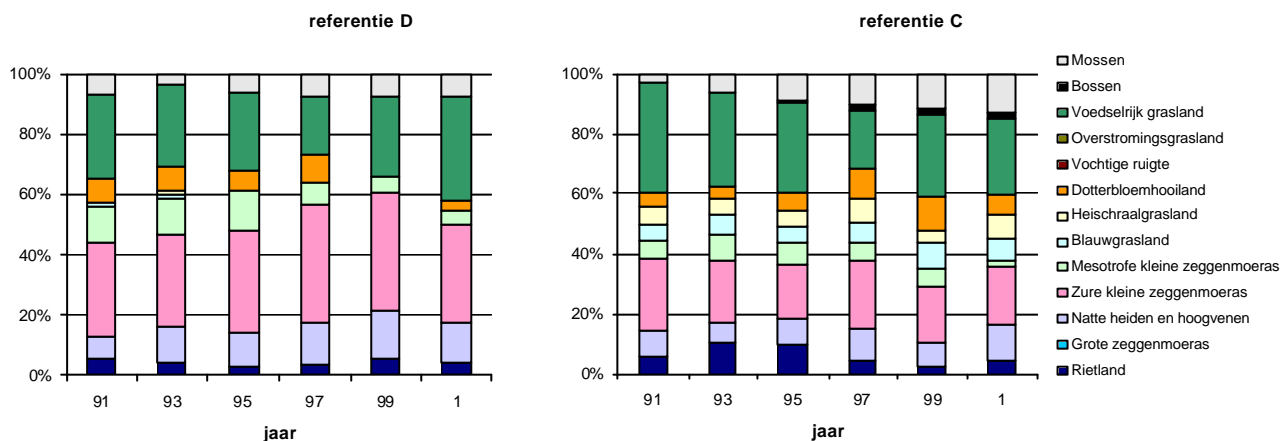


Figuur 38 Aandeel van de ecologische soortengroepen op de geplagde- en controle plekken van gebied noord.

Voor de controle plots geldt dat het aandeel van blauwgraslandsoorten in gebied zuid hoger is dan in gebied noord terwijl het aandeel van kleine zeggen minder is (Figuur 39). Tijdens de monitoring is er in gebied zuid weinig veranderd in de bedekking van soorten van de verschillende ecologische groepen. In gebied noord daarentegen zijn soorten van dotterbloemhooilanden verdwenen (evenals in de plagplekken), terwijl het aandeel van mossen is toegenomen.



Figuur 39 Aandeel van de ecologische soortengroepen op de geplagde- en controle plekken van gebied zuid.



Figuur 40 Aandeel van de ecologische soortengroepen op de referentie plekken van gebied noord.

In de vegetaties van beide (niet-geplagde) referentie-locaties in gebied noord zijn opvallend veel soortengroepen vertegenwoordigd. Het aandeel van mossen is beperkt en in de loop der tijd zijn geen soorten van bepaalde soortengroepen, zoals dotterbloemhooiland, verdwenen. De vegetatie van referentielocatie C is het meest divers (Figuur 40).

Deze benadering met ecologische soortengroepen heeft geen duidelijke hoogte- en positie effecten aangetoond. De laagstgelegen plagplek in gebied noord valt op door het grote aandeel van riet en door de geringe bijdrage van soorten van de groepen heischraalgrasland en natte heide en hoogvenen. De hoogstgelegen locatie, in gebied zuid, valt op door het lage aandeel van soorten uit de groep kleine zeggen en door hoge aandeel van mossen.

3.4.4 Rode lijst soorten

De ontwikkeling van het voorkomen van rode lijst soorten in de onderzochte plots van gebied noord is weergegeven in tabel 9. In tabel 10 staat het voorkomen van deze soorten sinds 1995 in gebied zuid en in het totale gebied weergegeven.

Het plagen heeft in gebied noord geleid tot een toename van het aantal rode lijst soorten. In de controle plots bleken in 2001 geen rode lijst soorten meer voor te komen. Sommige soorten, die kenmerkend zijn voor de vroege stadia van verlandings, waren min of meer constant in de geplagde plots aanwezig. Andere soorten werden incidenteel aangetroffen. In referentieplot C, waar natte basische omstandigheden

heersen, zijn in enkele jaren 10 rode lijst soorten aangetroffen. De laatste jaren is dit aantal, evenals in de referentieplot D, gedaald.

Tabel 9. Presentie van rode lijst soorten in de controle, geplagde- en referentieplots van gebied noord
*): uitgangssituatie voor het plaggen

Gebied type plots	noord controle						noord geplagd						noord referentie C						noord referentie D							
	91	93	95	97	99	1	91*	93	95	97	99	1	91	93	95	97	99	1	91	93	95	97	99	1		
rode lijst soorten																										
<i>Carex lasiocarpa</i>							x	x	x		x		x	x												
<i>Dactylorhiza maculata</i>	x		x	x	x								x	x	x	x	x		x							
<i>Dactylorhiza majalis</i>							x																			
<i>Drosera intermedia</i>							x	x	x	x	x															
<i>Drosera rotundifolia</i>													x													
<i>Menyanthus trifoliata</i>	x						x	x			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
<i>Parnassia palustris</i>							x						x	x	x	x	x									
<i>Pedicularis palustris</i>	x						x						x	x					x	x	x					
<i>Pedicularis sylvatica</i>		x	x				x		x	x	x		x	x	x				x		x					
<i>Polygala serpyllifolia</i>							x						x	x	x					x						
<i>Potentilla palustris</i>							x	x	x		x		x	x	x	x	x		x	x	x					
<i>Rhinanthus minor</i>													x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Succisa pratensis</i>	x						x												x	x						
<i>Valeriana dioica</i>													x						x							
<i>Viola canina</i>													x													
aantal rode lijst soorten	2	1	2	3	2	0	4	4	5	5	4	6	6	10	10	7	7	4	5	5	5	2	1	2		

Het aantal rode lijst soorten in de controle plots van gebied zuid is hoger dan in de controle plots van gebied noord. De rode lijst soorten die kenmerkend zijn voor heischrale graslanden, zoals *Polygala serpyllifolia* en *Succisa pratensis*, komen hier meer frequent voor. Plaggen heeft in gebied zuid geleid tot een kleine toename van het aantal rode lijst soorten, vooral door de aanwezigheid van pioniersoorten zoals *Drosera intermedia* en *D. rotundifolia*. Per saldo heeft plaggen in het totale gebied een toename van het aantal rode lijst soorten tot gevolg gehad; in de controle plots is dit aantal gelijk gebleven (gebied zuid) of zijn de rode lijst soorten verdwenen (gebied noord).

Tabel 10 Presentie van rode lijst soorten in de controle, - en geplagde plots van gebied zuid en van het totale gebied

Gebied type plots	zuid controle				zuid geplagd				noord + zuid controle				noord + zuid geplagd			
	95	97	99	1	95	97	99	1	95	97	99	1	95	97	99	1
rode lijst soorten																
<i>Carex lasiocarpa</i>							x	x					x	x	x	x
<i>Dactylorhiza maculata</i>	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x		x	x	
<i>Dactylorhiza majalis</i>													x			
<i>Drosera intermedia</i>						x	x	x					x	x	x	x
<i>Drosera rotundifolia</i>					x	x							x	x		
<i>Menyanthus trifoliata</i>										x					x	x
<i>Parnassia palustris</i>													x			
<i>Pedicularis palustris</i>																x
<i>Pedicularis sylvatica</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Polygala serpyllifolia</i>	x	x	x	x					x	x	x	x				
<i>Potentilla palustris</i>									x	x		x	x	x		x
<i>Rhinanthus minor</i>																
<i>Succisa pratensis</i>	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Valeriana dioica</i>																
<i>Viola canina</i>																
aantal rode lijst soorten	4	4	4	3	3	4	5	4	5	6	4	4	8	6	6	7

4 Aanbevelingen voor inrichting en beheer

In het Korenburgerveen is sinds de jaren vijftig de jaarlijks gemiddeld laagste grondwaterstand gedaald. Deze trend hangt samen met een algehele verdroging van de regio als gevolg van landbouwkundige ontwatering en grondwateronttrekking. Als gevolg van deze verdroging reikt de kwel niet meer in de wortelzone van de hooggelegen plaatsen in de schraalgraslanden. Volgens de prognose van het Waterschap Rijn en IJssel zal de realisatie van het Hydrologisch inrichtingsplan kunnen leiden tot een kleine versterking van de kwel in de schraalgraslanden.

Sinds het veranderen van de afwatering van de schraalgraslanden in 1996 zakt het grondwater 's zomers minder diep weg, maar er komen nog vaak inundaties voor. Het is mogelijk om bij de huidige waterhuishoudkundige inrichting en een nauwkeurig peilbeheer het optreden van inundaties te beperken en hoge zomerpeilen te behouden.

Met aanvullende maatregelen, zoals ondiepe begreppeling en plaggen, is het haalbaar het aandeel van blauwgrasland uit te breiden en het aandeel van de Kleine zeggegemeenschappen te beperken.

Ondiepe greppels zijn effectief gebleken om op laaggelegen plaatsen in natte perioden neerslagwater versneld af te voeren zodat de vorming van dikke neerslagwaterlenzen in de bodem wordt voorkomen en de kwel wordt gestimuleerd. Het wordt daarom aanbevolen om in het lage deel van gebied noord ondiepe greppels aan te brengen en/of om dwars op de sloten strooksgewijs te plaggen. Gebleken is namelijk dat ook via plagplekken in natte perioden neerslagwater kan worden afgevoerd ten gunste van de invloed van meer gebufferd grondwater in de bovengrond.

Plaggen is effectief voor het herstel van een beter gebufferde, voedselarme bodem. Ondanks de voortdurende verdroging is de bodem van de plagplekken 12 jaar na het plaggen nog weinig verzuurd. Het buffermechanisme is echter relatief zwak omdat het voornamelijk berust op de hogere bicarbonaatgehalten van het ondiep grondwater en de hoge grondwaterstanden.

Plaggen is ook in deze zin effectief gebleken dat op de plagplekken soortenrijke vegetaties, met enkele blauwgraslandsoorten, tot ontwikkeling zijn gekomen. Soorten van dotterbloemhooilanden hebben zich echter niet kunnen handhaven. Elders in de schraalgraslanden is de soortenrijkdom relatief laag en zijn mossen dominant gebleven. Op de plagplekken komen relatief veel rode lijst soorten voor. Plaggen is minder effectief op hooggelegen plaatsen. Hier kan volstaan worden met het regelmatig verwijderen van mos voor het behoud en de ontwikkeling van heischrale graslandvegetaties.

5 Literatuur

- Grootjans, A.P., et al.. 2000. Monitoring van effectgerichte maatregelen tegen verzuring: Eindrapport 3^e fase 1997-1999: Wyldlannen (Ernewoude), De Barten (Lindevallei), De Koegelwieck (Terschelling), De Moksloot (Texel), De lage maden (Drentse Aa), Groningen, Laboratorium voor Plantenecologie Rijksuniversiteit Groningen en Everts & de Vries e.a. Ecologisch advies- en onderzoeksbureau. EV-00/20.
- Hullenaar, J.W. van 't, 1998. Zuiver veen in hoger sferen. Hydrologisch inrichtingsplan voor herstel van het Korenburgerveen. Hullenaar Ecologisch Adviesbureau, Zwolle.
- Jansen, P.C. 1996. De grondwaterkwaliteit in het stroomgebied van de Hierdensche beek. DLO-Staringscentrum. Interne Mededeling 394.
- Jansen, A.J.M. 1991. Effectgerichte maatregelen tegen verzuring van natte schraallanden. Nieuwegein, Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (KIWA); SWO 90.244.
- Kemmers, R.H., F.P. Sival en P.C. Jansen. 2003. Effecten van bevoeiing op de basentoestand en nutriëntenbeschikbaarheid van natte schraalgraslanden op klei-, zand- en veengronden: Veldwaarnemingen en laboratoriumexperimenten, Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 534.
- Kemmers, R.H., P.C. Jansen, S.P.J. van Delft en F.D. de Vries. 2002. Bloedarmoede in het Nederlandse landschap: Ontijzering van kwelgevoede gronden binnen de EHS en realisatie van natuurdoeltypen, wageningen, Alterra. Alterra-rapport 370.
- Lamers, L.P.M., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs. 2002. The restoration of fens in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478 (1): 107-130.
- Rovdan, E. 2003. Water flow and solute transport in Korenbugerveen site (concept). Wageningen universiteit. Lsg. Hydrologie en kwantitatief waterbeheer.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder A.H.F. & Weeda, E.J. 1996. De vegetatie van Nederland 3: graslanden, zomen, droge heiden. Opulus Press, Uppsala/Leiden.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder A.H.F. & Westhoff, V. 1995. De vegetatie van Nederland 2: wateren, moerassen en natte heiden. Opulus Press, Uppsala/Leiden.
- Souer, M.A. 1988. MAIONF versie 2.0: een computerprogramma in Fortran voor de primaire verwerking van fysisch-chemische gegevens van watermonsters. Arnhem, Intern rapport RIN 88/65.
- Straathof, N & Vegt J. 1979. De waterhuishouding van het Korenburger-, Vragender- en Meddose veen. LUW, Vakgr. Cultuurtechniek, Wageningen.
- Van Beek, K. M. Jalink & A. Meuleman. 2001. De verzwaveling van grondwater in zandgronden. *Landschap* (18) 4, p. 263-271.
- Van der Hoek, D, J.E.M. van Mierlo, J.D. van Walsum. 1994. Effecten van maatregelen tegen verzuring in een schraalgrasland van het Korenburgerveen. LUW Wageningen, Vakgroep Terrestrische Oecologie en Natuurbeheer.
- Van der Hoek, D. 1996. Effecten van maatregelen tegen verzuring in een schraalgrasland van het Korenburgerveen. Interrapport monitoringsonderzoek fase 2. LUW Wageningen, Vakgroep Terrestrische Oecologie en Natuurbeheer.
- Van der Hoek, D. 1999. Effecten van maatregelen tegen verzuring in enkele schraalgraslanden van het Korenburgerveen. Rapport monitoringsonderzoek OBN- Fase 2. Landbouwwuniversiteit Lsg. Natuurbeheer en plantenecologie.
- Van der Hoek, D. 2000. Effecten van maatregelen tegen verzuring in enkele schraalgraslanden van het Korenburgerveen. Rapport monitoringsonderzoek OBN- Fase 3. Wageningen Universiteit Lsg. Natuurbeheer en plantenecologie.

- Waterschap Rijn en IJssel, 1998. Korenburgerveen en omgeving. Hydrologische modellering.
- Wind, G.P., 1986. Slooppeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden. Cultuurtechnisch tijdschrift: (25) 5, p. 321-330.

Bijlage Codering bemonstering plagonderzoek en begreppelingsonderzoek

